



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR
VAZIRLIGI**
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
Xalqaro ilmiy-texnik anjumani

**“Elektr mexanik va elektr texnologik tizimlarda
raqamlashtirishning dolzarb muammolari”**

**“Актуальные проблемы цифровизации
электромеханических и электротехнологических
систем.**

**“Actual problems of digitization in electrical
mechanical and electrical technological
systems”**

*Tashkent, Uzbekistan
21-22 may, 2024*

I - TOM

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA‘LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV nomidagi
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

XALQARO ILMIIY-TEXNIK ANJUMAN:

***«ELEKTROMEXANIK VA ELEKTROTEXNOLOGIK TIZIMLARNI
RAQAMLASHTIRISHNING DOLZARB MUAMMOLARI»***

“Elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari” kafedrası professorı O.O.Hoshimov
va “Elektr texnikasi” kafedrası katta o`qituvchisi T.N.Xabibullaevalar xotirasiga
bag‘ishlanadi.

21-22 may 2024-yil

**MA‘RUZALAR TO‘PLAMI
Akademik Allaev Q.R. umumiy taxriri ostida**

I-QISM

Tashkent-2024

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И
ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ:**

**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМ»**

посвящается памяти профессора кафедры «Электромеханика и
электротехнологии» доктора технических наук Хашимова А. А. и старшего
преподавателя кафедры «Электротехника» Хабибуллаевой Т.Н.

2024 год 21-22 май

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ
Под общей редакции академика Аллаева К.Р.**

I -ТОМ

Ташкент-2024



**MINISTRY OF HIGHER EDUCATION, SCIENCE AND INNOVATIONS OF
THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
named after ISLAM KARIMOV**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE

**"ACTUAL PROBLEMS OF DIGITIZATION IN ELECTRICAL MECHANICAL
AND ELECTRICAL TECHNOLOGICAL SYSTEMS"**

dedicated to the bright memory of the excellent teacher of higher education, Doctor of
Technical Sciences, Professor Khashimov A. A. and Khabibullayeva T.N.

May 21-22, 2024

**COLLECTION OF PAPERS
Edited by Academician Allaev K.R.**

I - VOLUME

Tashkent-2024

СОСТАВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

- Турабджанов С.М. - д.т.н., проф., ректор Ташкентского государственного технического университета, председатель
- Маткурбанов П.С. - Генеральный директор по коммерции АО "Ташэлектроаппарат", соопредседатель,
- Кульбацкий Д. И. - Генеральный директор АО «SREDAZENERGOSETPROEKT», сопредседатель,
- Донаев С.Б. - д.т.н., проф., проректор по научной работе и инновациям ТашГТУ, соопредседатель
- Таирова Г.А. Директор ООО "Автоматизированный электропривод", к.т.н., сопредседатель
- Аллаев К.Р. д.т.н., проф., академик АН РУз, главный редактор журнала «Проблемы энерго- и ресурсосбережения», сопредседатель
- Тошов Ж.Б. д.т.н., проф., декан Энергетического факультета ТашГТУ, сопредседатель
- Пулатов А.А. PhD, доцент, заведующей кафедрой «Электромеханика и электротехнологии» ТашГТУ, сопредседатель
- Туляганов М.М. к.т.н, доцент кафедры «Электромеханика и электротехнологии» ТашГТУ, ученый секретарь

ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

- Насиров Т.Х. - д.т.н., проф., академик АН РУз
- Захидов Р.А. - д.т.н., проф., академик АН РУз
- Петрушин А.Д. - профессор кафедры "Вагоны и вагонное хозяйство" Ростовский государственный университет путей сообщения», (Россия)
- Иоаннис Рампиас - Профессор кафедры электротехники и электроники Университета Западной Аттики, (Греция)
- Таиров Ё.А. - Совместная степень магистра Erasmus Mundus в области устойчивого транспорта и

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

электроэнергетических систем Университет
Овьедо (Испания)

- Ускенбаев Д. Е. - кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника, электротехника и телекоммуникации» Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфулина (Казахстан)
- Саидахмедов С. С. - к.т.н., доцент, председатель общественной организации «ВАТАНДОШ» в Нью-Йорке, Соединённые Штаты Америки.
- Арипов Н.М. - д.т.н., проф., профессор кафедры ТГТУ
- Серов А.Е. - д.т.н., проф., профессор кафедры С-Пб ИЯИ
- Мирисаев А.У. - к.т.н., проректор ТашГТУ
- Абидов К.Г. - д.т.н., профессор кафедры ТашГТУ
- Сапаев Х.Б. - д.т.н., профессор кафедры ТашГТУ
- Умаров Ш.Б. - д.т.н., профессор кафедры ТашГТУ
- Бобожанов М.К. - д.т.н., профессор кафедры ТашГТУ
- Бобоходжаев Р.П. - д.т.н., профессор кафедры ТашГТУ
- Пирматов Н.Б. - д.т.н., профессор кафедры ТашГТУ
- Цыпкина В.В. - PhD, доцент, врио профессор кафедры ТашГТУ
- Дусматов Р.К. - PhD, доцент, декан ЭФ ТашГТУ
- Рахмонов И.У. - д.т.н., проф., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Тойиров О.З. - д.т.н., проф., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Юлдашев И.А. - д.т.н., проф., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Эшкуватов Л.М. - PhD., доц., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Исаходжаев Х.С. - PhD., доц., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Каримов Р.Ч. - PhD., доц., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Латипов Ш.Ш. - PhD, доц., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Жураев С.Р. - PhD., доц., заведующий кафедрой ТашГТУ
- Абдуллабеков И.А. - PhD., доц., кафедры ТашГТУ

Ташкентский государственный технический университет, 2024 год.

Почетный энергетик и Лауреат Государственной премии имени Абу Райхана Беруни Республики Узбекистан, «Отличник среднего специального образования», «Отличник средней школы», доктор технических наук, профессор

Хашимов Арипджан Адилевич

Годы жизни: 1940 - 2020



Известный ученый в области автоматизированного электропривода доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» Ташкентского Государственного Технического Университета **Арипджан Адилевич Хашимов** является основоположником создания учебной и научной школы по энергосбережению Республики Узбекистан.

Хашимов Арипджан Адилевич родился 8 марта 1940 года в городе Ташкенте. Свою учебную деятельность начал с 1947 году и закончил среднюю школу № 14 г. Ташкента.

А.А. Хашимов окончил энергетический факультет Ташкентского политехнического института (ныне Ташкентский ГТУ) по специальности «Электрификация промышленных предприятий и установок» в 1962 г.

С 1962 г. работал преподавателем по электрооборудованию и электромеханике в железнодорожном училище №1 г. Ташкента.

В 1962 – 1965 гг. – работал на должности младшего научного сотрудника в научно-исследовательском институте Энергетика и автоматика АН Узбекистана.

В 1965 – 1968 гг. – аспирант очного отделения аспирантуры института Энергетика и автоматика АН Узбекистана.

В 1968 г. – защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Частотно-управляемый асинхронный электропривод в асимметричных режимах» (научный руководитель д.т.н., проф. М.З. Хамудханов).

В 1990 году защитил докторскую диссертацию на тему «Теория и методы расчета режимов частотно-управляемых асинхронных электроприводов» в Московском энергетическом институте.

С 1969 года работал на кафедре «Электромеханика и электротехнологии» ТашГТУ на должностях: старший преподаватель, доцент, профессор, заведующий кафедрой, а также деканом факультета и проректором по учебной и учебно методической работе.

Под руководством проф. А.А. Хашимова была основана научная школа, в котором занимались разработками, исследованиями, созданием и внедрением конкурентоспособных энергосберегающих технологий на основе автоматизированного электропривода, а также были установлены творческие связи с ведущими предприятиями Республики Узбекистан.

Под руководством профессора А.А. Хашимова на кафедре «ЭПУ и АПУ» (ныне «Электромеханика и электротехнологии»), с целью подготовки конкурентоспособных кадров в области энергосбережения были открыты новые направления бакалавриата и специальности магистратуры, а также впервые в Центральной Азии специальность магистратуры «Менеджмент энергетики» была организована совместно с Берлинским техническим университетом (ФРГ) и Афинским технологическим институтом образования (Греция).

В период с 1997 – 2001 гг. под руководством проф. А.А. Хашимова выполнены Европейские программы Темпус-Тасис (“Tempus-Tacis” T-JEP 10328-97 и NP – 22135 – 2001) и были организованы курсы «Менеджмент энергетики» и «Организация информационной системы по энергетике между Европой и Центральной Азией». На основе этой программы между Берлинским техническим университетом (ФРГ), Университетом г. Падуя (Италия), Санкт-Петербургским электротехническим и политехническим университетами и Иркутским техническим университетом (РФ) были заключены договора о сотрудничестве.

В 2000 году руководитель научной школы А.А. Хашимов стал единственным в Центральной Азии обладателем премии CRDF – 2000, США и участвовал в международной конференции по электроприводу, которая проводилась в Нью-Орлеане.

По итогам деятельности научной школы Арипджан Адилевич Хашимов активно принимал участие с докладами на международных научно-технических конференциях, проводимых в Германии, Греции, Италии, США, РФ, Украине и в других странах.

Как ведущий ученый современности в области автоматизированного электропривода, представляя свою страну, А.А. Хашимов участвовал на Международном симпозиуме «SPEEDAM 2020», которая проводилась в период с 24 по 26 июня 2020г в Италии, г. Сорренто, в качестве Председателя секции «Electric Motor Drives 1» где его доклад был успешно принят международным европейским сообществом ученых.

По материалам научной школы А.А. Хашимова опубликованы более 350 научных статей, 20 монографий, 26 учебников. У автора имеется более 200 научных трудов и около 30 изобретений, патентов и программных продуктов. Одна монография по энергосберегающему асинхронному электроприводу выпущена на английском языке. Под руководством профессора А.А. Хашимова защитили свои кандидатские диссертации 12 аспирантов и докторскую диссертацию 2 соискателя.

За достигнутые успехи неоднократно награждался поощрительными грамотами Минвуза и ректора университета, похвальными грамотами международной организации ЭКОСАН, комитета «Фан ва технология», АН РУз, Минвуз РУз, Лауреат Государственной премии имени Абу Райхана Беруни

Республики Узбекистан в области науки и техники, награжден знаком Высшей школы «За отличные успехи в работе», а также «Отличник среднего специального и профессионального образования Республики Узбекистан» и «Ветеран энергетики Узбекистана».

Результаты его научных исследований и разработок по энергосберегающим технологиям внедрены на крупных промышленных предприятиях Республики Узбекистан таких как «Навойский горно-металлургический комбинат» «Узметкомбинат», «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», «ЗАО Джи Эм Узбекистан» и др.

По инициативе А.А. Хашимова организована подготовка бакалавров по новому направлению образования «Энергосберегающие электротехнические системы и комплексы» и магистратуры «Менеджмент энергетики» совместно с Афинским технологическим институтом образования и Берлинским техническим университетом.

Хотелось бы также отдельно отметить огромный научный и практический вклад проф. А.А. Хашимова в развитие и разработки сложных современных технологических решений при внедрении энергосберегающих промышленных установок на предприятиях Республики, что в свою очередь является существенным вкладом в развитие промышленности Республики Узбекистан.

А.А. Хашимов пользовался высоким авторитетом среди ученых энергетиков из стран Содружества и Европы.

Профессор А.А. Хашимов вел не только успешную научную деятельность, но и руководил производством устройств плавного пуска и частотных преобразователей. Его деятельность продолжается учениками и родными, что доказывает какое значимое и ценное наследие **Арипджан Адилевич Хашимов** оставил будущим поколениям энергетиков Узбекистана.



Танвира Насибуллаевна Хабибуллаева
(1949-2022г.г.)

Танвира Насибуллаевна Хабибуллаева родилась 28 июля 1949 года в г. Ташкенте в семье интеллигентов. Отец - **Насибулло Хабибуллаев** был профессиональным переводчиком ТАСС, а также заслуженным журналистом Узбекистана, Мать - **Икболхон Муборакова** была заслуженным врачом-педиатром Узбекистана и заведующим отделом стационара в детской объединенной больнице №1 в г. Ташкента. Брат **Нозим Хабибуллаев** был, известным мировым учёным-музеологом, основателем и директором Государственного музея истории Темуридов Республики Узбекистан, членом Всемирного общества музеологов.

В 1966 году **Танвира Хабибуллаева** окончила среднюю школу №186 в г. Ташкенте и в этом же году поступила в Ташкентский политехнический институт (далее ТашПИ) на инженерно-физический факультет по специальности “Полупроводниковые приборы”.

В 1971 году успешно окончила институт и защитила дипломный проект на тему: “Полупроводниковый терморезистор из бора” и стала инженером по электронной технике.

С 1971 года **Т.Хабибуллаева** начала свою трудовую деятельность на кафедре: “Теоретические основы электротехники” в Ташкентском политехническом институте старшим лаборантом.

В целях повышения научной квалификации **Танвира Хабибуллаева** в 1974 году поступила на очную аспирантуру ТашПИ. С 1978 года она начала профессиональную преподавательскую деятельность на кафедре: “Теоретические основы электротехники” в должности ассистента преподавателя. За период своей преподавательской деятельности **Танвира Хабибуллаева** вела продолжительную работу по научной деятельности, результатом которой были, опубликованные научные статьи, методические руководства и монографии.

Публикации:

“Бесконтактное реле тока”. в материалах Республиканской конференции молодых ученых- Ташкент, 1974 год

“Анализ установившихся режимов работы асинхронного микродвигателя при амплитудном управлении” в сборнике научных трудов ТашПИ “Вопросы теории нелинейных цепей”- № 269, 1979 год.

“Расчет и анализ установившихся режимов регулируемого асинхронного микродвигателя” в Материалах Республиканской конференции молодых ученых – Ташкент, 1976 год.

“Исследование и анализ режимов асинхронного микродвигателя при амплитудном управлении” в сборнике Всесоюзной конференции по теории методов расчёта линейных цепей и систем- Ташкент, 1982 год.

“Расчет характеристик установившихся режимов регулируемого асинхронного микродвигателя ЭВМ” в сборнике научных трудов ТашПИ “Схемы и режимы линейных цепей и устройств”- 1983 год.

Методическое руководство по практическим занятиям “Примеры решения задач по теоретическим основам электротехники” в ТашПИ – Ташкент, 1984 год.

“Математическое описание и исследование оптимальных режимов асинхронных электроприводов” во Всесоюзной межвузовской научно- технической конференции “Математическое и ритмическое и техническое обеспечение АСУТП”- Ташкент, 1985 год.

“Регулирование характеристик асинхронного микродвигателя” ССБ ФПЭ ТашПИ 1985 год.

“Анализ и расчет комбинальных режимов электромеханических систем” в Отчете НИР кафедре “ТОЭ” ТашПИ в “Разработка теории колебательных процессов и устройств информационных систем и электромеханики” Ташкент, 1985 год. – выполнено по госбюджету шифр 72/10 010825025472.

В тезисах докладов всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы оптимизации работы автоматизированных электроприводов" - в г. Ленинград, РСФСР, 1986 год, «Математическая модель и исследование оптимальных режимов частотно-регулируемых асинхронных электроприводов».

“Расчет характеристик управления асинхронного конденсаторного микродвигателя” в сборнике “Модулирование процессов регулируемых полупроводниковых элементах и устройств” – Ташкент, 1990.

“Частота ёрдамида ростланадиган асинхрон электр юритмалар” конференция ТашПИ – 1991 год.

Методическое руководство для лабораторных работ “Электротехниканинг назарий асослари ва занжирлар назарий асослари” – Ташкент, 1992 год.

Методическое руководство “Электротехника назарий асослари фанининг тўрткутбликни тадқиқ қилиш ишига кўрсатма” ТГТУ –Ташкент, 1994 год.

Сборник Международной научно практической конференции ИННОВАЦИЯ - 2003, Ташкент: ТашГТУ, Узбекистан “Вопросы электромагнитной совместимости электрооборудования насосной станции с питающей сетью”.

В 1997 году в ТашПИ за профессионализм и многолетнюю трудовую деятельность **Т.Хабибуллаева** была переведена на должность старшего преподавателя на кафедре “Теоретические основы электротехники”.

Следует отдельно отметить, что **Танвира Насибуллаевна Хабибуллаева**, имея многолетний преподавательский опыт на постоянной основе работала над усовершенствованием своей профессиональной квалификации и стремилась соответствовать критериям современного преподавания с целью дальнейшего обучения своих студентов на высококвалифицированном уровне.

Свидетельством этому является её успешное прохождение профессиональных курсов по “Применению компьютеров при решении задач ТОЭ” в 2005 году.

Наряду с этим, **Т.Хабибуллаева** окончила отличием курсы английского языка при Университете международных языков, после окончания которого преподавала на английском языке для студентов кафедры: «Теории основы электротехники».



с

В 2006 году **Танвира Хабибуллаева** завершила свою 40 летнюю трудовую деятельность и вышла на пенсию в звании «Старшего преподавателя». Одновременно за активное участие она была удостоена множественных благодарностей на различных научных конференциях.

Отдельно стоит отметить, что **Танвира Насибуллаевна Хабибуллаева** за период своей трудовой деятельности внесла неоценимый вклад в подготовке кадров для Республики Узбекистан. Благодаря высокому профессионализму **Т.Хабибуллаевой** её студенты получили фундаментальные знания и стали высококлассными специалистами в своей сфере, что определило её успех как преподавателя.



Наряду с этим, **Т.Хабибуллаева** была преданной супругой **Арипджана Адиловича Хашимова** благодаря её постоянной поддержке он достиг величайших успехов в научной и профессиональной деятельности. В то же время она была любящей матерью и мудрой бабушкой для своей семьи.

Танвира Хабибуллаева имела уникальную черту характера постоянно работать над собой и обогащать свои знания и своим примером вдохновляла всех своих близких и родных на новые стремления и достижения успехов во всех аспектах жизни.



Танвира Хабибуллаева была выдающейся женщиной, она смогла создать счастливую семью, совмещая с профессиональной деятельностью, деятельность учителя, наставника и педагога, что в свою очередь является безупречным примером для многих женщин Узбекистана.

Учителю, открывшему меня,
Несу в подарок трепетные строки.
А память убегает на уроки,
День праздничный уверенно тесня.
А память зазывает в светлый класс,
Ведёт меня по коридорам шумным.
К былым мгновеньям, радостно-бездумным,
К себе, далёкой, я спешу сейчас.

Плутая долго по бескрайним дням,
Я оживляю даты и события.
И с новой силой пробую открыть я
Всё то, что не открылось прежде – там...



ВЫСТУПЛЕНИЕ

Ректора Ташкентского государственного
технического университета Турабджанова
Садритдина Махаматдиновича

21 мая 2024 года на церемонии открытия
Международной научно-технической
конференции

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Уважаемые гости, участники конференции, коллеги!

Искренне рад приветствовать вас от имени Ташкентского государственного технического университета на официальном открытии Международной научно-технической конференции «**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**».

Все прекрасно понимают, какую огромную роль играет образование, особенно высшее, в изменении тех условий и тенденций, которые есть в мире и, в частности, в Узбекистане.

Научно-технический прогресс и изменение организационно-экономических механизмов на всех уровнях экономики и системы образования позволяют создать необходимые и достаточные условия, которые должны соответствовать перспективным тенденциям экономического развития нашего государства.

Сегодня в этом зале собрались ведущие специалисты в области энергетики, электротехнологии и автоматизированного электропривода, чтобы обсудить актуальные проблемы, связанные с изучением процессов управления и автоматизации электромеханических и электротехнологических систем.

В работе нашей конференции, принимают участие ученые, представляющие различные научные школы Германии, Греции, Испании, Китая, России, Казахстана, Туркменистана и Узбекистана.

Хотелось отметить, что время проведения международной научно-технической конференции выбрано отнюдь не случайно.

В этом году исполнилось 83 года ученому с большой буквы, чей вклад в развитие теории и практики управляемого автоматизированного электропривода является очень весомым. Научные разработки под его руководством нашли свое применение и успешно внедрены на многих промышленных объектах нашей Республики: АК «Узбекэнерго», ГП «НГМК», АО «АГМК», АПО «Узметкомбинат», УП «Сувсоз», АО «O'zelektroapparat- Elektroshield» и других ведущих организаций РУз.

Проведение этой конференции посвящено светлой памяти Почетного энергетика, Лауреата Государственной премии имени Абу Райхана Беруни Республики Узбекистан, «Отличника среднего специального образования», «Отличника средней школы», профессора Арипжана Адыловича Хашимова и ведущего учителя педагога кафедры «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА» Танвирой Насимуллаевной Хабибулаевой.

Хотелось бы отметить, что история кафедры «Электромеханика и электротехнология» насчитывает более 90 лет, за это время профессорско-преподавательский состав кафедры менялся, но все силы и научный потенциал ее сотрудников был направлен на создание и развитие Школы ЭЛЕКТРОПРИВОДА в Узбекистане. Мы благодарны всем, кто участвовал в становлении и развитии данного направления: первому заведующему кафедрой Ю. К. Давыдову; академику М. З. Хамудханову; профессору Н. Х. Базарову, доценту В. П. Шевякову, профессору М.М. Хамудханову, доценту Х.С. Миникееву, доценту К. В. Соколовскому, доценту А.А. Имас, профессору А.Т. Имамназарову, ст. преподавателю Т.Д. Артыкову и конечно профессору А. А. Хашимову.

Дело этих ученых и сегодня продолжает профессорско-преподавательский состав нынешней кафедры. На сегодняшний день кафедра «Электромеханика и электротехнология» является кузницей кадров для электротехнической отрасли не только нашей Республики, но и многих других стран. Выпускники кафедры «ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА и ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ» успешно продолжают свою деятельность на различных предприятиях Энергетического комплекса и нас радуют успехи наших студентов, и мы надеемся, что эта тенденция с каждым годом будет возрастать.

Программа нашей конференции предполагает обмен научными достижениями между лучшими научными школами в сфере управления и оптимизации работы автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем. В этом и состоит залог решения актуальных вопросов повышения энергоэффективности работы промышленных объектов электроэнергетики.

Желаю всем участникам научно-технической конференции плодотворной работы, творческой результативной дискуссии, активности, оптимизма и приобретения дружеских контактов. Надеемся, что удастся создать условия для конструктивного диалога и обмена опытом и мнениями между научными школами. Пусть она станет местом для дальнейших интересных и плодотворных встреч. Уверен, что результаты конференции будут полезны всем участникам, а предложенные рекомендации найдут свое применение в дальнейшей практической деятельности каждого из них.

Посвящение

С учетом широкого применения в промышленности и других областях производства электромеханических и электротехнологических систем необходим обмен мнениями и идеями между местными и международными научными школами по актуальным вопросам:

- повышение эффективности технологий промышленного производства;
- их проектирование, управление и оптимальное управление режимами работы;
- автоматизация технологических процессов на базе программного и цифрового управления, обеспечение качества работы агрегатов, машин и механизмов;
- разработка, выпуск и внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих систем электропривода и электротехнологий;
- анализ сфер внедрения инновационных разработок направленных на комплексную автоматизацию, оптимизацию режимов работы электромеханических и электротехнологических систем и комплексов на базе информационной трансформации, интеллектуализации и цифровизации.

Международная конференция посвящена памяти основателя кафедры “Электромеханика и электротехнологии” д.т.н., профессора Хашимова Арипджана Адиловича и старшего преподавателя кафедры “Электротехника” Танвиры Насибуллаевны Хабибуллаевой.



Хашимов
Арипджан Адилович

Кафедра «Электромеханика и электротехнологии» Ташкентского государственного технического университета является в республике головной кафедрой в этом направлении, и с момента ее создания эту кафедру окончили более сорока тысяч молодых специалистов. Кафедра способствует эффективной организации учебного процесса в области автоматизации электроприводов и электротехнологических установок и магистратуры в смежных вузах, обеспечивая их необходимой нормативной документацией.

Известность ученого – результат многих лет кропотливого труда. Вся его многогранная жизнь, его научная и педагогическая деятельность посвящена Ташкентскому государственному техническому университету и родной кафедре. Жизнь Арипджана Адиловича Хашимова – это пример научного долголетия, любви к профессии, патриотизма и преданности своему делу и интересам своей Республики и энергетики страны

**Память о крупном ученом, светлом человеке, прекрасном педагоге навсегда
сохранится в наших сердцах.**

ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ:

1920 год: первый Среднеазиатский государственный университет (САГУ) инженерно-мелиоративный факультет. Подготовка инженеров по электрооборудованию промышленных предприятий была начата еще в Туркестанском народном институте (ТНИ), а затем Туркестанском государственном университете (ТГУ).

В июле 1923 года согласно постановлениям Средазбюро ЦК ВКП(б) и ТуркЦИКа университет был переименован в Первый Среднеазиатский Государственный Университет (САГУ), что более точно отражало его действительное положение и роль в культурной жизни страны народов Центральной Азии. Это наименование университет сохранил до 1959 года.

К 1928 году университет состоял из семи факультетов, сформированных ещё в предшествующий период. Одним из них был инженерно-мелиоративный факультет, который готовил специалистов для гидроэнергетики, электротехники, мелиорации, промышленного, гражданского и дорожного строительства.

Кафедра «Электрооборудование промышленных предприятий» (так называлась она в то время) была организована как самостоятельная в 1931 г, в составе Средне Азиатского энергомеханического института (САЭМИ)— Средне Азиатского энергетического института (САЭИ) и готовила инженеров электромехаников электромашинного оборудования. В последующие годы кафедра подвергалась неоднократным реорганизациям.

С 1933 по 1934 года: Среднеазиатский энергетический институт кафедра «Электрооборудование промышленных предприятий».

В 1936 г. кафедра получила название «Промышленное использование электроэнергии».

С 1937 по 1947 года: Среднеазиатский энергетический институт кафедра «Промышленное использование электроэнергии».

С 1953 по 1963 года Среднеазиатский энергетический институт – Ташкентский политехнический институт кафедра «Промышленное использование электроэнергии».

С 1963 по 1968 года: Ташкентский политехнический институт кафедра «Автоматизированный электропривод промышленных установок».

С 1986 по 2012 года: Ташкентский политехнический институт-Ташкентский государственный технический университет кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок».

С 2012 по 2013 года: Ташкентский государственный технический университет кафедра «Электротехника, электромеханика и электротехнология».

С 2021 года по настоящий момент: Ташкентский государственный технический университет кафедра «Электромеханика и электротехнология»

Величайшие учёные заведующие кафедры:



проф.
Г.Ф. Грушкин



доц.
Ю. К. Давыдов



проф.
Т. П. Губенко



проф.
М.З. Хамудханов



доц.
В.И. Романченко



доц.
Р.Л. Краевская



доц.
Е.Н. Бедрин



проф.
Н. Х. Базаров



проф.
А.А. Хашимов



Заведующий кафедрой:
доцент Пулатов Аброр
Обидович

На кафедре осуществляется обучение и подготовка кадров по направлению бакалавриатуры 60710700 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», по специальности магистратуры 70710703 – «Электротехнические системы и комплексы», 70710901 – «Энергосбережение и энергоаудит» (промышленность) На кафедре работает высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав в количестве 17 человек.

Среди них 2 профессор, доктор технических наук; 5 доцента, кандидата наук, PhD, 3 старших преподавателей; 7 ассистентов, 1 заведующий лабораторией НТЦ «Проблемы энергетики» и 4 преподавателей работающих по совместительству.

Студенты кафедры проходят практику в ведущих предприятиях РУз, таких как АО «Тепловые электрические станции», АО «Региональные электрические сети», СП АО «Узэлектроапарат-Электрощит» и др.

Большой вклад в развитие кафедры, организацию и модернизацию учебного процесса, укрепление научно-исследовательской базы кафедры и подготовку квалифицированных кадров вносит такие уважаемые наставники, как: проф. Сапаев Х.Б., проф. Умаров Ш.Б., проф. Мирисаев А.У., проф. В.В.Цыпкина, доц. Туляганов М.М., доц. Абдуллабеков И.А., старшие преподаватели: Мирсаидов М.М., Мирхайдаров М.М., Исамухамедов Д.Н., Турабеков А.У., Муминов Х.А., Акбаров Ф. А. ассистенты Бокижонов У.А., Атажиев Ш.М., Махмудов Н.З., Орипов С.Х. и технические персоналы Бахадирова Д.У., Ганиева Ф.А., Собирова Ш.М. др.



В качестве основных направлений деятельности кафедры в будущем определена увеличение вовлеченности профессоров и преподавателей престижных зарубежных высших учебных заведений и исследовательских центров в целях повышения качества учебного процесса.

***Аброр Пулатов заведующий
кафедрой «Электромеханика и электротехнологии» ТГТУ***

Секция №1*Актуальные вопросы цифровизации, применяемые в области повышения энергоэффективности электромеханических и электротехнологических систем*

УДК 621.472

**ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ ИНТЕГРАЦИЯЛАНГАН
ТАРМОҚЛАРДА РЕАКТИВ ҚУВВАТНИ КОМПЕНСАЦИЯЛАШ****М.К. Бобожанов, Р.А.Мустаев**

Ушбу мақолада қайта тикланувчи энергия манбалари интеграция қилинган тармоқларда ҳосил буладиган реактив қувватга бўлган талабни контактсиз қурилмалар ёрдамида автоматик тарзда компенсациялаш ҳақида маълумотлар келтирилган. Реактив қувватни компенсациялаш мақсадида микроконтроллер орқали бошқарувга эга контактсиз коммутациялаш қурилмасидан фойдаланилган. Ушбу қурилма ҚТЭМ мавжуд тармоқларда комбинациялашган усулда реактив қувватни компенсациялаш имконини беради. Ушбу қурилма кўп қутбли бўлиб, бир вақтнинг ўзиде 3 та турли қийматдаги кичик қувватли конденсатор батареяларини ҚТЭМ мавжуд тармоққа улаш имконини беради. Схема орқали фотоэлектр станция мавжуд тармоққа қуввати 1 кВт бўлган АО41-6 типли моторнинг уланиши жараёнида ҳосил бўлган реактив қувватга бўлган талаби керакли миқдорда таъминланиб, $\cos\varphi$ қиймати 0,723 қийматдан 0,955 гача ошган.

Калит сўзлар: *Қайта тикланувчи энергия манбалари, фотоэлектр станция, реактив қувват, автоматик компенсация, инвертор*

В данной статье представлена информация о автоматической компенсации потребности в реактивной мощности, возникающей в интегрированных сетях возобновляемых источников энергии с использованием бесконтактных устройств. С целью автоматической компенсации реактивной мощности использовано бесконтактное коммутационное устройство управляемый посредством микроконтроллера. Это устройство обеспечивает комбинированную компенсацию реактивной мощности в существующих сетях с возобновляемыми источниками энергии. Устройство является многополярным и позволяет одновременно подключить к существующей сети с возобновляемыми источниками энергии 3 конденсаторные батареи небольшой мощности разного номинала. За счет использования схемы потребность в реактивной мощности, при подключении двигателя АО41-6 мощностью 1 кВт к сети с фотоэлектрической станцией, обеспечивается в необходимом объеме, а значение $\cos\varphi$ увеличивается с 0,723 до 0,955.

Ключевые слова: *Возобновляемые источники энергии, фотоэлектрическая установка, реактивная мощность, автоматическая компенсация, инвертор*

This article provides information on automatic compensation of reactive power demand arising in integrated renewable energy networks using contactless devices. For the purpose of automatic reactive power compensation, a contactless switching device controlled by a microcontroller was used. This device provides combined reactive power compensation in existing networks with renewable energy sources. The device is multipolar and allows you to simultaneously connect 3 small capacitor banks of different ratings to an existing network with renewable energy sources. Due to the use of the circuit, the need for reactive power, when connecting an AO41-6 motor with a power of 1 kW to a network with a photovoltaic station, is provided in the required volume, and the $\cos\varphi$ value increases from 0.723 to 0.955.

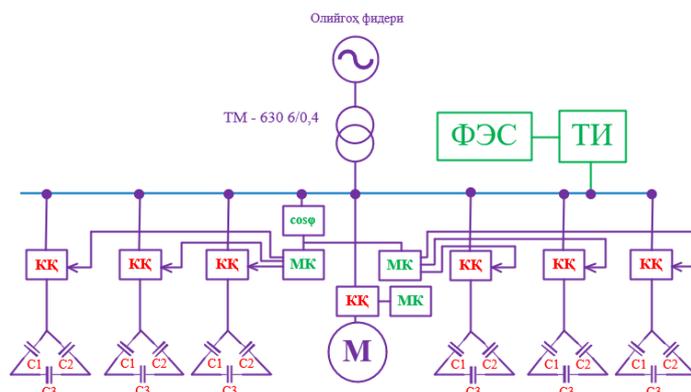
Key words: Renewable energy sources, photovoltaic installation, reactive power, automatic compensation, inverter.

Республикамизда электр энергетика тизимини такомиллаштириш, электр энергиясини генерация қилиш имкониятларидан максимал фойдаланиш, жумладан қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланиш асосида ишлаб чиқариладиган электр энергия миқдорини ошириш стратегик мақсад сифатида қўйилган[1]. Қайта тикланувчи энергия таъминоти тизимининг ишончилиги электр истеъмолчиларининг коммутацияси ва қувват узатишни хавфсиз амалга оширилиши билан боғлиқ. Қайта тикланувчи энергия манбаларидан таъминланувчи электр моторларини коммутациялаш ва конденсатор батареяларини қувватини бошқариш учун контактсиз қурилмалар қўлланилганда улар бошқаларидан тезлиги, узоқ муддатли ишлаши, ишлаганда шовқин чиқармаслиги ва ҳоказолар билан ажралиб туради[2-3]. Мавжуд контактсиз ишга тушириш қурилмалари мураккаб бошқарув тизимига эга бўлиб, бу эса уларни ўрнатиш, созлаш ва техник хизмат кўрсатиш вақтида қийинчиликларни келтириб чиқаради, бу факторлар уларни кенг қўлланилишига тўсқинлик қилади[4-5].

Қуёш электр станцияси тармоққа интеграция қилинганда, тармоқдан истеъмол қилинадиган актив қувват камаяди, чунки у қуёш электр станцияси томонидан ишлаб чиқарилади ва тўғридан-тўғри у электр истеъмолчиларида истеъмол қилинади. Натижада, тармоқдан истеъмол қилинадиган актив ва реактив қувват ўртасидаги нисбат ўзгаради. Қуёш электр станцияси билан таъминлаш бошланганда қувват коэффициенти қиймати аввалги қийматидан пасаяди. Шунинг учун, кам қувват коэффициенти ҳосил қилувчи исрофларга йўл қўймаслик учун, қувват коэффициентини тўғрилашга алоҳида эътибор қаратиш лозим акс ҳолда кичик $\cos\phi$ қуёш электр станциясининг барча афзалликларини камайтириши мумкин[6-8].

Схемада ФЭС тармоқ инвертори орқали ўзгарувчан электр энергиясини ҳосил қилади 1 – расм. Ушбу энергия истеъмолчиларни таъминлашга сарфланади. Бунда трансформатор орқали етишмаган қувват истеъмол қилинади. Етишмаган қувватнинг катта қисмини реактив қувват ташкил этади. Бу ҳолат ФЭС ишлаб чиқараётган максимал қувватда ҳамда максимал реактив қувват истеъмоли вақтида максималга интилади. Минимум реактив қувват истеъмолида ҳамда ФЭС энергия ишлаб чиқармайдиган ҳолатда ўзининг энг кичик қийматига эришади[9-10].

Қуёш панели ишлаб чиқараётган қувват тўлиқ актив қувватни ташкил этганлиги сабабли $\cos\phi=1$ га тенг бўлади. Таъминланаётган истеъмолчиларни тури ва хусусиятидан келиб чиқиб реактив қувват коэффициентинининг қиймати ўртача $\cos\phi=0,85$ га тенг бўлади. Қуввати 630 кВА бўлган трансформаторга интеграция қилинган ФЭСнинг ўрнатилган қуввати 29 кВт ни ташкил этади. Бир дона панель қуввати 450 -540 Втгача бўлиб умумий панеллар сони 61тани ташкил этади.



1 – расм. Комбинациялашган тизимда реактив қувватни компенсациялаш қурилмасини функционал схемаси

Истеъмол қилинаётган реактив қувватни компенсациялашни микроконтроллер орқали бошқарилувчи контактсиз коммутациялаш қурилмаси орқали амалга оширамиз. Бунда реактив қувват коэффициентни қиймати орқали сигнал берувчи PFR-12 қурилмасидан фойдаланамиз.



2 – расм. PFR-12 қурилмасини умумий кўриниши

Ушбу қурилма реактив қувватни 12 та поғонада ростлаш имконини беради. Унинг ёрдамида микроконтроллер сигнал қабул қилувчи Рiпларига сигнал берилади. Сигналларни қабул қилувчи Рiп ларни тартибига қараб микроконтроллер керакли қувватдаги конденсатор батареясини қувватини тармоққа улаш амалини бажаради[11-12].

1 – жадвал

Ростланувчи реактив қувват микдори ва унинг поғоналари

Конденсатор батареялари қуввати	PFR-12 қурилмасини чиқиш сигналлари поғоналари											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2,5 кВАр	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
5 кВАр	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+
7,5 кВАр	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
2,5 кВАр	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+
5 кВАр	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+
7,5 кВАр	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Жами:	2,5 кВАр	5 кВАр	7,5 кВАр	10 кВАр	12,5 кВАр	15 кВАр	17,5 кВАр	20 кВАр	22,5 кВАр	25 кВАр	27,5 кВАр	30 кВАр

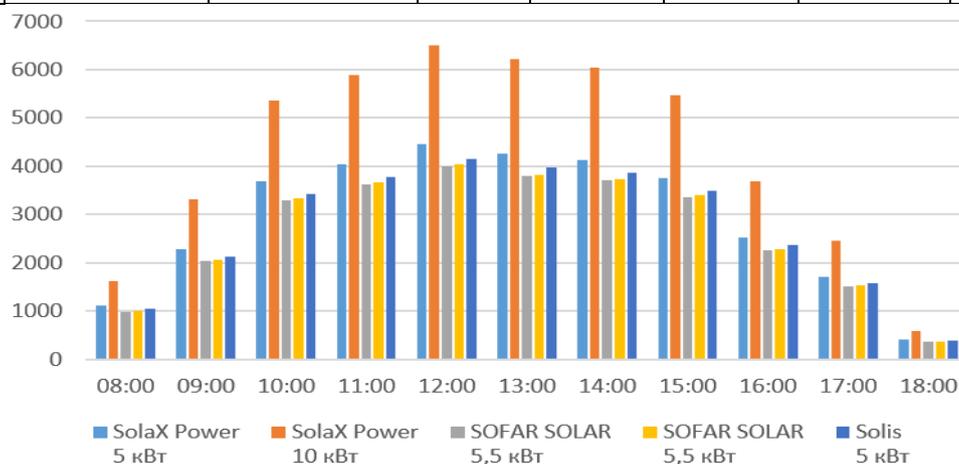
Конденсатор батареялари икки гуруҳга бўлинган бўлиб уларнинг қувватлари 2,5 кВАр, 5 кВАр, 7,5 кВАр. Реактив қувватни ростлаш чегараси 2,5 кВАр дан 30 кВАр гача. Қуёш панеллари томонидан кун давомида ишлаб чиқилган қувватлари 2-жадвалда келтирилган.

2- жадвал

	04.09.2023 й	Инверторлар тўлиқ қуввати 31 кВт	SolaX Power 5 кВт	SolaX Power 10 кВт	SOFAR SOLAR 5,5 кВт	SOFAR SOLAR 5,5 кВт	Solis 5 кВт
1.	8:00	5790	1120	1630	990	1010	1040

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.	9:00	11820	2280	3320	2040	2060	2120
3.	10:00	19080	3680	5360	3290	3330	3420
4.	11:00	20980	4040	5890	3620	3660	3770
5.	12:00	23170	4470	6510	3990	4040	4160
6.	13:00	22080	4260	6210	3810	3830	3970
7.	14:00	21482	4140	6032	3710	3740	3860
8.	15:00	19500	3760	5480	3360	3400	3500
9.	16:00	13130	2530	3690	2260	2290	2360
10.	17:00	8780	1700	2460	1510	1530	1580
11.	18:00	2160	420	600	370	380	390



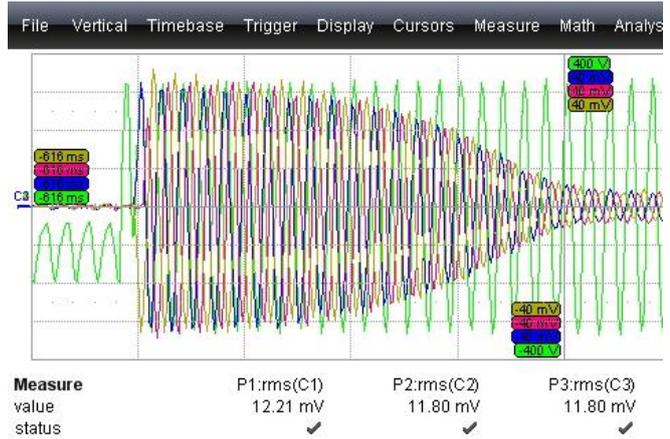
3 – расм. Кун давомида инверторлар орқали ишлаб чиқарилган қувватларни вақтга боғлиқ графиги

Асинхрон моторнинг ҚТЭМ мавжуд тармоққа таъсирини тадқиқ қилиш тажриба ускунаси 4 а- расмда кўрсатилган. Электр моторнинг ишга тушириш, ишчи ва реактив қувватини компенсациялаш режимлари ўрганилди.

Уч фазаги контактсиз қурилманинг коммутация жараёнидаги кучланиш ва ток осциллограммалари LeCroy64Xi-A типдаги осциллограф ёрдамида олинди. Мотор ҚТЭМ мавжуд тармоққа уланиб, унинг ишга тушиш вақтидаги кучланиш ҳамда ток осциллограммалари 4 б– расмда тасвирланган.

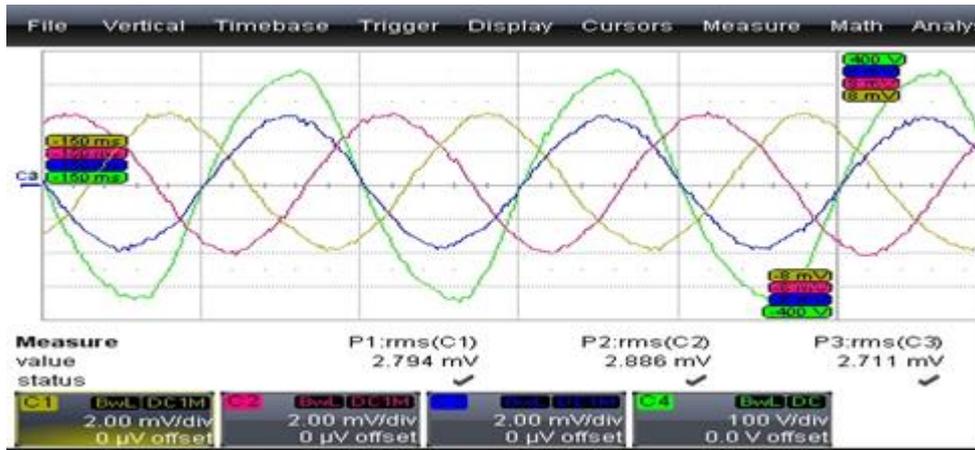


а)

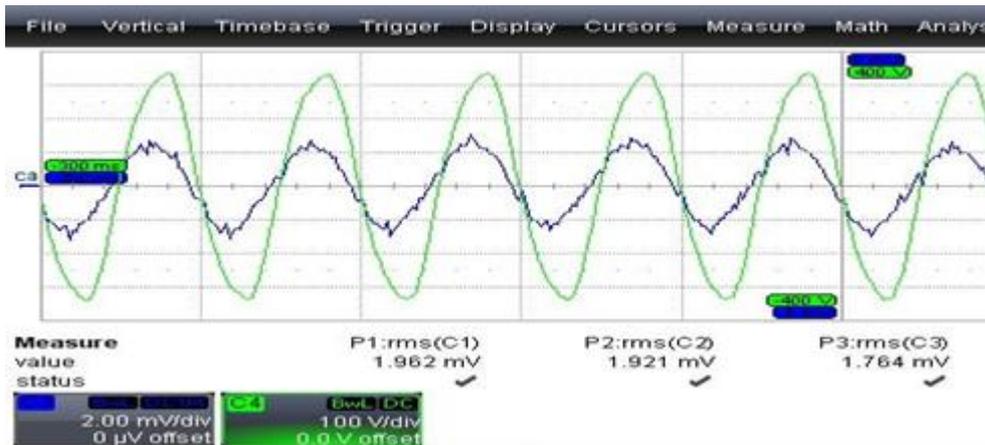


б)

4 – расм. Моторнинг контактсиз ишга туширгич орқали тармоққа уланган ҳолатда ишга тушиш вақтидаги кучланиш ҳамда ток осциллограммаси



а)



б)

5 - расм. Мотор ҚТЭМ мавжуд тармоққа уланганда иш (а) ва реактив қувватини компенсациялаш (б) режимидаги кучланиш ҳамда ток осциллограммаси

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ФЭС интеграция қилинган тармоққа уланган АО41-6 типли моторнинг ишга тушириш, ишчи ва реактив қувватини компенсациялаш режимларида ҳар бир фазадаги ток ва кучланишлар қийматлари: $U_{A\phi}=228$ В; $U_{B\phi}=227$ В; $U_{C\phi}=230$ В; ишга туширишдаги ток қийматлари $I_{A\phi}=12,21$ А; $I_{B\phi}=11,8$ А; $I_{C\phi}=11,8$ А; ишчи режимдаги ток қийматлари $I_{A\phi}=2,79$ А; $I_{B\phi}=2,88$ А; $I_{C\phi}=2,71$ А, ва реактив қувватини компенсациялаш режимларидаги ток қийматлари $I_{A\phi}=1,96$ А; $I_{B\phi}=1,92$ А; $I_{C\phi}=1,76$ Амперни ташкил этди.

Хулоса. Ҳозирда ўрнатилаётган кичик қувватли ФЭС маҳаллий электр тармоқларига тушаётган юкларни камайтириш билан бир қаторда электр энергияси сифат кўрсаткичларини яхшилаш вазифасини ҳам бажармоқда. Лекин ФЭС лар фақат актив қувват генерация қилганлиги сабабли қувват коэффициенти 1 га тенг эканлигидан улар истеъмолчиларни актив қувват билан таъминлайди. Реактив қувват талаб этувчи истеъмолчилар тармоқдан ушбу қувватни истеъмол қиладилар. Ушбу ҳолатда тармоқ электр узатиш линияларида ҳамда трансформаторларда реактив қувват таъсирида ҳосил бўлувчи энергия исрофлари қиймати юқори ҳисобланади. Ушбу исрофларни камайтириш учун қайта тикланувчи энергия манбалари интеграция қилинган тармоқларда ҳосил буладиган реактив қувватга бўлган талабни контактсиз қурилмалар ёрдамида автоматик тарзда компенсациялаш мақсадга мувофиқ. Ушбу реактив қувватни компенсациялашда контактсиз ишга тушириш қурилмасини микроконтроллер орқали бошқариб, конденсатор батареялари қувватини комбинациялашган усулда коммутациялаш қурилмасидан фойдаланилди. Ушбу қурилма ҚТЕМ мавжуд тармоқларда реактив қувватни компенсациялаш имконини беради. Схема орқали фотоэлектр станция мавжуд тармоққа қуввати 1 кВт бўлган АО41-6 типли моторнинг уланиши жараёнида ҳосил бўлган реактив қувватга бўлган талаби керакли миқдорда таъминланиб, сосф қиймати 0,723 қийматдан 0,955 гача оширилди.

Адабиётлар

1. 2020-2030 йилларда Ўзбекистон Республикасини электр энергияси билан таъминлаш КОНЦЕПЦИЯСИ. 01.08.2019. 21 б.
2. М.Саъдуллаев, М.Бобожанов, З.Эшмуродов. Бесконтактные средства регулирования реактивной мощности электротехнических установок и пуска электродвигателей. Монография, Ташкент, Навои., ТашГТУ и НГГиТУ: “NAVOIY”, 2022.
3. Б.В.Лукутин., И.О.Муравлев., И.А. Плотников. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 128 с.
4. Баркан Я.Д Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов. М.: Энергия, 1978, с, 238.
5. Иляшов В.П Автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей М: Энергия 1987г, 105 с
6. Юлдошев И.А., Султонов М.Қ., Юлдашев Ф.М. “Қуёш энергетикаси” дарслик/. - Тошкент: “Bookany print” 2022. - 338 б.
7. Юлдошев И.А., Турсунов М.Н., Шоғўчқоров С.Қ., Jamolov T.R. “Қуёш энергетикаси” ўқув кўлланма. -Тошкент: “Sano-standart”, 2019. - 168 б.
8. Лукутин Б.В. и др. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. Монография. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
9. Жежеленко И. В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М., Энергоатомиздат., 2000 г, с.251
10. Константинов Б.А., Зайцев Г.З., Компенсация реактивной мощности. Л., Энергия 1976 г. 104 с.
11. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. -М.: Энергоиздат, 1981. -200 с.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДРАЙВЕРА IGBT

Artur Ledovskikh
Electric Drives Department
Moscow Power Engineering
Institute
Moscow, Russia
www.ArturLED@gmail.com

Alexandr Zhukov
Electric Drives Department
Moscow Power Engineering
Institute
Moscow, Russia
zhukovan@mpei.ru

Artemy Zolotov
Department of Electric
Drives
Moscow Power Engineering
Institute
Moscow, Russia
zolotov.artemiy@gmail.com

Alexey Ionov
Electric Drives Department
Moscow Power Engineering
Institute
Moscow, Russia
ionaleks@yandex.ru

Ksenia Fedorova
Electric Drives Department
Moscow Power Engineering
Institute
Moscow, Russia
fedorovaxg@mpei.ru

Alecksey Anuchin
Electric Drives Department
Moscow Power Engineering
Institute
Moscow, Russia
anuchin.alecksey@gmail.com

Аннотация—транзисторы IGBT высокой мощности используются в силовых электронных преобразователях в различных областях применения: тяговом приводе, горнодобывающем оборудовании, перекачке нефти, воды и так далее. Для управления транзистором требуется специальная плата управления затвором. Эта плата преобразует логический управляющий сигнал в соответствующие значения напряжения, необходимые для открытия и закрытия транзистора. Платы драйверов транзисторов могут выполнять функции защиты IGBT с использованием аппаратных и программных подходов. Интегральные схемы для конкретных задач часто используются в решениях драйверов для реализации управления и защиты. В данной статье описана работа цифрового драйвера, реализация управления и защиты силового транзистора.

Ключевые слова—драйвер IGBT транзистора, защита, обнаружение короткого замыкания, *active clamping*, защита от перенапряжения.

Введение

IGBT широко используются в силовой электронике с момента их изобретения в 1980-х годах [1]-[3]. Они используются в электроприводах, и большая часть их применений относится к используемым устройствам напряжением 600 В, 1,2 кВ и 1,7 кВ. Мощные IGBT с блокирующим напряжением 1,7 кВ требуют интеллектуальной схемы управления для работы и защиты силовых выключателей [4]-[6]. Они используются в тяговых установках **Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.**, горнодобывающем оборудовании **Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.**, нефтяных буровых и насосных станциях **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, и другие приводы напряжением 0,69 кВ переменного тока мощностью от 0,3 до 2,0 МВт.

На цифровой драйвер возлагаются задачи не только управления затвора транзистора, но и задачи по защите ключа от аварийных режимов [17]. Помимо этого, в задачи драйвера обычно входит формирование обратного сигнала, который сигнализирует о состоянии работы драйвера. В этой статье рассматривается реализация цифрового драйвера с управлением и обратной связью по оптическому сигналу с использованием микроконтроллера для силовых транзисторов IGBT.

Аппаратные решения для драйверов IGBT транзисторов

У драйвера есть два оптических канала связи для обмена информацией с системой управления верхнего уровня [18]. Первый канал является входом, используемым для приема сигнала управления транзистором, который преобразуется в напряжение $+15\text{В}/-9\text{В}$, подаваемое на транзистор IGBT [16]. Второй оптический канал является выходным и служит в качестве сигнала обратной связи. По обратной связи подаются импульсы различной длительности для информирования системы управления верхнего уровня о правильной работе транзистора или о неисправности. Плата имеет три силовых вывода для подключения коллектора, затвора и эмиттера IGBT [11]. Для анализа переходных процессов в IGBT используется микроконтроллер. Таким образом, микроконтроллер TMS320F28002x **Ошибка! Источник ссылки не найден.** измеряет значения тока затвора, напряжения на затворе, напряжения коллектора и контролирует напряжение питания. Кроме того, реализованы две схемы измерения напряжения на коллекторе. Первая схема (рис. 5) позволяет контролировать все напряжение на коллекторе в целом диапазоне, а вторая схема (рис. 7, рис. 8) работает в усеченном диапазоне от 0В до 15В для более точного измерения токов транзистора в его проводящем состоянии. Функциональная схема драйвера с подключением к микроконтроллеру показана на **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Драйвер транзистора должен проверять следующие режимы работа IGBT:

- Нормальный режим работы;
- Защита от перенапряжения (active clamping);
- Обнаружение подключения к транзистору;
- Обнаружение короткого замыкания;
- Обнаружение перегрузки по току;
- Защита при пониженном напряжении.

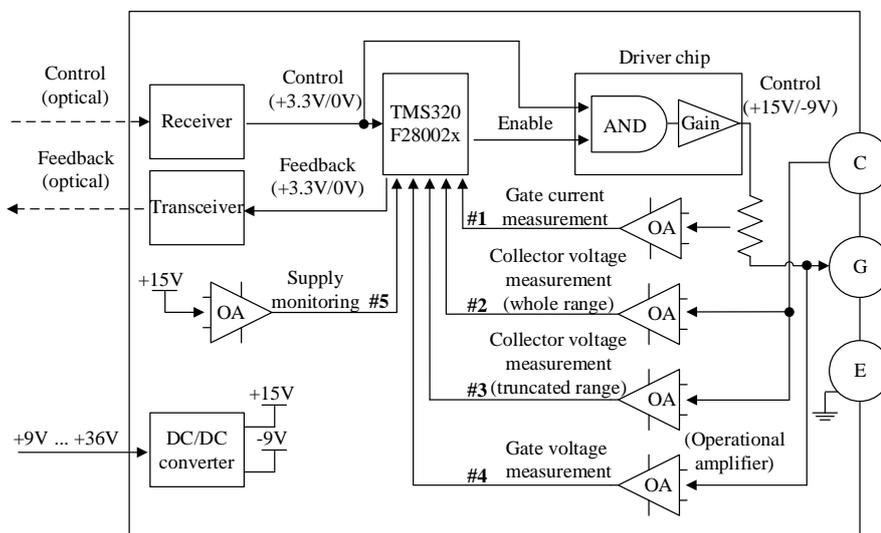


Рис. 1. Функциональная схема драйвера IGBT транзистора.

Нормальный режим работы

В нормальном режиме работы сигнал «Enable», разрешающий управление усилительного каскада затвора транзистора имеет значение логической 1.

При получении сигнала управления «Control» с верхнего уровня подаётся напряжение на транзистор, а микроконтроллер через 250 нс подаёт импульс по обратной связи длиной 700 нс, обозначающий приём сигнала управления. При получении сигнала управления на закрытие транзистора, аналогично, через 250 нс выдаётся импульс 700 нс по обратной связи. Временная диаграмма представлена на

Ошибка! Источник ссылки не найден. b

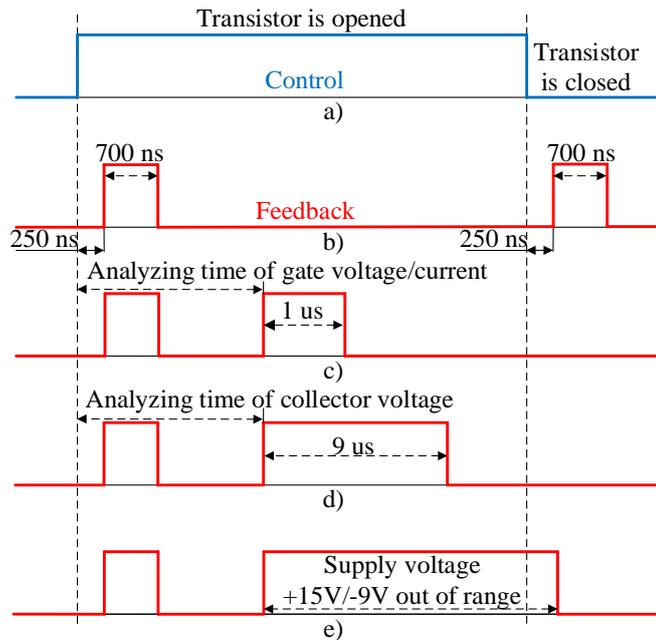


Рис. 2. Временные диаграммы оптических сигналов: а—входной сигнал; б—обратная связь о нормальной работе; в—ток затвора или напряжение затвора превышают обратную связь о неисправности; г—обратная связь о защите от короткого замыкания или перегрузки по току; д—обратная связь об отказе источника питания.

Обнаружение подключения к транзистору

Так как в основном драйверы крепятся к модулю транзистора болтовым соединением, возможен вариант ненадежного контакта драйвера с транзистором. Это, в свою очередь, может привести к тому, что затвор транзистора будет «висеть в воздухе» и может привести самопроизвольному открытию транзистора, что категорически недопустимо.

Обнаружение подключения транзистора происходит в момент включения и выключения транзистора по управляющему сигналу. Сам затвор транзистора можно представить как RC цепь, и когда напряжение подаётся на затвор происходит скачок тока. Если драйвер имеет ненадёжный контакт с транзистором тока не будет.

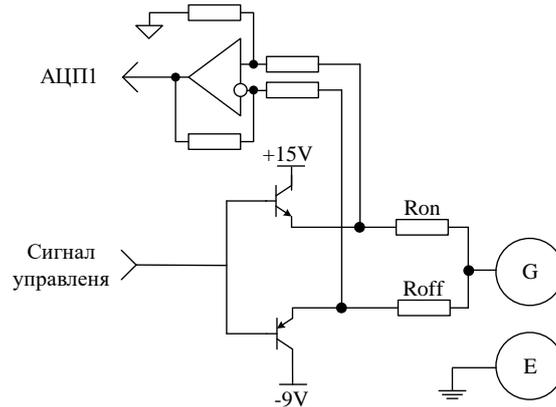


Рис. 3. Схема измерения тока затвора

Скачок тока затвора транзистора во время включения измеряется на затворных резисторах, рис. 3. При отсутствии тока на затвор подаётся напряжение закрытия и выдается обратный сигнал, представленный на рис.2 е. Диаграмма переходного процесса представлена на рис. 4

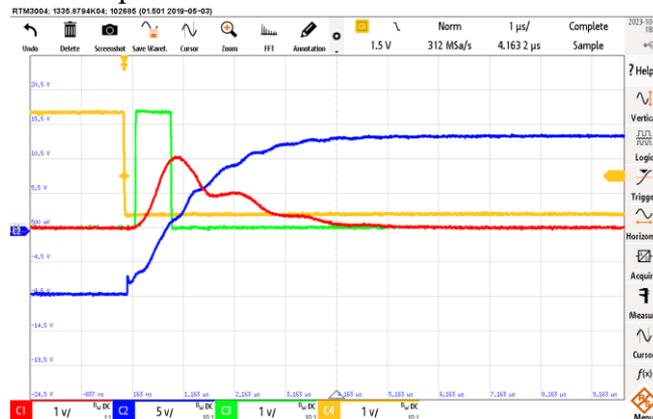


Рис. 4. Переходные процессы во время открытия транзистора в нормальном режиме работы: желтый—инвертированный управляющий сигнал, синий—напряжение затвора, красный—ток затвора, зеленый—сигнал обратной связи драйвера.

Обнаружение короткого замыкания

Наличие короткого замыкания в нагрузке цепи транзистора может привести большому току, который выведет транзистор из строя. Стоит отметить, что IGBT транзисторы могут выдерживать импульсный ток, превышающий номинальный. Поэтому важно обнаружить короткое замыкание в цепи транзистора в момент во время его включения.

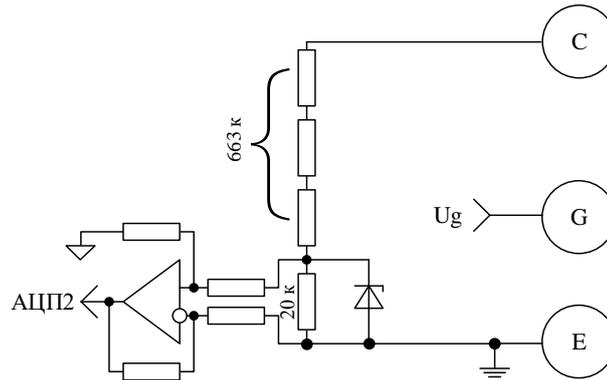


Рис. 5. Схема обнаружения короткого замыкания

Особенность данного режима заключается в том, что необходимо измерять напряжение коллектора. При включении транзистора на короткое замыкание напряжение коллектор-эмиттер падает значительно дольше и задачей микроконтроллера является измерение этого напряжения через 8 мкс. Если напряжение на коллекторе превышает заданную уставку транзистор закрывается изменением сигнала «Enable» и выдается обратная связь, представленная на рис 2 d. Электрическая схема представлена на рис. 5, напряжение коллектора измеряется с помощью делителя напряжения, а стабилитрон нужен для ограничения измеряемого напряжения, если оно выйдет за диапазон.

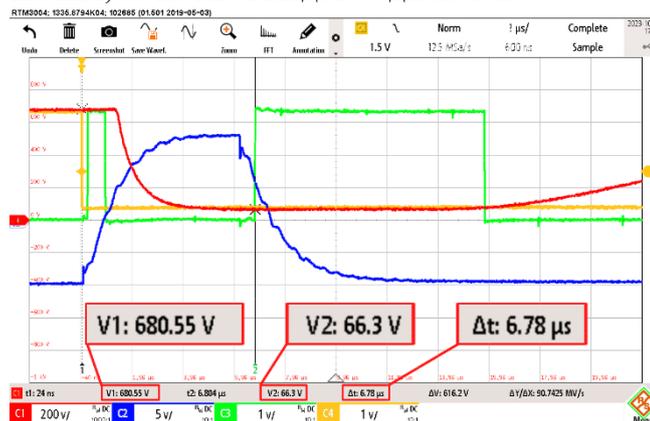


Рис. 6. Переходные процессы сигналов при коротком замыкании : желтый — управляющий сигнал, синий—напряжение затвора, красный—напряжение коллектор-эмиттер, зеленый—сигнал обратной связи драйвера.

Важно учитывать, что у цепочки делителя напряжения высокое сопротивление и имеется паразитная ёмкость. Из-за этого измеряемый сигнал запаздывает относительно реального напряжения коллекторе.

Обнаружение перегрузки по току

Во время включенного состояния транзистора может случиться короткое замыкание или превышение тока в его цепи, что приводит к неисправности модуля IGBT.

Для обнаружения данного аварийного режима используется цепь desat, представленной на рис. 7 и рис.8. Из-за сопротивления перехода коллектор-эмиттер при увеличении тока – увеличивается падение напряжение на транзисторе. Это напряжение предлагается измерять двумя способами, либо через соответствующую микросхему драйвера с функцией обнаружения desat, либо

проводить измерение средствами микроконтроллера.

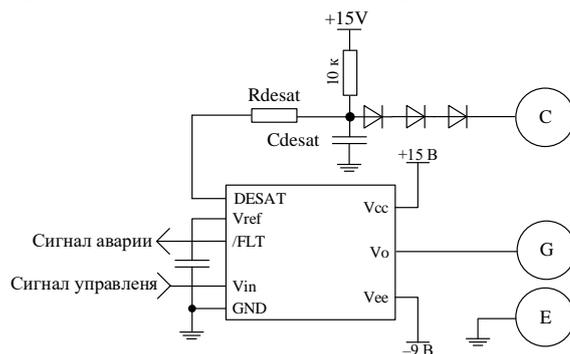


Рис. 7. Схема обнаружения короткого замыкания с использованием микросхемы драйвера

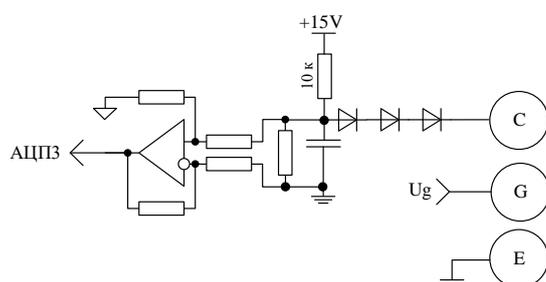


Рис. 8. Схема обнаружения короткого замыкания с использованием микроконтроллера

Важно учитывать, что это падение напряжения можно измерять только после полного открытия транзистора. Поэтому для случая измерения с помощью микросхемы с функцией desat нужно предусмотреть RC цепочку, рассчитав R_{desat} и C_{desat} , а для случая с микроконтроллером – настроить время первого измерения. При срабатывании защита выдаётся сигнал обратной связи согласно рис. 2 с.

Защита при пониженном напряжении

Пониженное напряжение на затворе может привести к увеличению времени на открытие транзистора, что приводит к увеличению коммутационных потерь. Отслеживание уровня напряжения на плате необходимо для правильной коммутации силового транзистора.

На плате драйвера реализуется 2 проверки напряжения: напряжение питания платы и напряжение на затворе транзистора.

При недопустимом напряжении на затворе подаётся напряжение -9 В и выдается обратная связь согласно рис. 2 с.

При понижении напряжения питания платы драйвера меньше заданного значения на затвор подаётся -9 В и выдается сигнал обратной связи согласно рис. 2 е. пример работы рис. 9 и рис 10.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

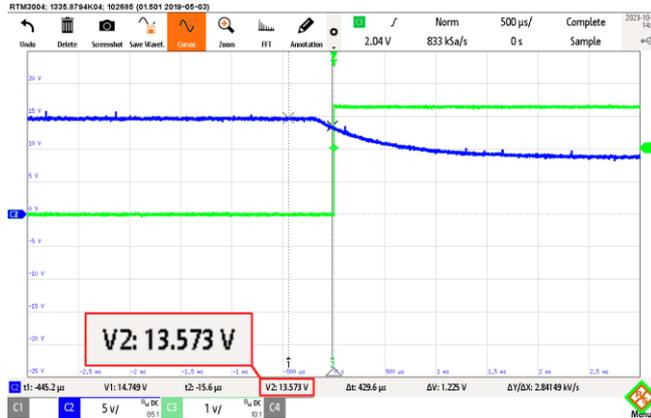


Рис. 9. Сигнал обратной связи при неисправности по напряжению питания платы. Синий – напряжение питания. Зелёный – сигнал обратной связи

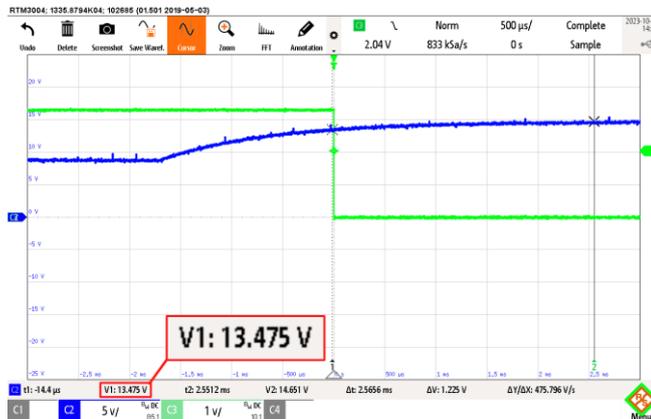


Рис. 10. Сигнал обратной связи при восстановлении напряжения питания платы. Синий – напряжение питания. Зелёный – сигнал обратной связи

Защита от перенапряжения (active clamping)

Коммутация тока индуктивной нагрузки приводит к перенапряжению при закрытии транзистора. В свою очередь превышение максимального напряжения коллектор-эмиттер приводит к выход из строя транзистора.

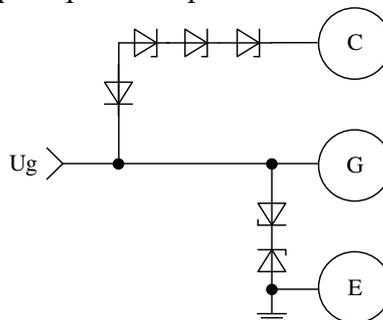


Рис. 11. Схема защиты active clamping

На плате драйвера предусматривается цепочка active clamping (рис. 11), состоящая из цепочки стабилитронов и диода, блокирующего обратное напряжение. Для силового транзистора класса напряжения 1700 В цепочка active clamping выбирается на менее 1500В. Желательно использовать быстродействующие TVS

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

диоды поверхностного монтажа для уменьшения индуктивности. При этом предусматривается защита затвора от перенапряжения, вызванного работой цепочки active clamping в виде двунаправленного защитного диода.

Заключение

В данной статье описаны основные особенности схемотехники цифрового драйвера для силовых IGBT транзисторов. Особенностью рассмотренного драйвера является взаимодействие по обратной связи с системой верхнего уровня с использованием оптического канала, управление транзистором и определения режима работы ключа с целью его защиты при аварийных ситуациях.

В документе представлена функциональная схема подключения к микроконтроллеру и электрические схемы основных узлов цифрового драйвера. Эффективность решений проверена на опытном образце в инверторе высокомоощного привода.

Список литературы

- [1] A. R. Hefner, D. L. Blackburn and K. F. Galloway, "The Effect of Neutrons on the Characteristics of the Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)," in *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 33, no. 6, pp. 1428-1434, Dec. 1986, doi: 10.1109/TNS.1986.4334618.
- [2] A. R. Hefner and D. L. Blackburn, "Performance trade-off for the Insulated Gate Bipolar Transistor: Buffer layer versus base lifetime reduction," 1986 17th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vancouver, BC, Canada, 1986, pp. 27-38, doi: 10.1109/PESC.1986.7415543.
- [3] A. Nakagawa, S. Nakamura and T. Shinohe, "Rapid Convergence Bipolar-MOS Composite Device Model - Tonadder- And Its Application To Bipolar-Mode MOSFETs(IGBT)," [1987] NASECODE V: Proceedings of the Fifth International Conference on the Numerical Analysis of Semiconductor Devices and Integrated Circuits, Dublin, Ireland, 1987, pp. 295-300, doi: 10.1109/NASCOD.1987.721195.
- [4] K. Horii et al., "Large Current Output Digital Gate Driver for 6500 V, 1000 A IGBT Module to Reduce Switching Loss and Collector Current Overshoot," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, doi: 10.1109/TPEL.2023.3259521.
- [5] M. Parker, I. Sahin, R. Mathieson, S. Finney and P. D. Judge, "Investigation Into Active Gate-Driving Timing Resolution and Complexity Requirements for a 1200 V 400 A Silicon Carbide Half Bridge Module," in *IEEE Open Journal of Power Electronics*, vol. 4, pp. 161-175, 2023, doi: 10.1109/OJPEL.2023.3250086.
- [6] Z. Lou, T. Mamee, K. Hata, M. Takamiya, S. -I. Nishizawa and W. Saito, "IGBT Power Module Design for Suppressing Gate Voltage Spike at Digital Gate Control," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 6632-6640, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3237266.
- [7] V. Dmitrievskii, V. Prakht, A. Anuchin and V. Kazakbaev, "Traction Synchronous Homopolar Motor: Simplified Computation Technique and Experimental Validation," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 185112-185120, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3029740.
- [8] V. Dmitrievskii, V. Prakht, V. Kazakbaev, and A. Anuchin, "Comparison of Interior Permanent Magnet and Synchronous Homopolar Motors for a Mining Dump Truck Traction Drive Operated in Wide Constant Power Speed Range," *Mathematics*, vol. 10, no. 9, p. 1581, May 2022, doi: 10.3390/math10091581. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/math10091581>.
- [9] V. Prakht, V. Dmitrievskii, A. Anuchin, and V. Kazakbaev, "Inverter Volt-Ampere Capacity Reduction by Optimization of the Traction Synchronous Homopolar Motor," *Mathematics*, vol. 9, no. 22, p. 2859, Nov. 2021, doi: 10.3390/math9222859. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/math9222859>.
- [10] Online:TMS320F28002x Real-Time Microcontrollers datasheet (Rev. B) (qeeniu.net), last access December 8, 2023.
- [11] Idir, Nadir. "Turn-on Performance of Reverse Blocking IGBT (RB IGBT) and Optimization Using Advanced Gate Driver." *IEEE Transactions on Power Electronics* (2010): n. pag. Print.
- [12] Chen Hao and Xie Guilin, "80C31 single chip computer control of the switched reluctance motor for locomotive in coal mines," ICEMS'2001. Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems (IEEE Cat. No.01EX501), Shenyang, China, 2001, pp. 604-607 vol.1, doi: 10.1109/ICEMS.2001.970748.
- [13] Hao Chen, Dong Zhang and Xianjun Meng, "Analysis of three-phase 12/8 structure switched reluctance motor drive," ISIE 2001. 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceedings (Cat. No.01TH8570), Pusan, Korea (South), 2001, pp. 781-785 vol.2, doi: 10.1109/ISIE.2001.931567.

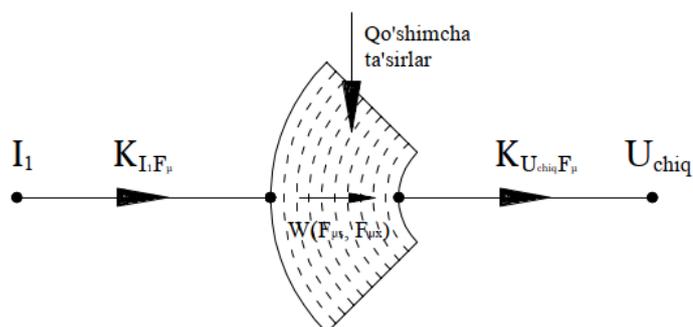
- [14] X. Shaohui, C. Hao, C. He and Y. Shunhao, "Research on parallel switching device current sharing of Switched Reluctance Motor," 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), St. Petersburg and Moscow, Russia, 2017, pp. 1070-1074, doi: 10.1109/EIConRus.2017.7910741.
- [15] H. C. Hill and J. B. S. Legue, "Electrical equipment for oil-field operations," in Electrical Engineering, vol. 50, no. 9, pp. 753-754, Sept. 1931, doi: 10.1109/EE.1931.6429434.
- [16] R. Herzer, "Integrated gate driver circuit solutions," 2010 6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems, Nuremberg, Germany, 2010, pp. 1-10.
- [17] E. Flores, A. Claudio, J. Aguayo and L. Hernandez, "Fault Detection Circuit Based on IGBT Gate Signal," in IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 2, pp. 541-548, Feb. 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7437190.
- [18] A. Zhukov, A. Ledovskikh, N. Kuraev, A. Ionov, K. Fedorova and A. Anuchin, "Development of an IGBT Driver Test Bench," 2023 XIX International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED), Ekaterinburg, Russian Federation, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ACED57798.2023.10143451.

ASINXRON MOTORLARNING UCH FAZALI TOK O'ZGARTKICHLARINI FIZIK-TEXNIK EFFEKTLARI

I.X.Siddiqov, M.T.Maxsudov, D.D.Karimjonov

Annotatsiya. Ushbu maqolada asinxron motorda hosil bo'luvchi reaktiv quvvatning miqdoriga bevosita ta'sir ko'rsatuvchi nosimmetik va yuqori garmonika toklarini chiqish signallariga aylanishidagi elementlar hamda kattaliklarning zanjirlararo bog'lanishlarini tadqiq etish va shu bilan bir qatorda o'zgartkich tuzilmasini tashkil etuvchi fizik-texnik effekt jarayonlarining graf modellari keltirilgan.

Birlamchi uch fazali toklarni chiqish kuchlanishlariga o'zgartirish jarayonini va o'zgartkich tuzilmasining modelini qurish algoritmi har xil turdagi fizik tabiatli signal o'zgartirish tamoyillarini, o'zgartkich tuzilmasi va elementlarining kattaliklari hamda parametrlarining o'zaro munosabatlarini o'z ichiga oladi. Ushbu algoritmlar asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalarini nazorat qilish va boshqarish jarayonlariga mos keladi [1-4].



1-rasm. Har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqasiga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichida kechuvchi fizik-texnik effekt jarayonlarining graf modeli.

Asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartkichi tuzilmalarining fizik-texnik effektlarini modellashtirishda, elektromagnit o'zgartkichning tuzilmasida mavjud fizik-texnik effektlar e'tiborga olingan parametrik tuzilish sxemasi, elektr kattalik va qo'shimcha ta'sirlarning parametrlarini o'zgartirish, ularni o'zaro bog'lanish tuzilmasining graf model ishlab chiqiladi. Asinxron motorning elektromagnit tok

o'zgartirishini tuzilmasi va FTE lar asosida tuzilgan modellarning ko'rinishi 1 va 2-rasmlarda keltirilgan [3,5].

$$U_{chiq} = K_{U_{chiq}F_{\mu}} W(F_{\mu s}, F_{\mu x}) K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (1)$$

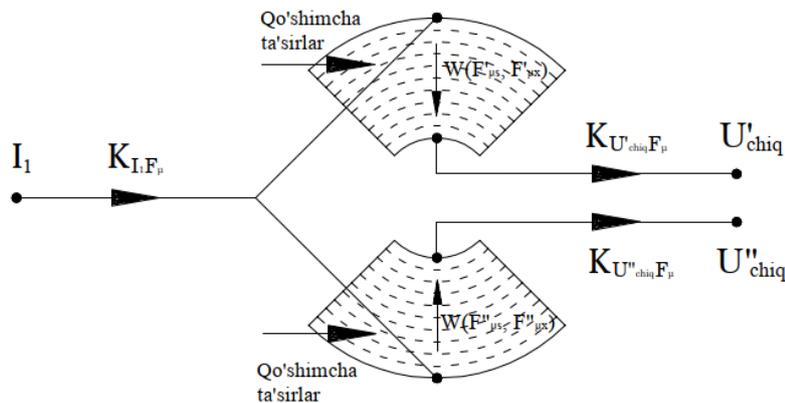
bu yerda U_{chiq} – chiqish kuchlanishining tashkil etuvchisi; $K_{U_{chiq}F_{\mu}}$ – Magnit yurituvchi kuch va chiqish kuchlanishi tashkil etuvchisi orasidagi zanjirlararo bog'lanish koeffitsienti, $K_{I_1 F_{\mu}}$ – stator toki va magnit yurituvchi kuchi tashkil etuvchisi orasidagi zanjirlararo bog'lanish koeffitsienti – tokni kuchlanishga o'zgartirish asosini tashkil etuvchi FTE; $W(F_{\mu s}, F_{\mu x})$ – magnit o'zgartirish bo'lagining uzatish funksiyasi.

Asinxron motor stator chulg'amlari bilan mos tartibda joylashtirilgan har bir faza uchun mos, ikkita sezgir element xalqalariga ega va stator toklarini ifodalovchi chiqish signali uch fazali elektromagnit o'zgartirichlariga tegishli tuzilmalarni FTE jarayonlarini modellashtirish [6].

$$U'_{chiq} = K_{U'_{chiq}F_{\mu}} W(F'_{\mu s}, F'_{\mu x}) K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (2)$$

$$U''_{chiq} = K_{U''_{chiq}F_{\mu}} W(F''_{\mu s}, F''_{\mu x}) K_{I_1 F_{\mu}} I_1 \quad (3)$$

bu yerda U'_{chiq} va U''_{chiq} – chiqish kuchlanishlarining tashkil etuvchilari; $K_{U'_{chiq}F_{\mu}}$ va $K_{U''_{chiq}F_{\mu}}$ – Magnit yurituvchi kuchlar va chiqish kuchlanishlari tashkil etuvchilari orasidagi zanjirlararo bog'lanish koeffitsientlari, $K_{I_1 F_{\mu}}$ – stator toki va magnit yurituvchi kuchi tashkil etuvchisi orasidagi zanjirlararo bog'lanish koeffitsienti – tokni kuchlanishga o'zgartirish asosini tashkil etuvchi FTE; $W(F'_{\mu s}, F'_{\mu x})$ va $W(F''_{\mu s}, F''_{\mu x})$ – magnit o'zgartirish bo'lagining uzatish funksiyalari.



2-rasm. Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega asinxron motor uch fazali elektromagnit tok o'zgartirichida kechuvchi fizik–texnik effekt jarayonlarining graf modeli.

Stator pazlaridagi sezgir elementning chiqish signaliga ta'sir ko'rsatuvchi haroratning qiymati qo'shimcha ta'sirlar toifasiga mansub hisoblanib elektromagnit tok o'zgartirichning chiqish signallarining aniqlik ko'rsatkichiga salbiy ta'sir ko'rsatadi, turli ta'sirlar sabab asinxron motordagi ichki hamda tashqi muhit haroratlari elektromagnit tok

o'zgartkichidan chiquvchi signallarga bevosita bog'liq va bu Π_{μ} – magnit tizimining parametriga ta'sir ko'rsatadi. Chiqish kuchlanish signallarini haroratga bog'liqligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\Pi_{\mu} = \frac{1}{((1 + \alpha t + \beta t^2)R_{\mu} + R_{\mu\delta})} \quad (4)$$

bu yerda t – sezgir elementga ta'sir etuvchi temperatura, α , β – termik koeffitsientlar, $R_{\mu} = l_{\mu}/\mu S$ – aktiv magnit qarshiligi, l_{μ} – magnit o'tkazgichning uzunligi, S – yuza, $R_{\mu\delta} = \delta/\mu_0 S$ – havo oralig'ining magnit qarshiligi, δ – havo oralig'ining qiymati.

$$U_{chiq} = \frac{1}{((1 + \alpha t + \beta t^2)R_{\mu} + R_{\mu\delta})} K_{U_{chiq}F_{\mu}} K_{I_1F_{\mu}} I_1 \quad (5)$$

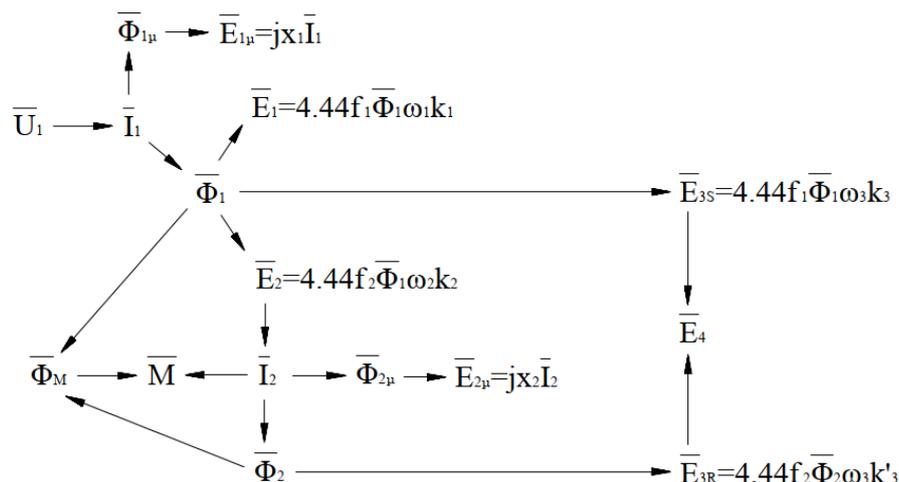
Har bir faza uchun mos ikkita sezgir element xalqalariga ega bo'lgan asinxron motor tok o'zgartkichidan chiquvchi kuchlanishlarining temperaturaga bog'liqligi quyidagicha aniqlanadi [7]:

$$U'_{chiq} = \frac{1}{((1 + \alpha t' + \beta (t')^2)R'_{\mu} + R_{\mu\delta})} K_{U'_{chiq}F_{\mu}} K_{I_1F_{\mu}} I_1 \quad (6)$$

$$U''_{chiq} = \frac{1}{((1 + \alpha t'' + \beta (t'')^2)R''_{\mu} + R_{\mu\delta})} K_{U''_{chiq}F_{\mu}} K_{I_1F_{\mu}} I_1 \quad (7)$$

Asinxron motor reaktiv quvvatining filtr-kompensatsiya qurilmalari uchun uch fazali tok elektromagnit o'zgartkichning chiqish elektr kattaliklarini aniqlashda asinxron motor elektromagnit tok o'zgartkichning almashtirish sxemasi ahamiyatli hisoblanadi, buning natijasida nazariy hisob-kitoblar va simulyatsion model orqali asinxron motorning turli ish rejimlaridagi elektromagnit tok o'zgartkichi chiqish kuchlanishlarining parametrlarini aniqlash vaqti qisqaradi [8].

Asinxron motorning stator chulg'amidagi U_I kuchlanish, chulg'amda I_1 tokni hosil qiladi, o'z navbatida tok kuchi asosiy Φ_I va sochilish Φ_{μ} magnit oqimlari hosil qiladi. Magnit oqim stator va rotor o'rtasida "ko'prik" vazifasini bajaradi va ular orasidagi energiya almashinuvini ta'minlaydi (3-rasm).



3-rasm. Sezgir element halqalarida hosil bo‘luvchi elektr yurituvchi kuchlarning sxemasi.

Tadqiq etilgan asinxron motorning har bir faza uchun mos bitta sezgir element xalqali yoki ikkita sezgir element xalqalaridan tashkil topgan uch fazali elektromagnit tok o‘zgartkich kattalik va parametrlarni o‘zgarish jarayonlari, modellari, va ularning tuzish algoritmlaridan ko‘rinib turibdiki, kirish kattaliklari va parametrlari, o‘zgartirish elementlarida stator tokini chiqish kuchlanishlariga o‘zgarishida o‘zgartkich tuzilmalarini qurish, signal o‘zgartirish tuzilmalarida qaysi turdagi fizik-texnik effektlar qo‘llanishi kerakligini bilish talab etiladi. Agar o‘zgartkich tuzilmasidagi fizik-texnik effektlar aniq bo‘lsa, ushbu holatda graf model o‘zgartkich parametrlari hamda kattaliklarining o‘zaro bog‘liqligi, o‘zgartkich tuzilmalariga tegishli elementlarni hisobga olish asnosida ishlab chiqiladi. Buning natijasida kirish kattaliklarini chiqish kattaliklariga o‘zgartirish elementlarini graf model ko‘rinishi va ularning o‘zgarish jarayonlarini ketma-ketligini ta’minlash orqali amalga oshiriladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. I.X.Siddiqov, M.T.Maxsudov. Асинхрон моторларнинг реактив quvvat iste’molini o‘lchov, nazorat va boshqaruvini uch fazali tok o‘zgartkichlari. Monografiya. –AndMI, 2022. – 106 bet.
2. Zhao, J., Lu, Y., Zhai, C., He, Q., Huang, X., & Wang, Y. (2019). Method for the absolute calibration of direct-current current transducers. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 68(6), 1961-1966.
3. Lu, C., Zhou, H., Li, L., Yang, A., Xu, C., Ou, Z., ... & Tian, F. (2022). Split-core magnetoelectric current sensor and wireless current measurement application. *Measurement*, 188, 110527.
4. I. K. Siddikov, M. A. Anarbaev, A. A. Abdumalikov, M. A. Sobirov, M. T. Maxsudov and I. M. Xonturaev, "Technological aspects of modelling and research of smart grid," *2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011936.
5. I.K. Siddikov, M.A. Anarbaev, A.A. Abdumalikov, A. B. Abubakirov, M.T. Maxsudov and I.M. Xonturaev, "Modelling of transducers of nonsymmetrical signals of electrical nets," *2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011981.

6. A.Q. Ergashev, O.K. Turakulov, A.A. Abdumalikov and O.A. Kayumov, "Algorithms for highlighting the contours of images based on the theory of fuzzy sets," 2022 *International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, Tashkent, Uzbekistan, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT55600.2022.10146799.

7. Siddikov, I.Kh., Malikov, A., Makhsudov, M.T., Boikhanov, Z.U., Uzaqov, R. Study of the Static Characteristics of the Secondary Stator Voltage Converter of the Currents of an Induction Motor, AIP Conference Proceedings 2432, 020003 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0089681>.

8. Makhsudov, M., & Karimjonov, D. (2023). Research algorithm and dynamic characteristics of three-phase electromagnetic current transducers in filter-compensation devices. In E3S Web of Conferences (Vol. 461, p. 01056). EDP Sciences.

УДК 621.311.721

ENERGIYA TEJAMKOR KONTAKTSIZ KOMMUTATSION QURILMALARINI ELEKTRMEХАNIKA TIZIMLARIDA QO'LLASH

Abduraimov E.X., t.f.n., dotsent, ToshDTU, O'zbekiston

Maqolada kontakt-siz kommutatsiya qurilmalarining kontaktli qurilmalarga nisbatan afzalliklarini tahlil qilgan holda, elektryuritmaları yani elektromexanik va elektrtexnologik tizimlarida qo'llanilishi mumkin bo'lgan energiya tejoychi yarim o'tkazgichli kontakt-siz kommutatsiya qurilmalarini ishlab chiqishni taqdim etadi. Qayd etilishicha, kuchli elektromexanik yuklarni tarmoqqa ulash uchun yarim o'tkazgichli kommutatsiya qurilmalaridan foydalanish energiya yo'qotilishining kamayishiga olib keladi. Ishlab chiqilgan kalitlar, ajratgichlar, o'chirgichlar, kuchlanish (tok) relelari elektr sxemalari, ularning ishlash tamoyillari va tavsiflari bilan taqdim etilgan. Ushbu kontakt-siz kommutatsiya qurilmalarini elektromexanik va elektrtexnologik tizimlarida keng qo'llash tavsiya etiladi.

Kalit so'zlar: *kontakt-siz qurilmalar, yarim o'tkazgich, tarmoq, tok, rele, tristorli kontaktorlar, elektr zanjiri, ulash, uzish, yuklama, boshqaruvchi elektrod,*

В статье представлены разработки энергосберегающих полупроводниковых бесконтактных коммутационных устройств, которые могут быть использованы в электроприводах, электромеханических и электротехнологических системах, анализируются преимущества бесконтактных коммутационных устройств перед контактными устройствами. Отмечено, что использование полупроводниковых коммутационных устройств для подключения к сети мощных электромеханических нагрузок приводит к снижению потерь энергии. Разработанные выключатели, разъединители, автоматические выключатели, реле напряжения (тока) представлены с электрическими схемами, принципами их работы и описаниями. Рекомендуется широко использовать данные бесконтактные коммутационные устройства в электромеханических и электротехнологических системах.

Ключевые слова: *бесконтактные устройства, полупроводник, сеть, ток, реле, тиристорные контакторы, электрическая цепь, подключение, отключение, нагрузка, управляющий электрод.*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

In the article presents the development of energy-saving semiconductor contactless switching devices that can be used in electric drives, electromechanical and electro technological systems, and analyzes the advantages of contactless switching devices over contact devices. It is noted that the use of semiconductor switching devices to connect powerful electromechanical loads to the network leads to a reduction in energy losses. The developed switches, disconnectors, circuit breakers, voltage (current) relays are presented with electrical diagrams, principles of their operation and descriptions. It is recommended to widely use these contactless switching devices in electromechanical and electro technological systems.

Key words: contactless devices, semiconductor, network, current, relay, tiristor contactors, electrical circuit, connection, disconnection, load, control electrode.

Sanoat korxonalida ishlab chiqarish jarayonlarining keng miqyosida avtomatlashtirilishi, avtomatik boshqaruv tizimlarini tadbiq qilinishi natijasida elektr jixoz va uskunalarning uzoq muddatga yaroqliligiga, chidamliligiga, kam xarajatliliga va ishlash tezligiga bo'lgan talablarniancha kuchaytirdi. Bunday talablarning asosiy qismiga kontaktsiz elektr qurilmalari javob bera oladi.

Kontaktsiz elektr qurilmasi deganda, elektr zanjirlarini fizik ajratmagan xolatda ularni uzish yoki ulash tushuniladi. Kontaktsiz qurilmalarning kontaktli qurilmalarga nisbatan afzalliklari bu ularning xarakterlanuvchan qismi va kontaktlarining yo'qlig'i, ishlash tezligi yuqori chastota bilan qayta ulanishidir. Katta quvvatli kontaktli qurilmalarda xarakterlanuvchan qismi inertsiyasi xisobiga ishlash tezligi kamayadi. Kontaktsiz qurilmalarda esa xarakterlanuvchi qismlar yo'qligi uchun xam qayta ulanish vaqti kontaktililarga nisbatan bir necha barobariga kichik bo'ladi.

Kontakt va ishqalanuvchan qismlarning emirilishi, kontaktli qurilmalarning xizmat vaqtini chegaralaydi, shuning uchun ularning ishlatilishi uzib-ulashlar soni bilan belgilanadi. Kontaktsiz qurilmalarda ishqalanuvchi qismi va kontaktlari bo'lmaganligi sababli, qayta ulanishlar soniga nisbatan amaliy cheklashlar yo'q. Kontaktsiz qurilmalarining ishlatish vaqti asosan shu qurilmadagi ishlatilgan komponentlarning eskirishiga bog'liq, ayrim qurilmalar borki, ularning ishlatilish vaqti deyarli cheklanmagan.

Kontaktli qurilmalarda kontaktlarni chang ifloslardan saqlash choralari ko'rish, portlashga xavfli joylarda kontaktlar orasida vujudga keluvchi uchqun yoki yoylarning oldini olish choralari ko'rilishi talab qilinadi.

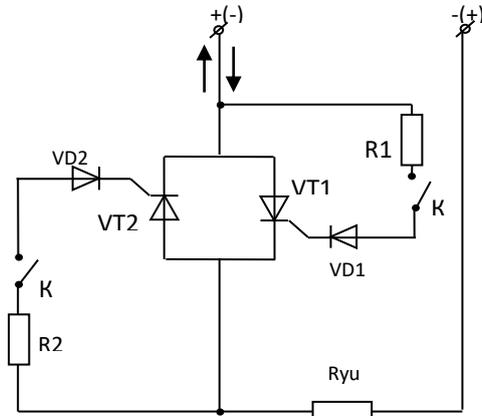
Ishlatish qulayligi kontaktsiz qurilmalarda (ko'p va og'ir mexnat talab qiladigan kontaktlarni tozalash va sozlash ishlarining yo'qligi), mexanik turg'unligi, ish qobilyatini xar qanday xolatda saqlab qolishi, portlashga xavfli va ifloslangan muxitda ishlatilishi mumkinligi kontaktsiz qurilmalarini elektrotexnikada keng ishlatilishiga olib keldi.

Kontaktsiz qurilmalarning ishlash tamoyili noxiziqli volt-ampere xarakteristikasiga ega bo'lgan elementning ishlatilishiga asoslangan. Ulardan asosiy elektr asbobsozligida qo'llaniladiganlari noxiziqli induktivlik (ferromagnit o'zakli chulg'am) va noxiziqli aktiv elementlar (yarim o'tkazgichli qurilmalar). Bunda noxiziqli element ishchi zanjirga manba bilan yuklama orasiga ulanib, u qarshiligini elektr tokiga kichik qiymatdan katta qiymatgacha o'zgartirishi mumkin. Bu qarshilik o'zgartirishini kichik quvvat xisobiga bajarilib yuklamadagi katta quvvatni boshqarish mumkin.

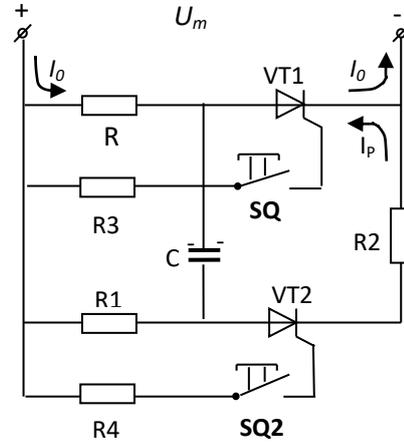
Xozirgi davrda ishlab chiqarishni boshqarish tizimini avtomatlashtirish asosan yarim o'tkazgichli xamda mikroprotessorli asboblardan foydalanish bilan xal etilmoqda.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Tiristorli kontaktorlar o'zgaruvchan va o'zgarmas tokda ishlaydigan xillarga bo'linadi.(1,2-rasmlar) Bu sxemalardan iste'molchini bir fazali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulab-uzishda foydalaniladi.



1-rasm. Tiristorli o'zgaruvchan tok kontaktori sxemasi

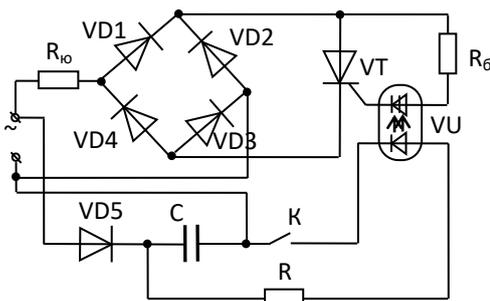


2-rasm. Tiristorli o'zgarmas tok kontaktori sxemasi

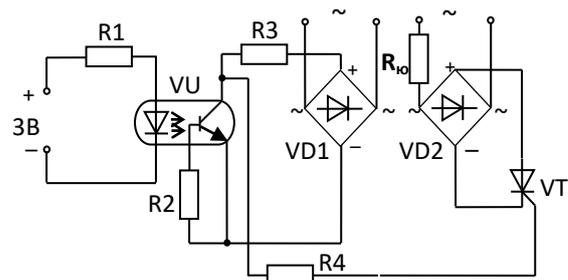
Kuch zanjirlarini kommutatsiyalovchi (uzib-uloqchi) elektromagnitli apparatlar kontaktorlar, magnitli ishga tushirgichlar va boshqa shunga o'xshash elementlarning eng muxim kamchiligi ulardagi kontaktlar ishonchligining pastligidir. Katta toklarning kommutatsiyasi kontaktlar orasida yoyning vujudga kelishi bilan bog'langan. Bu esa ularning qizishiga, erishiga va natijada kommutatsiyalovchi apparatlarning ishdan chiqishiga olib keladi. Kuch zanjirlari tez-tez ulab-uzib turiladigan qurilmalarda kommutatsiyalovchi apparatlar kontaktlarining ishonchsiz ishlashi butun qurilmaning ishlashiga salbiy ta'sir qiladi. Tiristorlar asosida yaratilgan tiristorli kontaktorlar yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklardan xolidir.

Ko'rib chiqilgan sxemada tiristorni ulash kalit yordamida amalga oshirilishiga qaramasdan, bu tiristorli kontaktorning ishlash ishonchligi elektromagnit kontaktornikidan ancha yuqori, chunki kalit kontaktlari boshqaruvchi elektrodlar zanjirini kommutatsiyalaydi, ularga esa yuklama tokidan bir necha million martagacha kichik tok keladi. Kalit o'rnida relening kontaktidan foydalanish mumkin. Tiristorli kontaktorlarni elektron sxemalar yordamida kontaktsiz qilish mumkin. Bir fazali tiristorli kontaktorlar asosida uch fazali tiristorli kontaktorlarni yaratish xech qanday qiyinchilik tug'dirmaydi.

Tiristorli o'zgarmas tok kontaktori o'zgaruvchan tok tiristorli kontaktoridan farqli o'laroq majburiy kommutatsiya uzelliga ega bo'lishi kerak. Chunki, tiristorni yopish uchun boshqaruvchi signalnigina o'chirish kifoya qilmay, balki tiristor tokini xam nolgacha pasaytirish kerak.



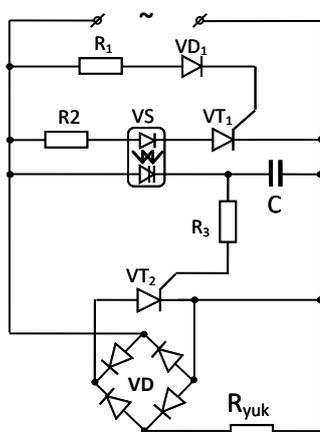
3-rasm. Bir fazali kontaktsiz static uzgichi sxemasi



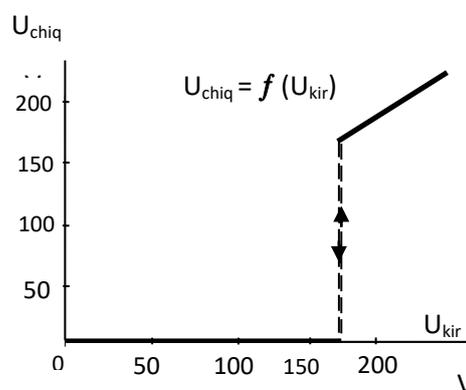
4-rasm. Transistor optronli kontaktsiz kommutator sxemasi

Yarim o'tkazgichli asboblarda asosida tiristorli optojuftlikdan foydalanilgan holda o'zgaruvchan tok bir fazali kontaktsiz statik uzgichi (3-rasm) hamda tranzistor optronli kontaktsiz kommutator sxemalari (4-rasm) ishlab chiqilgan.

Katta quvvatli tiristorli qurilmalarni keng ishlab chiqarilishini yo'lga qo'yilishi ularni kontaktsiz kuchli qurilmalarni yaratish imkonini berdi. Toshkent davlat texnika universitetining "Elektrotexnika" kafedrasida bunday qurilmalar ustida izlanishlar olib borilgan. Bunday qurilmalardan kontaktsiz tiristorli o'zgaruvchan kuchlanish (5,6-rasmlar) (tok) rele, tranzistorli kuchaytirgichi asosidagi kontaktsiz yarim o'tkazgichli rele, yarim o'tkazgichli optoelektron asboblari asosidagi kuchaytirgich relolari, vaqt rele, undan tashqari stabilizatorlarning yangi turlarini yaratishda bu relolarni, optoelementlarni boshqarish va kuch zanjirlarida ishlatish ishlari ustida izlanishlar olib borilmoqda.



5-rasm. Optik elektronli kuchlanish rele



6-rasm. "kirish-chiqish" tavsifi

Xozigi vaqtda tiristorli qurilmalar elektromexanik tizimlarida, Elektr yuritmalarini kontaktsiz kommutatsiyalash va rostlovchi qurilmalari sifatida keng qo'llanilmoqda. Bunday qurilma jixozlarning ishlatilishi elektr energiyasi sifatini oshirishga, kapital mablag'larni sarf xarajatlarini kamaytirishga va elektr ta'minoti texnikasida yangi imkoniyatlarga yo'l ochib beradi. Tiristorlarni boshqarish elektrodi toki yordamida ochib yopish katta ahamiyatli bo'lib, shu asosida birinchidan boshqarish signali bilan anod kuchlanishining xar xil qiymatida ochishi imkonini bersa, ikkinchidan bu usul katta quvvatli zanjirlarni kichik boshqarish signali bilan kommutatsiya qilish imkonini beradi.

Yuqoridagilarni e'tiborga olgan holda olib borilgan ilmiy izlanishlar natijasida bir nechta ilmiy maqolalar chop etilgan va patentlar olingan. Bu olib borilgan ilmiy izlanishlarda yuqorida keltirilgan kontaktsiz tiristorli qurilmalar va o'zgaruvchan kuchlanish relolari elektromexanik tizimlarida qo'llash masalalari ko'rib chiqilgan bo'lib, ularning ishlash rejimlari, yuklanish tavsiflari va sxemalari tahlil qilingan. Elektr yuritma tizimlarida tekshirilgan tiristorli kontaktsiz qurilmaning boshqa relolardan farqi yuklamadagi sinusoidal kuchlanishni manba kuchlanishi sifatini buzmaganda ta'minlay oladi.

Adabiyotlar:

1. Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х. Силовые бесконтактные коммутирующие устройства Международная конференция «INNOVATION– 2017» Сборник научных статей. Ташкент, 2017, -С.219-220.

2. Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х. Энергосберегающие бесконтактные коммутирующие устройства. Международная конференция «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» ТИИИиМСХ г. Ташкент 28 ноябрь 2018 г. С-134-138.

3. Optik elektronli kontaktsiz kuchlanish relezi / Usmanov E G, Abduraimov E.X, Karimov R Ch, «Rasmiy axborotnoma» Patent № IAP 05122 O'zbekiston Respublikasi davlat patent idorasi, - Toshkent, 2015, - № 12.

УДК 621.311.

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ТРИГГЕРНОГО ЭФФЕКТА ДИОДНО ТИРИСТОРНЫХ ЦЕПЕЙ

Э.Х.Абдураимов, к.т.н., доцент, ТашГТУ, Узбекистан

В статье представлены результаты теоретического исследования полупроводниковых схем для практического использования при разработках бесконтактных коммутационных и защитных устройств, для управления запуском двигателей переменного тока и защиты от пониженного напряжения. По результатам анализа полупроводниковых схем рекомендуется использовать их при создании устройств автоматики электрических цепей переменного тока. Испытанные полупроводниковые схемы рекомендованы для бесконтактного управления запуском электродвигателей переменного тока и защиты от продолжительной работы при пониженном сетевом напряжении.

Ключевые слова: бесконтактное тиристорное управление, коммутационно-защитное устройство, управление электродвигателями переменного тока.

Maqolada o'zgaruvchan tok motorlarini ishga tushirishni boshqarish va past kuchlanishdan himoya qilish uchun kontaktsiz kommutatsiya va boshqaruv apparatlarini ishlab chiqishda amaliy foydalanish uchun o'tkazilgan yarimo'tkazgichli zanjirlarni nazariy o'rganish natijalari keltirilgan. Yarim o'tkazgichli sxemalarni tahlil qilish natijalariga asosan, o'zgaruvchan tok elektr yuritmalarini avtomatlashtirish qurilmalarini yaratishda ulardan foydalanish tavsiya etiladi. Tekshirilayotgan yarimo'tkazgichli sxemalar o'zgaruvchan tok elektr motorlarini ishga tushirishini kontaktsiz boshqarishda va past tarmoq kuchlanishida uzoq vaqt ishlashidan himoyalashda qollash tavsiya etilgan.

Kalit so'zlar: tiristorli kontaktsiz boshqarish, kommutatsiyalovchi va himoyalovchi kontaktsiz moslamasi, o'zgaruvchan tok elektr motorlarini kontaktsiz boshqarish.

The article presents the results of a theoretical study of semiconductor circuits for practical use in the development of contactless switching and protective devices, for

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

controlling the start of AC motors and under voltage protection. Based on the results of the analysis of semiconductor circuits, it is recommended to use them when creating automatic devices for AC electrical circuits. Proven semiconductor circuits are recommended for non-contact control of the starting of AC motors and protection against prolonged operation at low mains voltage.

Key words: *contactless thyristor control, contactless switching and protective device, contactless control of AC electric motors.*

Перспективным направлением развития коммутационной аппаратуры является создание электрических аппаратов с управляемой коммутацией, которая обеспечивается применением силовых полупроводниковых приборов для осуществления бездуговой коммутации электрической цепи, предотвращения опасных бросков тока и перенапряжений, увеличения ресурса оборудования и его надежности [1].

Проблема создания надёжных и экономичных пускозащитных и коммутирующих устройств и аппаратов как элементов электрооборудования для цепей переменного тока имеет весьма большое значение для обеспечения бесперебойности, чёткости и быстродействия работы электроприводов и других энергетических устройств. Особенно имеют перспективу применения полупроводниковых бесконтактных коммутирующих и регулирующих устройств, в трудно климатических условиях, в различных отраслях промышленности, в области автоматического управления электроприводами и в системах электроснабжения.[2]

В настоящее время средствами силовой электроники нового поколения могут быть решены следующие задачи:

- обеспечение работы преобразователей переменного и постоянного тока в четырех квадрантах комплексной плоскости параметров переменного тока без применения средств искусственной коммутации ключей;
- получение токов и напряжений требуемой формы с регулированием их амплитуды, фазы и частоты в широких диапазонах;
- получение токов и напряжений требуемой формы с регулированием фильтрация высших гармоник тока (напряжения) несинусоидальной формы;
- регулирование амплитудно-частотных характеристик фильтрокомпенсирующих устройств; устранение кратковременных отклонений тока (напряжения) от допустимых значений;
- быстродействующая защита электронных устройств в аварийных режимах;
- обеспечение возможности более полного использования достижений современных информационных технологий, а также быстродействующих контроллеров в целях расширения возможностей управления регулируемым объектом.

Как известно, при снижении напряжения питания асинхронных двигателей уменьшается уровень магнитного потока, а, следовательно, и крутящего момента. При этом увеличивается потребление тока, ведущее к снижению уровня напряжения в электросети, что отражается на работе других устройств, подключенных к ней. Помимо этого не следует забывать о пусковых токах, образующихся при запуске двигателей. Самопроизвольный запуск, происходящий при восстановлении напряжения после его исчезновения или при включении общего рубильника станка магистрали и т. д., для двигателей большинства

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

механизмов промышленных предприятий недопустим по условиям безопасности обслуживающего персонала, из-за опасности поломки механизма, вследствие возможного брака продукции и по ряду других причин. Поэтому при значительном снижении напряжения в сети или его исчезновении двигателя, как правило, должны автоматически отключаться специальной защитой минимального напряжения.

В настоящее время защита минимального напряжения в схемах управления двигателями осуществляется линейными контакторами и электромагнитными пускателями или специальными реле минимального напряжения. Которые осуществляют включение автомата при напряжении сети не ниже 80 % от номинального и автоматически отключают автомата при исчезновении напряжения или снижении его до 50% от номинального. [1,2].

Нами для запуска и защиты от минимального напряжения электродвигателей переменного тока предлагается схема бесконтактного полупроводникового устройства для управления асинхронным электродвигателем, которые были изучены теоретическим и экспериментальными исследованиями. Теоретическими исследованиями составных частей предлагаемого устройства, были рассмотрены следующие цепи, показанные на рисунках 1 и 3.

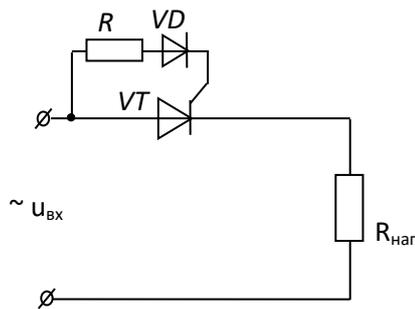


Рис.1.Схема включения

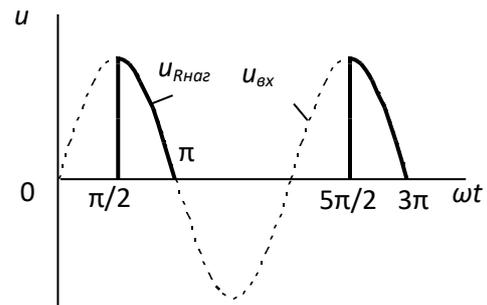


Рис.2. Кривые напряжения сети и

На рисунке 1 представлена диодно тиристорная цепь, где выявлена релейный эффект, с помощью которого предлагается, осуществит запуск и защиту от минимального напряжения в схемах управления асинхронных двигателей. Разъяснения явления релейного эффекта можно провести на примере диодно-тиристорной цепи, когда тиристор VT последовательно подключается к сети через R_n активное сопротивление, а в цепь управления подается ток из сети через активное сопротивление R и диода VD .

Если медленно повышать величину входного напряжения, то при определенном значении $U_{вх}$, амплитудное значение сигнала управления будет равно току открывания тиристора, в этот момент тиристор VT открывается скачком при угле $\alpha = 90^\circ$ (рис.2). Дальнейшее увеличение напряжения приводит к уменьшению угла α почти до нуля, т.е. тиристор будет пропускать полную положительную полуволну тока. Величина напряжения, при котором тиристор открывается скачком, зависит от величины параметров R и R_L . Таким образом, открытие тиристора скачком или явления резкого изменение напряжения или тока на нагрузке в рассмотренной цепи можем назвать триггерным или иначе релейным эффектом.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Также, рассмотрены режим работы цепи, состоящей из последовательно соединенных тиристора, активного сопротивления и индуктивной катушки, зная что, обмотки электродвигателей имеют активно - индуктивный характер нагрузки, и учитываем работу при напряжениях сети (рис.3).

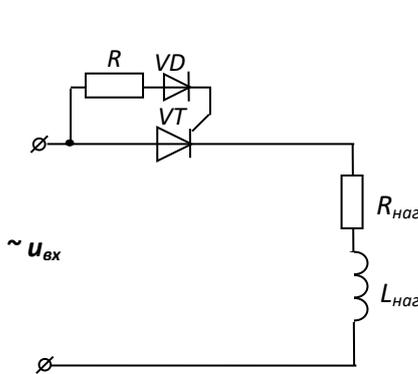


Рис. 3. Исследуемая схема

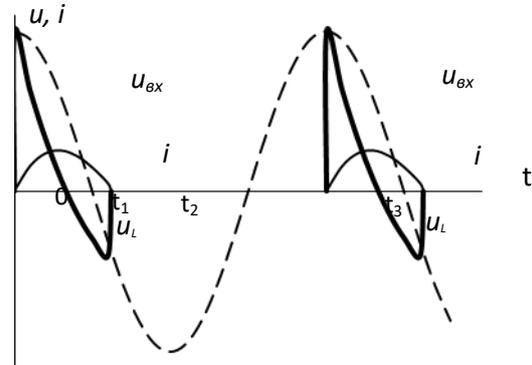


Рис. 4. Кривые тока и напряжения

Уравнение данной цепи имеет следующий вид:

$$u_{вх} = u_{mnp} + L \frac{di}{dt} + Ri \quad (1)$$

Принимаем характеристику тиристора идеальной для открытого состояния тиристора, при этом уравнение (1) примет вид:

$$u_{вх} = L \frac{di}{dt} + Ri = U_m \sin(\omega t + \psi) \quad (2)$$

для $\psi = \pi / 2$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U_m \cos \omega t \quad (3)$$

или

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_m \cos \omega t}{L} - \frac{R}{L} i$$

Для значения t , задаваясь шагом интегрирования h , имеем:

$$i_n = i_{n-1} + \left(\frac{U_m \cos \omega t_{n-1}}{L} - \frac{R}{L} i_{n-1} \right) h \quad (4)$$

На рис.4 показаны кривые напряжения и тока на зажимах элементов L и R , построенных решением уравнения (4). численным методом.

Как видно из этого графика, ток постепенно нарастает и происходит затягивание момента прекращения тока относительно момента перехода фазного напряжения через нулевое значение. Необходимо отметить, что форма кривой тока зависит от соотношения параметров цепи L и R . [3.4,5]

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Используя, эти исследованные цепи на их основе можно разработать бесконтактное устройство для запуска и защиты от работы минимального напряжения электродвигателей переменного тока, по предложенной схеме асинхронного электропривода (рис. 5). Учитывая, частые режимы пуска электродвигателей и работы при пониженных напряжениях сети, предложена схема бесконтактного трехфазного тиристорного пускателя асинхронного электродвигателя, состоящее из шести тиристоров, шести диодов и резисторов, и автомата включателя.

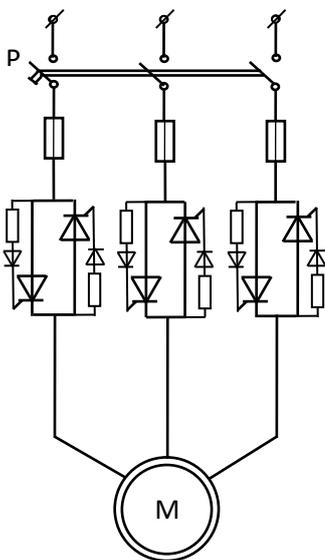


Рис.5. Схема тиристорного пускателя асинхронного двигателя с защитой от минимального напряжения

Пуск двигателя осуществляется с включением автомата Р., тем самым подаются сигналы к управляющим электродам тиристоров через резисторно-диодную цепь с анодной части самих тиристоров. Открытие тиристоров приводит к подаче сетевого напряжения к двигателю, и оно запускается. Во время работы, если номинальное значение напряжения сети будет уменьшаться от допустимого значения, то токи в цепи управления тиристоров, которые подаются с анодной части через резистор и диода

самых тиристоров, также уменьшаются, и это приводит к закрытию или отключению всех тиристоров, и соответственно к отключению от сети двигателя.

Таким образом, при анализе диодно-тиристорной цепи открытие тиристора скачком или явления резкого изменение напряжения или тока на нагрузке можем назвать релейным эффектом, и оно может быть использовано в создании автоматической установки. В цепи соединенных тиристора, активного сопротивления и индуктивной катушки, были анализированы работа схемы на активно-индуктивную нагрузку учитывая характер нагрузки обмотки электродвигателей. Для анализа применили численный метод, позволяющий производить качественный анализ переходных процессов и установившихся режимов. В предлагаемой схеме запуска и управления защитой электродвигателей переменного тока, из-за явления релейного эффекта наблюдаемого на диодно-тиристорных цепях, можно осуществить эффективное управление запуском и одновременно защитой от работы электродвигателя при пониженных напряжениях сети, то есть от минимального напряжения.

Литература

1. Поскробко А.А., Братолобов В.Б. Бесконтактные коммутирующие и регулирующие полупроводниковые устройства на переменном токе // Москва. Энергия, 1998, 192 стр.
2. Карпов Ф.Ф., «Как проверить возможность подключения к электрической сети двигателей с короткозамкнутым ротором», М. «Энергия», 1971, 267 стр.

3. Atabekov G I, Kupalyan S D, Timofeev L B and Khukhrikov S S 2010 Theoretical foundations of electrical engineering. Nonlinear electrical circuits (Moscow: Lan)
4. Erkin Abduraimov 2020 Research of the trigger effect in diode-thyristor circuits of contactless relay devices *E3S Web of Conferences* 216 01105
5. E.Kh Abduraimov et al. 2021 Analysis of dynamic circuits of contactless switching devices *Journal of Physics: Conference Series* 2094 022072

ТАҚСИМЛОВЧИ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСРОФЛАРИГА ТАЪСИР ЭТУВЧИ ОМИЛЛАР

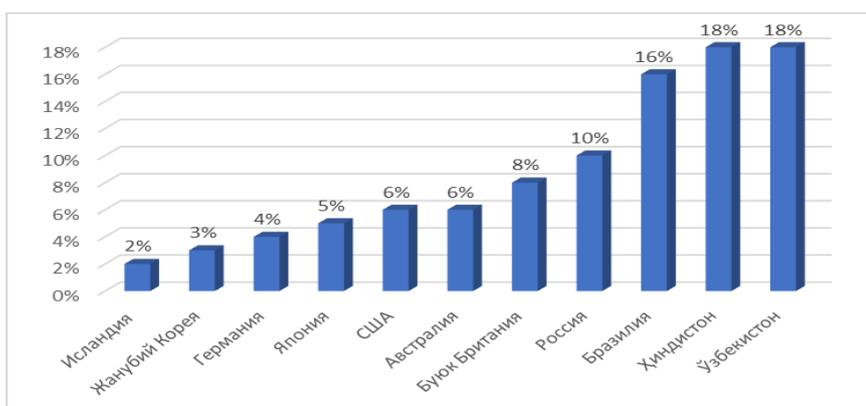
А.Д. Таслимов, А.Н. Султанов, Б.Б. Майнусов

ТашГТУ, Ўзбекистон

Мақолада тақсимловчи электр тармоқларидаги электр энергия исрофларига таъсир этувчи омиллар ойлари кесимида корреляция коэффициентларнинг ўзгариши динамикасини ҳисобга олган ҳолда статистик ва динамик усул ёрдамида таҳлил қилинган. Статистик ва динамик таҳлиллари натижасида электр энергия истеъмоли ва исрофларига актив ва реактив электр энергия истеъмоли, қуёшли вақт ва ҳароратлар кучли таъсир кўрсатиши аниқланган

Калим сўзлар: *электр энергия исрофлари, ҳарорат, намлик, ёгингарчилик, атмосфера босими, қуёшли вақт, кўринарлилик, статистик, динамик.*

Тақсимловчи электр тармоқларидаги асосий муаммоларидан бири уларда бўладиган электр энергия исрофлари ҳисобланади ва халқаро энергетика агентлиги статистика маълумотларига кўра ривожланган давлатлар электр тармоқларида электр энергия исрофлари ўртача 6-8%ни, Ўзбекистонда эса - бу кўрсаткич 16-18% ни ташкил қилади (1-расм) [1,2].



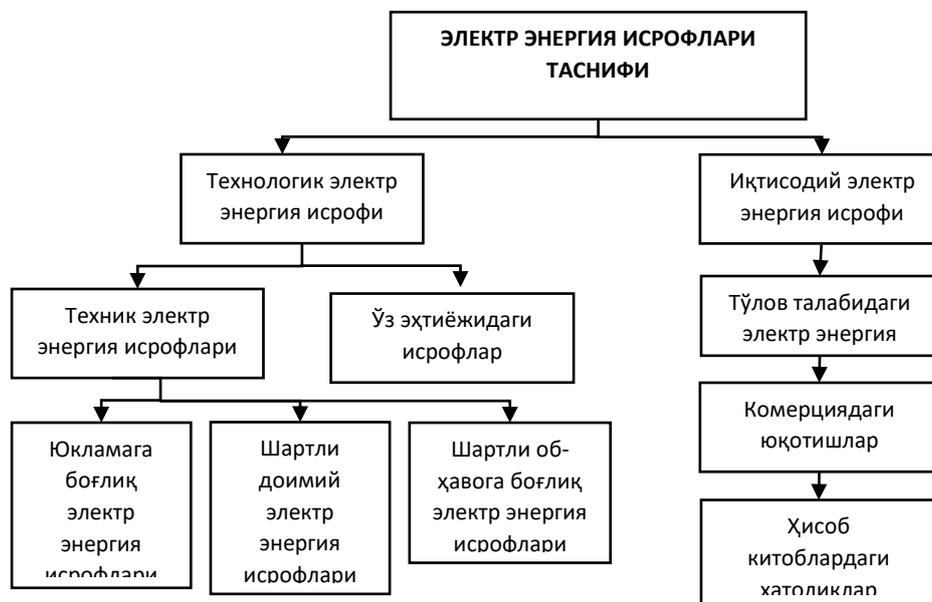
1-расм. Давлатлар кесимида электр энергия исрофлари

Ўзбекистон электр тармоқларида электр энергия исрофлари ривожланган давлатларга нисбатан юқориликдан келиб чиқиб уларни тўғри аниқлаш ва камайтириш усуллари ишлаб чиқиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Бунинг учун электр энергия исрофларига таъсир этувчи омиллар аниқланиши, ушбу омиллардан кучли таъсир этувчиларини аниқлабэлектр энергия исрофларининг математик моделларини тузиш керак бўлади.

Электр энергия исрофларига таъсир этувчи омилларни аниқлаш, электр энергия исрофлари структурасини таҳлил қилиш орқали амалга оширилади (2-расм)[3].



2-расм. Электр энергия исрофларининг структураси

2015-2023 йиллар кесимида технологик ва иқтисодий электр энергия исрофлари таҳлил қилинганда 5% иқтисодий исрофга 95% технологик исрофга тўғри келиши аниқланди. Демак, тармоқдаги асосий исроф технологик исрофга тўғри келиши ва уни келтириб чиқарувчи омиллар аниқланди. 2-расмга мувофиқ, техник электр энергия исрофлари юкламага боғлиқ электр энергия исрофлари, шартли доимий электр энергия исрофлари ва иқлимга боғлиқ электр энергия исрофларига бўлинади.

Юкламага боғлиқ электр энергия исрофлари куч трансформаторларидаги, ҳаво ва кабел электр узатиш линияларидаги, ҳаво линияси арматураларидаги исрофлар, яъни арматураларнинг физик ва электрик характеристикалари билан боғлиқ бўлган исрофлар ҳисобланади[3,4]. Трансформаторларда электр энергия исрофларини келтириб чиқарувчи асосий сабаблардан бири трансформатор юкласининг ортиши ва ўзак материалнинг ўтказувчанлиги ҳисобланади [5]. Электр узатиш линияларида электр энергия исрофларини келтириб чиқарувчи асосий сабаб тармоқдан ўтувчи юклама ва ўтказгич материалнинг ўтказувчанлиги ҳисобланади. Шунингдек иқлим шароитларига боғлиқ электр энергия исрофларига таъсир этувчи омиллар: ҳарорат, намлик, ёғингарчилик, шамол, қуёш радиатсияси, атмосфера босими, қуёшли вақт ва кўринарлилик ҳисобланади [5,6].

Тошкент вилояти Нурафшон электр тармоқлари корхонаси мутахассислари билан биргаликда олиб борилган изланишлар натижасида исрофларга таъсир этувчи омиллар эксперт усули асосида таҳлил қилинди ва юқорида санаб ўтилган

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

омиллардан қуйидаги 8 таси ва ҳафта кунлари асосий таъсир этувчи омиллар сифатида қабул қилинди: актив электр энергия истемоли; реактив электр энергия истемоли; ҳафта кунлари; минимал ҳарорат; максимал ҳарорат; ташқи таъсир этувчи ҳарорат; ҳавонинг нисбий намлиги; қуёшли вақт; кўринарлилик .

Ҳафта кунлари давомида электр энергия истемоли турлича бўлганлиги, қуёшли вақт ва кўринарлиликнинг ортиши электр энергия истемолени камайиши сабабли танлаб олинди. Кунлик актив ва реактив электр энергия истемоли радиомер рақамли тизимидан ва қолган омиллар эса об-ҳаво маълумотларидан олинди ва тўпланган маълумотларнинг электр энергия истемолига боғлиқлиги корреляцион усул асосида таҳлил қилинди. Корреляциянинг фойдаланиш ҳолати, афзаллиги ва камчилигини ҳисобга олган ҳолда ПEARсон корреляцияси орқали таҳлил қилинди. Корреляция коэффициенти $0 < r < 0.3$ ёки $0 < r < -0.3$ бўлса кучсиз ижобий ва салбий боғлиқликни, $0.3 \leq r \leq 0.6$ ёки $-0.3 \leq r \leq -0.6$ бўлса ўртача ижобий ва салбий боғлиқликни, $0.6 < r \leq 1$ ёки $-0.6 < r \leq -1$ бўлса кучли ижобий ва салбий боғлиқликни англатади[7]. ПEARсон корреляциясида корреляция коэффициенти r қуйидагича аниқланади[7]:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

бу ерда X_i ва Y_i – ўзгарувчан омилларнинг жорий қиймати, X ва Y - ўзгарувчан омилларнинг ўртаса қиймати.

Ҳар бир ой учун таъсир этувчи омилларнинг корреляция коэффициенти (1) формула асосида ҳисобланди ва натижалар 1,2-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Январ ойидаги электр энергия исрофларига таъсир этувчи омилларнинг
корреляция коэффициенти

	EE isrofi (kWh)	Aktiv EE istemoli(kWh)	Reaktiv EE istemoli (kVAr)	hafta kuni (1-7)	minimal harorat (C)	maksima l harorat (C)	ta'sir etuvchi harorat (C)	havoning nisbiy namligi %	quyoshli vaqt (min)	ko'rinarliik ik %
EE isrofi (kWh)	1									
Aktiv EE istemoli(kWh)	0,9981	1								
Reaktiv EE istemoli (kVAr)	0,894779529	0,994779529	1							
hafta kuni (1-7)	0,019027142	0,019027142	0,017685869	1						
minimal harorat (C)	0,650619962	-0,250619962	-0,32378348	-0,05014	1					
maksimal harorat (C)	0,662834531	-0,062834531	-0,14276901	-0,01879	0,933441	1				
ta'sir etuvchi harorat (C)	0,653968316	-0,053968316	-0,13461934	-0,00201	0,921485	0,996921	1			
havoning nisbiy namligi %	-0,219321144	-0,219321144	-0,24035776	-0,0362	0,421085	0,155021	0,141219	1		
quyoshli vaqt (min)	0,990335577	0,990335577	0,980448414	-0,0158	-0,20607	-0,02043	-0,01109	-0,18752	1	
ko'rinarliik %	-0,693109532	-0,693109532	-0,70037041	-0,03807	0,486347	0,253305	0,236992	0,583492	-0,623815	1

2-жадвал

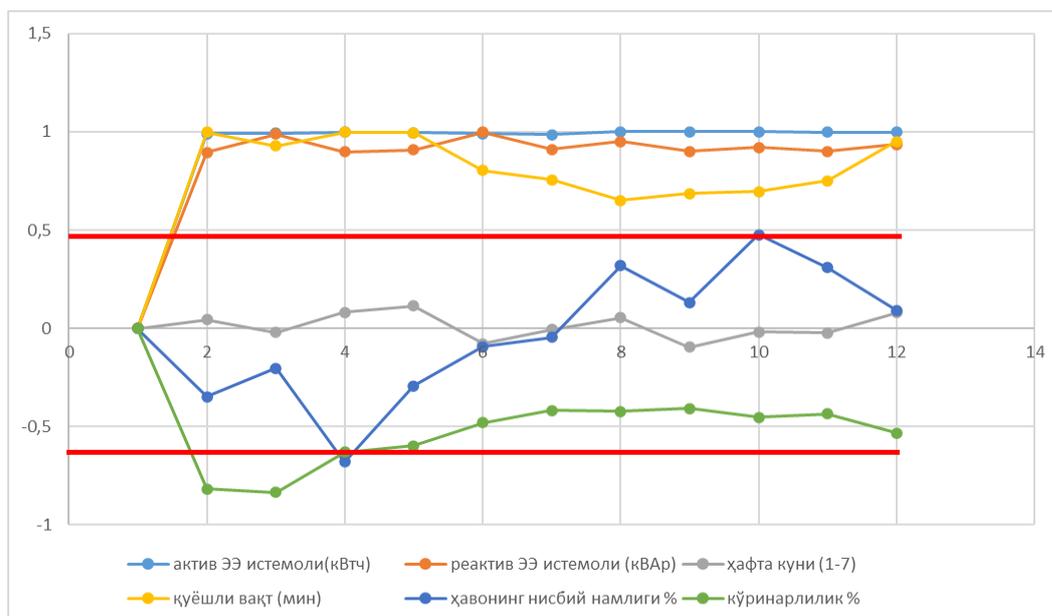
Октябрь ойидаги электр энергия исрофларига таъсир этувчи омиллар
корреляция коэффициенти

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

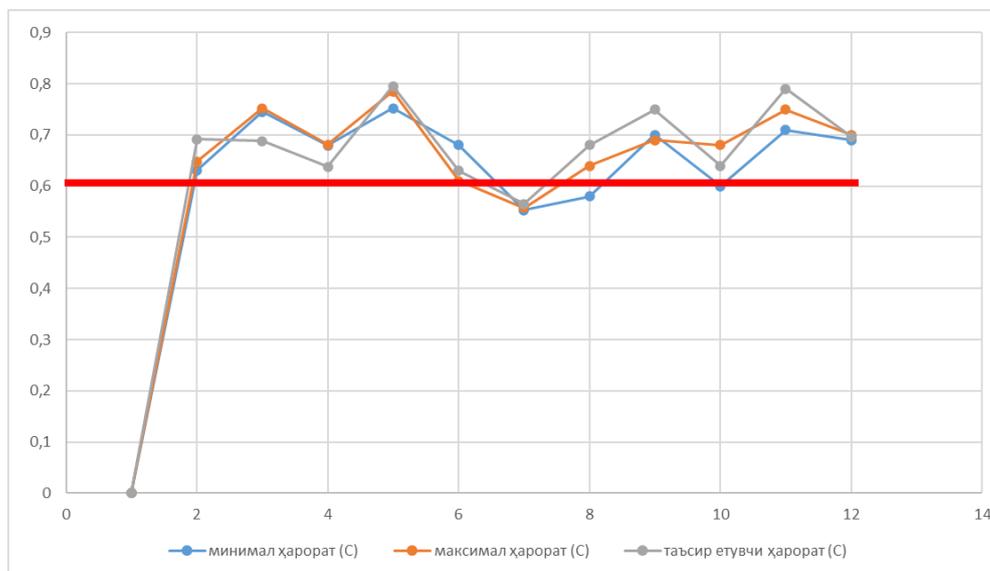
	EE isrofi (kWh)	Aktiv EE istemoli (kWh)	Reaktiv EE istemoli (kVAr)	hafta kuni (0-2)	minimal harorat (C)	maksimal harorat (C)	ta'sir etuvchi harorat (C)	havoning nisbiy namligi %	quyoshli vaqt (min)	ko'rinarlilik %
EE isrofi (kWh)	1									
Aktiv EE istemoli (kWh)	0,9999782	1								
Reaktiv EE istemoli (kVAr)	0,921991821	0,999182	1							
hafta kuni (0-2)	-0,01814756	-0,01815	-0,02281	1						
minimal harorat (C)	0,6	-0,06005	-0,07402	-0,08252	1					
maksimal harorat (C)	0,68	-0,28315	-0,29447	-0,0181	0,806911	1				
ta'sir etuvchi harorat (C)		0,64	-0,27464	-0,28666	-0,00744	0,827691	0,994044	1		
havoning nisbiy namligi %	0,476606221	0,476606	0,479865	-0,00106	-0,32532	-0,72625	-0,69665	1		
quyoshli vaqt (min)	0,697	-0,99922	-0,99979	0,020476	0,0806	0,302552	0,294212	-0,48227	1	
ko'rinarlilik %	-0,45244366	0,262444	0,232275	0,051251	0,49483	0,339467	0,340276	0,120183	-0,22802	1

1 va 2 – jadvalda keltirilgan ma'lumotlarni korrelyatsion tahlildan ko'rinadiki, yanvar oyi uchun aktiv ($r=0.998$) va reaktiv ($r=0.894$) elektr energiya istemoli, minimal ($r=0.65$), maksimal ($r=0.66$), ta'sir etuvchi harorat ($r=0.65$), quyoshli vaqt ($r=0.99$) va ko'rinarlilik ($r=0.63$) yuqori ta'sir etuvchi omil. Oktyabr oyi uchun aktiv ($r=0.998$) va reaktiv ($r=0.92$) elektr energiya istemoli, minimal ($r=0.6$), maksimal ($r=0.68$), ta'sir etuvchi harorat ($r=0.64$), quyoshli vaqt ($r=0.67$) yuqori ta'sir etuvchi, ko'rinarlilik ($r=-0.45$) va havoning nisbiy namligi ($r=0.47$) o'rtacha ta'sir etuvchi omil. Yana oylar kesimida elektr energiya istemoliga ta'sir etuvchi omillarning korrelyatsiya ko'effitsientlari turlicha. Tahlilni aniqligini oshirish uchun oylar kesimida olingan omillarning korrelyatsiya ko'effitsientlari o'zgarishi dinamikasi tahlil qilindi.

4- rasmda elektr energiya isroflariga ta'sir etuvchi omillarning (aktiv, reaktiv elektr energiya istemoli, hafta kuni, quyoshli vaqt, havoning nisbiy namligi, ko'rinarlilik (a) va maksimal, minimal, ta'sir etuvchi harorat (b)) dinamik o'zgarishi grafiklari keltirilgan.



а)



б)

4- расм. Электр энергия исрофларига таъсир этувчи омиллар графиклари: а) актив, реактив электр энергия истемоли, ҳафта куни, куёшли вақт, ҳавонинг нисбий намлиги, куринарлилик; б) максимал, минимал, таъсир этувчи ҳарорат

4-расмда юқори таъсир этувчи корреляция коэффицентлари чегаравий қийматидан ($r=0.6$) чегараси қизил чизиқ билан белгиланган. Боғланишлардан кўриниб турибдики, актив ва реактив электр энергия истемоли ва куёшли вақтнинг корреляция коэффицентлари доимий, яъни 0.6 дан юқори, ҳароратнинг корреляция коэффицентлари эса фақат июнь ойида ўртача боғлиқликни кўрсатган бўлишига қарамасдан йил давомида ўртача кучли боғлиқликни кўрсатмоқда. Шунингдек ҳафта куни доимий кучсиз боғлиқликни, кўринарлилик ва ҳавонинг нисбий намлиги бази ойларда кучли боғлиқликни кўрсатади, аммо умумий ҳолатда ўртача ва кучсиз боғлиқлик мавжудлигини кўрсатади. Демак фақат статистик таҳлил қилиш орқали электр энергия исрофларига таъсир этувчи омилларни таҳлил қилишда хатоликка йўл қўйилиши мумкин, чунки ҳарорат кесимида олинган бўлса, июль ойида ўртача боғлиқликни кўрсатади, лекин умумий ҳолатда кучли боғлиқлик мавжуд. Шунинг учун уларни динамик ўзгаришини ҳам ҳисобга олиш керак бўлади.

Демак, юқорида олиб борилган статистик ва динамик таҳлиллар натжасида хулоса қилиш мумкинки, электр энергия исрофларига актив ва реактив электр энергия истемоли, куёшли вақт ва ҳароратлар кучли таъсир кўрсатади (корреляция коэффицентлари $r > 0.6$) ва ушбу омилларни электр энергия истеъмолини ва тармоқ элементларида бўладиган исрофларни аниқлашда ҳисобга олиш керак бўлади.

Фойдаланилган адабиётлар:

1. <https://www.iea.org/>
2. Taslimov, Abduraxim. (2023). Impact of climate change on electrical energy losses in electrical networks. E3S Web of Conferences. 384.

10.1051/e3sconf/202338401036.

3. Khudayarov, Muzaffar. (2022). ELEKTR TARMOQLARINING KUCHLANISH POG‘ONALARINI HISOBGA OLGAN HOLDA ELEKTR ENERGIYASI YO‘QOTISHLARINI TASNIFLASH.

4. Tovboev, A.N. & Saidov, M.K. & Togaev, I.B.. (2022). 6-10 KV KUCHLANISHLI HAVO ELEKTR UZATISH TARMOQLARIDA ELEKTR ENERGIYASI VA QUVVAT ISROFLARINING STATISTIK TAHLILI VA QUVVAT ISROFLARINI KAMAYTIRISH CHORA-TADBIRLARI. Gorniy vestnik Uzbekistana. 10.54073/GV.2022.2.89.026.

5. Saepudin, Asep & Sholih, Hilman. (2024). Advantage Power Transformer Low Losses with a case study on 30/60 MVA 150/20/10 kV Transformers. TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika. 11. 201-208. 10.37373/tekno.v11i1.978.

6. Kumar, Deepak & Sengupta, Keya. (2021). Factors affecting the electricity transmission and distribution losses: evidences from BRICS countries. International Journal of Global Energy Issues.

7. Deng, Siming & Zhang, Jun & Huang, Yingcong & Zhong, Jiongtao & Yang, Xiaozhen. (2024). A Revisit to Pearson Correlation Coefficient under Multiplicative Distortions. Communication in Statistics- Simulation and Computation.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАШИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

О.А. Ворон, В.В. Сироткин

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Аннотация. В статье дано обоснование использования вентильно-индукторной электрической машины для оперативного управления потоком энергии, полученной в результате рекуперативного торможения электрического подвижного состава. Приведена расчетная схема замещения тяговой сети с инерционным накопителем энергии. Представлены имитационная модель вентильно-индукторной электрической машины и результаты расчета в двигательном и генератором режимах в программном комплексе «MATLAB/Simulink». Предложено комплектовать инерционный накопитель энергии встроенной ветроэнергетической установкой для применения в районах с благоприятными условиями использования энергии ветра. Дано обоснование целесообразности использования «Smart Grid» технологии, которая является перспективной для сложных электрических сетей с постоянно меняющимися нагрузками. При использовании подобных цифровых технологий система гибко подстраивается под работу тяговой электрической сети в зависимости от сложившейся ситуации с движением поездов и позволяет осуществлять мониторинг и формировать управляющие воздействия для силовых цепей, регулирующих режимы рекуперации и тяги.

На современном этапе развития железнодорожного транспорта учеными и инженерами уделяется большое внимание совершенствованию рекуперативного торможения электрического подвижного состава (ЭПС). Осуществляется замена тяговых двигателей постоянного тока на тяговые двигатели переменного тока. При

этом организация рекуперативного торможения осуществляется гораздо проще и с меньшим количеством переключений в силовой части электропривода.

Совершенствуются алгоритмы вождения поездов на основе микропроцессорных систем управления, при которых приоритетным видом замедления хода поезда становится именно рекуперативное торможение [1–3]. Тяговые подстанции оборудуются инверторными преобразователями, которые позволяют возвращать энергию, полученную в результате рекуперативного торможения в единую энергосистему. Используются накопители энергии различных типов для приема и последующего использования энергии рекуперации. Эффективность всего комплекса мер по совершенствованию рекуперативного торможения можно оценить на основе энергетического баланса при осуществлении перевозочной работы. Коэффициент эффективности использования рекуперативного торможения K_{PT} равен отношению энергии, необходимой для преодоления участка из условия результирующего коэффициента сопротивления движению (без применения какого-либо способа торможения) W_1 к затраченной фактической энергии, определяемой по приборам учета локомотива W_2

$$K_{PT} = \frac{W_1}{W_2}.$$

Эффективными мерами по дальнейшему совершенствованию устройств, участвующих в приеме и последующем использовании энергии рекуперации, можно считать накопители электрической энергии, которые выполняют важные функции. Например: автоматическая работа без обслуживающего персонала с использованием современных Smart-технологий, которые обладают достаточно большим быстродействием для оперативного выполнения своих функций в условиях быстропротекающих электромагнитных переходных процессов [4].

В данной статье изложены результаты исследований электромагнитного контура, который включает в себя тяговые электроприводы электровозов и электропоездов постоянного тока, тяговую сеть и инерционный накопитель энергии (ИНЭ) на базе вентильно-индукторной электрической машины (ВИМ). В качестве математического инструмента для проведения исследований разработана имитационная компьютерная модель предложенной системы приема и возврата энергии рекуперации в программном комплексе «MATLAB/Simulink», учитывающая особенности предлагаемой системы и позволяющая рассчитывать быстропротекающие электромагнитные переходные процессы.

На рис. 1 представлена расчетная схема замещения тяговой сети системы тягового электроснабжения постоянного тока между двумя тяговыми подстанциями ТП-А и ТП-В. Нагрузкой тяговой сети является ЭПС, изображенный на схеме замещения согласно ГОСТ Р 57670-2017 источником тока [5].

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

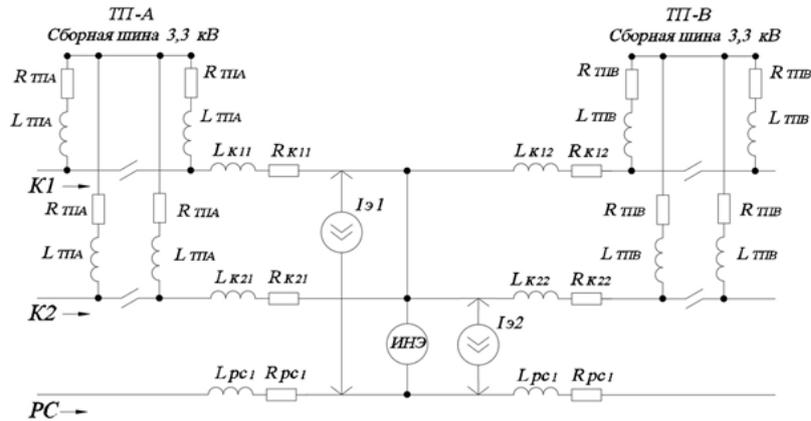


Рис. 1. Схема замещения тяговой сети системы тягового электроснабжения постоянного тока с ИНЭ между тяговыми подстанциями ТП-А и ТП-В

На рис. 1 изображен двухпутный участок, где $K1$ и $K2$ – эквивалентные провода контактной сети 1-го и 2-го путей. При расчете погонного сопротивления эквивалентных проводов учтено параллельное соединение контактных, усиливающих проводов, а также несущих тросов одного пути Ом/км [2]. Рельсовая сеть PC представлена эквивалентными активными и индуктивными сопротивлениями. $ИНЭ$ расположен между тяговыми подстанциями и подключен к тяговой сети через пункт секционирования.

Для расчета режимов работы ВИМ, находящейся в составе ИНЭ, была сформирована имитационная модель в программном комплексе «MATLAB/Simulink», представленная на рис. 2.

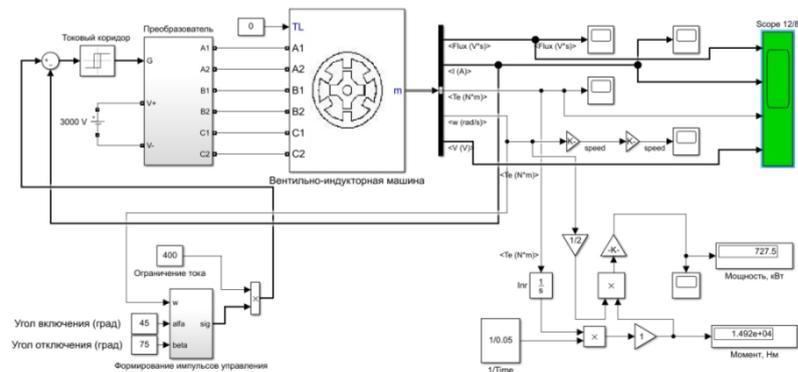


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели ВИМ

ВИМ работает в двигательном режиме (рис. 3) во время рекуперативного торможения поезда, преобразуя электрическую энергию рекуперации в механическую энергию вращающейся массы ИНЭ, и в генераторном режиме (рис. 4) во время возврата накопленной энергии поезду, следующему в режиме тяги, преобразуя механическую энергию ИНЭ в электрическую энергию для питания тяговых двигателей ЭПС.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

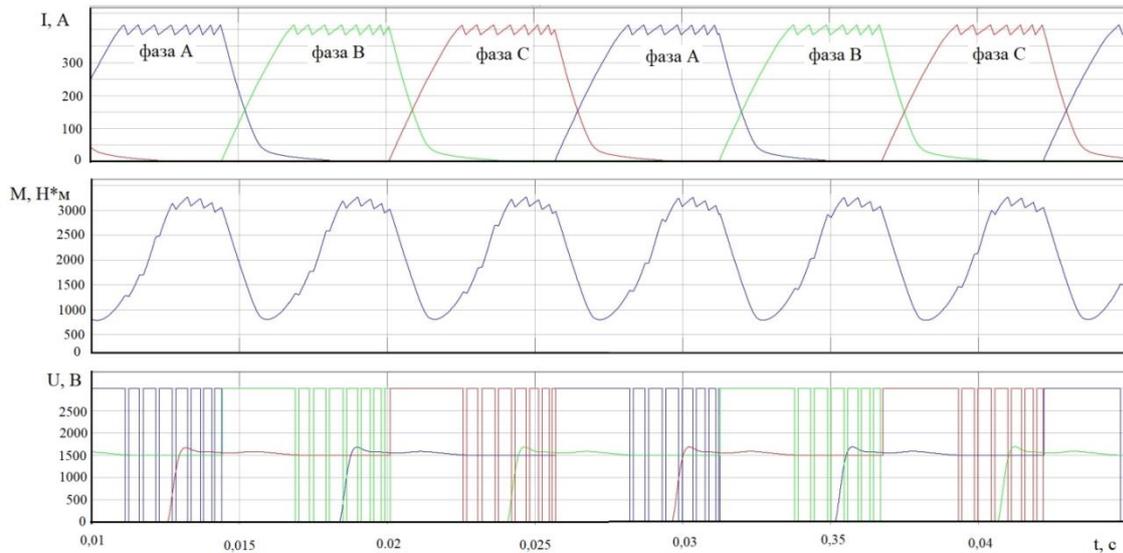


Рис. 3. Расчетные параметры ВИМ в двигательном режиме работы: I – ток обмотки статора, M – электромагнитный момент, U – напряжение на обмотке статора

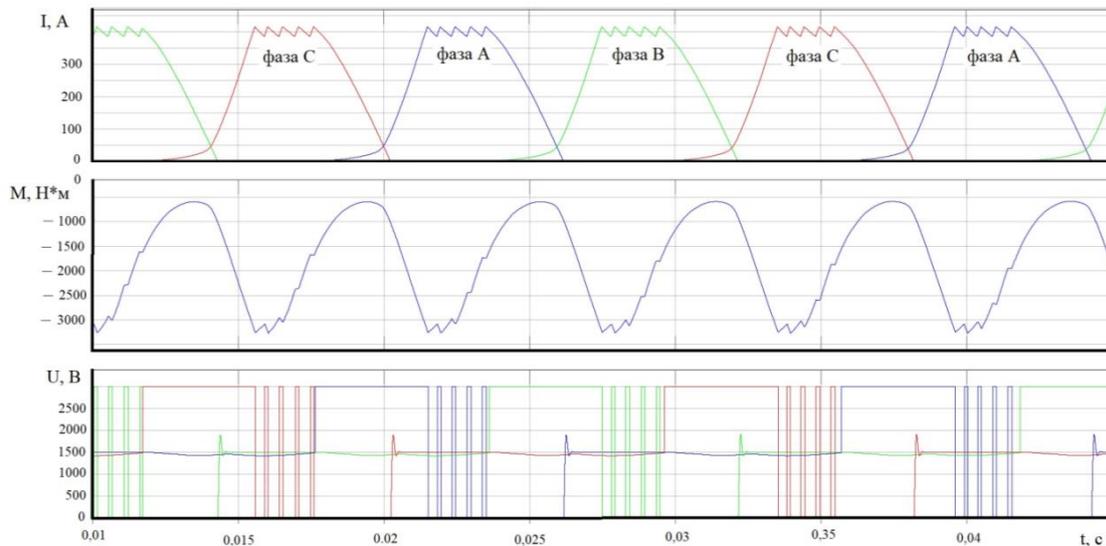


Рис. 4. Расчетные параметры ВИМ в генераторном режиме работы: I – ток обмотки статора, M – электромагнитный момент, U – напряжение на обмотке статора

ВИМ выбрана в качестве электромеханического преобразователя для работы в генераторном и двигательном режиме для приема и возврата энергии рекуперации ввиду ряда преимуществ, которые ее выделяют среди электромеханических преобразователей для данного конкретного применения.

Наиболее важные преимущества ВИМ:

- высокие значения КПД при электромеханическом преобразовании энергии в широком диапазоне частот вращения и нагрузок;
- возможность прямого подключения к тяговой сети с номинальным напряжением 3000 В, что обусловлено надежной конструкцией обмотки ВИМ, которая выдерживает высокие напряжения;
- простота конструкции и безобмоточный ротор, который без разрушения способен обеспечить высокие частоты вращения, что важно для ИНЭ;

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

– высокое быстродействие при переходе из двигательного режима работы в генераторный и обратно.

Положительные качества ВИМ хорошо сочетаются с наличием встроенной ветроэнергетической установки (ВЭУ) для применения в районах с благоприятными условиями использования энергии ветра [6]. Механическая энергия от ветродвижителя, поступающая на общий вал с ВИМ преобразуется с помощью ВИМ в электрическую энергию и далее поступает к тяговым двигателям ЭПС по тяговой сети.

При использовании ВИМ в составе ИНЭ целесообразно применять «Smart Grid» технологию, которая является перспективной для сложных электрических сетей с постоянно меняющимися нагрузками. При использовании подобных цифровых технологий система гибко подстраивается под работу тяговой электрической сети в зависимости от сложившейся ситуации с движением поездов, позволяет осуществлять мониторинг и формировать управляющие воздействия для силовых цепей, регулирующих режимы рекуперации и тяги.

Выводы

Использование ВИМ в составе ИНЭ благодаря своим положительным качествам, включая быстродействие, позволит полезно использовать энергию рекуперации не только на сложных участках с большими уклонами, но и на равнинных участках железной дороги при осуществлении рекуперативного торможения при подходе к зонам ограничения скорости или на подходе к станции. Участки с кратковременным торможением встречаются достаточно часто и в сумме небольшие потоки энергии складываются в ощутимый конечный результат. Создание условий для малейшей возможности полезно использовать энергию рекуперативного торможения также будет способствовать меньшему износу механических тормозов.

Предложенное техническое решение позволяет объединить наиболее перспективные энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте, включая использование возобновляемых источников энергии.

Работа выполнена при поддержке гранта банка ВТБ (ПАО) молодым ученым на выполнение научных исследований по теме «Повышение эффективности рекуперативного торможения электрического подвижного состава за счет использования инерционных накопителей энергии».

Список литературы

1. Энергосбережение на железнодорожном транспорте : справочно-методическое издание (СЕРИЯ 2. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПО ОТРАСЛЯМ) / Под редакцией В. А. Гапановича. – М. : «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. – 304 с. – ISBN 978-5-98385-013-2.
2. Незевак, В. Л. Имитационные модели и варианты применения систем накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении / В. Л. Незевак, А. Д. Дмитриев // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 74-90. – DOI 10.17816/transsyst20228474-90. – EDN USDYGGZ.
3. Незевак, В. Л. Повышение эффективности рекуперации путём применения систем накопления электроэнергии для собственных нужд тяговых подстанций / В. Л. Незевак // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 3(94). – С. 82-95. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-3-9. – EDN UCIAAF.
4. Ворон, О. А. Обоснование использования вентильно-индукторных электрических машин для управления потоком энергии рекуперации электрического подвижного состава / О. А. Ворон, В. В. Сироткин, А. Д. Петрушин // Известия высших учебных

заведений. Электромеханика. – 2023. – Т. 66, № 4. – С. 34-39. – DOI 10.17213/0136-3360-2023-4-34-39. – EDN DPZIKE.

5. ГОСТ Р 57670-2017. Системы тягового электроснабжения железной дороги. Методика выбора основных параметров. – М. : Стандартинформ, 2017. – 54 с.

6. Черняев, С. С. Технико-экономическое обоснование внедрения ветроэнергетической установки на электрифицированных участках железных дорог постоянного тока с благоприятными ветровыми условиями / С. С. Черняев, В. В. Сироткин // Механика и трибология транспортных систем (МехТрибоТранс-2021) : сборник статей международной научной конференции, Ростов-на-Дону, 09–10 ноября 2021 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 104-110. – DOI 10.46973/978-5-907295-52-0_2021104. – EDN TGCZZF.

УДК 621.318.6

СПОСОБ СОЗДАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ВЫСОКИМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

*Бегматов Шавкат Эрнстович, кандидат технических наук, доцент
Ташкентский государственный технический университет, г.Ташкент, Узбекистан*

Аннотация. В статье предлагается способ создания вторичных источников электропитания - параметрических стабилизаторов с высокими электротехническими показателями на основе электро-ферромагнитных цепей и магнитно - полупроводниковых преобразователей.

В отличие от известных способов создания параметрических стабилизаторов, предлагаемый подход позволяет получить практически идеальную стабилизацию напряжения или тока и качественно оценить электротехнические показатели стабилизаторов в различных режимах работы.

Ключевые слова: параметрический стабилизатор, функциональный преобразователь, инвертор напряжения, частотно- и амплитудно- импульсная модуляция, статические характеристики, феррорезонансная цепь.

Введение. В целях обеспечения надёжной электрической энергией устройств автоматики, бытовой, измерительной и вычислительной техники, а также при разработке систем автоматического управления и регулирования широко применяются вторичные источники электропитания (ВИЭП), в частности, параметрические стабилизаторы (ПС) напряжения и тока [1]. Поэтому вопросы теории, разработки и исследования высокоэффективных ПС остаются актуальными задачами электротехники. В статье предлагается способ в создании ПС с высокими электротехническими показателями на основе электро-ферромагнитных цепей (ЭФМЦ) и магнитно-полупроводниковых преобразователей (МПП) с частотным управлением статическими характеристиками ПС. Устойчивое функционирование ПС зависит от работы составляющих МПП, т.е. функционального преобразователя (ФП) и инвертора напряжения (ИН) [2,3].

Метод. ФП построенные на комбинации МПП отличаются высокой надёжностью, стабильностью и быстродействием. ФП управляет работой ИН модулируя постоянное напряжения источника питания (ИП) в частоту и на выходе

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ИН инвертируется переменное напряжение по частоте и амплитуде. Как известно, напряжение и ток на выходе ПС существенно зависят от частоты ИН. Поэтому, рассмотрим создание управляемых ПС с комбинированной частотно-импульсной и амплитудно-импульсной модуляцией (ЧИМ и АИМ) (рис.1.) При этом среднее значение выходного напряжения или тока ПС в общем случае есть функция трех параметров ЧИМ и АИМ.

$$U_{\text{ВЫХ}} = \varphi(A, t_{\text{И}}, T); \quad I_{\text{ВЫХ}} = \varphi(A, t_{\text{И}}, T) \quad (1)$$

Где; A - амплитуда; $t_{\text{И}}$ - длительность; $T=1/f$ - период; f - частота.

В свою очередь, эти параметры выходного напряжения в отдельности являются функцией входного напряжения и параметров ФП.

$$A = \varphi_1(U_{\text{вх}}; P_1, P_2, \dots, P_m); \quad t_{\text{И}} = \varphi_2(U_{\text{вх}}; P_1, P_2, \dots, P_k); \quad f = \varphi_3(U_{\text{вх}}; P_1, P_2, \dots, P_i) \quad (2)$$

С учетом (2), среднее значение выходного напряжения или тока ПС в общем случае определяется выражениями:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{вых}} &= F[A(U_{\text{вх}}), f(U_{\text{вх}}), P_1', P_2', \dots, P_n', P_1, P_2, \dots, P_K] \\ I_{\text{вых}} &= F[A(U_{\text{вх}}), f(U_{\text{вх}}), P_1', P_2', \dots, P_n', P_1, P_2, \dots, P_K] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Где: P_1, P_2, \dots, P_k - параметры схемы ЧИМ и АИМ; P_1', P_2', \dots, P_n' - параметры ФП.

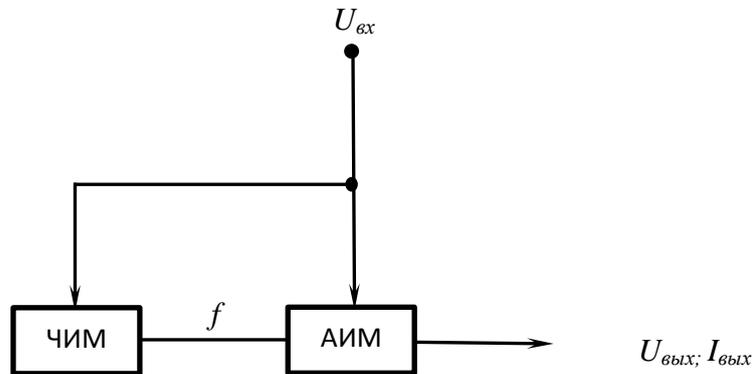


Рис.1. Комбинация МПП с ЧИМ и АИМ

Результат. На основе комбинации ЧИМ и АИМ предлагается новая блок схема ПС управляемый по частоте с питанием от источника постоянного напряжения с практически идеальной стабилизацией выходного тока (рис.2) [4].

При создании ПС на базе комбинации ЧИМ и АИМ между напряжением ИП и частотой ФП должно быть следующее соотношение

$$f = K / U_{\text{вх}} \quad (4)$$

Нарушение этого соотношения влияет на оптимальную работу ИН и ФЦ, что в конечном итоге влияет на вид статической характеристики ПС. Поэтому для соблюдения соотношения (4) выраженного через коэффициент пропорциональности (K), нужно определить оптимальную зависимость изменения частоты ФП от входного напряжения. Для этого предлагается граф-аналитический способ построения экспериментальных статических характеристик ПС с практически идеальной стабилизацией тока [4,5].

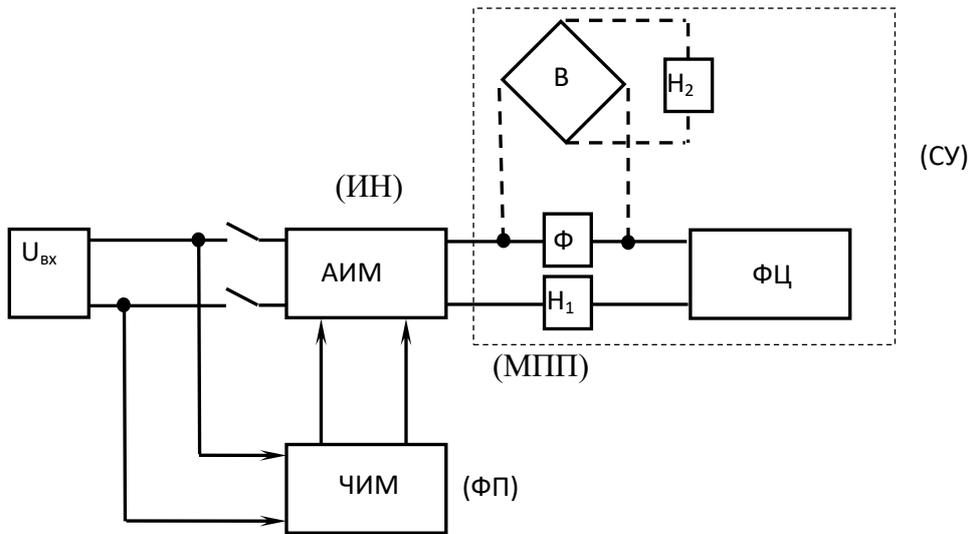


Рис. 2. Структурная схема ПС управляемый по частоте

СУ- стабилизирующее устройство; ИН - инвертор-АИМ; ФП-функциональный преобразователь - ЧИМ; ФЦ - феррорезонансная цепь; Φ - фильтр гармоник; В - выпрямитель; H_1, H_2 - нагрузка по переменному и постоянному току.

Как видно из экспериментальных статических характеристик ПС (рис.3), зависимость изменения частоты ФП от значения входного напряжения ($f_{ФП} = F(U_{вх})$) представляет собой гиперболическую функцию и определяется выражением

$$K = U_{вх} * f_{ФП} \quad (5)$$

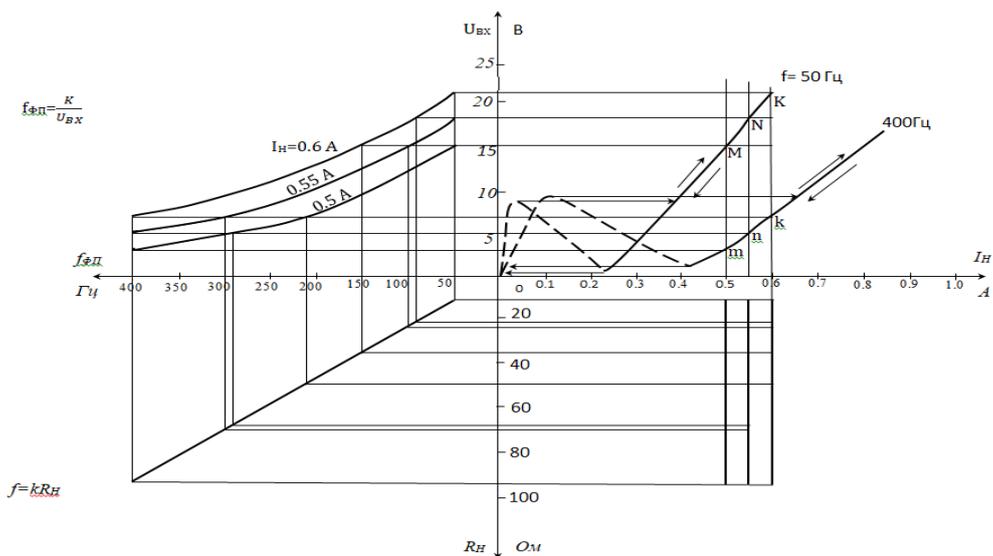


Рис.3. Графо - аналитический способ построения статических характеристик ПС

Статические характеристики $f_{ФП} = F(U_{вх})$ соответствуют определенному стабильному значению тока нагрузки ($I_H = 0,5[A]$; $I_H = 0,55[A]$; $I_H = 0,6[A]$) и соответственно имеют свои коэффициенты пропорциональности.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

$$K_1=U_{ex}*f_{\Phi\Pi1}; \quad K_2=U_{ex}*f_{\Phi\Pi2}; \quad K_3=U_{ex}*f_{\Phi\Pi3}; \dots \quad K_n=U_{ex}*f_{\Phi\Pi n} \quad (6)$$

Из экспериментальных статических характеристик ПС видно, что зависимость изменения частоты ФП от величины сопротивления нагрузки ($(f_{\Phi\Pi}=F(R_n))$) получается линейной функцией и определяется выражением:

$$f_{\Phi\Pi} = K R_n \quad (7)$$

Имея зависимость ($(f_{\Phi\Pi}=F(R_n))$), можно построить внешнюю характеристику ($(I_n=F(R_n))$) ПС, которая получается строго жесткой, т.е. с изменением величины сопротивления нагрузки R_n , ток нагрузки ($I_n=0,5[A]$; $I_n=0,55[A]$; $I_n=0,6[A]$) практически остаётся неизменным. При этом меняя частоту ФП можно регулировать величину тока нагрузки и построить плавно регулируемый ПС с практически идеальной стабилизацией тока нагрузки.

Рассмотрим моделирования и построения статических характеристик управляемого по частоте ПС в программе C Sharp-C#. Ниже представлены программа моделирования и полученные статические характеристики «вход-выход» (Рис.4) и нестабильность $\delta\% = f(U_{вх})$ (Рис.5) с повышенным КПД при разных частотах ФП.

```

/Using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting; namespace
StatMaster{public partial class StatMaster : Form {public
StatMaster() {InitializeComponent chart. () Titles.Add;
chart.ChartAreas[0].AxisX.Title = "U - Граница вход-выход
напряжения";
chart.ChartAreas[0].AxisY.Title = "δ% - Общая статическая
нестабильность выходного напряжения";
chart.Series["f1"].Points.Add(new DataPoint(0, 0));
chart.Series["f2"].Points.Add(new DataPoint(0, 0));
chart.Series["f3"].Points.Add(new DataPoint(0, 0));
chart.ChartAreas[0].AxisX.Minimum = 0; chart.ChartAreas[0].AxisX.Maximum =
24; chart.ChartAreas[0].AxisY.Minimum = 0;
chart.ChartAreas[0].AxisY.Maximum = 2;} private void
btnRunChart_Click(object sender, EventArgs e) {var inputVoltageList = new
List<float>();
inputVoltageList.Add(2); inputVoltageList.Add(4);
inputVoltageList.Add(6); inputVoltageList.Add(8);
inputVoltageList.Add(10); inputVoltageList.Add(12);
inputVoltageList.Add(14); inputVoltageList.Add(16);
inputVoltageList.Add(18); inputVoltageList.Add(20);
inputVoltageList.Add(22); inputVoltageList.Add(24);
var f1List = new List<float>();
f1List.Add(0); f1List.Add(0); f1List.Add(0.55f);
f1List.Add(1.1f); f1List.Add(1.43f); f1List.Add(1.6f);
f1List.Add(1.7f); f1List.Add(1.72f);
f1List.Add(1.72f); f1List.Add(1.72f);
f1List.Add(1.72f); f1List.Add(1.72f);
var f2List = new List<float>();
f2List.Add(0); f2List.Add(0); f2List.Add(0.67f);
f2List.Add(1.25f); f2List.Add(1.52f); f2List.Add(1.67f);
f2List.Add(1.73f); f2List.Add(1.77f); f2List.Add(1.77f);
f2List.Add(1.77f); f2List.Add(1.77f);
var f3List = new List<float>();
f3List.Add(0); f3List.Add(0); f3List.Add(0.8f);
f3List.Add(1.32f); f3List.Add(1.59f); f3List.Add(1.71f);
f3List.Add(1.78f); f3List.Add(1.82f);
}
}
}

```

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

```
f3List.Add(1.82f);
f3List.Add(1.82f);
for (int i = 0; i < 12; i++){
    chart.Series["f1"].Points.Add(new
DataPoint(inputVoltageList[i], f1List[i]));
    chart.Series["f2"].Points.Add(new
DataPoint(inputVoltageList[i], f2List[i]));
    chart.Series["f3"].Points.Add(new
DataPoint(inputVoltageList[i], f3List[i]));
}}private void maskedTextBox1_MaskInputRejected(object sender,
MaskInputRejectedEventArgs e){}private void backgroundWorker1_DoWork(object
sender, System.ComponentModel.DoWorkEventArgs e){} private void
StatMaster_Load(object sender, EventArgs e){}}
```

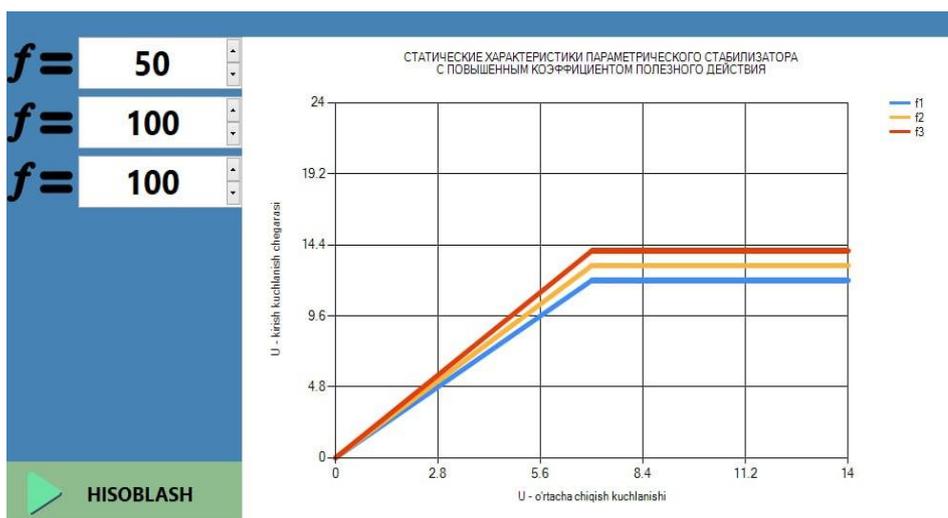


Рис.4. Статические $U_{\text{вх}}=f(U_{\text{ср}})$ характеристики ПС с повышенным КПД при разных частотах ФП полученная в программе C Sharp-C#

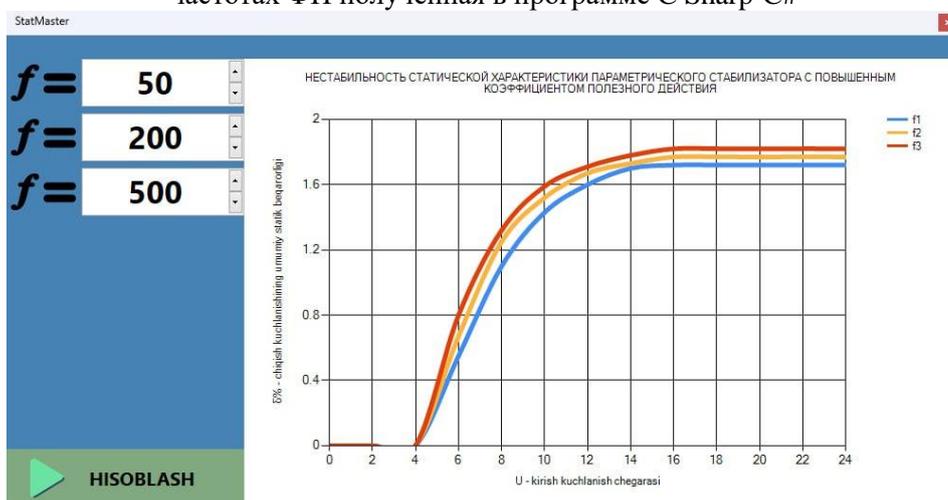


Рис.5. Нестабильность $\delta\% = f(U_{\text{вх}})$ статической характеристики ПС с повышенным КПД при разных частотах ФП полученная в программе C Sharp-C#

По результатам экспериментальных и расчетных статических характеристик выявлены высокие электротехнические показатели ПС, в частности, коэффициент стабильности по входному напряжению составляет 90-95%, КПД при широком диапазоне изменения мощности нагрузки находится в пределах 0,8-0,9.

Таким образом, из экспериментальных- построенных графо-аналитическим методом и расчетных- полученных моделированием в программе C Sharp-C#

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

статических характеристик очевидно, что ПС является практически идеальным управляемым стабилизирующим устройством, при этом колебание величины входного напряжения и изменение значения нагрузки компенсируется регулированием частоты.

Заключение.

1. Предложенная структурная схема на комбинации ЭФМЦ и МПП позволяет создавать управляемые ВИЭП с высокими электротехническими показателями.
2. Экспериментальные статические характеристики построенные графо-аналитическим способом и расчетные статические характеристики полученные моделированием в программе C Sharp-C# наглядно демонстрирует возможности создания управляемых ПС с почти идеальными свойствами стабилизации напряжения и тока.

Литература

1. Губанов В.В. Стабилизированные полупроводниковые преобразователи в системе с нелинейными резонансными устройствами: М.: Энергоатомиздат, 2005.
2. Бегматов Ш.Э. Разработка и исследование частотно-управляемых феррорезонансно - полупроводниковых стабилизаторов тока с питанием от источника постоянного напряжения. Диссертация. Т.: ТашГТУ, 1993.
3. Абдуллаев Б., Бегматов Ш.Э. Применение обобщенной модели к анализу вторичного источника электропитания.//Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2018, №3-4.
4. Begmatov Sh.E., Peysenov M.B. “Юқори фойдали иш коэффициентига эга параметрик стабилизаторнинг статик тавсифларини -ҳисоблаш ва қуриш дастури”// Гувохнома. DGU 32471. 2024 й.
5. Begmatov Sh.E., Peysenov M.B., Rismuxamedov S.D. “Параметрик стабилизатор чиқиш кучланишининг статик беқарорлик тавсифини ҳисоблаш ва қуриш дастури”// Гувохнома. DGU 34684. 2024 й.

УДК: 621.313

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ПУСКОВЫХ И УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ**

А.О. Пулатов, А.У. Мирисаев, М.Ф. Шамиев

Ташкентский государственный технический университет

В статье рассмотрены вопросы оптимизации пуска асинхронных электроприводов с использованием современной микропроцессорной техники с реализацией генетического алгоритма поиска оптимальной кривой разгона двигателя.

Maqolada asinxron motorni optimal ishga tushirish masalalari muhokama qilinadi. optimal tezlanish traektoriyasini topish uchun genetik algoritmdan foydalaniladi.

The article deals with the optimization of asynchronous electric drives start using modern microprocessor technology with the implementation of a genetic algorithm for finding the optimal motor acceleration curve.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ключевые слова: асинхронный электропривод, генетический алгоритм, оптимизация процесса пуска, экономия электроэнергии, микропроцессорная техника.

Энергоэффективный асинхронный электропривод, характеризуется эффективным энергопотреблением как в статических установившихся режимах, так и в динамических режимах асинхронного двигателя. Для механизмов с нециклическими механизмами существенное значение имеют потери энергии в установившихся режимах. Для известных категорий механизмов определенных как механизмы циклического действия динамические потери связанные с режимами пуска, тормоза, реверса могут быть соизмеримыми со статическими потерями в них. Поэтому в этих категориях электроприводов существенное значение приобретают проблемы плавного пуска электродвигателей. Ниже рассмотрим в отдельности энергоэффективные алгоритмы пуска и установившегося режима.

Алгоритм энергоэффективного режима плавного пуска. Применение систем плавного пуска способствует уменьшению пускового тока; отсутствию рывков, гидравлических ударов, механических перегрузок на валы и подшипниковые узлы: уменьшению нагрева и увеличению сроков службы электродвигателя. Кроме этого, в устройствах плавного пуска можно достигнуть эффекта пуска двигателя с минимальными потерями, уменьшить потребление активной электрической энергии из сети, защитить электрический двигатель от аварийных режимов, тем самым увеличить эффективность работы электроустановки в целом.[1]

Колебания напряжения в сети при пуске асинхронного электродвигателя, как правило, зависят от величины пускового тока. Относительная величина напряжения на зажимах электродвигателя в момент пуска определяется:

$$U_{\text{ов}} = U_{\text{сети}} - \Delta U. \quad (1)$$

При этом,

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos \phi_{\text{start}} + X \cdot \sin \phi_{\text{start}}) \cdot I_{\text{start}}, \quad (2)$$

где R и X – активное и индуктивное сопротивление кабельной линии от источника сети до зажимов электродвигателя.

Коэффициент мощности при пуске определяется по формулам [2]:

$$\cos \phi'_n = \cos \phi_n \left[\frac{m_n}{(1-s_n)k_i} + \gamma k_i (1 - \eta_n) \right] \quad (3)$$

$$\cos \phi''_n = \frac{\eta_n \cos \phi_n}{1-s_n} \cdot \frac{m_n + 0,025k_i^2}{k_i} \quad (4)$$

где $\cos \phi_n$ – коэффициент мощности; η_n – КПД; m_n – кратность начального момента; k_i – кратность пускового тока; s_n – скольжение при номинальных нагрузке и напряжении асинхронного двигателя; γ – коэффициент, равный отношению переменных потерь активной мощности в двигателе к суммарным потерям.

Следует отметить, что системы плавного пуска разрабатываются различными мировыми компаниями, например, такими компаниями, как АВВ, Siemens, Danfoss и др. Отличительной особенностью предлагаемого устройства плавного пуска UMP-2 является то, что запуск двигателя происходит с минимальным потреблением мгновенной потребляемой электрической мощности из сети. Это позволяет минимизировать величину пускового тока из сети и потребляемую мощность, а также запустить электрический двигатель с минимальными потерями мощности. Данная возможность была получена благодаря применению алгоритма управления устройством плавного запуска с использованием генетического

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

алгоритма [6]. Алгоритм метода работает следующим образом. Традиционно, произвольным образом, формируется несколько вариантов задания задатчика напряжения, с различными параметрами времени и темпа разгона. Параметры этих траекторий сохраняются подряд в коде Грея. Эта последовательность единиц и нулей называется хромосомой (или особью). В результате образуется популяция видов. Для этой каждой особи рассчитывается пусковой процесс и вычисляются потери мощности. После этого выбирается лучшая особь, при которой потребление электрической энергии минимальна. А остальные особи считаются слабыми и выбрасываются (стираются из памяти). Этим имитируется естественный отбор как в живой природе. Проводится вариационный подбор и выбор параметром и сохраняется особь предыдущих поколений. Критерий минимум потерь при пуске определяет направление развития и соответственно эволюцию. Метод не требует сложных математических вычислений и может применяться для систем любой сложности.

Алгоритм пуска асинхронного электродвигателя приведен на рис. 1

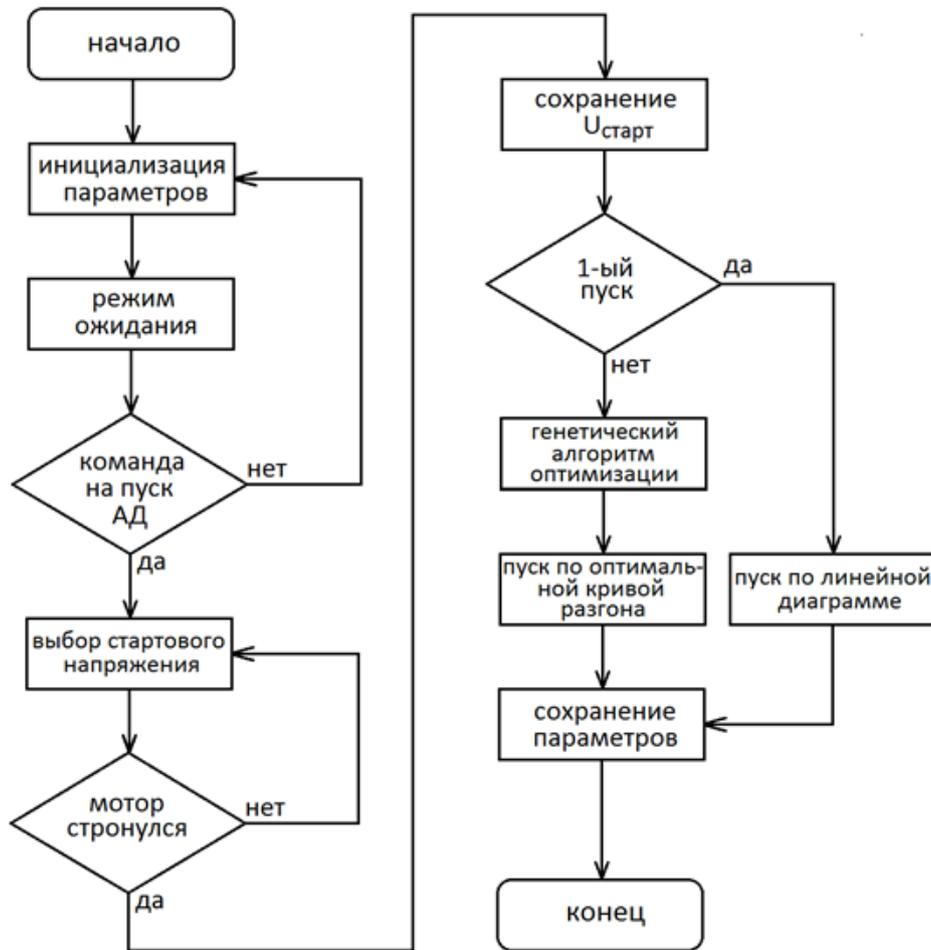


Рис.1 Алгоритм пуска асинхронного электродвигателя

В процессе обучения и анализа используются кривые характеристики потребляемой мощности двигателя для различных углов открытия и темпов разгона показанных на рис 2. и используются формулы описанные в [3].

Ток статора определяется как:

$$I_s = \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{\sqrt{2} \times z} \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{3U_1}{4\sqrt{2}\pi} (\cos(2\alpha_{RL}) - \cos(2(\alpha_{RL} - \gamma))) \quad (2)$$

$$b_1 = \frac{3U_1}{4\sqrt{2}\pi} (\sin(2\alpha_{RL}) - \sin(2(\alpha_{RL} - \gamma) - 2\gamma + \frac{4\pi}{3})) \quad (3)$$

$$z = \sqrt{R_s^2 + X^2} \quad (4)$$

$$X = X_s + X_m X_r / (X_r + X_m) \quad (5)$$

$$\psi_1 = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R_s}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{a_1}{b_1}\right) \quad (6)$$

$$I_r = I_s X_m / (\sqrt{(R_s/s)^2 + ((X_m + X_r)^2)}) \quad (7)$$

$$M_e = \frac{3I_r^2 R_r (1-s)}{s\omega_r} \quad (8)$$

где U_1 - действующее значение напряжения;

M_e - момент двигателя;

X - полное индуктивное сопротивление двигателя;

s - скольжение;

ω_r - скорость ротора.

Алгоритм работы следующий:

1. **INPUT**- ввод параметров двигателя и действующего напряжения двигателя V_s
2. **SET**- диапазон угла открытия тиристоров [α_{min} , α_{max}], потребляемая мощность [P_{min} , P_{max}], начальный угол удержания $\gamma_{initial}$, задание шага $\Delta\alpha$, ΔP и $\Delta\gamma$ и требуемую точность ϵ_{max} , номинальный ток двигателя I_s , R^2 и X^2 – активное и индуктивное сопротивление ротора, X_m - индуктивность рассеяния.
3. Инициализация
4. **SET** $\alpha = \alpha_{min}$;
5. **SET** $P = P_{min}$;
6. **SET** $\gamma = \gamma_{initial}$;
7. **If** $\gamma > \pi/3$, **SET** mode 0/2 **ELSE SET** mode 2/3 **END**

8. Определение α_{RL} и коэффициент напряжения Фурье как функция E_1 для установленного режима
9. Решение равенств (6) и (1) для получения E_1 и I_s
10. Вычисление α_{th} и ошибки $\varepsilon = \alpha_{th} - \alpha$
11. **If** $\varepsilon > \varepsilon_{max}$

If $\varepsilon < 0$;

$\gamma = \gamma + \Delta\gamma$;

Else $\gamma = \gamma - \Delta\gamma$; $\Delta\gamma = \Delta\gamma/2$;

$\gamma = \gamma + \Delta\gamma$;

END

Goto step7

Else Вычисляем Γ и M_e по (7) и (8).

Сохраняем α , P , M_e

Устанавливаем

SET $P = P + \Delta P$;

If $P < P_{max}$

Goto step6

Else $\alpha = \alpha + \Delta\alpha$;

If $\alpha < \alpha_{max}$

Goto step4

Else Stop

End

End

End

Как правило 70% данных используется для процесса обучения, 15% — используется для проверки, а 15% используется для тестирования.

Реализация алгоритма на рис. 1 позволяет за несколько пусков определить оптимальную кривую разгона как по величине потребляемого тока, так и по времени пуска, обеспечивая запуск электрического электродвигателя с минимальным отбором электрической энергии из электрической сети. На рис.2 приведены примеры кривых зависимости подаваемого напряжения в относительных единицах на электрический электродвигатель по времени в секундах.

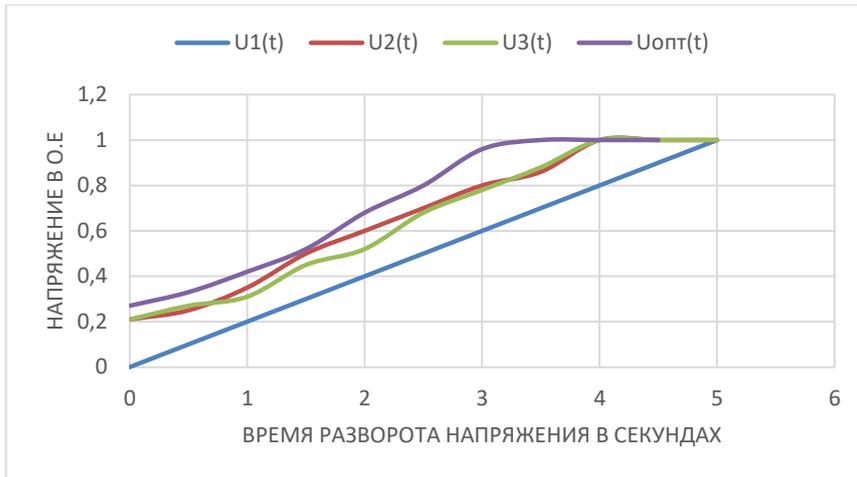


Рис.2 Кривые разгона асинхронного электродвигателя в зависимости от напряжения подаваемого на двигатель во времени

Таким образом, применение систем плавного пуска адекватно применять при дефиците мощности электрической сети, а просадки и провалы напряжения, которые появляются при прямом запуске асинхронных электродвигателей можно не только уменьшить, но и исключить. А также следует отметить, что механизмов с частыми пусками доля сэкономленной электроэнергии при пусках даст существенную величину.

Алгоритм управления энергоэффективного асинхронного электропривода в установившемся режиме. Одним из способов энергоэффективного оптимального управления установившемся режиме, считается обеспечение минимум потерь. Для этого, как известно, необходимо поддерживать определенное скольжение.

Скольжение S_{opt} , которое соответствует минимуму потерь, находится из следующего выражения

$$\frac{d\Delta P}{ds} = M_c \cdot \omega_{1n} \cdot \left(C_1 \cdot s + \frac{C_2}{s} + (1 + k_{cm}) \cdot \left(C_3 \cdot s + \frac{C_4}{s} \right) \right) = 0, \quad (9)$$

где

$$C_1 = 1 + \frac{R_s}{R_r} \cdot \left(1 + \left(\frac{X_s}{X_\mu} \right)^2 \right), \quad C_2 = \left(\frac{1}{X_\mu} \right)^2 \cdot R_s \cdot R_r', \quad (10)$$

$$C_3 = C_3' \cdot \frac{\Delta P_{ст.н}}{M_c \cdot \omega_1 \cdot (1 + k_{cm}) \cdot \left(C_3' \cdot s + \frac{C_4'}{s} \right)},$$

$$C_3' = \frac{\Delta P}{3E^2} \cdot \frac{X_r}{R_r}, \quad (11)$$

$$C_4 = C_4' \cdot \frac{\Delta P_{ст.н}}{M_c \cdot \omega_1 \cdot (1 + k_{cm}) \cdot \left(C_3' \cdot s + \frac{C_4'}{s} \right)}, \quad C_4' = \frac{\Delta P}{3E^2} \cdot R_r, \quad (12.)$$

$$\Delta P_{ст.н} = \Delta P_n - \Delta P_{м.н},$$

$$\Delta P_{м.н} = M_n \cdot \omega_{1n} \cdot \left(C_1 \cdot s_n + \frac{C_2}{s_n} \right), \quad (13)$$

$$\Delta P_n = \frac{P_n \cdot (1 - \eta_n)}{\eta_n}, \quad (14)$$

где k_{cm} – коэффициент потерь в стали (принимается равным 0,5); ΔP_n , $\Delta P_{ст.н}$, $\Delta P_{м.н}$ – полные потери, потери в стали, потери в меди двигателя в номинальном режиме; s_n – номинальное скольжение; E_n – ЭДС фазы двигателя в номинальном режиме; I_n , M_n – номинальный ток, момент двигателя; R_r' , R_s , X_s , X_r' , X_μ –

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

параметры схемы замещения. Первое и второе слагаемые в скобках (3.9) определяют мощность потерь в меди двигателя, третье и четвертое – мощность потерь в стали.

Продифференцировав выражение (3.9), получим уравнение пятого порядка с коэффициентами k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 , которое решается численным методом при помощи MATLAB

$$k_1 \cdot s^5 - k_2 \cdot s^4 + k_3 \cdot s^3 - k_4 \cdot s^2 + k_5 = 0, \quad (15)$$

где k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 – коэффициенты для выбранного АД; k – показатель степени.

$$k = \frac{(M_{с.н} - M_0)}{(1 - s_{с.н})^2}, \quad (16)$$

$$k_1 = 2 \cdot k \cdot (C_1 + 1,5C_3), \quad (17)$$

$$k_2 = 5 \cdot k \cdot (C_1 + 1,5C_3), \quad (18)$$

$$k_3 = 2 \cdot [k \cdot (C_1 + C_2 + 1,5C_3 + 1,5C_4) + k \cdot (C_1 + 1,5C_3)], \quad (19)$$

$$k_4 = 4 \cdot k \cdot (C_2 + 1,5C_4) + M_0 \cdot (C_1 + 1,5C_3) + k \cdot (C_1 - C_2 + 1,5C_3 - 1,5C_4), \quad (20)$$

$$k_5 = (k + M_0) \cdot (C_2 + 1,5C_4). \quad (21)$$

где M_0 – начальный момент сопротивления механизма, не зависящий от скорости вращения ($M_0 \approx 0,15 \cdot M_{ni}$) – пятнадцать процентов от номинального момента, Н·м; $M_{с.н} = P_{с.н} / \omega_{с.н}$ – момент сопротивления механизма при номинальной скорости вращения.

Анализируя выражение (15), можно сделать следующий вывод: коэффициенты k_1, k_2, k_3 малы, а $C_2 \approx 0, C_3 \approx 0$, тогда оптимальное скольжение определится

$$s_{onm} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot C_4 \cdot (k + M_0)}{M_0 \cdot C_1 + k \cdot (C_1 + 4,5 \cdot C_4)}}. \quad (22)$$

Поддержание оптимального скольжения асинхронного двигателя позволяет обеспечить минимизацию потерь в системе автоматического регулирования с обратной связью, где за счет стабилизации скорости автоматически изменяется напряжение статора двигателя в функции момента на валу по закону

$$U_{onm} = \sqrt{\frac{M_{onm} \cdot (s_k^2 + s_{onm}^2 + 2 \cdot a \cdot s_k^2 \cdot s_{onm})}{2 \cdot M_k \cdot s_k \cdot s_{onm} \cdot (1 + a \cdot s_k)}}. \quad (23)$$

При использовании системы ТРН- АД нахождение оптимального значения напряжения может вестись несколькими способами, это вычислительный процесс, поисковый и с реализацией обратных связей, например по скорости, хотя последнее не всегда выполнимо технически, так как существует необходимость в наличие датчика скорости, которое непосредственно должен устанавливаться на вал двигателя или агрегата. При этом реализовать вычислительный процесс по нахождению оптимального напряжения или использовать поисковую системы при наличии современных микропроцессорных систем не составляет труда. В основе лежит программный продукт, который и обеспечивает работу электропривода в режиме повышенной энергетической эффективности [8].

Список литературы

1. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ АГРЕГАТАМИ С.Н. Воякин В е с т н и к К р а с Г А У. 2 012. №8 Стр 157-163
2. Ф.Ф. Карпов, «Как проверить возможность подключения к электрической сети двигателей с короткозамкнутым ротором», М. «Энергия», 1971

3. A Proposed ANN-Based Acceleration Control Scheme for Soft Starting Induction Motor
AMIR ABDEL MENAEM, MOHAMED ELGAMAL, (Graduate Student Member, IEEE), ABDEL-HALEEM ABDEL-ATY , EMAD E. MAHMOUD, ZHE CHEN, (Fellow, IEEE), AND MOHAMED A. HASSAN (Member, IEEE)
Received November 28, 2020, accepted December 7, 2020, date of publication December 23, 2020, date of current version January 8, 2021. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3046848
4. «Software for Control, Account and Rational Use of Groundwater Using an Automated Asynchronous Electric Drive for Weep Holes» European Science Review, №9-10, 2022, (ISSN 2310-5577) <https://doi.org/10.29013/ESR-21-9.10-24-28>.
5. А.О. Пулатов, М.Ф. Шамиев, У.М. Мирсаидов, «Энергоэффективное ресурсосберегающее устройство плавного пуска для асинхронных электроприводов», журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения», спец.выпуск №41, 2022, с.209-214.
6. И.Я. Браславский, Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. М.: АКАДЕМА, 2004.
7. И.Я. Браславский, Оптимизация пусковых процессов в системе «реальная сеть – ПЧ-АД» / И.Я. Браславский, А.В. Костылев, Д.В. Цибанов // Электроприводы переменного тока: Труды Международной 15-ой научно-технической конференции / Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, 2012, с.175-178.
8. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №DGU20091 «Компьютерная программа для расчета плавного пуска асинхронного электродвигателя с максимальным коэффициентом полезного действия»

АНАЛИЗ БАЗОВОЙ СХЕМЫ ФЕРРОРЕЗОНАНСНО- ТРАНЗИСТОРНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ВСТРОЕННЫМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

*к.т.н. доц. Алимов Анвар Акбарович; PhD, стар. пр. Акбаров Фаррух Анвар угли;
стар. пр. Носирова Дилдора Анваровна*

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Анализу и применению феррорезонансно - транзисторных параметрических стабилизаторов (ФТПС) посвящена обширная литература. Однако, такие вопросы, как исследование параметрических стабилизаторов с питанием от источника постоянного напряжения с выходом на переменном и постоянном токах, построенных на основе транзисторно-феррорезонансных устройств со встроенным управляющим функциональным преобразователем (ФП) с учетом динамических свойств сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса и постоянным режимом работы магнитных и полупроводниковых элементов устройств исследованы ещё недостаточно. Опыт показывает, что динамические свойства сердечников и законы изменения выходной частоты ФП во многом определяют точность, параметрическую надежность и обеспечивают режимы стабилизации тока и напряжения. Изучение влияния указанных параметров на характеристики базового ФТПС и является целью настоящей статьи.

Допущения при анализе и вопросы аппроксимации статических характеристик элементов феррорезонансно - транзисторных параметрических стабилизаторов

При анализе феррорезонансно - транзисторных параметрических стабилизаторов принимаем следующие допущения:

1. Напряжение источника питания постоянного тока обеспечивает полное перемагничивание сердечников ФТПС из одного состояния в другое при переключении транзисторных ключей.
2. Обмоточные данные, геометрические размеры сердечников и их магнитные характеристики идентичны, нагрузка активная.
3. Статическая петля гистерезиса сердечников близка к прямоугольной.
4. Индуктивность рассеяния обмоток равна нулю.
5. Индуктивное сопротивление рабочей обмотки насыщенного сердечника существенно меньше сопротивления нагрузки $X_S \ll R_H$ и им можно пренебречь.

Аппроксимация динамической петли гистерезиса с помощью динамической кривой размагничивания

Для изучения влияния различных факторов на стационарный режим базового ФТПС целесообразно использовать математическую зависимость, описывающую динамическую петлю гистерезиса. В общем случае связь между индукцией и напряженностью поля сердечников описывается дифференциальным уравнением высокого порядка, при этом переменные зависят от времени.

$$B = \varphi \left(H, \frac{dB}{dt}, \dots, \frac{dB}{dt}, \frac{d^2 B}{dt^2}, \dots \right). \quad (1)$$

обычно производными высших порядков пренебрегают и тогда уравнение упрощается (1) и принимает следующий вид

$$\frac{dB}{dt} - F(H, B) = 0 \quad (2)$$

Конкретный вид уравнения (2), описывающего динамическую петлю гистерезиса приближенно, зависит от множества факторов (режима перемагничивания сердечников, технологии изготовления ферромагнетиков и их параметров и т.д.).

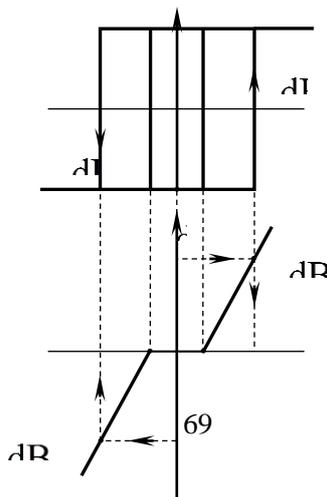


Рис.1. Динамическая прямоугольная петля гистерезиса ферромагнитного материала

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Применительно к ФТПС представляет интерес интерпретация уравнения (2) с использованием динамической кривой размагничивания (ДКР). Это связано с тем, что ДКР нашла широкое применение при проектировании ФП, а также ФТПС со встроенным управляющим ФП.

Математическое описание динамической петли гистерезиса с использованием ДКР со строгим выводом приведена в литературе, согласно которой уравнение (2) принимает вид:

$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_3}{\pi} (H - H_c). \quad (3)$$

где μ_3 - эквивалентная проницаемость сердечника, определяемая по ДКР.

H_c - коэрцитивная сила, определяемая по статической петле гистерезиса:
 $\tau = \alpha t$.

Согласно экспериментальным исследованиям, проведенным Н.М.Яковлевым, уравнение (3) наиболее точно описывает процессы перемагничивания сердечников, которое происходит под действием напряжения переменного тока прямоугольной формы. Последнее равносильно перемагничиванию сердечников под действием напряжения постоянного тока с его периодической коммутацией, что и было использовано нами при построении базовой схемы ФТПС.

Аппроксимация динамической петли гистерезисов по (3) предполагает, что зависимость скорости перемагничивания сердечников от динамической напряженности линейна, т.е. чем быстрее перемагничивание сердечников, тем шире динамическая петля гистерезиса. Уравнение (3) описывает лишь процесс намагничивания сердечников, а для процесса размагничивания оно примет следующий вид

$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_3}{\pi} (H + H_c)$$

где знак '-' соответствует увеличению индукции в сердечнике, а '+' её уменьшению.

Графическая интерпретация этих рассуждения приведена на рис. 1.

Из графика следует, что для конкретной частоты преобразования ФТПС зависимость скорости изменения индукции нелинейного дросселя от динамической напряженности поля линейна.

Анализ базовой схемы параметрического стабилизатора напряжения с питанием от источника переменного напряжения прямоугольной формы.

Параметрический стабилизатор с питанием от источника постоянного напряжения с выходом на переменном и постоянном токах, построенный на основе транзисторно-феррорезонансных устройств с встроенным управляющим функциональным преобразователем (ФП), приведен на рис. 2 и 3. Такой способ стабилизации позволяет оптимизировать режимы работы магнитных и

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

полупроводниковых элементов стабилизатора за счет изменения частоты ФП по определенному закону, например, по гиперболическому.

Проведем анализ режимов работы феррорезонансной части стабилизатора. Согласно ему схему замещения феррорезонансных стабилизаторов напряжения можно представить при помощи рис. 2.8. Допустим, что транзисторные ключи идеальны и характеристика намагничивания нелинейной индуктивности изменяется по прямоугольной петле гистерезиса (ППГ), а напряжение на входе ФЦ является прямоугольным переменным.

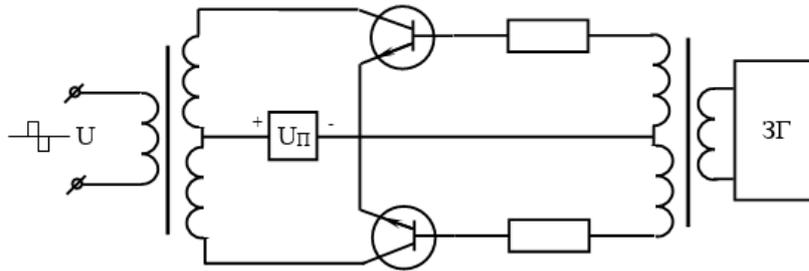


Рис.2 Управляющая часть параметрического стабилизатора напряжения.

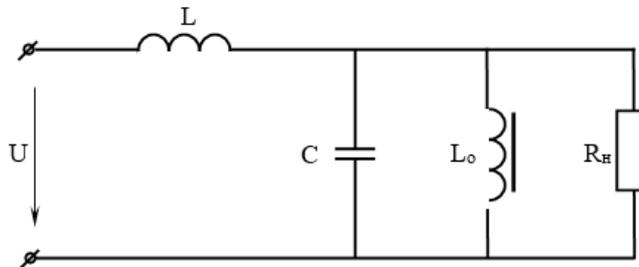


Рис.3 Силовая электроферромагнитная цепь со стабилизацией напряжения.

Система уравнений, описывающая физические процессы в этой схеме, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_1 + i_2 + i_3 + i_4 \\ i_4 = g_4 u_4 = g_4 \omega s \frac{dB}{dt} \\ i_2 = \frac{HI}{W} \\ i_3 = c \frac{du_c}{dt} = c \omega s \frac{d^2 B}{dt^2} \\ u = L \frac{di_1}{dt} + \omega s \frac{dB}{dt} \end{array} \right. \quad (4)$$

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Если примем, что зависимость скорости изменения индукции от динамической напряженности поля линейна (рис.5), т.е.

$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_s}{\mu} (H - H_c),$$

где H_c и μ_s - соответственно, коэрцитивная сила статической петли гистерезиса и эквивалентная магнитная проницаемость, определяемая из динамической кривой намагничивания сердечника; $\tau = \omega t$

Тогда, из системы (4) после некоторых преобразований, получим:

$$LC\omega s \frac{d^3 B}{dt^3} + \left(Lg_H \omega S + \frac{Le}{2f\omega\mu_s} \right) \frac{d^2 B}{dt^2} + ws \frac{dB}{dt} = u \quad (5)$$

Уравнение (5) является линейным неоднородным дифференциальным уравнением, характеристическое уравнение которого имеет следующий вид:

$$LC\omega s p^3 + \left(Lg_H \omega S + \frac{Le}{2\omega f \mu_s} \right) p^2 + w s p = 0 \quad (6)$$

Откуда, $P_1=0$

$$LC\omega s p^2 + \left(Lg_H \omega S + \frac{Le}{2\omega f \mu_s} \right) p + w s = 0 \quad (7)$$

При условии, когда

$$D = \left(Lg_H w S + \frac{Le}{2f\mu_s w} \right)^2 - 4w^2 \rho^2 LC > 0, \quad (8)$$

магнитная индукция в ферромагнитном материале определяется следующим выражением:

$$B = C_1 e^{-p_2 t} + C_2 C_1 e^{-p_3 t} + \frac{U}{ws} t + C_0 \quad (9)$$

где p_2, p_3 - действительные корни уравнения (3.7)

C_0, C_1, C_2 - постоянные интегрирования.

Частное решение уравнение (5), определено из условия, когда $u=U=const$ за полупериод частоты переменного напряжения.

Постоянные интегрирования определяем из следующих начальных условий:

1) при $t=0$ в сердечнике имеется остаточная индукция B_0 ;

2) при $t = \frac{\alpha}{\omega}$, $B=B_r$, где α -угол насыщения сердечника, $B_r=B_s$ -индукция насыщения

3) при $t = \frac{\alpha}{\omega}$, $\frac{dB}{dt} = 0$.

С учетом этих начальных условий получим:

$$\begin{cases} C_1 + C_2 + C_0 = B_0 \\ C_1 e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}} + C_2 e^{-p_3 \frac{\alpha}{\omega}} + \frac{V}{ws} \frac{\alpha}{\omega} + C_0 = B_r \\ -C_1 P_2 e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}} - C_2 e^{-p_3 \frac{\alpha}{\omega}} + \frac{V}{ws} \frac{\alpha}{\omega} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Из системы (10), получим

$$C_1 = \frac{U}{wspe^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}}} - \frac{\frac{U}{ws} + B_r P_2 - \frac{U}{ws} - \frac{U \alpha P_2}{ws\omega} - B_0 P_2}{P_3 e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}} - \frac{P_3^2}{P_2} e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}} - \frac{P_3 e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}}}{e^{-p_3 \frac{\alpha}{\omega}}} + \frac{P_3^2}{2}} \quad (11)$$

$$C_2 = \frac{\frac{U}{wsp_2 e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}}} + B_r - \frac{U}{wsp_2} \frac{U \cdot \alpha}{ws\omega} - B_0}{e^{-p_3 \frac{\alpha}{\omega}} - \frac{P_3}{P_2} e^{-p_3 \frac{\alpha}{\omega}} - 1 + \frac{P_3 e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}}}{P_2 e^{-p_2 \frac{\alpha}{\omega}}}} \quad (12)$$

$$C_0 = B_0 - C_2 - C_1 \quad (13)$$

Таким образом, с учетом (11), (12) и (13) из выражения (9) определяем закон изменения индукции в сердечнике.

Рассмотренная методика исследования позволяет линеаризовать систему уравнений и получить аналитические выражения для магнитных и электрических величин в общем виде.

Напряжение на нагрузке определим из следующего дифференциального уравнения:

$$U_H = ws \frac{dB}{dt} \quad (14)$$

подставляя (9) в (14) получим

$$U_H = U - C_1 P_2 w s e^{-P_2 t} - C_2 P_3 w s e^{-P_3 t} \quad (15)$$

Среднее значение напряжения за полупериод равно

$$U_{cp} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_H dt \quad (16)$$

Для интервала от $\omega t=0$ до $\omega t=\alpha$

$$\begin{aligned} U_{cp} &= 2 f w s 2 \left(- \int_0^{\frac{\alpha}{\omega}} C_1 P_2 e^{-P_2 t} dt - \int_0^{\frac{\alpha}{\omega}} C_2 P_3 e^{-P_3 t} dt \right) + 2 f \int_0^{\frac{\alpha}{\omega}} u dt = \\ &= 2 f w s \left[C_1 \left(e^{-P_2 \frac{\alpha}{\omega}} - 1 \right) + C_2 \left(e^{-P_3 \frac{\alpha}{\omega}} - 1 \right) \right] + \frac{U \alpha}{\pi} \end{aligned} \quad (17)$$

Если подставляем значение C_1 и C_2 из (5) и (6) в (13), то, после некоторых преобразований, получим:

$$U_{cp} = 2 f w s (B_r - B_0). \quad (18)$$

Рассмотрим параллельный феррорезонансный контур, соединенный последовательно с линейной индуктивностью, как основе параметрического стабилизатора, при воздействии напряжения переменной прямоугольной формы. Такой контур (рис.4) при определенных соотношениях параметров имеет S-образную Вольт-Амперную характеристику с широкой зоной подающего участка. Для определения влияния высших гармоник на Вольт-Амперную характеристику контура исследование его выполнено с учетом основной, третьей и пятой гармоник источника питания и индукции в сердечнике ферромагнитного элемента. При аппроксимации кривой намагничивания ферромагнитного элемента степенной функцией третьего порядка цепь показанная на рис 4 описывается следующим уравнением.

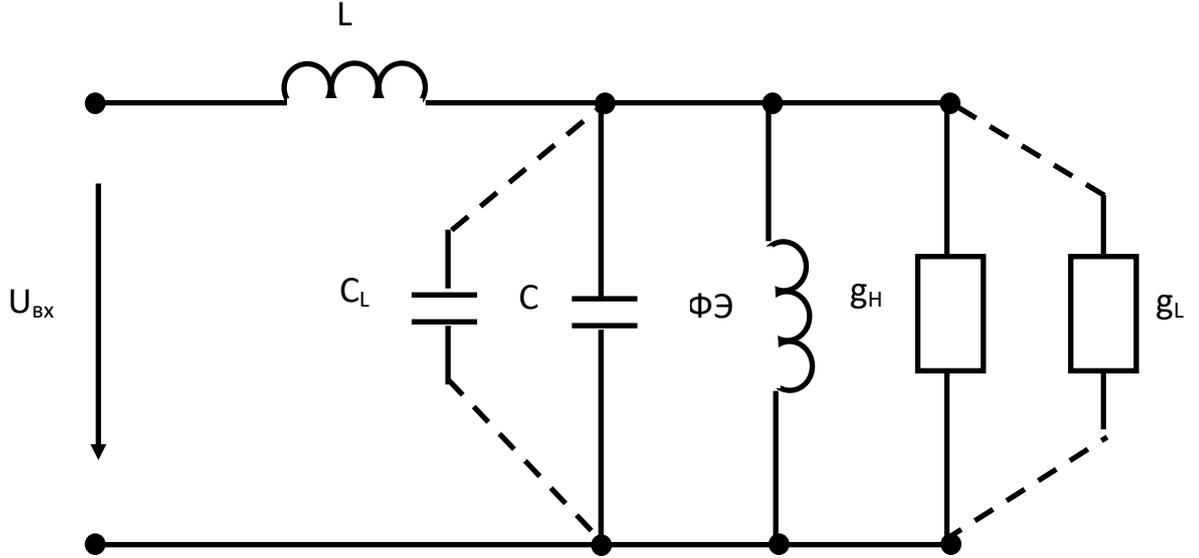


Рис. 4. Параллельный феррорезонансный контур

Д

Допустим, что индукция изменяется по следующему закону (с учетом второй гармоники):

$$B = B_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + B_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + B_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5) \quad (20)$$

Когда

$$U_{ax} = \frac{4U_m}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t \right) \quad (21)$$

Из (20) уравнения значения магнитного индукции B подставляя в (19) уравнение, получим

$$\begin{aligned} & -B_{1m} \omega^3 LCsw \cos(\omega t + \psi_1) - 27B_{3m} \omega^3 LCsw \cos(3\omega t + \psi_3) - \\ & 125B_{5m} \omega^3 LCsw \cos(5\omega t + \psi_5) - B_{1m} \omega^2 Lg_H w s \sin(\omega t + \psi_{11}) - \\ & -9B_{3m} \omega^2 w Lg_H 1m \sin(3\omega t + \psi_3) - 25B_{5m} \omega^2 Lg_H w \sin(5\omega t + \psi_5) - \\ & - \frac{B_{1m} Le \omega^2}{2f\mu_3 w} \sin(\omega t + \psi_1) - \frac{9B_{3m} Le \omega^2}{2f\mu_3 w} \sin(3\omega t + \psi_3) - \\ & - \frac{25B_{5m} Le \omega^2}{2f\mu_3 w} \sin(5\omega t + \psi_5) + B_{1m} \omega w s \cos(\omega t + \psi_1) + \\ & + 3B_{3m} \omega w s \cos(3\omega t + \psi_{m3}) + 5B_{5m} \omega w s \cos(5\omega t + \psi_5) = \\ & = \frac{4U_m}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t \right) \end{aligned} \quad (22)$$

На основе метода гармонического баланса система алгебраических уравнений имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{4U_m}{\pi} \sin \omega t + \left(B_{1m} \omega^2 Lg_H ws + \frac{B_{1m} Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) \sin(\omega t + \psi_1) = 0 \\ \frac{4U_m}{3\pi} \sin 5\omega t + \left(9B_{3m} \omega^2 Lg_H ws + \frac{9B_{3m} Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) \sin(3\omega t + \psi_3) = 0. \\ \frac{4U_m}{5\pi} \sin 5\omega t + \left(25B_{5m} \omega^2 Lg_H ws + \frac{25B_{5m} Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) \sin(5\omega t + \psi_5) = 0 \\ (B_{1m} \omega ws - B_{1m} \omega^3 LswC) \cos(\omega t + \psi_1) = 0 \\ (3B_{3m} \omega ws - 27B_{3m} \omega^3 LswC) \cos(3\omega t + \psi_1) = 0. \\ (5B_{5m} \omega ws - 125B_{5m} \omega^3 LswC) \cos(5\omega t + \psi_5) = 0 \end{array} \right. \quad (23)$$

Используя тригонометрические уравнения:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cos \beta \pm \sin \alpha \sin \beta \end{aligned} \quad (24)$$

Из (23) системы уравнений получим :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{4U_{m1}}{\pi} + B_{1m} \omega^2 L \left(gws + \frac{t}{2 f \mu_3 w} \right) \cos \psi_1 + B_{1m} \sin \psi_1 (\omega ws - \omega^3 Lcws) = 0 \\ \frac{4U_{m3}}{3\pi} + B_{3m} \cos \psi_3 \left(9\omega^2 Lgws + \frac{9Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) + B_{3m} \sin \psi_3 (3\omega ws - 27\omega^3 Lcws) = 0 \\ \frac{4U_{m5}}{5\pi} + B_{5m} \cos \psi_5 \left(25\omega^2 Lgws + \frac{25Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) + B_{5m} \sin \psi_5 (5\omega ws - 125\omega^3 Lcws) = 0 \\ (B_{1m} \cos \psi_1 (\omega ws - \omega^3 Lcws) - B_{1m} \sin \psi_1 \left(\omega^2 Lg_H ws + \frac{Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right)) = 0 \\ (B_{3m} \cos \psi_3 (3\omega ws - 27\omega^3 Lcws) - B_{3m} \sin \psi_3 \left(9\omega^2 Lg_H ws + \frac{9Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right)) = 0 \\ (B_{5m} \cos \psi_5 (5\omega ws - 125\omega^3 Lcws) - B_{5m} \sin \psi_5 \left(25\omega^2 Lg_H ws + \frac{25Le \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right)) = 0 \end{array} \right. \quad (25)$$

Решая (25) систему уравнений мы находим начальные фазы φ и амплитуды гармоник магнитной индукции

$$\begin{aligned}\psi_1 &= \operatorname{arctg} \frac{\omega s - \omega^2 Lcws}{\omega^2 Lg_H ws + \frac{Le\omega}{2f\mu, w}} \\ \psi_3 &= \operatorname{arctg} \frac{3\omega s - 9\omega^2 Lcws}{3\omega^2 Lg_H ws + \frac{3Le\omega}{2f\mu, w}} \\ \psi_5 &= \operatorname{arctg} \frac{5\omega s - 25\omega^2 Lcws}{5\omega^2 Lg_H ws + \frac{25Le\omega}{2f\mu, w}}\end{aligned}\quad (26)$$

$$\begin{aligned}B_{1m} &= \frac{4U_m/\pi}{\left(\omega^2 Lgws + \frac{Le\omega^2}{2f\mu, w}\right) \cos\psi_1 + (\omega s - \omega^3 LCws) \sin\psi_1} \\ B_{3m} &= \frac{4U_{3m}/3\pi}{\left(9\omega^2 Lgws + \frac{9Le\omega^2}{2f\mu, w}\right) \cos\psi_3 + (3\omega s - 27\omega^3 LCws) \sin\psi_3} \\ B_{5m} &= \frac{4U_{5m}/5\pi}{\left(25\omega^2 Lgws + \frac{25Le\omega^2}{2f\mu, w}\right) \cos\psi_5 + (5\omega s - 125\omega^3 LCws) \sin\psi_5}.\end{aligned}\quad (27)$$

Полученные выражения для начальных фаз и амплитуд гармоник магнитной индукции позволяют учесть влияние электрических, магнитных и геометрических параметров НИ на форму индукции, т.е. напряжения.

ОСЦИЛОГРАММА

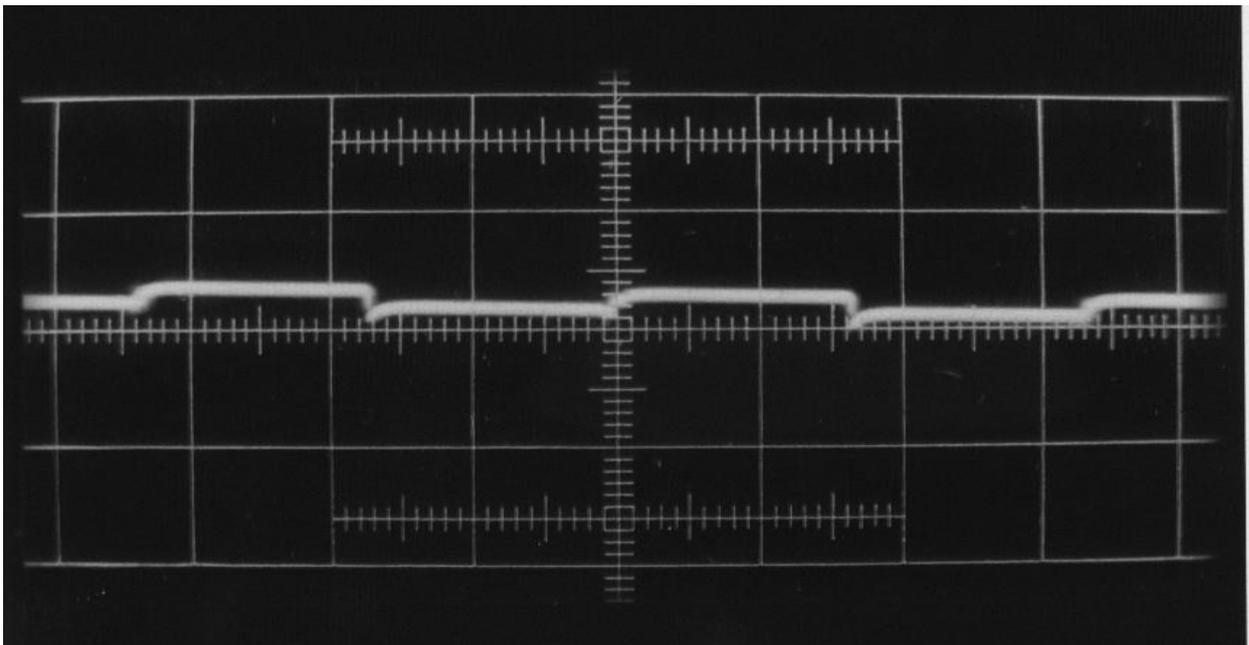


Рис. 5. Изменение динамической коэрцитивной силы в зависимости от скорости изменения индукции

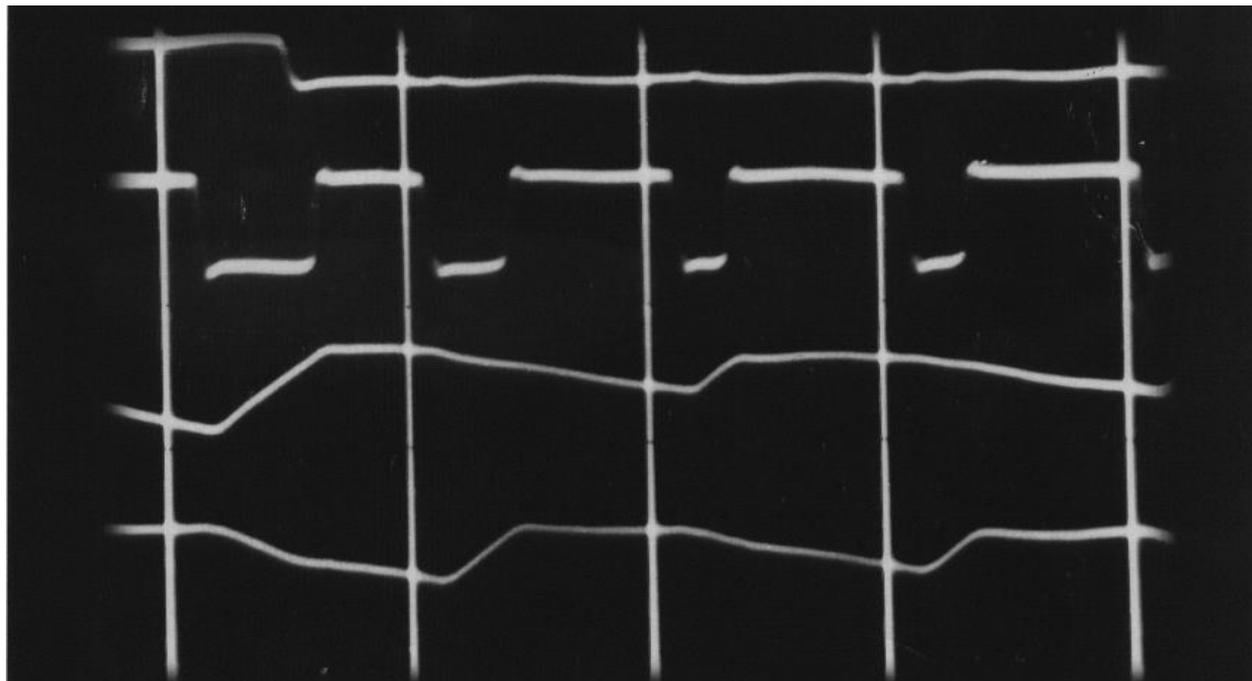


Рис. 6. Осциллограмма изменения магнитной индукции ферромагнитного элемента

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрен вопрос аппроксимации динамической петли гистерезиса прямоугольной формы нелинейной индуктивности для получения линейризованных результатов при анализе режима стабилизации напряжения электроферромагнитной цепи.
2. Проведен анализ электроферромагнитной цепи стабилизации с питанием от источника переменного напряжения прямоугольной формы.
3. Получены аналитические выражения для среднего значения напряжения нагрузки, с учетом граничных начальных условий магнитного режима нелинейной индуктивности.
4. На основе метода гармонического баланса получены аналитические выражения для первой, третьей и пятой гармоник магнитной индукции с учетом множества параметров нелинейной индукции.
5. Получены аналитические выражения для начальных фаз первой, третьей и пятой гармоник с учетом множества электрических и магнитных параметров нелинейной индуктивности и других элементов параметрического стабилизатора.
6. Полученные аналитические выражения для высших гармоник позволяют провести уточненный расчет режимов работы параметрических стабилизаторов напряжения, использующих нелинейную индуктивность.
7. Аналитические выражения, учитывающие высшие гармоники индукции с учетом динамических кривых размагничивания ферромагнитного материала позволяют учесть множество электрических и магнитных параметров в режиме оптимизации массо-габаритных показателей параметрических стабилизаторов, использующих нелинейную индуктивность.
8. Проведенные экспериментальные исследования электроферромагнитных цепей в режиме стабилизации напряжения подтверждают правомерность принятых допущенной и теоретических аналитических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каримов А.С., Абдуллаев Б.А., Алимов А.А., Бегматов Ш.Э. Обобщенная модель нелинейной индуктивности. Известия высших учебных заведений «Энергетика», № 1. Минск. 1992 г. - с. 55-59.
2. Абдуллаев Б.А., Алимов А.А. Анализ феррорезонансно-полупроводникового стабилизатора напряжения с питанием от источника постоянного тока. Узбекский журнал проблемы информатики и энергетики, № 3, Ташкент. 2000 г. - с. 28-31.
3. Alimov, A. et al. (2021) 'Relationship between mains costs and voltage switches', E3S Web of Conferences, 289, p. 07035. doi:10.1051/e3sconf/202128907035.
4. Kabulov, R.R., Akbarov, F.A. and Alimov, A.A. (2023) 'Time of transition processes in a CDS-cigs structural solar cells in the short-wave part of the absorption spectrum at different loading resistances', Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, 14(1), pp. 127–131. doi:10.17586/2220-8054-2023-14-1-127-131.
5. Alimov, A. et al. (2021a) 'Relationship between mains costs and voltage switches', E3S Web of Conferences, 289, p. 07035. doi:10.1051/e3sconf/202128907035.
6. Hoshimov, F.A., Bakhadirov, I.I., Alimov, A.A., Erejepov M. T. (2020) 'Forecasting the electric consumption of objects using artificial neural networks', E3S Web of Conferences, 216, p. 01170. doi:10.1051/e3sconf/202021601170.
7. Taslimov, A.D., Melikuziev M.V., Najimova A.M., Alimov A.A. (2020) 'Economic load intervals for selection of cable sections for Agricultural purpose', E3S Web of Conferences, 216, p. 01159. doi:10.1051/e3sconf/202021601159.
8. Alimov A.A et al. (2020) 'Selections of undefined Lagrange multipliers in the planning of short-term hydrothermal power system modes', International Journal of Advanced Health Science and Technology, 2(5), pp. 1548–1553. doi:10.35882/ijahst.v2i5.
9. Alimov A.A et al. (2020) 'Determination of the optimal parameters of power distribution networks by the method of criterion analysis', International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 29, No. 11s, pp. 1758–1583.
10. Alimov A.A et al. (2020) 'Methods of phase, chain analysis and calculation of electric consumption of complex objects with interproduction relations', International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 29, No. 11s, (2020), pp. 1386-1393
11. Alimov A.A et al. (2020) 'Determination of the optimal parameters of power distribution networks by the method of criterion analysis', International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 11s, (2020)

УДК 621.313.33.001.1

**АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХКОНТУРНЫХ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ***М.И.Ибадуллаев, А.Ж.Есенбеков*

Аннотация. *Ряд современных технологических процессов может быть значительно интенсифицирован за счет использования вибровозбуждения в широком диапазоне частот и амплитуд колебаний. Наиболее эффективным источником вибрации во многих случаях является электромагнитный вибровозбудитель (ЭМВВ), особенно при мощностях до нескольких киловатт и выше, наиболее целесообразными являются двухтактные ЭМВВ.*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассмотрен анализ возбуждения автоколебаний в системе двух электромагнитов, соединенных по дифференциальной схеме, которая позволяет расширить диапазон рабочих частот и увеличить мощность системы. Приводится уравнение, описывающее взаимодействие механической колебательной подсистемы ЭМВВ и системой электропитания. Разработан метод анализа двухконтурной автономной электромеханической системы (ЭМС) с учётом электромеханических связей. Отмечается, что в автономном режиме реализуется одно устойчивое состояние, обеспечивающее стабильность по частоте.

ИККИ КОНТУРЛИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ТИЗИМЛАРДА ТЕБРАНИШИ ЖАРАЕНЛАРИ ТАХЛИЛИ

Маълумки автопараметрик тебранувчан механизмлар технологик жараёнларини амплитуда ва частотасини узгартириши хисобига унумдорлигини ошириши мумкин. Бунга юкори эффектив манба сифатида электромагнитли титрагичлар хисобланиб, айниқса катта қувватга эришиши учун мажбурий қуч тасирида харакатланадиган икки тактли автоном электромеханик тизимлардан фойдаланиши яхши самара беради.

Мақолада катта қувватга эга ва частотасини кенг ораликда узгартириладиган дифференциал схемада уланган иккита электромагнитдан таркиб топган электромеханик тизимда автопараметрик жараён тахлил қилинган. Электромагнитларни узаро харакатини ифодалувчи манба билан боғланиши электромеханик тенгламаси тузилган. Икки тактли автоном электромеханик тизим учун электромагнитларни узаро алоқа муносабатларини инобатга олган ҳолда тузилган дифференциал тенгламасини ечиши усули қурсатилган. Тизимнинг автоном ҳолатда ишлашида бирхил частотада барқарор тебранишини таъминлаш мумкинлиги этироз этилган.

Ключевые слова: *Вибровозбудитель, электромагнит, поток, перемещение, автоколебания, вибротехнология, инвертор, магнитная цепь, транспортировка, вибрация, резонанс, основная гармоника.*

Введение. В последние годы в области интенсивной вибротехнологии широко используется ЭМВВ. Следовательно, изучение колебательных явлений в ЭМС представляет постоянный интерес для широкого круга исследователей [1-12].

Наиболее эффективным источником колебаний во многих случаях является ЭМВВ, в котором происходит преобразование электроэнергии в энергию механических колебаний, которое связано с изменением индуктивности. ЭМВВ обладают рядом существенных преимуществ перед другими типами возбудителей, поскольку они позволяют в широком диапазоне изменения их параметров, плавно регулировать амплитуду и частоты колебаний. ЭМВВ легко встраивать в технологические линии, они обладают удобством обслуживания, низкими эксплуатационными расходами и широкими возможностями автоматизации.

Исследование автоколебаний в ЭМС с ЭМВВ является сложной, многоплановой задачей. Среди множества проблем необходимо выбрать конкретные, наиболее перспективные задачи исследования. К их числу принадлежат задачи создания и совершенствования, резонансных ЭМС с обратной связью (ОС), управляющей инвертором или усилителем [5,6,7,8,9,12]. Такие системы легко встраиваются в существующие технологические линии, а

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

модернизация существующих колебательных систем с переводом их в резонансный режим позволяет значительную экономию электроэнергии и металла.

В известных работах исследований теория электромагнитных вибровозбудителей колебаний, рассмотрена на основе механических колебательных систем, взаимодействующих с преобразователем и подсистемами управления, развита далеко недостаточно. В частности, в существующих работах отсутствует общая постановка задачи, не изучены влияния нелинейности, присущих этим системам, а также многие основные вопросы взаимодействия подсистем, примыкающих к теории систем с ограниченным возбуждением. Недостаточно глубоко также исследованы вопросы синтеза электромеханических систем с обратной связью, позволяющих обеспечить требуемые вибрации с целью получения оптимальных характеристик режима колебаний.

В статье рассмотрены некоторые особенности возбуждения колебаний в электромеханической системе с помощью двух электромагнитов, соединенных по дифференциальной схеме, которая позволяет расширить диапазон рабочих частот и увеличить мощность системы.

Электромагнитная система (рис.1) состоит из двух Ш-образных электромагнитов, имеющих жесткую связь.

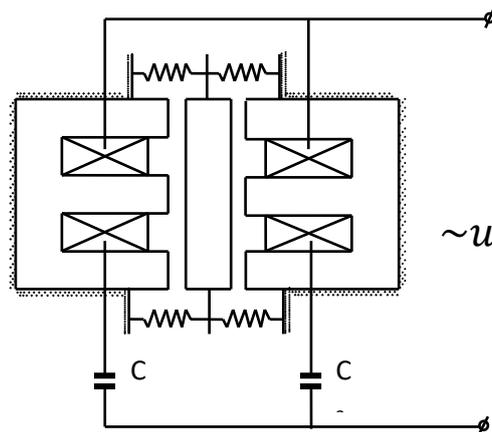


Рис. 1. Дифференциальная схема соединения двух электромагнитов

Обмотки электромагнитов по дифференциальной схеме соединены с источником переменного тока через конденсаторы C_1 , C_2 и образуют колебательные контуры, в которых при определенных условиях возникает параметрический резонанс и возбуждаются механические колебания с частотой, отличной от частоты внешнего источника питания. Эффект взаимодействия колебательных контуров обусловлен перемещением якоря в магнитном поле электромагнитов.

Для выявления особенностей данной системы рассмотрим динамику работы двух электромагнитов ЭМ1 и ЭМ2, включенных в резонансные цепи.

Используя в целях сокращения записи двух индексное обозначение, первый индекс которого соответствует цепи индуктивностью L_1 , а второй – L_2 , запишем уравнения системы в следующем виде:

$$\frac{d\psi_{1,2}}{dt} + \frac{1}{C_{1,2}} \int i_{1,2} dt + R_{1,2} i_{1,2} = U_m \sin \omega t, \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + Kx = F(x, i_1, i_2), \quad (2)$$

где: $U_m \sin \omega t$ – напряжение внешнего источника;

$i_{1,2}$ – токи в обмотках электромагнитов;

$L_{1,2}$ – индуктивности катушек электромагнитов;

$R_{1,2}$ – активные сопротивления обмоток электромагнитов;

$C_{1,2}$ – емкости колебательных контуров;

m – приведенная к якорю масса подвижных частей вибровозбудителя

x – перемещение якоря;

β – коэффициент трения подвижной части;

$K(x)$ – упругость пружин; $K(x) = \alpha x + \gamma x^3$

$F(x, i_1, i_2)$ – возмущающая сила, являющаяся функцией перемещения x и токов i_1, i_2 . Экспериментально подтверждающееся наличие колебаний в системе с частот Ω , отличной от частоты внешнего воздействия, позволяет предположить, что решение уравнения (2) относительно x следует искать в виде гармонической функции:

$$x = A \cos(\Omega t - \theta), \quad (3)$$

где: A – амплитуда искомым автоколебаний;

Ω – частота механических автоколебаний;

θ – начальная фаза, определяющая положение якоря при $x(0)$. Индуктивности электромагнитов L_1 и L_2 нелинейно зависят от x могут быть описаны следующими аппроксимирующими функциями:

$$L_{1,2} = \frac{\mu_0 S W^2}{2(x_0 \mp x)} = L_0 \frac{1}{1 \mp y}; L_{01} = L_{02} = L_0 = \frac{\mu_0 S W^2}{2x_0}, \quad (4)$$

где S — условное сечение магнитопровода катушки; W — число витков катушки.

Здесь: L_{01}, L_{02} – индуктивности в среднем положении якоря; средний зазор;

$y = \frac{x}{x_0}$ – относительное перемещение.

При учете ненасыщенности магнитопроводов потокосцепление каждого из них можно выразить следующей функцией:

$$\psi_{1,2} = L_{1,2} i_{1,2}.$$

Заменяя переменные и повторно продифференцировав уравнение (1), получим:

$$\frac{d^2 \psi_{1,2}}{dt^2} + \omega_{1,2}^2 \psi_{1,2} = U_m \omega \cos \omega t + (\omega_{1,2}^2 - \omega_{01,02}^2) \psi_{1,2} - \delta_{1,2} \frac{d}{dt} [\psi_{1,2} (1 \mp y)] \pm \omega_{01,02}^2 y \psi_{1,2}; \quad (5)$$

$$\text{где: } \omega_{01}^2 = \frac{1}{L_{01} C_1}, \quad \omega_{02}^2 = \frac{1}{L_{02} C_2}, \quad \delta_{1,2} = \frac{R_{1,2}}{L_{01,02}}, \quad \omega_{1,2} = \omega \mp \Omega.$$

Приближенные решения уравнений (5) можно получить, если предположит что в электрической части системы существуют автоколебания, близкие по частоте к вынужденным колебаниям. Тогда решения (5) можно представить в виде суммы двух гармонических колебаний:

$$\psi_{1,2} = a_{1,2} \sin(\omega_{1,2} t + \varphi_{1,2}) + b_{1,2} \cos \omega t. \quad (6)$$

По энергетическому методу приближенного решения уравнений, неизвестные $a_1, a_2, b_1, b_2, \varphi_1$ и φ_2 можно найти из (5) с учетом (3).

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 = \frac{A b_1}{2} \sqrt{\frac{\omega_{01}^4 + \delta_1^2 \omega_1^2}{(\omega_1^2 - \omega_{01}^2)^2 + \delta_1^2 \omega_1^2}}; \quad b_1 = \frac{U_m \omega}{\omega_{01}^2 - \omega^2}; \\ \varphi_1 + \alpha_1 = \theta + \beta_1; \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\delta_1 \omega_1}{\omega_{01}^2 - \omega_1^2}; \quad \operatorname{tg} \beta_1 = -\frac{\omega_{01}^2}{\delta_1 \omega_1}; \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_2 = \frac{A b_2}{2} \sqrt{\frac{\omega_{02}^4 + \delta_2^2 \omega_2^2}{(\omega_2^2 - \omega_{02}^2)^2 + \delta_2^2 \omega_2^2}}, \quad b_2 = \frac{U_m \omega}{\omega_{02}^2 - \omega^2}; \\ \varphi_2 + \alpha_2 = \theta + \beta_2; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\delta_2 \omega_2}{\omega_{02}^2 - \omega_2^2}; \quad \operatorname{tg} \beta_2 = -\frac{\omega_{02}^2}{\delta_2 \omega_2}. \end{array} \right. \quad (8)$$

При получении выражений (7) и (8) учитывалось, что частота Ω связана с ω соотношением $\omega_{1,2} = \omega \pm \Omega$ и решение не содержит секулярных членов.

Для решения (2) возмущающую силу механического колебательного контура можно определить как разность двух электромагнитных сил, действующих в магнитных полях электромагнитов.

$$F(x, i_1, i_2) = \frac{i_1^2}{2} \frac{dL_1}{dx} - \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_2}{dx} = \frac{\psi_1^2}{2L_{01}} + \frac{\psi_2^2}{2L_{02}}. \quad (9)$$

Тогда выражение (2) можно записать с учетом (9) таким образом:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dx} + kx = \frac{\psi_1^2}{2L_{01}} + \frac{\psi_2^2}{2L_{02}}. \quad (10)$$

Для определения амплитуды и частоты колебаний якоря подставим (6) и (3) в (10) и приравняв коэффициенты при $\sin \Omega t$ и $\cos \Omega t$, найдем:

$$A = \frac{2}{\sqrt{3\lambda}} \sqrt{(\Omega^2 - \Omega_0^2) + \mu\Omega - F_0 [a'_2 b_2 \sin(\gamma_2 - 45^\circ) + a'_1 b_1 \sin(\gamma_1 + 45^\circ)]}. \quad (11)$$

$$\alpha_1 - \beta_1 = \gamma_1, \quad \alpha_2 - \beta_2, \quad a'_1 = \frac{a_1}{A}, \quad a'_2 = \frac{a_2}{A},$$

где :

$$\mu = \frac{\beta}{m}, \quad \Omega_0^2 = \frac{\alpha}{m}, \quad \lambda = \frac{\gamma x_0^2}{m}, \quad F_0 = \frac{1}{2L_0 x_0 m}.$$

Полученные выражения позволяют определить амплитуду колебаний ЭМВВ при учете нелинейности упругого элемента, характеризующегося коэффициентом γ . Если им пренебречь, то можно определить выражение для частот механических колебаний и его фазу.

$$\Omega = -\frac{\mu}{2} + \sqrt{\Omega_0^2 + \frac{\mu^2}{4} + \sqrt{2}F_0 [a'_1 b_1 \sin(\gamma_1 + 45^\circ) + a'_2 b_2 \sin(\gamma_2 - 45^\circ)]} \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Omega^2 - \Omega_0^2 - F_0 [a'_1 b_1 \sin \gamma_1 + a'_2 b_2 \sin \gamma_2]}{\mu\Omega - F_0 [a'_1 b_1 \cos \gamma_1 + a'_2 b_2 \cos \gamma_2]}. \quad (13)$$

Как видно из выражений (3) и (6) поток, а следовательно и ток являются биениями колебаний с огибающей частотой Ω . Амплитуды этих колебаний зависит от напряжения сети и глубины модуляции параметра x . На частоту автоколебаний системы существенно влияют емкости C_1 и C_2 .

При расстройке электрических параметров появляется неравенство сил, действующих на якорь, и в системе само возбуждаются автоколебания. В отличие от электромеханической системы с одним электромагнитом (Л.5,6,7,9) рассмотренная система включения двух электромагнитов имеет более устойчивые колебания и позволяет реализовать двухкомпонентные колебаний за счет наличия второго электрического контура.

Выводы

1. Предложена математическая модель, определяемая исходной системой нелинейных дифференциальных уравнений, для электромеханической системы, содержащей два электромагнита, соединенных по дифференциальной схеме;
2. Сформирована система нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. На основе метода малого параметра, для гармонического процесса автоколебаний, получено решение уравнений. Найденное решение

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

позволяет анализировать процессы в двухконтурной автономной электромеханической системе с учетом электромеханических связей.

3. Приведен анализ полученного решения для частных случаев параметров системы. Электромагнитные возбудители колебаний с двумя электромагнитами, соединенными по дифференциальной схеме, обладают рядом существенных преимуществ перед другими типами возбудителей. Они позволяют в широком диапазоне изменения их параметров, плавно регулировать амплитуду и частоту автоколебаний.

Литература:

1. Ильин М.М. Теория колебаний: Учебник для вузов под редакцией К.С. Колесникова 2-е издание. Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2003-272с
2. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи 5-е издание Москва Высшая школа 2015 г. стр 375.
3. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. Изд. 8-е Москва Наука 2008 г. Стр. 504.
4. Попов Е.Г. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. Изд. 3-е М. Наука 2011.Стр.420
5. Ибадуллаев М.И., Нуралиев А.К., Есенбеков А.Ж., Назаров А.И., Резонансный электромагнитный вибровозбудитель колебаний с обратной связью. Вестник МЭИ №1 2020 г. Стр. 57-60. Москва.
6. Чесноков А.А. К теорию и расчету электромагнитных колебаний. Электричество. 1961 г. №12 стр.37-40.
7. S.H. Chowdhury, Tiliakhojaev M., Md.S.Ullah. An Analysis on Electro-Magnetic Vibro-Exciter Fed by Non-linear Power, controlled by Velocity transducer. Journal of Electrical Engineering, the Institution of Engineers, Bangladesh. Vol. EE24, №1, 1996.
8. Исмаилов З. И., Халилов И.А., Исмаилов А.З. Исследование двухтактного вибровозбудителя в вынужденном режиме. Узбекский журнал проблемы информатика и энергетики. Ташкент, 2017 №1 Стр.58-62.
9. Назаров А.И., Ибадуллаев М.И., Тилляходжаев М.М. Структурная схема электромагнитного вибровозбудителя с амплитудно – частотным управлением. Журнал проблемы энерго и ресурсосбережения 2016 №3-4 стр 55-59. Ташкент.
10. Антипов В.И., Ефременков Е.Е. Асимптотический методы в теории нелинейных колебаний. Изд. 8-е. Москва. Наука.2008 г.стр 504.
11. Щёголев С.А. Метод малого параметра А.Пуанкаре в теории нелинейных колебаний. Учебно-методическое пособие. Одесса ОНУ 2015г.
12. Тилляходжаев М.М., Ибадуллаев М.И., Нуралиев А.К. Синтез двухтактного электромагнитного вибровозбудителя, выполненного по дифференциальной схеме. Вестник ТашГТУ №4 2003г. Стр.57-60

Used Literature

1. Ilyin M.M. Oscillation Theory: Textbook for High Schools Under. Edited by K.S. Kolesnikova 2nd edition. Publishing house MGTU named after N.E. Bauman, 2003-272 p
2. Bessonov L.A. Nonlinear electrical circuits 5th edition Moscow Higher School 2015 Page 375.

3. Bogolyubov N.N, Mitropolsky Y.A. Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations. Ed. 8th Moscow Science 2008 p. 504.
4. Popov E. G Theory of nonlinear systems of automatic regulation and control. Ed. 3rd M. Science 2011, Page 420
5. Ibadullaev M. I., Nuraliev A. K., Esenbekov A.Zh., Nazarov A.I, Resonant electromagnetic vibration exciter with feedback. Vestnik MEI №1 2020 p. 57-60. Moscow.
6. Chesnokov A.A. Theory and calculation of electromagnetic waves. Electricity. 1961 No. 12 p. 37-40.
7. S.H. Chowdhury, Tillyakhojaev M., Md.S.Ullah. An Analysis on Electro-Magnetic Vibro-Exciter Fed by Non-linear Power, controlled by Velocity transducer. Journal of Electrical Engineering, the Institution of Engineers, Bangladesh. Vol. EE24, No. 1, 1996.
8. Ismailov Z. and, Halilov I.A., Ismailov A.Z. The study of push-pull exciter in forced mode. Uzbek journal of the problem of computer science and energy. Tashkent, 2017 No. 1 Pages 58-62.
9. Nazarov A.I. Ibadullaev M.I., Tillyahodjaev M.M. Block diagram of electromagnetic exciter with amplitude - frequency control. Journal of the Problem of Energy and Resource Saving 2016 No. 3-4, pp. 55-59. Tashkent.
10. Antipov V.I., Efremenkov E.E. Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations. Ed. 8th. Moscow. Science. 2008 pp. 504.
11. Schegolev S.A. A. Poincare's small parameter method in the theory of nonlinear oscillations. Teaching aid. Odessa ONU 2015
12. Tillyahodjaev M.M. Ibadullaev M.I. Nuraliev A.K. Synthesis of a push-pull electromagnetic exciter, made by the differential circuit. Bulletin of Tashkent State Technical University №4 2003 Page 57-60

УДК 62.83:621.314

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ФУГОВАНИЯ РЕЙСМУСОВЫХ СТАНКОВ ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

М.М.Мирхайдаров, доцент

Республика Узбекистан, г.Ташкент. ТашГТУ.

Аннотация: O'zbekiston respublikasiga import qilinayotgan texnologik uskunalar, ishlab chiqarish liniyalari va dastgoxlar o'z to'plamlarida energetik ko'rsatkichlari nazorat qilinmaydigan, rostlanmaydigan asinxron elektr yuritmalar bilan yetkazib berilmoqda. Mebel ishlab chiqarish va yog'ochni qayta ishlash dastgoxlarini taxlil qilib chiqsak ular ichida formatlab kesish, randalash-reysmus, gravirlash-frezerlash dastgoxlari va ularning yordamchi qurilmalari elektr yuritmalarining tanlovi energiya samaradorlik jixatidan to'g'ri olib borilmagan, ya'ni elektr yuritmalarining texnologik jarayonda yuklanganlik darajasi bo'yicha quvvat iste'moli tahlil qilinmagani ko'rinadi. Yurtimizdagi mebel ishlab chiqarish va yog'ochni qayta ishlash korxonalarida ishlayotgan rostlanmaydigan elektr yuritmalarining ish rejimlarini tahlilini kuzatsak yil davomida maxsulot sifatini buzilishi va sezilarli darajadagi quvvat isroflari kelib chiqayotganini ko'ramiz. Bu muammolarga yagona echim texnologik jarayondan kelib

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

chiqqan holda rostlanmaydigan elctr yuritmalarni rostlanuvchan avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarga almashtirishdir.

Ushbu maqolada reysmus dastgoxining randalash vali bosh elektr yuritmasida “Chastota o’zgartgich – asinxron motor” tizimini qo’llab elektr uritmaning statik va dinamik rejimlarida yuqori sifat ko’rsatkichlarini ta’minlanishi ko’rib chiqilgan.

Аннотация: *Импортируемые в республику Узбекистан технологические оборудования, производственные линии и станки поставляются в комплекте с нерегулируемыми асинхронными электроприводами в которых энергетические параметры не контролируются. Если проанализировать станки деревообработки и производства мебели, то выбор электроприводов для форматно-раскроечных, строгально-рейсмусовых, гравировально-фрезерных станков и их вспомогательных устройств с точки зрения энергоэффективности осуществлено некорректно, т.е. неанализировалась потребляемая мощность по степени загрузки электропривода в технологическом процессе. Наблюдая за анализом режимов работы нерегулируемых электроприводов на мебельных и деревообрабатывающих предприятиях нашей страны, мы увидим, что в течение года происходит ухудшение качества продукции и образование поиерь мощности в значительном уровне..*

Единственным решением этих проблем является замена нерегулируемых электроприводов на регулируемые автоматизированные электропривода в зависимости от технологического процесса.

В данной статье рассматривается обеспечение высоких показателей качества статических и динамических режимов электропривода с использованием системы «Преобразователь частоты — асинхронный двигатель» в главном электроприводе строгального вала рейсмусового станка.

Abstract: *Technological equipment, production lines and machine tools imported to the Republic of Uzbekistan are supplied complete with unregulated asynchronous electric drives in which energy parameters are not controlled. If we analyze woodworking and furniture production machines, then the choice of electric drives for format-cutting, planing-thicknessing, engraving-milling machines and their auxiliary devices from the point of view of energy efficiency was made incorrectly, i.e. power consumption was not analyzed according to the degree of load of the electric drive in the technological process. Observing the analysis of the operating modes of unregulated electric drives at furniture and woodworking enterprises in our country, we will see that throughout the year there is a deterioration in the quality of products and the formation of power loss at a significant level.*

The only solution to these problems is to replace unregulated electric drives with controlled automated electric drives, depending on the technological process.

This article discusses ensuring high quality indicators of static and dynamic modes of an electric drive using the “Frequency Converter - Asynchronous Motor” system in the main electric drive of the planer shaft of a thicknessing machine.

Введение. *Значительный рост объемов производства мебельной продукции и столярно-строительных изделий в республике Узбекистан стимулирует рост объемов импорта оборудования. На сегодняшний день многие виды импортируемого технологического оборудования данной отрасли поставляются в комплекте с нерегулируемыми асинхронными электроприводами, которые не имеют автоматизированного управления при котором была бы возможность*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

регулирования энергетических и качественных показателей. В процессе работы технологического оборудования, в особенности при работе станка имеются режимы работы с переменной нагрузкой которые влияют на динамические и статические характеристики станка в итоге сказывающиеся в качестве продукции, в частности у часто применяемых рейсмусовых станках.

Рейсмусовые станки предназначены для продольного, одностороннего или двухстороннего строгания в размер по толщине от 5 до 200 мм поверхностей плоских заготовок шириной до 630 мм, из древесины хвойных и лиственных пород с влажностью не более 15%. Станок относится к универсальному оборудованию и применяется в серийном и мелкосерийном производстве столярных изделий в строительной отрасли, мебельной, судостроении, вагоностроении.

Рейсмусовые станки служат для плоского строгания досок, брусьев или щитов в размер по толщине. Применяется на предприятиях и в цехах по производству столярно-строительных изделий, клееных щитов, производстве мебели, деревянного домостроения и в др. деревообрабатывающих производствах. Качество строгания древесины зависит от главного электропривода обеспечивающего вращение ножевого вала. В технологическом процессе часто попадают твёрдые участки досок и глазки веток которые вызывают падение скорости ножевого вала ухудшая качество обработки. А нерегулируемый электропривод ножевого вала не обеспечивает требуемую жесткость характеристики асинхронного двигателя которое могло компенсировать падение скорости.

В соответствии с накопленным производственным опытом нами предложена система управления электропривода ножевого вала рейсмусового станка, обеспечивающий требуемую жесткость характеристик и энергоэффективный режим работы асинхронного двигателя. В данной работе нерегулируемый электропривод рейсмусового станка заменен на регулируемый частотный асинхронный электропривод с векторной IR-компенсацией.

Основная часть. Основные законы регулирования скорости асинхронного двигателя класса $U_{1j} f_{1j}$ при питании его от инвертора напряжения были рассмотрены в литературе [2,3,]. Теоретически и практически доказано, что в классе законов $U_{1j} f_{1j}$ невозможно одновременно обеспечить удовлетворительные механические и энергетические характеристики в широком диапазоне скоростей и изменения нагрузки. Основная причина этого – возрастание влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. В асинхронных частотно-регулируемых электроприводах со скалярным управлением, кроме законов регулирования класса $U_{1j} f_{1j}$, получили применение и другие законы регулирования [1,5]. Схема замещения асинхронной машины, пригодная для анализа как установившихся, так и переходных режимов работы при любой частоте f_{1j} питающего напряжения U_{1j} обмоток статора, приведена на рис. 1.

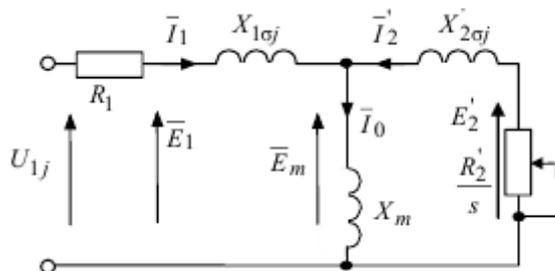


Рис. 1. Схема замещения асинхронной машины
в установившемся режиме при частотном управлении

В соответствии со схемой замещения (рис. 1) можно записать следующие уравнения:

$$U_{1j} = E_1 + R_1 \cdot I_1; \quad (1)$$

$$U_{1j} = E_m + (R_1 + j \cdot X_{1\sigma j})I_1; \quad (2)$$

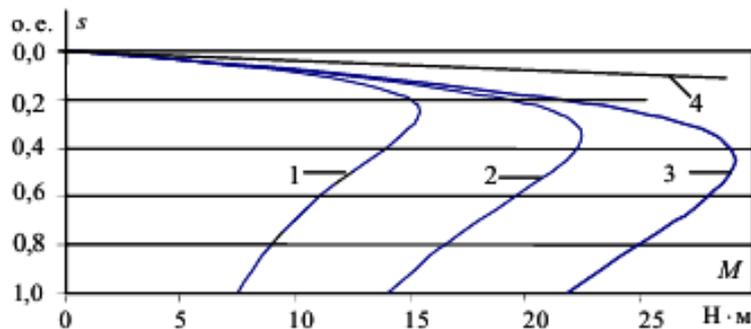
$$U_{1j} = E'_2 + (R_1 + j \cdot X_{1\sigma j})I_1 + j \cdot X'_{2\sigma j} \cdot I'_2. \quad (3)$$

Таким образом, компенсируя падения напряжения на сопротивлениях R_1 , $R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}$, $R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}$ и $X'_{2\sigma j}$, можно получить частотные законы регулирования скорости классов

$$\frac{E_{1j}}{f_{1j}}, \frac{E_{mj}}{f_{1j}}, \frac{E'_{2j}}{f_{1j}}.$$

В соответствии с уравнениями математической модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат, условие поддержания постоянного соотношения между ЭДС E_1 и частотой напряжения статора f_1 в статике является и условием стабилизации потокосцепления статора ψ_1 . Регулирование класса $\frac{E_{mj}}{f_{1j}}$, – это регулирование с постоянным потокосцеплением в воздушном зазоре ψ_m , а регулирование класса $\frac{E'_{2j}}{f_{1j}}$ – регулирование с постоянным потокосцеплением ротора.

Если при изменении нагрузки на валу двигателя поддерживать постоянными соответствующие значения ЭДС E_1 , E_m или E'_2 , то механические характеристики асинхронного двигателя получат вид, пока показанный на рис. 2.

Рис. 2. Механические характеристики асинхронного двигателя
при различных законах регулирования:

$$1 - U_1/f_1 = const; 2 - E_1/f_1 = const;$$

$$3 - E_m/f_1 = const; 4 - E'_2/f_1 = const;$$

Анализ механических характеристик, приведенных на рис. 2, показывает, что для стабилизации скорости при изменении нагрузки на валу двигателя предпочтение следует отдавать методу регулирования с $E'_2 = const$ [3]. Однако

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

такое регулирование предполагает повышение напряжения U_{1j} по сравнению с номинальным U_{1H} при всех значениях нагрузки, что в большинстве случаев приводит к насыщению магнитной цепи асинхронного двигателя и его перегреву. Поэтому на практике наибольшее распространение получили такие способы частотного регулирования скорости, как $E_{1j} f_{1j} = const$; $E_{1j} f_{2j} = const$; $E_{1j} f_{1j} = const$. При регулировании скорости в классе законов $E_{1j} f_{1j}$ необходимо повышать фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ только на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости асинхронного двигателя получил название – частотное регулирование с IR -компенсацией. Реализация управления компенсирующего падения напряжения на активном сопротивлении статора возможна как по отклонению, так и по возмущению, со скалярной или векторной IR -компенсацией [5].

Методы. Применение частотного управления асинхронным электроприводом с векторной IR -компенсацией.

В том случае когда вектор напряжения U_{1j} формируется векторным сложением напряжения задания U_{zi} и сигнала $i \cdot R_1 \cdot k_{км}$, вводимого с целью компенсации падения напряжения в фазах А, В и С двигателя, то такое управление называют частотным управлением с векторной IR -компенсацией.

Векторное сложение сигналов производится во временной области, то есть суммируются сигналы переменного напряжения.

Функциональная схема векторного частотного управления с IR ком-пенсацией приведена на рис. 3.

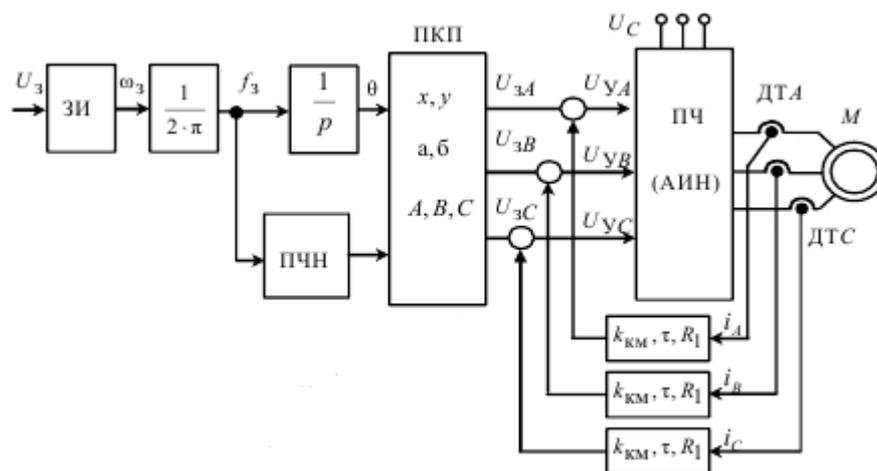


Рис. 3. Структурная схема частотного управления со векторной IR -компенсацией.

В схеме (рис. 3) на выходе прямого координатного преобразователя ПКП формируются три синусоидальных напряжения $U_{зА}$, $U_{зВ}$, $U_{зС}$, сдвинутые относительно друг друга на угол $\mu 2\pi/3$, с амплитудами, пропорциональными задающему напряжению U_z , и частотой f , определяемой законом регулирования. Напряжения $U_{зА}$, $U_{зВ}$, $U_{зС}$ суммируются с сигналами $i \cdot R_1 \cdot k_{км}$

положительных компенсационных обратных связей по току в соответствии с выражением

$$\bar{U}_{yi} = \bar{U}_{zi} + \bar{i}_i \cdot R_1 \cdot k_{км},$$

где U_{yi} – вектор напряжения управления i -й фазой автономного инвертора напряжения; U_{zi} – вектор напряжения задания i -й фазы; i_i – ток i -й фазы асинхронного двигателя. [5]

Результирующие сигналы управления $\bar{U}_{ya}, \bar{U}_{yb}, \bar{U}_{yc}$ формируют фазные напряжения на выходе преобразователя частоты ПЧ. Векторные диаграммы асинхронного двигателя при векторной IR-компенсации приведены на рис. 4.

При векторной IR-компенсации векторы ЭДС E_1 и потокосцепления ψ_1 остаются постоянными при изменении нагрузки, а модуль вектора напряжения U_1 и его фазовый угол меняются. Как показали исследования, постоянство вектора потокосцепления ψ_1 способствует устойчивой работе электропривода. В электроприводах с микропроцессорным управлением векторная IR-компенсация дополнительной настройкой, как правило, не требует, то есть при выборе такого закона регулирования настройка производится по заложенной в электропривод программе автоматически.

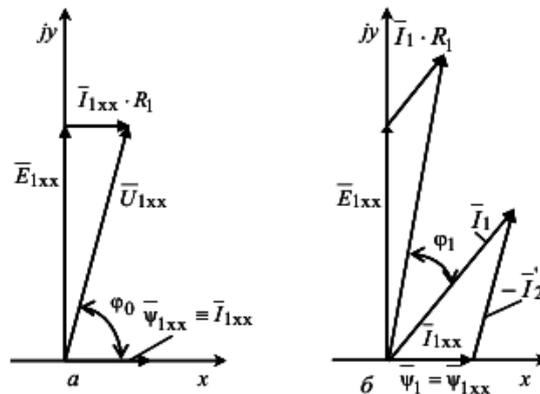


Рис. 4. Векторные диаграммы асинхронного двигателя при векторной IR-компенсации: а – режим холостого хода; б – при наличии нагрузки на валу двигателя

Электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения для режима неполной IR-компенсации определяется выражением

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_{1экв} + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_{1экв} \cdot R_2'}{s \cdot X_{мн} \cdot f_{1*}} \right)^2}},$$

где $R_{1экв} = R_1 - k_{км} \cdot R_1 > 0$ – эквивалентное активное сопротивление цепи обмотки статора; $f_{1*} = f_1 / f_{1н}$ – относительная частота; $f_{1н}$ – номинальное значение частоты напряжения статора асинхронного двигателя; f_1 – регулируемое значение частоты напряжение статора [6].

Ток статора I_1 через приведенный ток ротора I_2' можно найти по формуле

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

где

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{(R_{1\text{экв}} + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{кн}}^2 f_{1*}^2}}$$

Так как регулирование скорости асинхронного двигателя производится изменением и напряжения обмотки статора, и частоты питающего напряжения, то ток холостого хода I_0 можно найти в соответствии со схемой замещения (рис. 1.) по следующему уравнению:

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_{1\text{экв}}^2 + (X_{1\text{сн}} \cdot f_{1*} + X_{\text{мн}} \cdot f_{1*})^2}}$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя для режима неполной IR-компенсации, при переменных значениях величины и частоты напряжения питания, определяется выражением

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s_j \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_{1\text{экв}} + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_{1\text{экв}} \cdot R_2'}{s_j \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

При полной IR-компенсации, когда $k_{\text{км}} = 1$, а $R_{1\text{экв}} = 0$, происходит регулирование с законами класса $E_{1j}/f_{1j} = \text{const}$. Механическая характеристика электропривода представляется выражением (4.28):

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s_j \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_2'}{s_j} \right)^2 \right]}$$

Критический момент асинхронного двигателя будет равен

$$M_{\text{к}} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot X_{\text{кн}} \cdot f_{1*}},$$

а критическое скольжение

$$s_{\text{к}j} = \pm \frac{R_2'}{X_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}.$$

Механические характеристики асинхронного двигателя, построенные по (4.28) при частотном регулировании скорости и в соответствии законом регулирования $E_{1j}/f_{1*} = \text{const}$, приведены на рис. 5.

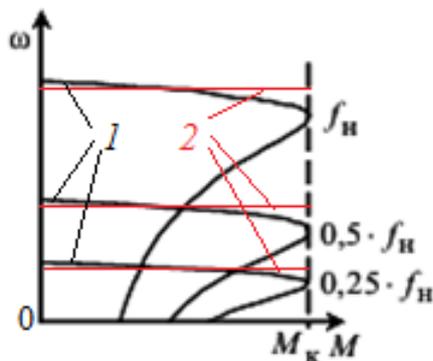


Рис. 5. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании скорости с IR-компенсацией и в соответствии с законом регулирования $E_{lj} / f_{l*} = const$:
1-характеристики разомкнутой системы,
2-характеристики при наличии положительной обратной связи по току.

Как следует из анализа рис.5, при регулировании скорости асинхронного двигателя с законом регулирования $E_{lj} / f_{l*} = const$ (полная IR-компенсация) критический момент асинхронного двигателя остается постоянным а при при наличии положительной обратной связи по току обеспечивается жесткость характеристик.

Литература

1. Bose B. K. Modern power electronics and ac drive. // Vimal Bose - 2001.
2. А.А.Хашимов. М.М.Мирхайдаров. Электр юритма асослари. Дарслик. - Тошкент - 2021.
3. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: Учебник для вузов. - МЭИ - 2015.
4. Браславский И.Я., Костылев А.В., Мезеушева Д.В., Степанюк Д.П. Методы синтеза систем управления асинхронными электроприводами с использованием нейронных сетей // Электротехника - № 9, 2005.
5. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А., Дементьев Ю. Н. Электропривод переменного тока: – Томск: изд-во ТПУ, 2009. .6. Зюзев А.М., Нестеров К.Е. К построению бездатчикового электропривода системы ТПН – АД // Электротехника. - № 9, 2005.
6. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / под ред. Л.Г. Мамякоянца, - М.: Энергоатомиздат, 1984.

УДК 62.83:621.314

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДИСКОВОЙ ПИЛЫ В КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ

М.М.Мирхайдаров, доцент.

Республика Узбекистан, г.Ташкент. ТашГТУ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Annotasiya: O'zbekiston respublikasiga import qilinayotgan texnologik uskunalar, ishlab chiqarish liniyalari va dastgoxlar o'z to'plamlarida energetik ko'rsatkichlari nazorat qilinmaydigan, rostlanmaydigan asinxron elektr yuritmaga ega yordamchi qurilmalar bilan etkazib berilmoqda. Ushbu maqolada toshni qayta ishlash dastgoxining bosh elektr yuritmasini yuklama toki bo'yicha moslashib boshqariluvchi avtomtlashtirilgan elektr yuritmasining yangi ishlab chiqilgan sxemasi vositasida yordamchi nasos qurilmalarini butun ishlab chiqarish jarayoni davomidagi energiyasamarali ish rejimini ta'mnilashi keltirilgan.

Kalit so'zlar: avtomtlashtirilgan elektr yuritma, dastgoxning yordamchi qurilmasi, asinxron motor, rostlash, energiyasamarali ish rejimi.

Аннотация: Импортруемые в Узбекистан технологические виды оборудования, производственные линии и станки поставляются в комплекте с соответствующими вспомогательными установками имеющими нерегулируемый асинхронный электропривод в которых энергетические параметры не контролируются. В статье представлена вновь разработанная схема автоматизированного электропривода вспомогательной насосной установки с согласованным управлением по току нагрузки главного электропривода камнеобрабатывающего станка обеспечивающий энергоэффективный режим работы в продолжении всего производственного процесса.

Ключевые слова: автоматизированный электропривод, вспомогательная установка станка, асинхронный двигатель, регулирование, энергоэффективный режим работы.

Abstract: Technological types of equipment, production lines and machines imported to Uzbekistan are supplied complete with corresponding auxiliary installations having an unregulated asynchronous electric drive in which energy parameters are not controlled. The article presents a newly developed circuit of an automated electric drive for an auxiliary pumping unit with coordinated load current control of the main electric drive of a stone-processing machine, which ensures an energy-efficient operating mode throughout the entire production process.

Key words: automated electric drive, auxiliary installation of the machine, asynchronous motor, regulation, energy-efficient operating mode.

Значительный рост объемов производства строительных товаров в республике Узбекистан стимулирует рост объемов импорта оборудования. На сегодняшний день импортируемые технологические виды оборудования строительных материалов, в том числе камнеобрабатывающие станки поставляются в комплекте с соответствующими вспомогательными насосными установками. Эти вспомогательные насосные установки [1,3] предназначенные для подачи воды в систему охлаждения дисковой пилы комплектуются нерегулируемыми асинхронными электроприводами и совместная работа камнеобрабатывающего станка с вспомогательной установкой не имеет согласованного управления при котором была бы возможность регулирования энергетических показателей. В процессе работы технологического оборудования, в особенности при работе станка имеются технологические паузы во время смены деталей и других причин. За это время электроприводы станка и вспомогательной насосной установки работают с

номинальным напряжением сети, а режим холостого хода и уровень загрузки не контролируется.



Рис.1. Водяное охлаждение дисковой пилы в процессе резки камня.

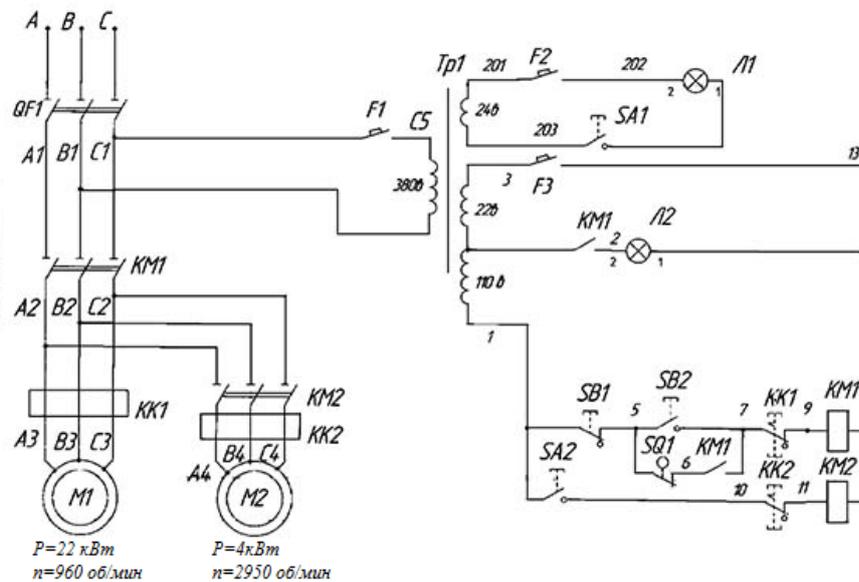


Рис.2. Принципиальная электрическая схема станка.

По рис.2. видно что электропривод станка имеет обычное релейно-контакторное управление которое не сможет обеспечить энергоэффективное управление электропривода и высокое качество процесса обработки камня.[1,2]

В соответствии с накопленным производственным опытом, нами разработана система согласованного управления электроприводами вспомогательных насосных установок камнеобрабатывающих станков, обеспечивающий энергоэффективный режим работы. В данной работе нерегулируемый электропривод насосной установки заменен на регулируемый асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения (ТРН-АД) [7,8].

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На рис. 3 приведена функциональная схема автоматизированного электропривода (АЭП) вспомогательной насосной установки с согласованным управлением по току нагрузки электропривода главного движения камнеобрабатывающего станка.

ТРН-тиристорный регулятор напряжения, ТПЧ-тиристорный преобразователь частоты, УИ-устройство измерения, АС – анализатор сигналов, РС-регулятор скорости, РМ-регулятор момента, РН-регулятор напряжения, ВР-тахогенератор и М-асинхронный электродвигатель.

Система управления электропривода вспомогательной насосной установки получает сигнал обратной связи по току нагрузки главного электропривода камнеобрабатывающего станка. В результате возникновения длительной паузы, превышающей номинальный ее предел, система управления электропривода вспомогательной насосной установки автоматически снижает величину напряжения на клеммах асинхронного электродвигателя, а с появлением тока нагрузки система автоматически переходит в номинальный режим, с плавным нарастанием сигнала.

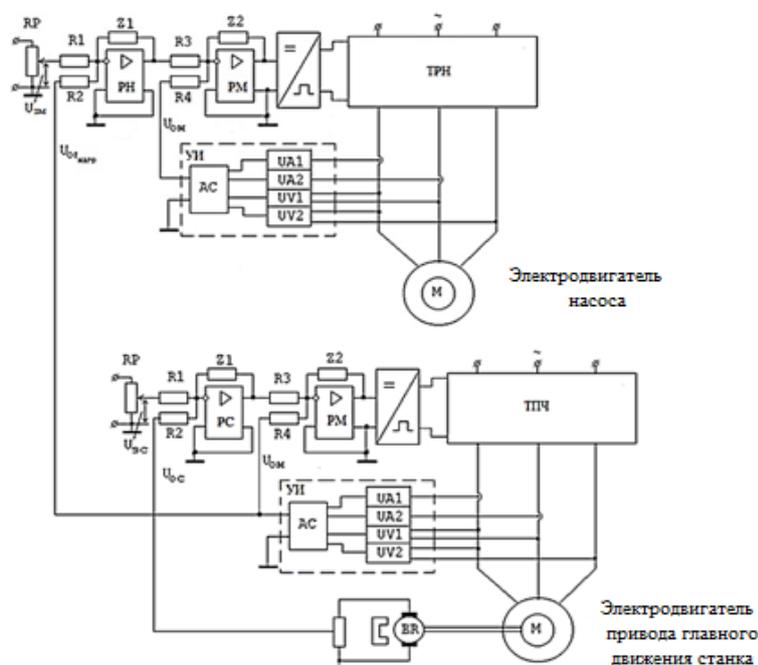


Рис. 3. Функциональная схема АЭП вспомогательной установки с согласованным управлением по току нагрузки электропривода главного движения камнеобрабатывающего станка

Таким образом, в течение производственного цикла разработанная система обеспечивает энергоэффективное управление режимов работы в электроприводе вспомогательной насосной установки.

Регулирование скорости асинхронного двигателя изменением напряжения статора возможно в том случае, когда момент сопротивления M_c при снижении скорости существенно меньше его номинального момента.[1] Свойством снижения момента сопротивления с уменьшением скорости обладают вентиляторные нагрузки:

$$M_c = M_0 + \alpha \cdot \omega^X, \quad (1)$$

где M_0 – момент от сил трения, Н·м; a – коэффициент, $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$; $x = 2$ – для вентиляторов; $x = 3$ – для центробежных насосов.

Механические характеристики для случая вентиляторной (насосной) нагрузки приведены на рис. 4.

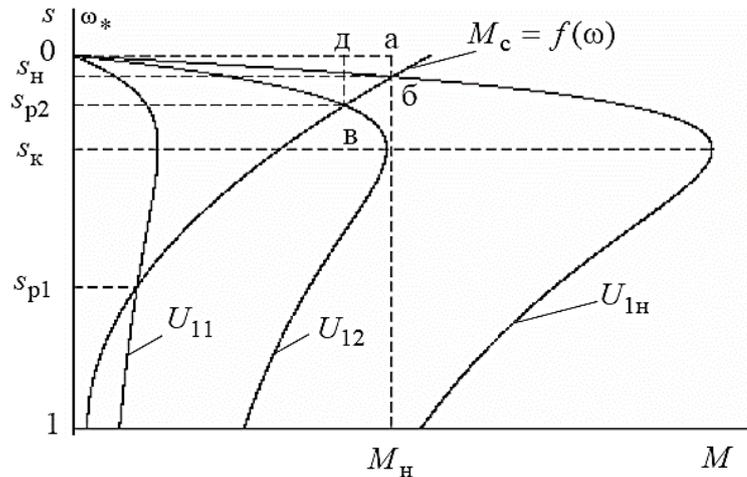


Рис.4. Механические характеристики асинхронного двигателя с регулированием напряжения статора и вентиляторном его моменте нагрузки.

Поскольку со снижением скорости от ω_0 до $\omega_0 \cdot (1 - S_p)$ момент сопротивления M_c уменьшается примерно в квадрат раз от величины снижения скорости, то мощность потерь в обмотке ротора ΔP_{M2} со снижением скорости растет в меньшей степени, чем при постоянной нагрузке.

Скорости соответствующие установившимся режимам работы электропривода, можно определить графически по точкам пересечения механических характеристик асинхронного двигателя $\omega=f(M)$ и механической характеристики насоса $\omega=f(M_c)$. Точки, соответствующие установившимся значениям скорости или скольжения S_n, S_{p1}, S_{p2} могут соответствовать устойчивому или неустойчивому равновесию.

Возникает вопрос об устойчивости работы электропривода с вентиляторной (насосной) нагрузкой при скольжении S_{p1} . Критерием устойчивости работы электропривода является выполнение условия неравенства

$$k\beta - k\beta_c < 0, \quad (2)$$

где $k\beta = dM/d\omega$ – жесткость механической характеристики двигателя в точке установившегося режима; $k\beta_c = dM_c/d\omega$ – жесткость механической характеристики механизма (насоса) в точке установившегося режима.[5] Жесткость механической характеристики насоса можно определить в виде аналитического соотношения из выражения (1)

$$k\beta_c = \frac{dM_c}{d\omega} = \frac{d(M_0 + \alpha \cdot \omega^2)}{d\omega} = 2 \cdot \alpha \cdot \omega \quad (3)$$

Как следует из соотношения (3), жесткость насоса $k\beta_c$ линейно увеличивается с ростом его скорости и во всем диапазоне регулирования скорости остается положительной.

Для определения жесткости механической характеристики двигателя

$$M = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot [(R_1 + R_2' \cdot S^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2]} \quad (4)$$

преобразуем ее подставив в него значение скольжения

$$S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0,$$

получим:

$$M = \frac{m_c \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{(\omega_0 - \omega) \cdot [(R_1 + R_2' \cdot (\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0})^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2]} + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2 \quad (5)$$

Тогда

$$k_\beta = \frac{dM}{d\omega} = d \left(\frac{m_c \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{(\omega_0 - \omega) \cdot [(R_1 + R_2' \cdot (\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0})^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2]} \right) d\omega \quad (6)$$

При известных параметрах насоса и двигателя значения $k_{\beta c}$ и k_β достаточно просто определяются путем численного дифференцирования выражений (3) и (6) в математической системе Mathcad.

Результаты расчетов $k_{\beta c}$ и k_β , а также их разность $k_{\beta c} - k_\beta$, найденные для напряжения статора U_{11} , представлены на рис. 4.

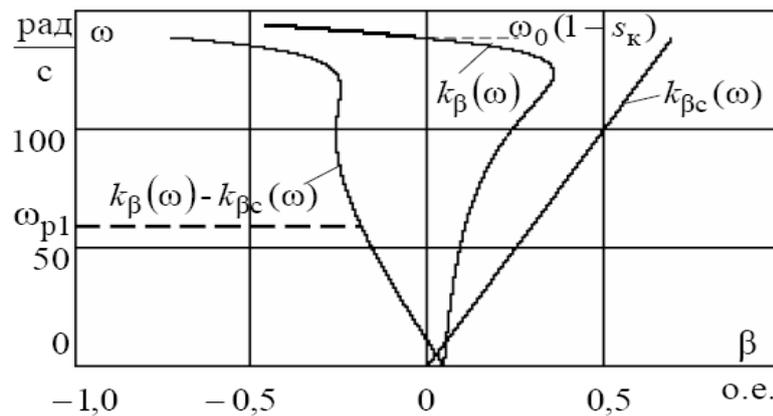


Рис. 5. Зависимости жесткости характеристик асинхронного двигателя k_β и насоса $k_{\beta c}$ от скорости

Анализ графических зависимостей рис. 5 показывает, что условие (2) выполняется в окрестностях скорости $\omega_{p1} = \omega_0 \cdot (1 - S_{p1})$. Поэтому вращение насоса при скольжении S_{p1} будет устойчивым.

Устойчивое вращение насоса со скольжениями большими S_k при регулировании их скорости изменением напряжения подтверждается практическими исследованиями для различных типов насосов.

Вывод. Особенность механической характеристики насоса позволяет ему работать на участке механической характеристики асинхронного двигателя со скольжениями, большими S_k , что практически недостижимо для других видов нагрузок.

Однако работа асинхронного двигателя с большими скольжениями вызывает и большие потери в его роторе. Полные электромагнитные потери в асинхронном двигателе состоят из

$$\Delta P_{\text{эм}} = \Delta P_{\text{м1}} + \Delta P_{\text{м2}} + \Delta P_{\text{с1}} \quad (7)$$

где $\Delta P_{\text{м1}}$ – потери в меди статора, Вт;

$\Delta P_{\text{м2}}$ – потери в обмотке ротора, Вт;

ΔP_{C1} – потери в стали статора, Вт.

При работе на естественной характеристике эти потери определяются выражениями [4]:

$$\Delta P_{M1} = \left[\frac{I_0}{I_{1H}} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1H}} \right) \mu_C^2 \right] \cdot \Delta P_{M1H}; \quad (8)$$

$$\Delta P_{M2} = \mu_C^2 \cdot \Delta P_{M2H}; \quad (9)$$

$$\Delta P_{C1} = [B + (1 - B)\mu_C^2] \cdot \Delta P_{C1H} \quad (10)$$

где $\Delta P_{M1H} = 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot R_1$ – номинальные потери в меди статора, Вт;

$\Delta P_{M2H} = 3 \cdot (I_{2H}')^2 \cdot R_2'$ – номинальные потери в обмотке ротора, Вт;

$\Delta P_{C1H} = \Delta P_H - (\Delta P_{M1H} + 1,5 \cdot 10^{-2} P_H + 10^{-2} \frac{P_H \cdot S_H}{1 - S_H})$ – номинальные потери в стали статора, Вт;

$\Delta P_H = \frac{P_H \cdot (1 - \eta_H)}{\eta_H}$ – суммарные потери в двигателе, Вт;

$\mu_C = \frac{M_C}{M_H}$ – относительное значение момента статической нагрузки, о.е.;

B – конструктивный коэффициент, зависящий от серии асинхронного двигателя, о.е. ,

$B = 0,96 - 0,98$ – для серии асинхронных двигателей 4А.

При работе на регулировочной характеристике, реализуемой за счет снижения напряжения обмотки статора, полные электромагнитные потери в асинхронном двигателе определяются в соответствии с выражениями:

$$\Delta P_{M1} = 1,1 \cdot \mu_C^2 \cdot \left[\frac{I_0 \cdot S_H}{I_{1H} \cdot S} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1H}} \right) \frac{S_H}{S} \right] \cdot \Delta P_{C1H} \quad (11)$$

$$\Delta P_{M2} = 1,1 \cdot \mu_C^2 \cdot \left(\frac{S_H}{S} \right) \cdot \Delta P_{M2H} \quad (12)$$

$$\Delta P_{C1} = \mu_C^2 \cdot [B \frac{S_H}{S} + (1 - B) \frac{S}{S_H}] \cdot \Delta P_{C1H} \quad (13)$$

Анализ выражений (8), (9), (10) показывает, что при работе на характеристике с пониженным напряжением увеличиваются потери в обмотке ротора ΔP_{M2} , но уменьшаются потери в меди статора ΔP_{M1} и в стали статора ΔP_{C1} , но их соотношение таково, что общие электромагнитные потери $\Delta P_{ЭМ}$ при работе на характеристике с пониженным напряжением оказываются меньше, чем при работе на естественной характеристике.

Таким образом, по литературным источникам [4,6] при регулировании скорости изменением напряжения для вентиляторной нагрузки (рис.4) удастся снизить энергопотребление в 1,5 – 2 раза. Экономия электроэнергии будет тем больше, чем меньше момент двигателя, по сравнению с номинальным, и чем больше работает двигатель с недогрузкой.

Литература

1. А.А.Xashimov. М.М.Mirxaydarov. Elektr yuritma asoslari. Darslik. - Toshkent.: “Umid design” - 2021.
2. Mirxaydarov М.М. EMT apparatlari. elemmentlari va o'zgartgich texnikasi. Darslik .–Т.: “Lesson prass” , 2022.
3. Ключев В.И., Терехов В.Н. Электропривод и автоматизация общепромышленных установок –М.: Энергия 1980.

4. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А., Дементьев Ю. Н. Электропривод переменного тока.: – Томск: изд-во ТПУ, 2009.
5. Бозоров Н.Х., Саидахмедов С.С. Электромеханик тизимлар статикаси ва динамикаси.:– Т.: Истиклол, 2005.

АВАНКАМЕРАДАГИ СУВ САТҲИНИНГ ЎЗГАРИШИ НАСОС АГРЕГАТИНИНГ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ИСТЕЪМОЛИГА ТАЪСИРИ

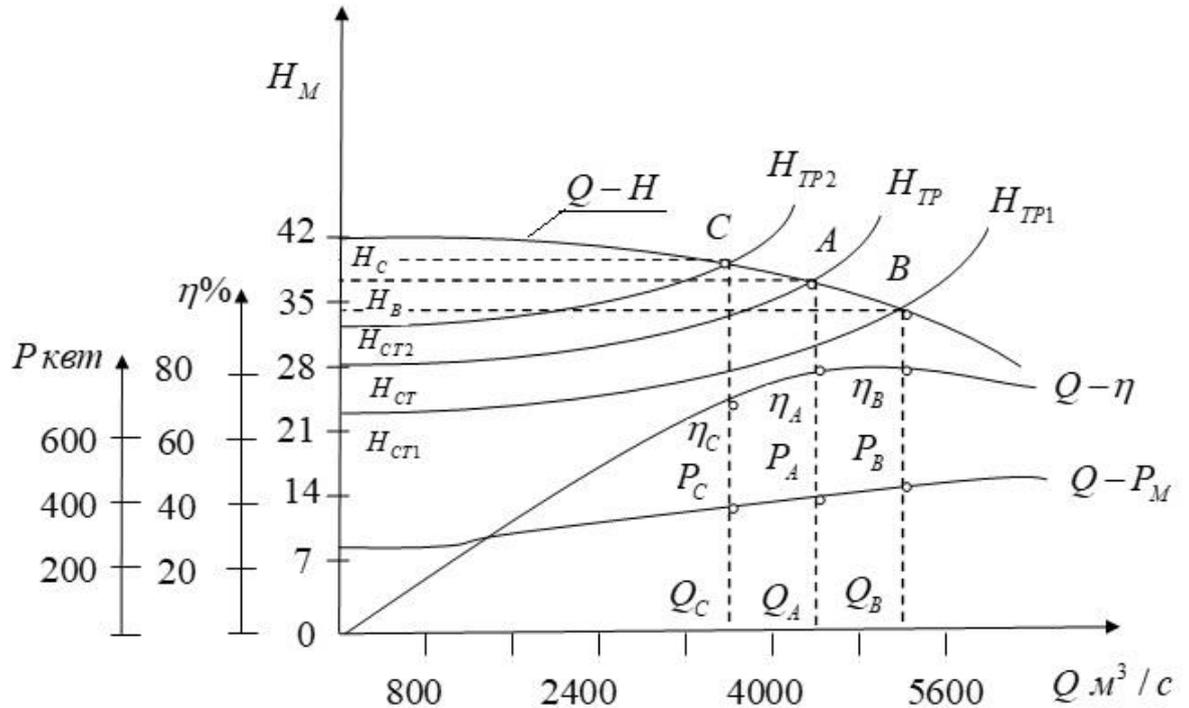
И.А. Абдуллабеков, М.М. Мирсаидов, Ж.Ш. Ботиров
Тошкент давлат техника университети

Кириш. Экин майдонларини суғориш учун сув кўтариш насос станцияларининг эксплуатация қилиш даврида технологик параметрларидан бири насос станциясининг сув олиш иншоотидаги (аванкамера) пастки бьефининг сув сатҳи $V_{пб}$ даврий ўзгаришидир. Аванкамерадаги пастки бьефининг сув сатҳи кўп жихатдан сув манбаига, суғориш сув таъминоти тизимларининг кириш ва чиқиш каналлари фаолиятининг гидрогеологик режимларига ҳамда қишлоқ хўжалик экинларининг суғориладиган майдонларининг сув истеъмоли режимларига боғлиқ.

Аванкамерани эксплуатация қилишда асосий гидравлик режимларга қўйидагилар киради: бир текисда оқиб келаётган сувнинг сатҳини ушлаб туриш, сувни тўлқинланиб кетишига ва насос агрегатини мажбурий тўсатдан тўхташида гидротехник иншоот орқали сув тошиб кетишига йўл қўймаслик, насос агрегатини кавитациясиз ишлашини таъминлаши кераклиги, айниқса насос станцияси кўтараётган сув сарфини кескин ортиши кириш каналидаги сувнинг сатҳини пасайишига ва кавитация жараёнлари ҳосил бўлишига олиб келмаслиги.

Кавитация - сув оқимининг зичлигини бузилиши жараёни бўлиб, сув, ҳаво ёки газ буғлари билан тўлган пуфакчалар ҳосил бўлиши билан кечади. Кавитация ходисаси қўшимча энергия йўқотилишига, ишчи парракни ҳамда насос корпуси юзасининг емирилишига сабаб бўлади.

Асосий қисм. Насос станциясининг пастки бьефининг сув сатҳи $V_{пб}$ ўзгаришидаги иш режимини, насос агрегати ва босим қуварининг ишчи тавсифларини графикли-аналитик тавсифларга асосланиб кўриб чиқамиз. 1-расмда 5000Д – 32 русумли насоснинг босим – сув сарфи ($H - Q$), қувват – сув сарфи ($P - Q$) ва ФИК – сув сарфи ($\eta - Q$) тавсифлари, шунингдек, статик босим $H_{ст}$ да босим қуварининг эгри чизиғи кўрсатилган. Марказдан қочма насоснинг тавсифларининг босим қуварини эгри чизиғи билан кесишиш А нуктасидаги, сув сарфи Q_A , босими H_A , қуввати P_A ва ФИК η_A ни қаноатлантирувчи координатали “насос – босим қувари” тизимининг номинал иш режимига мос келади.



1 – расм. Аванкамерадаги пастки бѐфи сув сатҳининг ўзгаришини насос агрегати режимига таъсири

Юқоридаги 1 – расмдан кўриниб турибдики, насос станцияси аванкамерадаги сув сатҳи ортиши билан, статик босим $H_{ст1} < H_{ст}$ камаяди. Бу ҳолда, “насос – босим қузури” тизимининг иш режими координаталари В нуктасига кўчади ва насос кўрсаткичлари Q_B , H_B , P_B , η_B қийматларига мос келади. Насос станцияси аванкамерасидаги сув сатҳини ортиши сув сарфини ортишига олиб келади, бу эса сув истеъмоли ва сув етказиб бериш графиклари ўртасидаги тафовутга олиб келади. Бундан ташқари насос агрегати валидаги қуввати ортади бу ўз навбатида унинг электр двигателининг ўта юкланишига олиб келади, баъзи ҳолларда, унинг ҳарорати рухсат этилган қийматидан юқори бўлади. Насос валидаги қувватнинг ортиши насос агрегатининг ФИК ва насос станциясининг энергия самарадорлигини пасайишига ва натижада электр энергиянинг солиштирма сарфини ўсишига олиб келади.

Аванкамерасидаги сув сатҳини пасайиши билан статик босимнинг қиймати $H_{ст2} > H_{ст}$ ортади. Бу ҳолда “насос – босим қузури” тизимининг ишчи режими Q_C , H_C , P_C , η_C координаталарига эга бўлган бошқа режим нуктаси С билан характерланади.

Аванкамерасидаги сув сатҳини пасайиши билан марказдан қочма насос томонидан ҳосил қилинаётган босим ортади, сув сарфи эса камаяди. Натижада насос валидаги қувват ва насоснинг ФИК қиймати камаяди. Насос агрегати сув сарфининг камайиши насос станциясининг сув етказиб бериш графиги талабини бажармасликни келтириб чиқаради, бу ўз навбатида қишлоқ хўжалиги маҳсулотларни етиштиришда салбий оқибатларга олиб келади. Қишлоқ хўжалиги экинларини қуриб қолиши катта иқтисодий зарар етказади.

Жадвал 1.

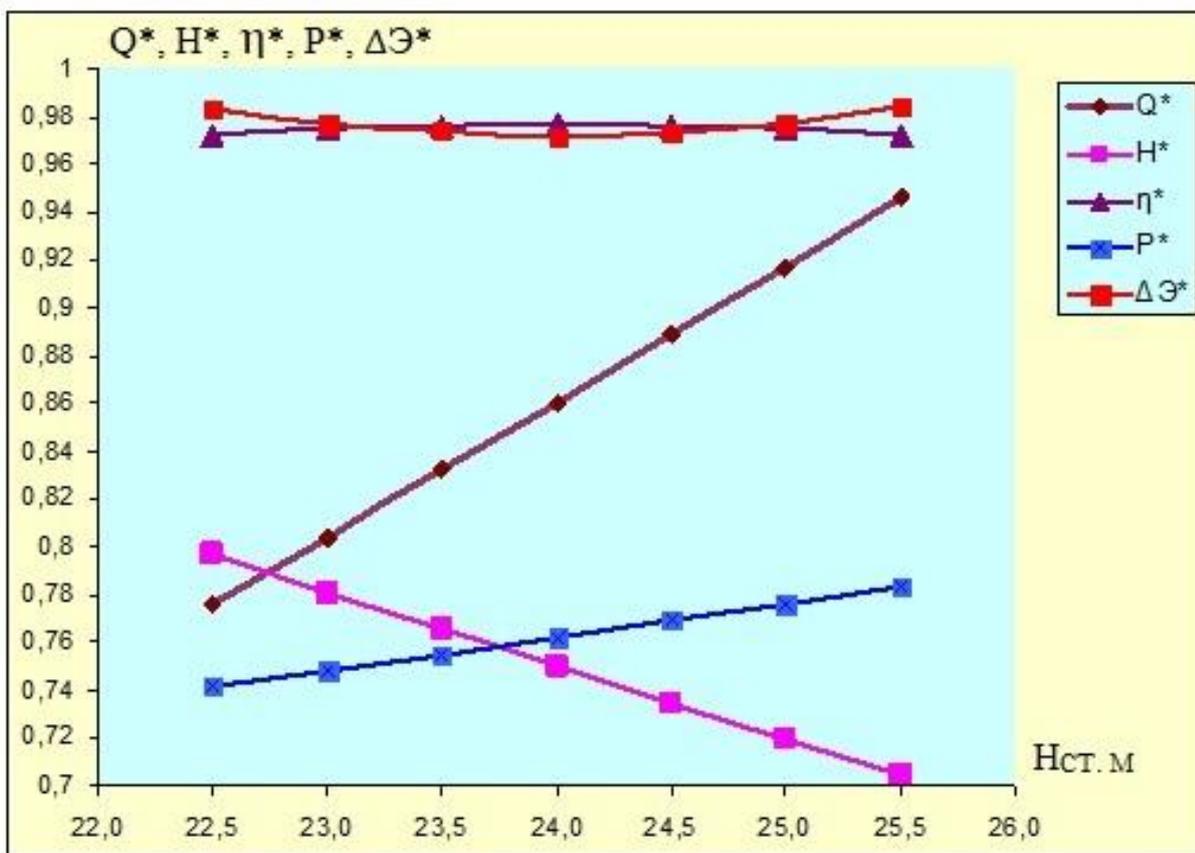
5000Д-32 русумли марказдан қочма насос, босим қувурларининг бутун узунлиги бўйича асосий ишчи кўрсаткичлари

№ т/с	Бьефлар сатҳининг фарқи $H_{СТ}$, м	НА сув бериши Q^* , м ³ /с	НА напори H^* , м	НА ФИК η^*	НА қуввати P^* , кВт	НА солиштирма электр энергия сарфи $\Delta \mathcal{E}^*$, кВт*соат/млн.м ³
1.	22,5	0,776	0,797	0,972	0,742	0,9836
2.	23	0,804	0,781	0,975	0,748	0,9768
3.	23,5	0,832	0,766	0,976	0,755	0,9742
4.	24	0,860	0,750	0,977	0,762	0,9711
5.	24,5	0,889	0,734	0,976	0,769	0,9729
6.	25	0,917	0,719	0,975	0,776	0,9765
7.	25,5	0,946	0,705	0,972	0,783	0,9837

Насос станцияси аванкамерасидаги сув сатҳлари ўзгаришининг насос агрегатининг энергия тежамкор режимларини таҳлил қилиш мақсадида Тошкент вилояти “Рамадан” насос станцияси мисолида, гидромеханик ва электромеханик ускуналарнинг реал техник тавсифларини ҳисобга олган ҳолда, 5000Д-32 русумли марказдан қочма насос, босим қувурларининг бутун узунлиги бўйича геометрик ўлчамларини, жумладан сўриш, коммуникация ва умумий, босим қувурлари тавсифларини киритган ҳолда, шунингдек, маҳаллий қаршиликлардаги босим йўқотишлари қийматларини (сурилма клапани, тескари клапанлари, равон бурилиш жойлари, аста-секин кенгайиш ёки торайиш ва бошқаларни) ҳисоблаш учун ишлаб чиқилган математик модели ва услубига мувофиқ, Насос агрегатини асосий ишчи кўрсаткичлари ҳисобланди ва улар 1 – жадвалда келтирилди.

Хулоса. 1 жадвалда аванкамерасидаги сув сатҳини ўзгаришидаги сув сарфи, босими, ФИК, валдаги қуввати ва насос агрегати солиштирма электр энергияси сарфи қийматлари нисбий бирликларда ифодаланган. Бу қийматлар ($Q^* = Q/Q_H$, $H^* = H/H_H$, $\eta^* = \eta/\eta_{НАСН} * \eta_{ДВН}$, $P^* = P/P_H$, $\Delta \mathcal{E}^* = \Delta \mathcal{E}/\Delta \mathcal{E}_T$), бу ерда $\Delta \mathcal{E}_T$ – насос агрегатининг бериладиган сувнинг назарий солиштирма электр энергияси сарфи, Аванкамерасидаги сув сатҳини самарадор режимларини аниқлаш имконини беради.

2 – расмдаги графикда “Рамадан” насос станциясининг босим қувуридаги статик босимнинг 22.5 – 25.5 м қийматларидаги насос агрегати кўрсаткичлари келтирилган. Бунда энг самарадор иш режими $H_{СТ} = 24$ м бўлганда насос агрегатлари энг кичик электр энергияси солиштирма сарфи билан ишлайди. Бу режимни таъминлаш учун аванкамерасидаги сув сатҳини бақарор турғун бўлишини таъминлаш керак.



2 – расм. Рамадан насос станциясининг пастки бьефи сув сатҳи ўзгаришининг насос агрегатини асосий параметрига таъсири

Шуни инобатга олган ҳолда, гидромеханик ва электромеханик ускуналарнинг ҳақиқий эксплуатация ва техник тавсифларидан келиб чиқиб, ҳар бир насос станцияси учун насос агрегати энерго самарадор иш режимларни таъминлаш мақсадида пастки бьефлар сув сатҳини оптимал ва минимал-рухсат этилган тўлқинланиш доирасининг қиймати аниқланиши лозим. Насос агрегатини самарали ишлашини таъминлаш ва уларнинг гидромеханик ускуналар параметрларини керакли қийматларни эришиш пастки бьефлар сув сатҳини барқарорлаштириш ва минимал рухсат этилган тўлқинланиш доирасида сув сатҳини сақлаб туриш $H_{ст}$ бошқариш ҳисобига олиниши мумкин. Шунингдек насос агрегати сув сарфини ва сув истеъмоли графиги максимал даражада мослаштириш учун ростлаш йўли билан олиш мумкин.

УДК 62.83:621.314

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КАМНЕГРАВИРОВАЛЬНОГО СТАНКА ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНОЙ ИР-КОМПЕНСАЦИЕЙ

М.М.Мирхайдаров, М.М. Туляганов
Республика Узбекистан, г.Ташкент. ТашГТУ.

Аннотация: O'zbekiston respublikasiga import qilinayotgan texnologik uskunalar, ishlab chiqarish liniyalari va dastgoxlar o'z to'plamlarida energetik ko'rsatkichlari nazorat qilinmaydigan, rostlanmaydigan asinxron elektr yuritmalar bilan yetkazib berilmoqda. Toshni qayta ishlash dastgoxlarini taxlil qilib chiqsak ular ichida kesish, gravirovkalash, gravirlash-frezerlash dastgoxlari va ularning yordamchi qurilmalari elektr yuritmalarining tanlovi energiya samaradorlik jixatidan to'g'ri olib borilmagan,

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ya'ni elektr yuritmalarning texnologik jarayonda yuklanganlik darajasi bo'yicha quvvat iste'moli tahlil qilinmagani ko'rinadi. Yurtimizdagi toshni qayta ishlash korxonalarida ishlayotgan rostlanmaydigan elektr yuritmalarining ish rejimlarini tahlilini kuzatsak yil davomida maxsulot sifatini buzilishi va sezilarli darajadagi quvvat isroflari kelib chiqayotganini ko'ramiz. Bu muammolarga yagona echim texnologik jarayondan kelib chiqqan holda rostlanmaydigan elctr yuritmalarni rostlanuvchan avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarga almashtirishdir.

Ushbu maqolada toshni gravirovkalash dastgoxining bosh elektr yuritmasida skalyar IR kompensatsiyali "Chastota o'zgartgich – asinxron motor" tizimini qo'llab elektr uritmaning statik va dinamik rejimlarida yuqori sifat ko'rsatkichlarini ta'minlanishi ko'rib chiqilgan.

Аннотация: *Импортируемые в республику Узбекистан технологические оборудования, производственные линии и станки поставляются в комплекте с нерегулируемыми асинхронными электроприводами в которых энергетические параметры не контролируются. Если проанализировать станки камнеобработтки то выбор электроприводов для раскроечных, гравировочных, гравировально-фрезерных станков и их вспомогательных устройств с точки зрения энергоэффективности осуществлено некорректно, т.е. неанализировалась потребляемая мощность по степени загрузки электропривода в технологическом процессе. Наблюдая за анализом режимов работы нерегулируемых электроприводов на камнеобрабатывающих предприятиях нашей страны, мы увидим, что в течение года происходит ухудшение качества продукции и образование поьерь мощности в значительнм уровне.*

Единственным решением этих проблем является замена нерегулируемых электроприводов на регулируемые автоматизированные электропривода в зависимости от технологического процесса.

В данной статье рассматривается обеспечение высоких показателей качества статических и динамических режимов электропривода с использованием системы «Преобразователь частоты — асинхронный двигатель»с скалярной IR компенсацией в главном электроприводе камнегравировочного станка.

Abstract: *Technological equipment, production lines and machine tools imported to the Republic of Uzbekistan are supplied complete with unregulated asynchronous electric drives in which energy parameters are not controlled. If we analyze stone processing machines, the choice of electric drives for cutting, engraving, engraving and milling machines and their auxiliary devices from the point of view of energy efficiency was made incorrectly, i.e. power consumption was not analyzed according to the degree of load of the electric drive in the technological process. Observing the analysis of the operating modes of unregulated electric drives at stone processing enterprises in our country, we will see that during the year there is a deterioration in the quality of products and the formation of power loss at a significant level.*

The only solution to these problems is to replace unregulated electric drives with controlled automated electric drives, depending on the technological process.

This article discusses ensuring high quality indicators of static and dynamic modes of an electric drive using the "Frequency Converter - Induction Motor" system with scalar IR compensation in the main electric drive of a stone engraving machine.

Введение. *Значительный рост объемов производства в республике Узбекистан стимулирует рост объемов импорта оборудования. На сегодняшний день импортируемые технологические виды оборудования, производственные линии и станки поставляются в комплекте с соответствующими вспомогательными*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

установками. Оборудование камнеобрабатывающей промышленности поставляются в основном с нерегулируемыми электроприводами и режимы работы при разных уровнях загруженности не имеют возможности регулирования энергетических показателей. В процессе работы технологического оборудования, в особенности при работе станка имеются режимы работы с неполной нагрузкой, технологические паузы во время смены деталей и другие причины. За это время электроприводы станка работают с номинальным напряжением сети, а режим холостого хода и уровень загруженности не контролируется.

В соответствии с этим нами предложена система управления электропривода камнегравировального станка обеспечивающий энергоэффективный режим работы. В данной работе электропривод камнегравировального станка заменен на регулируемый асинхронный электропривод с частотным управлением.

Основная часть. Основные законы регулирования скорости асинхронного двигателя $U_{1j} f_{1j}$ при питании его от инвертора напряжения были рассмотрены в литературе 1.4. Теоретически и практически доказано, что в классе законов $U_{1j} f_{1j}$ невозможно одновременно обеспечить удовлетворительные механические и энергетические характеристики в широком диапазоне скоростей и изменения нагрузки. Основная причина этого – возрастание влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. В асинхронных частотно-регулируемых электроприводах со скалярным управлением, кроме законов регулирования класса $U_{1j} f_{1j}$, получили применение и другие законы регулирования. Схема замещения асинхронной машины, пригодная для анализа как установившихся, так и переходных режимов работы при любой частоте f_{1j} питающего напряжения U_{1j} обмоток статора, приведена на рис. 1.

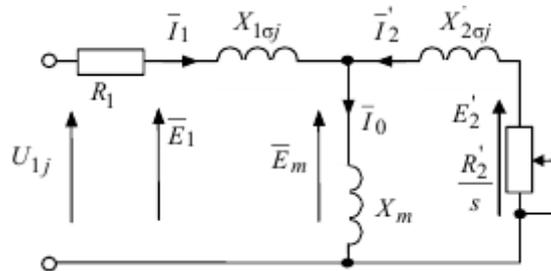


Рис. 1. Схема замещения асинхронной машины
в установившемся режиме при частотном управлении

В соответствии со схемой замещения (рис. 1) можно записать следующие уравнения:

$$U_{1j} = E_1 + R_1 \cdot I_1; \quad (1)$$

$$U_{1j} = E_m + (R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}) I_1; \quad (2)$$

$$U_{1j} = E'_2 + (R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}) I_1 + j \cdot X'_{2\sigma j} \cdot I'_2. \quad (3)$$

Таким образом, компенсируя падения напряжения на сопротивлениях

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

R_1 , $R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}$, $R_1 + j \cdot X_{1\sigma j}$ и $X'_{2\sigma j}$, можно получить частотные законы регулирования скорости классов $\frac{E_{1j}}{f_{1j}}$, $\frac{E_{mj}}{f_{1j}}$, $\frac{E'_{2j}}{f_{1j}}$.

В соответствии с уравнениями математической модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат, условие поддержания постоянного соотношения между ЭДС E_1 и частотой напряжения статора f_1 в статике является и условием стабилизации потокосцепления статора ψ_1 . Регулирование класса $\frac{E_{mj}}{f_{1j}}$, – это регулирование с постоянным потокосцеплением в воздушном зазоре ψ_m , а регулирование класса $\frac{E'_{2j}}{f_{1j}}$ – регулирование с постоянным потокосцеплением ротора.

Если при изменении нагрузки на валу двигателя поддерживать постоянными соответствующие значения ЭДС E_1 , E_m или E'_2 , то механические характеристики асинхронного двигателя получат вид, пока показанный на рис. 2.

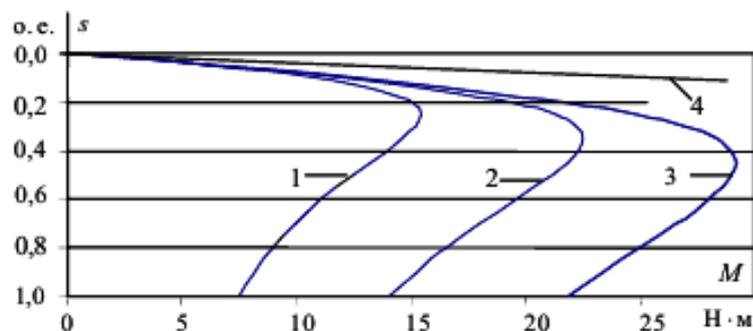


Рис. 2. Механические характеристики асинхронного двигателя при различных законах регулирования:

$$1 - U_{1j}/f_1 = const; 2 - U_{1j}/f_1 = const;$$

$$3 - U_m/f_1 = const; 4 - E'_{2j}/f_1 = const;$$

Анализ механических характеристик, приведенных на рис. 2, показывает, что для стабилизации скорости при изменении нагрузки на валу двигателя предпочтение следует отдавать методу регулирования с $E'_2 = const$. Однако такое регулирование предполагает повышение напряжения U_{1j} по сравнению с номинальным U_{1H} при всех значениях нагрузки, что в большинстве случаев приводит к насыщению магнитной цепи асинхронного двигателя и его перегреву. Поэтому на практике наибольшее распространение получили такие способы частотного регулирования скорости, как $E_{1j} f_{1j} = const$; $E_{1j} f_{2j} = const$; $E_{1j} f_{1j} = const$. При регулировании скорости в классе законов $E_{1j} f_{1j}$ необходимо повышать фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ только на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости асинхронного двигателя получил название – частотное регулирование с IR -компенсацией. Реализация управления компенсирующего падения напряжения на активном сопротивлении статора

возможна как по отклонению, так и по возмущению, со скалярной или векторной IR -компенсацией.

Методы. Применение частотного управления асинхронным электроприводом со скалярной IR -компенсацией.

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR -компенсацией приведена на рис. 3. Задатчик интенсивности $ЗИ$ формирует кривую и темп разгона двигателя. При дистанционном управлении электроприводом сигналом задания скорости является задающее напряжение U_3 . Ему соответствует задающая частота f_3 местного управления, в этом случае управление пуском и остановом двигателя производится с панели управления преобразователя. Блок преобразователь частота–напряжение ПЧН формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливает один из принятых способов частотного регулирования скорости класса $E_{1j} f_{1j}$.

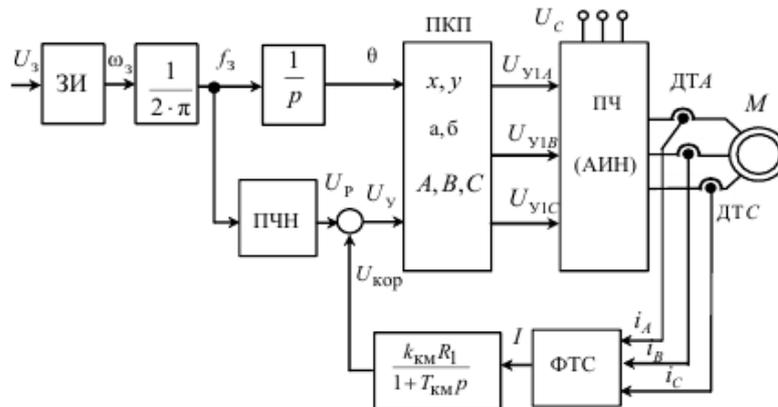


Рис. 3. Структурная схема частотного управления со скалярной IR -компенсацией.

При скалярной IR -компенсации сигнал управления U_y является суммой сигналов регулирования U_p и положительной обратной связи по току $U_{кор}$:

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} \cdot R_1 \cdot I, \quad (4)$$

где $k_{км}$ – коэффициент положительной обратной связи по току;

R_1 – активное сопротивление обмотки статора асинхронного двигателя;

I – сигнал, пропорциональный действующим значениям токов i_a, i_b, i_c обмоток статора асинхронного двигателя.

Сигнал управления U_y является входным для прямого координатного преобразователя (ПКП), на выходе которого формируются три синусоидальных напряжения управления $U_{y1A}, U_{y1B}, U_{y1C}$, сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудами, пропорциональными напряжению управления. Сигналы $U_{y1A}, U_{y1B}, U_{y1C}$, формируют фазные напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН).

Принцип действия системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода с положительной обратной связью по току заключается в следующем. Предположим, что асинхронный двигатель работал на характеристике 1 (рис. 4.) с моментом на валу двигателя, равным M_1 .

Если момент на валу двигателя увеличится и станет равным M_2 , то возрастет и ток каждой фазы статора двигателя i_a, i_b, i_c , а следовательно и сигнал I

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

формирователя тока статора (ФТС). Увеличится и корректирующее напряжение положительной обратной связи $U_{кор}$, вычисляемое по выходному току I звеном с передаточной функцией

$$W(p) = k_{км} \cdot R_1(1 + T_{км} \cdot p), \quad (5)$$

где $T_{км}$ – постоянная времени задержки контура тока.

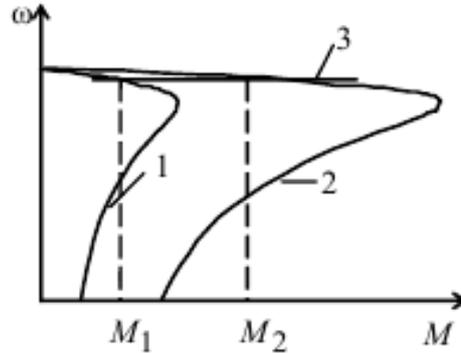


Рис. 4. Механические характеристики электропривода (кривые 1, 2) и результирующая характеристика – 3 при наличии положительной обратной связи по току

С ростом корректирующего сигнала возрастет и сигнал управления U_y , что приводит в конечном итоге к росту фазного напряжения U_{1j} асинхронного двигателя и увеличению его критического момента, который пропорционален квадрату фазного напряжения – $MK = U_{12j}$. Характеристика 2 соответствует возросшему фазному напряжению $U_{1ф}$. В результате действия положительной обратной связи электропривод формирует механическую характеристику замкнутой системы 3, жесткость которой определяется коэффициентом $k_{км}$. Для формирования сигнала положительной обратной связи по току может использоваться модуль тока статора I_1 , активная составляющая тока статора ReI_1 , ток I_d в звене постоянного тока.

Однако если через обмотки статора асинхронного двигателя не протекают токи нулевой последовательности, то достаточно двух датчиков тока, а ток в третьей фазе, например В, можно определить через токи фаз А и С: $i_B = -(i_A + i_C)$, (6), где i_a, i_b, i_c мгновенные значения токов в фазах А, В и С.

Векторные диаграммы при скалярной IR –компенсации для случаев идеального холостого хода и наличия нагрузки на валу двигателя изображены на рис. 5.

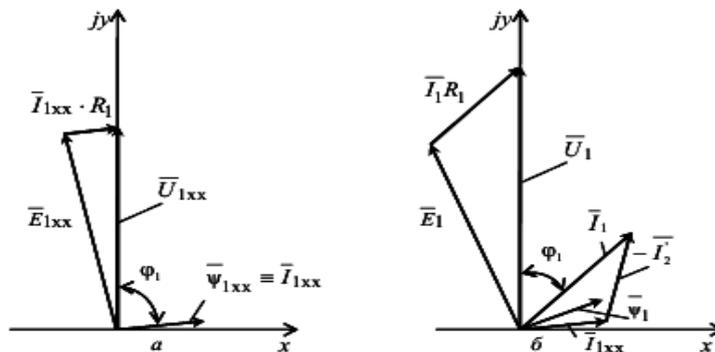


Рис. 5. Векторные диаграммы асинхронного двигателя

при скалярной IR -компенсации: а – режим холостого хода;
б – при наличии нагрузки на валу двигателя.

Выводы. При скалярной компенсации меняется только модуль напряжения U_1 обмотки статора асинхронного двигателя без изменения фазового угла, что приводит к непостоянству векторов ЭДС E_1 и потокосцепления ψ_1 . Возможны дополнительные возмущения в системе, связанные с изменением фазового угла вектора ψ_1 .

Несмотря на этот недостаток, разомкнутые структуры частотного регулирования скорости на основе автономных инверторов напряжения со скалярной IR -компенсацией находят широкое применение в приводах длительного режима работы с диапазоном регулирования $D \leq 130$.

Литература

1. Bose B. K. Modern power electronics and ac drive. // Vimal Bose - 2001. - 710 с.
2. М.М.Мирхайдаров. ЭМТ аппаратлари, элементлари ва ўзгартгич техникаси 1-қисм. Дарслик. -Тошкент - 2021, 260с.
3. А.А.Хашимов. М.М.Мирхайдаров. Электр юритма асослари. Дарслик. - Тошкент - 2022, 363с.
4. Браславский И.Я., Костылев А.В., Мезеушева Д.В., Степанюк Д.П. Методы синтеза систем управления асинхронными электроприводами с использованием нейронных сетей // Электротехника - № 9, 2005, С. 54-57.
5. Зюев А.М., Нестеров К.Е. Методы косвенной оценки скорости двигателей в системах ТПН – АД // Электротехника - №9, 2009, С. 45-49.
6. Зюев А.М., Нестеров К.Е. К построению бездатчикового электропривода системы ТПН – АД // Электротехника. - № 9, 2005.
7. Браславский И.Я., Костылев А.В., Мезеушева Д.В. Цифровое прогнозирующее управление с использованием нейронных предсказателей // Электротехника. - № 11, 2007, С. 43-47.
8. Радин, В. И. Электрические машины; Асинхронные машины: учебник / В.И. Радин, Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович; Под ред. И. П. Копылова. - Москва: Высшая школа, 1988, 328 с.
9. Устройство плавного пуска SIRIUS 3RW30/3RW40 // справочник по аппарату 10/2010 URL: www.siemens-files.com/1351171684_manual_sirius_softstarter_ru-ru.pdf (дата обращения: 10.07.2014).
10. Устройство плавного пуска PSR, PSS и PSTB: технический каталог.URL: http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/display/ac41_abb_upp_2.pdf (дата обращения: 10.07.2014).
11. Timoshkin V., Glazyrin A., Kozlova L. Reasoning of the use of TVR-IM electric drives of closed-loop type by the angular velocity observer for solving technological problems // Applied Mechanics and Materials Vol. 698 (2015) pp. 131-135.

ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КАК СРЕДСТВО МОДЕРНИЗАЦИИ ПЕЧЕЙ

доц. Пулатов А.О., доц. Туляганов М.М., асс. Махмудов Н.З.

ТашГТУ, ЭЭФ, Узбекистан

Аннотация: На многих промышленных предприятиях нашей республики применяются мощные электрические печи. При большом количестве одновременно работающих таких печей имеет место несимметричное потребление тока по фазам питающего напряжения. В данной работе мы рассмотрели способ устранения этих недостатков.

Vatanimizning ko'plab sanoat korxonalarida katta quvvatli elektr pechlar qo'llaniladi. Ko'p sonli bunday pechlar bir vaqtning o'zida ishlaydigan bo'lsa, liniya zo'riqishida fazalarda assimetrik oqim iste'moli mavjud. Bu ishimizda mana shu kamchiliklarni bartaraf etish usuli ko'rib chiqilgan.

In many industrial enterprises of our country, powerful electric furnaces are used. When a large number of such furnaces work at the same time, the line voltage has an asymmetric current consumption in the phases. In this work, we have considered the method of eliminating these shortcomings.

Ключевые слова: *Управляемый трехфазный выпрямитель переменного тока, тиристорный выпрямитель, печь.*

На многих промышленных предприятиях нашей республики применяются мощные однофазные электрические печи. При большом количестве одновременно работающих таких печей имеет место несимметричное потребление тока по фазам питающего напряжения, говоря проще «перекос» по фазам. Как устранить эти перекосы, не меняя саму печь?

Собственно, чем плохи эти перекосы по фазам? Во-первых, несимметричные токи создают несимметричные напряжения питания, что может быть нежелательно для электроснабжения других потребителей. Но с этим недостатком еще худобно можно жить и мириться. Главный недостаток – это неэффективное использование энергетических мощностей предприятия. Рассмотрим гипотетический пример.

Предположим, что имеется трехфазная питающая линия, рассчитанная ток до 1000 А, и пусть в некоторый момент времени из-за работы однофазных печей нагрузка по фазам распределилась следующим образом: $I_a = 200$ А, $I_b = 500$ А, $I_c = 800$ А. При этом, очевидно, что распределив нагрузки поровну между всеми фазами токи стали бы равны $I_a = I_b = I_c = 500$ А и был бы запас по току питающей линии еще на 500 А, что позволило бы подключить мощную трехфазную нагрузку на 500 А, например, электродвигатель мощностью 250 кВт. Однако в настоящий момент ток фазы С $I_c = 800$ А является лимитирующим фактором, что дает возможность подключить нагрузку только 200 А (двигатель 90 кВт). Отсюда вывод: равномерное распределение мощностей по фазам ведет к высвобождению больших энергетических мощностей (в нашем примере 150-160 кВт), которые как правило на предприятиях в дефиците.

Какие же варианты существуют при модернизации печей. Первое, что приходит на ум – это решение проблемы «в лоб» – то есть замена однофазной печи на трехфазную – чрезвычайно дорого. Печи стоят сотни тысяч, а то и миллионы рублей, плюс работы по демонтажу старой печи и монтажу новой и переналадка технологического процесса на новой печи... При этом стоимость высвобожденных киловатт энергетических мощностей будет очень высока и, скорее всего, сравнима со строительством новых мощностей с нуля. Поэтому поставим вопрос по-другому: как равномерно распределить мощность по всем трем фазам, не меняя

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

самую печь, а модернизируя только полностью или частично ее электрооборудование?

Решения есть, для этого необходимо использовать тиристорные и транзисторные преобразователи напряжения. Рассмотрим различные варианты по принципу от простого к сложному.

Если нагрузка (нагрузкой будем называть нагревательные элементы печи) питается без трансформатора от однофазного или межфазного напряжения, то это самый простой случай. Равномерно распределить мощность по всем трем фазам поможет трехфазный тиристорный выпрямитель:

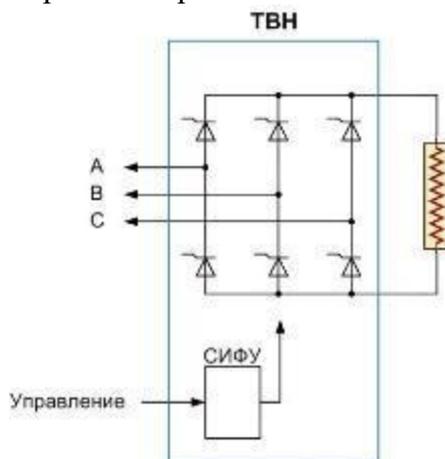


Рис.1. Трехфазный управляемый выпрямитель

Гораздо более сложным является случай, когда нагрузка запитана от вторичной обмотки понижающего трансформатора. Какие здесь могут быть варианты?

Если напряжение вторичной обмотки относительно велико (50-100 В или выше), то целесообразно включить тиристорный выпрямитель во вторичную обмотку трансформатора:

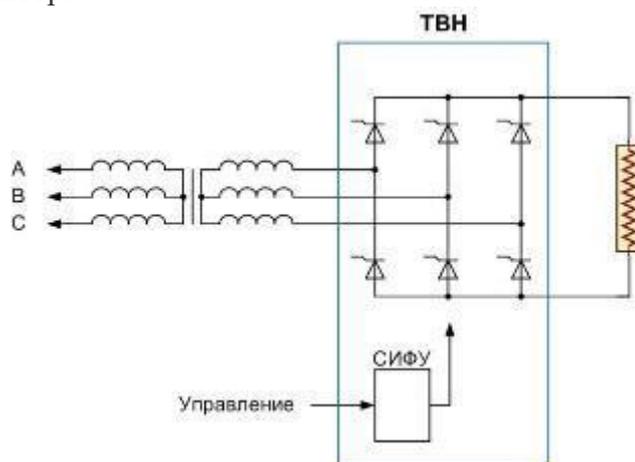


Рис.2. Регулируемый трехфазный выпрямитель во «вторичке» трансформатора

Разумеется, в данном случае необходима установка замена старого однофазного трансформатора на новый трехфазный.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Если же напряжение вторичной обмотки трансформатора 30..50 В, то более дешевой оказывается схема, приведенная на рисунке 3.

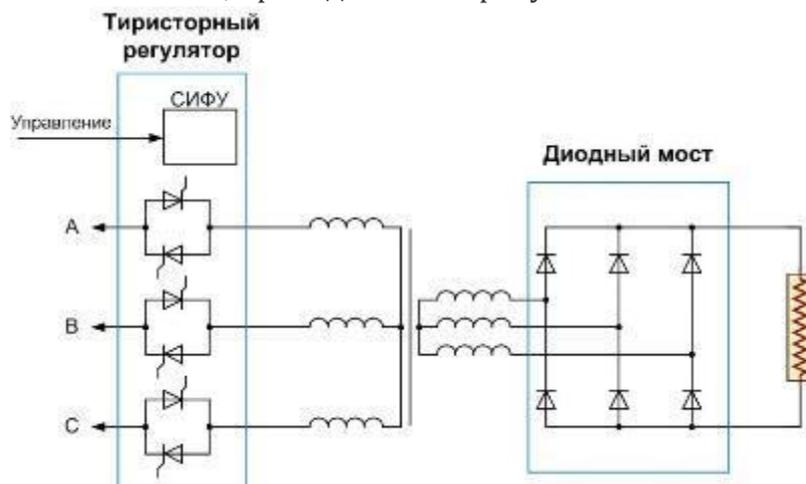


Рис.3. Тиристорный регулятор напряжения и трехфазный диодный мост

Схема оказывается более дешевой за счет того, что управляемые вентили (тиристоры) включены на стороне первичной обмотки трансформатора и работают на малых токах, а выпрямление тока ведется с помощью обычных диодов, которые гораздо дешевле тиристоров. Такая схема целесообразна при токах «вторички» до 1..2 кА.

При еще меньших значениях напряжения вторичной обмотки применение диодных или тиристорных выпрямителей нецелесообразно из-за больших энергетических потерь. Дело в том, что при протекании тока через диоды или тиристоры на них падает напряжение около 1 В, которое рассеивается в бесполезный нагрев. Например, если выходное напряжение 10 В, то при работе мостового выпрямителя на диодах падает 2 В (в каждый момент времени работает два диода), а это значит что на диодах рассеивается порядка 20% мощности. При этом цена и габариты такого преобразователя растут в геометрической прогрессии.

Здесь на помощь может прийти синхронный выпрямитель на полевых транзисторах. Не углубляясь в его внутреннее устройство (это не является целью данной статьи), скажем лишь что он является тем же самым выпрямителем, только не на диодах, а на полевых транзисторах. С помощью современных полевых транзисторов возможно создание выпрямителей с очень низким падением напряжения – 0,1.. 0,2 В. К сожалению, из-за особенностей полевых транзисторов это возможно только при низких напряжениях – но в данном примере это как раз то что нужно.

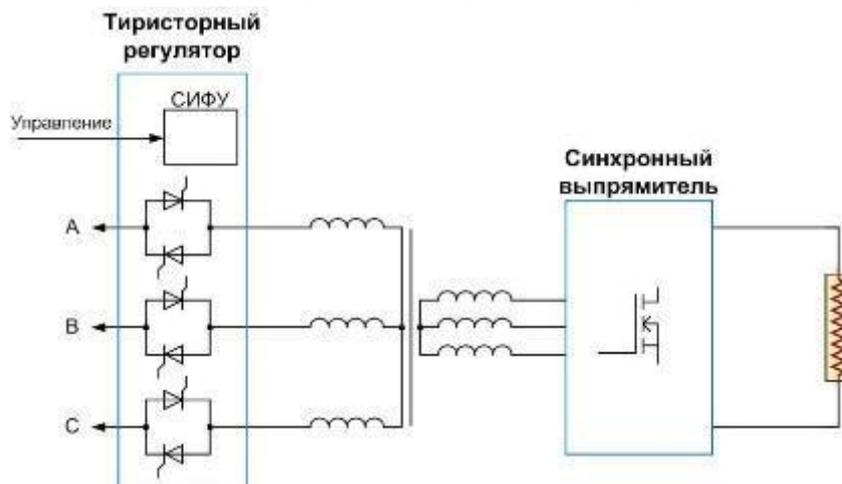


Рис.4. Тиристорный регулятор тока и синхронный выпрямитель

В этом случае схема преобразователя напряжения становится следующей: регулирование напряжение по первичной стороне трансформатора осуществляет все тот же тиристорный регулятор, а на стороне низкого напряжения переменное трехфазное напряжение с помощью синхронного выпрямителя преобразуется в постоянное. Такой преобразователь имеет смысл применять при напряжениях вторичной обмотки 10..30 В и токах до нескольких килоампер.

Если же ни один из перечисленных вариантов не подходит, то остается только один – самый сложный и самый дорогой, но зато подходящий для всех однофазных печей. Это пара трехфазный выпрямитель и однофазный инвертор:

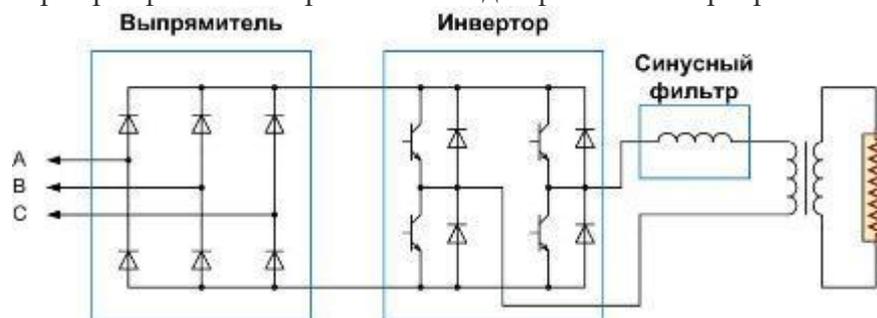


Рис.5. Трехфазный выпрямитель и однофазный инвертор

В этой схеме диодный мост выпрямляет трехфазное напряжение в постоянное, а инвертор это преобразует его в однофазный переменный ток. Инвертор работает в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ), то есть регулирование напряжения ведется путем изменения времени включения и выключения силовых транзисторов. Синусный фильтр предназначен для подавления высших гармонических составляющих. Такой преобразователь имеет наибольшую стоимость, но имеет один важный плюс – не требует обязательной замены старого однофазного трансформатора.

В данной работе мы рассмотрели модернизации печей при помощи различных схем выпрямителей.

Литература

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Блинов А.С. и др. Современные энергосберегающие электротехнологии. Учебное пособие для ВУЗов. С – П.: 2000г. 586 стр.
2. Свенчанский А.Д. Промышленные печи. М.: Энергия, 1982г. 328 стр.
3. Кручинин А.М. и др. Автоматическое управление электротермическими установками. Учебное пособие для ВУЗов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 416 с
4. Хашимов А.А. Фазовый метод регулирования. Статья Вестник ТашГТУ.2004г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧЬЮ

доц. Пулатов А.О., доц. Туляганов М.М., асс. Махмудов Н.З., Атабаев Д.Д.

ТашГТУ, ЭЭФ, Узбекистан,

Аннотация. Сегодня мировая промышленность стремительно развивается, промышленные предприятия и производство невозможно представить без тиристорных схем управления. Тиристорные схемы отличаются от других устройств надежностью и высоким КПД. Эти качества вместе с низкой ценой, малыми габаритами, простотой использования, экономической эффективностью делают тиристорный регулятор оптимальным решением задач управления в современных системах промышленной автоматизации.

Annotatsiya. Hozirgi kunda dunyo sanoati shiddat bilan rivojlanayapti, sanoat korxonalarini, ishlab chiqarishni tiristorli sxema boshqaruvlarisiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Tiristor sxemalari ishonchliligi va yuqori samaradorligi tufayli boshqa qurilmalardan ajralib turadi. Ushbu fazilatlari, past narxi, o'lchamlari kichikligi, ishlatish qulayligi, iqtisodiy samaradorligi bilan birgalikda tiristor boshqaruvchisini zamonaviy sanoat avtomatlashtirish tizimlarida boshqaruv muammolari uchun optimal yechimga aylantiradi.

Annotation. Today, the world industry is rapidly developing, industrial enterprises and production cannot be imagined without thyristor circuit controls. Thyristor circuits are distinguished from other devices due to their reliability and high efficiency. These qualities, together with low price, small size, ease of use, economic efficiency, make the thyristor controller an optimal solution for management problems in modern industrial automation systems.

Ключевые слова: Автоматизация электрической печи, Автоматизация сушильной камеры, ТРМ.

Тиристорные схемы получили широкое распространение еще в 70-е годы прошлого века благодаря своей надежности и высокому КПД. Эти качества в сочетании с невысокой ценой делают тиристорный регулятор оптимальным решением для задач регулирования в современных системах промышленной автоматизации.

Одно из основных применений тиристоров - электронное управление мощности электропечи, которое требуется в различных технологических процессах для поддержания заданного температурного режима. Тиристорное регулирование имеет ряд неоспоримых преимуществ перед системами релейно-контакторного типа, главными из которых являются:

А) непрерывность регулирования. Тиристоры коммутируют ток в нагрузке с частотой сети (50 раз в секунду), что позволяет поддерживать температуру с высокой точностью и быстро реагировать на изменение возмущающих воздействий;

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б) отсутствие механических контактов повышает надежность и уменьшает затраты на обслуживание и эксплуатацию;

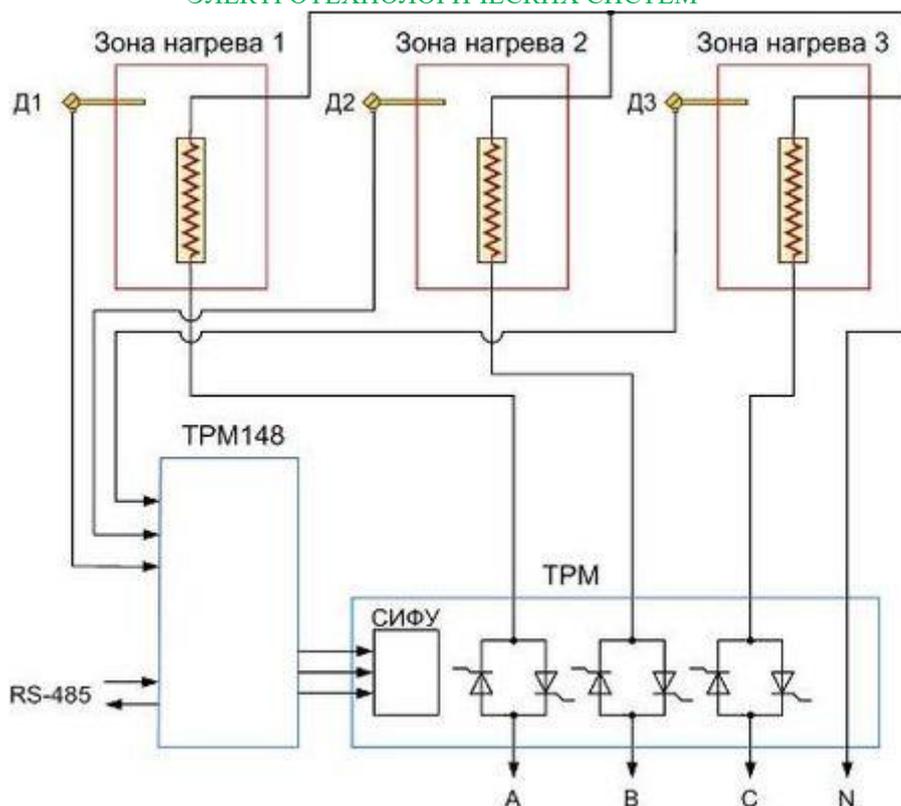
В) возможность ограничения пусковых токов электронагревательных элементов. Для многих печей характерно низкое сопротивление нагревательных элементов в холодном состоянии, поэтому пусковые токи могут быть в 10 и более раз больше номинальных. Ограничить пусковые токи можно только с помощью фазоимпульсного управления тиристорами.

Разработанный ООО «Звезда-Электроника» тиристорный регулятор мощности ТРМ является современным многофункциональным устройством. Его система управления построена на мощном цифровом сигнальном процессоре, непрерывно отслеживающем в реальном времени большое количество управляющих сигналов. Это обуславливает ряд преимуществ перед аналогичным оборудованием:

- гибкое конфигурирование под любой вид нагрузки и технологического процесса;
- наглядная индикация на жидко-кристаллическом дисплее;
- развитый комплекс защит и автодиагностики неисправностей;
- поддержка двух способов управления тиристорами – фазоимпульсного и числового;
- режимы точной стабилизации или ограничения токов;
- возможность реализации многозонного регулирования;
- легкая интеграция в АСУ ТП.

Благодаря этому удалось разработать несколько готовых решений для автоматизации и электронного управления печью.

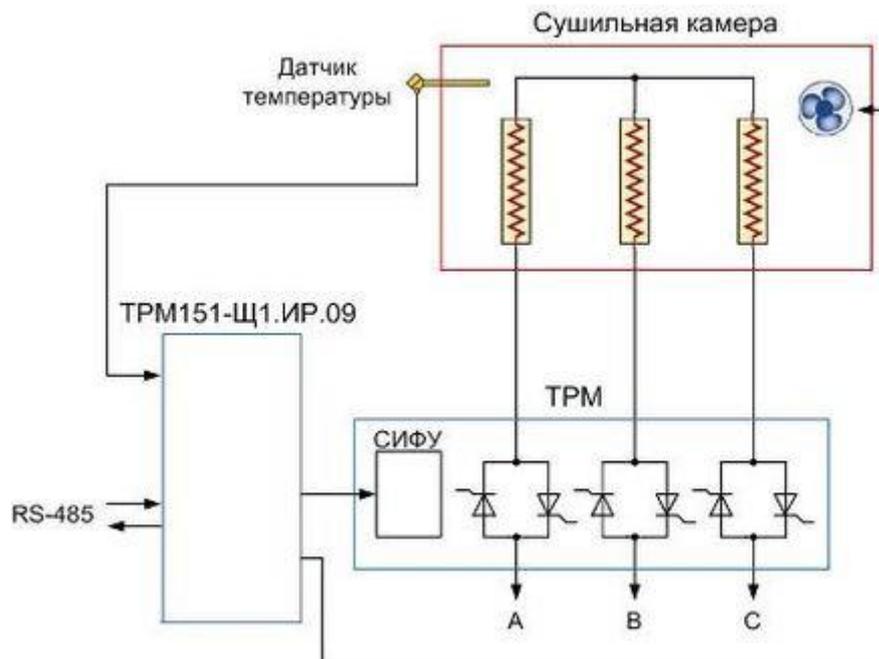
Интересным примером может послужить система управления многозонным обогревом инфракрасными обогревателями, популярность которых растет с каждым годом. Для этого применен многоканальный ПИД-регулятор ТРМ148. Обогреватели соединены по схеме «звезда» с общим нулевым проводом, благодаря чему создаются три независимых контура регулирования. В каждой зоне установлен свой датчик – Д1, Д2, Д3 – снимающая показания с которых ПИД-регулятор корректирует управляющие сигналы 4..20 мА для тиристорного регулятора, который регулирует мощность отдельно в каждом из нагревательных элементов.



Для автоматического управления печью применен ПИД-регулятор ТРМ210-Щ1.ИР. К его универсальному входу подключен датчик температуры, чувствительный элемент которого размещен внутри электрической печи. ПИД-регулятор измеряет текущую температуру и воздействует на тиристорный регулятор аналоговым сигналом 4..20 мА. Таким образом, реализуется система управления с замкнутой петлей обратной связи по температуре. Релейный выход ПИД-регулятора может быть задействован для аварийной сигнализации.

С помощью программного задатчика ТРМ151-Щ1.ИР.09 реализуется автоматизация процесса сушки древесины. Прибор воздействует на управляющий вход тиристорного регулятора аналоговым сигналом 4..20 мА и, тем самым, регулирует мощность, а значит и температуру внутри камеры, при этом релейный выход периодически включает вентилятор, что способствует более равномерной сушке. Программный задатчик ТРМ151 позволяет осуществить процесс сушки по различным программам, составленным технологом, например, для разных видов древесины – ели, сосны, дуба и т.д.

Разумеется, этими примерами не ограничивается круг задач, которых можно решить с помощью тиристорного регулятора ТРМ. Возможно, например, автоматизация приточных вентиляционных камер, красильных камер, автоматическое управление электродкотлами отопления и горячего водоснабжения и многое другое.



Поскольку эти решения основаны на серийно выпускаемой продукции, приобретение и внедрение данного оборудования обойдется существенно дешевле разработки системы автоматизации по индивидуальному заказу.

Литература

1. Имамназаров А.Т. Пулатов А.А. Аъзамова Г.А Математическая модель процесса плавки металла в ИТП на основе линейных графов. Сборник трудов. 6-Всероссийская научно-техническая конференция. Прикладные аспекты энергетики. Россия. Благовещенск-2011г.
2. Хашимов А.А., Мирисаев А.У., Пулатов А.А. Система управления индукционной канальной печи. Заявка на получение патент.Регистрационный номер заявки :№ IAP 200110427 2011г.
3. Блинов Ю.И. и др. Современные энергосберегающие электротехнологии. Учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург, 2000.564с.
4. Khashimov A.A., Imomnazarov A.T., Pulatov A.O. Mathematical model of metal melting processes in crucible furnaces. International Symposium on Helting by Electrotermic Sources, Padua (Italy), June 22–25, 2004.
5. Хашимов А.А., Имамназаров А.Т., Пулатов А.А. Тепловые режимы работы индукционных тигельных печей. – Т.: Fan va texnologiya, 2013. – 116b.

НАСОС СТАНЦИЯЛАРИНИ ЭНЕРГИЯ ИСТЕЪМОЛИНИ ТАХЛИЛИ

И.А. Абдуллабеков, М.М. Мирсаидов, О.О. Зарипов, Ж.Ш. Ботиров

Тошкент давлат техника университети

Кириш. Ўзбекистонда суғориш насос станцияларини талаб этилган сув сарфи ва қувурдаги босимни барқарорлигини оптимал бошқариш, насос агрегатидаги ишчи паррактларнинг тезлигини ўзгартириш, аванкамерадаги сув сатҳи баландлигини ўзгариши билан марказдан қочма насосларнинг биргаликда параллел

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ишлашининг технологик схемалари ва усулларини такомиллаштириш ҳамда энергетик кўрсаткичларини оптималлашга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, суғориш насос станцияларда талаб этилган сув сарфини етказиб беришда насос ишчи паррагини айланиш тезлигини частота ўзгартиргич асинхрон двигател тизимининг бошқариш самарадорлиги ва ишончилигини ошириш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланади. Шу билан бирга мавжуд сув таъминоти технологик тизимларини замонавий талабларга жавоб берадиган автоматлаштирилган электр юритмалари ва энергия тежайдиган режимларга эришиш учун мўлжалланган автоматик бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш ҳам долзарб вазифалардан ҳисобланади. Насос агрегатларини энергия тежамкор бошқариш усулининг энг самаралиси частота билан ростланадиган электр юритмаларни қўллашдир.

Асосий қисм. Қишлоқ хўжалиги экин майдонларини суғориш ирригация тизимларида 2000 дан ортиқ турли қувватли сув кўтариш насос станциялари суғориш мавсуми давомида сув етказиб бермоқда. Бундан ташқари йил давомида ишлайдиган сув кўтариш магистрал каналлари учун насос станциялари ишлаб турибди. Бу насос станцияларда 5000 дан ортиқ насос агрегатлари ўрнатилган бўлиб, уларнинг 1000 га яқини Д5000 – 32 русумли насос агрегатлари ҳисобланади.

Д5000 – 32 насос агрегатини ҳаракатга келтириш учун электр юритувчи сифатида А4 – 630 – 4У3 русумли қуввати 630 кВт, кучланиши $U_n = 6000$ В, айланиш тезлиги $n_n = 740 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$, фойдали иш коэффиценти $\eta = 94,5 \%$, қувват коэффиценти $\cos \phi = 83 \%$, статор токи $I_c = 77,5$ А бўлган қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателлар ишлатилади.

Насос агрегати валида унинг номинал қийматларидаги ҳосил бўладиган актив қувватни қуйидагича ҳисобланади:

$$P_{\text{насос}} = \frac{\gamma * Q_n * H_n}{102 * \eta_{\text{нас}}} = \frac{1000 * 1,4 * 32}{102 * 0,8} = 549 \text{ кВт} \quad (1)$$

бунда H_n , Q_n – насос агрегати номинал босими ва сув сарфи, γ – суюклик зичлиги, $\eta_{\text{нас}}$ – насоснинг ФИК, насос ишчи паррагининг емирилиши натижасида ҳамда ишчи паррак ва чиғаноқ орасидаги тирқиш ошиши ҳисобига камаяди.

Насосни ҳаракатга келтирувчи асинхрон двигателни электр тармоғидан истеъмол қилаётган актив қуввати қуйидагига тенг бўлади:

$$P_{\text{АД}} = \frac{P_{\text{насос}}}{\eta_{\text{АД}}} = \frac{549}{0,945} = 581 \text{ кВт} \quad (2)$$

Насосни ҳаракатга келтирувчи асинхрон двигателни электр тармоғидан истеъмол қилаётган реактив қуввати қуйидагига тенг бўлади

$$Q_{\text{АД}} = P_{\text{АД}} * tg\phi = 581 * 0,67 = 389 \text{ кВАр} \quad (3)$$

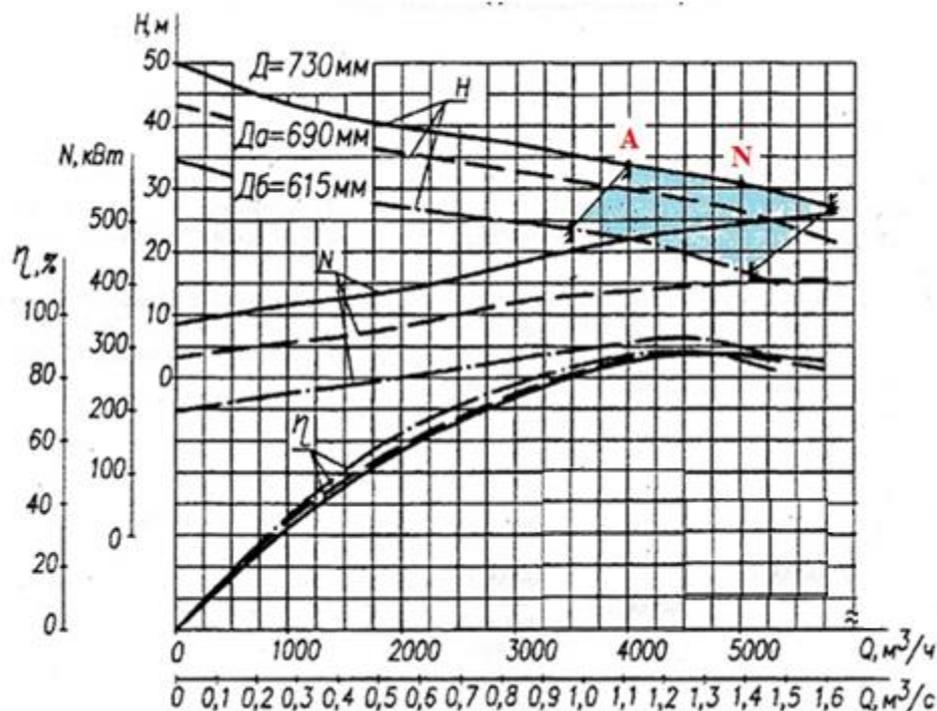
$$\text{бунда } tg\phi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \phi_n}}{\cos \phi} = \frac{\sqrt{1 - 0,83^2}}{0,83} = 0,67;$$

Насосни ҳаракатга келтирувчи асинхрон двигателни электр тармоғидан истеъмол қилаётган тўлиқ қуввати қуйидагига тенг бўлади

$$S = \sqrt{P_{\text{АД}}^2 + Q_{\text{АД}}^2} = \sqrt{581^2 + 389^2} = 699 \text{ кВА} \quad (4)$$

Суғориш насос станцияларида сув етказиб бериш графиги мавсум давомида ойлик, кунлик ва суткалик меёрларида тасдиқланади ва сув етказиб берилади. Бу графикларни талабини бажариш учун насос агрегатларини сув сарфини сурилма клапанлар ёрдамида ростланади. Сув сарфини ростлаш насоснинг техник тавсифидаги ишчи зонаси оралиғида амалга оширилади. 1 – расмда келтирилган

Д5000 – 32 русумли насоснинг техник тавсифидаги N нуқтасидаги A нуқтадаги сув сарфи ва сув босими қийматларини аниқлаймиз:



1 – расм. Д5000 – 32 русумли насоснинг техник тавсифи

Насоснинг техник тавсифидаги алохида белгилаб қўйилган қисми насоснинг ФИК энг юқори қийматларига тўғри келади ва “ишчи соҳаси” дейлади. “Ишчи соҳада” насос сув сарфини $1,1 \text{ м}^3/\text{с}$ дан $1,4 \text{ м}^3/\text{с}$ гача ўзгартирса бўлади. Сурилма клапанни ёпиш билан босим қувурнинг тавсифларини тиклиги оширилади ва насоснинг иш нуқтаси N дан A ҳолатга ўтади. Бу ҳолда сув бериш 4000 м^3 қийматигача камаяди, насос томонидан ҳосил қилинган босим 34 м сув устун қийматигача ошади ва сурилма клапан ортидаги қувур босими 32 м қийматигача камаяди. Сурилма клапан ортидаги босимнинг камайиши сурилма клапандаги босимнинг йўқолиши ҳисобига бўлади.

Сурилма клапанни очилиши туфайли қувур тавсифининг тиклик хусусиятлари камаяди. Натижада сув сарфи ортади, насос томонидан ҳосил қилинган босим камаяди ва сурилма клапан ортидаги қувурда босим ортади. “Дросселаш” деб аталадиган бу усул иқтисодий кам самарали ҳисобланади, чунки сурилма клапандаги қўшимча гидравлик қаршиликни енгиб ўтиш учун қўшимча энергия талаб қилинади.

Сув сарфи $Q_A = 1,06 \text{ м}^3/\text{с}$, сув босими $H_A = 34 \text{ м}$, насоснинг фойдали иш коэффициенти $\eta_n = \eta_a = 80\%$, сувнинг зичлиги $\gamma = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ қийматларини ҳисобга олиб, насос техник тавсифидаги A нуқта учун асинхрон двигателни тармоқдан оладиган актив, реактив ва тўла қувватларини ҳисоблаймиз:

$$P_A = \frac{\gamma \cdot Q_A \cdot H_A}{102 \cdot \eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{АД}}} = \frac{1000 \cdot 1,06 \cdot 34}{102 \cdot 0,8 \cdot 0,945} = 467 \text{ кВт}$$

$$Q_A = P_A \cdot \text{tg} \varphi = 467 \cdot 0,67 = 313 \text{ кВАр} \quad (5)$$

$$S = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2} = \sqrt{467^2 + 313^2} = 562 \text{ кВА}$$

Ростлашнинг энергетик самарали усули марказдан қочма насосларнинг ишчи паррагини айланиш тезлигини ўзгартiriш ҳисобланади. Насос ишчи паррагини

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

айланиш тезлиги ўзгарганда насоснинг чиқишидаги сув босими ва сув сарфи хусусиятларининг ҳолати ўзгаради.

Насос ишчи паррагининг айланиш тезлигининг пасайиши сув сарфи ва босимини ўзига параллел равишда пастга туширади. Марказдан кочма насос паррагининг айланиш тезлигини ошиши у ҳосил қилаётган босимни ҳамда қувурдаги босимни кўпайишига ва натижада сув оқими тезлашиб, сув сарфи ҳам кўпайишига олиб келади. Частота ўзгартиргич қисқа туташтирилган асинхрон двигател тизимида насос ишчи паррагини тезлигини кенг диапазонда майин ўзгартириш мумкин.

Д5000 – 32 русумли насоснинг техник тавсифи графикадан (1- расм) фойдаланиб, айланиш тезлиги ўзгарганидаги сув сарфи ва босим қийматлари асосида ҳосил бўлган тавсиф қийматларини ҳисоблаймиз:

Номинал тезлик учун $n = 730$ ай/мин нисбатдан фойдаланамиз

$$\frac{Q_A}{Q} = \frac{n_A}{n}, \quad (6)$$

маълумки

$$n_A = \frac{Q_A * n}{Q} = \frac{1.1 * 730}{1.4} = 584 \text{ ай/мин.}$$

А нуқтадаги насос ҳосил қиладиган босимни аниқлаймиз

$$\frac{H_A}{H} = \frac{n_A^2}{n^2} \quad (7)$$

Частота ўзгартиргичнинг бошқарув частотасини $f = 40$ Гц га тенг қийматларидаги сув сарфини ва сув босимини аниқлаймиз.

$$Q_{40\text{Гц}} = 3800 \text{ м}^3/\text{час} = 1,06 \text{ м}^3/\text{с}; \quad H_{40\text{Гц}} = 28 \text{ м};$$

Асинхрон двигателнинг частота ўзгартиргичдан актив қувват истеъмоли аниқлаймиз

$$P_{40\text{Гц}} = \frac{\gamma * Q_{40\text{Гц}} * H_{40\text{Гц}}}{102 * \eta_{\text{нас}} * \eta_{\text{Ад}}} = \frac{1000 * 1,06 * 28}{102 * 0,8 * 0,945} = 385 \text{ кВт} \quad (8)$$

Частота ўзгатиригич асинхрон двигател тизимининг электр тармоғидан актив энергия истеъмоли қуйидагига тенг бўлади.

$$P_{\text{чў}} = \frac{P_{40\text{Гц}}}{\eta_{\text{чў}}} = \frac{385}{0,98} = 393 \text{ кВт} \quad (9)$$

Замонавий частота ўзгартиригичлар кенг импульсли модуляциянинг қўлланилиши сабабли, уларнинг қувват коэффициенти 0.96 кам бўлмаганлиги учун электр тармоғидан реактив энергия истеъмоли қуйидагига тенг бўлади [4,14].

$$Q_{40\text{Гц}} = P_{40\text{Гц}} * tg\varphi = 393 * 0,29 = 114 \text{ кВАр} \quad (10)$$

$$\text{бу ерда } tg\varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H}}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{1 - 0,96^2}}{0,96} = 0,29;$$

Частота ўзгатиригич асинхрон двигател тизимининг электр тармоғидан тўла энергия истеъмоли қуйидагига тенг бўлади.

$$S = \sqrt{P_{40\text{Гц}}^2 + Q_{40\text{Гц}}^2} = \sqrt{393^2 + 114^2} = 409 \text{ кВА} \quad (11)$$

Хулоса. Юқорида аниқлаган Д5000 – 32 русумли насос агрегатини сув сарфи ва сув босимини сурилма клапан ёрдамида бошқариб ва насос ишчи паррагининг айланиш тезлигини ўзгартириб бошқаришдаги электр энергияси истеъмолини таққослаб чиқамиз:

Актив қувват бўйича

$$\Delta P_A = P_A - P_{\text{чў}} = 467 - 393 = 74 \text{ кВт} \quad (12)$$

Реактив қувват бўйича

$$\Delta Q_P = Q_A - Q_{\text{чў}} = 313 - 114 = 199 \text{ кВАр} \quad (13)$$

Қишлоқ хўжалик экинзорларини суғориш мавсуми бир йил давомида $T = 3600$ соатни ташкил этади, бу вақтдавомида актив энергияни истеъмолини миқдорини камайиши қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta E_{A1} = \Delta P_A * T = 74 * 3600 = 266400 \text{ кВт*соат},$$

Реактив энергия истеъмолини камайиши қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta E_{P1} = \Delta Q_P * T = 199 * 3600 = 716400 \text{ кВАр*соат}.$$

Частота ўзгартиргич асинхрон двигател тизими қўлланилганда тармоқдан истеъмол қилинаётган актив ва реактив электр энергиялари ортиқча сарф бўлмайди. Энг кам энергия йўқотишлар билан фойдали иш бажарилади. Бунда электр тармоқлари электр энергиясини етказиб берувчиларнинг реактив энергия миқдори бўйича талаблари тўлиқ бажарилади.

ASINXRON MOTOR REAKTIV QUUVVATINI NAZORAT VA BOSHQARISHDA QO'LLANILADIGAN TOK O'ZGARTKICHNING DINAMIK TAVSIFLARI

*Boixanov Zailobiddin Urazali o'g'li PhD, dotsent, Ortiqov Alinur Ixtiyorovich
bkalavr*

Andijon mashinasozlik instituti. O'zbekiston.

Annotatsiya: Ushbu maqolada asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat qilish va boshqarish uchun tok o'zgartkichidan foydalanildi. Tok o'zgartkich asinxron motor stator pazlari va asosiy chulg'am pona orasiga joylashtiriladi. Bu esa asinxron motor stator chulg'amida hosil bo'luvchi asosiy va sochiluvchan magnit oqimlar hisobiga kuchlanish ko'rinishida signal chiqadi. Tok o'zgartkichning asosiy elementi o'lchov chulg'ami ya'ni sezgir element hisoblanadi. O'lchov sezgir elementi asinxron motor stator pazlari sonidan kelib chiqib, ikki halqali yoki uch halqali qilib joylashtiriladi. Mustaqil o'lchov chulg'amiga nisbatan o'lchash aniqlik, ishonchliligi, sezgirligi ortadi. O'lchov sezgir element halqalari mustaqil yoki ketma-ket ulanadi. O'lchov halqalari ketma-ket ulanganda chiqish kuchlanishining miqdori ikki marta oshishi ta'minlanadi.

Kalit so'zlar: Asinxron motor, kuchlanish, tok, stator chulg'ami, asosiy magnit oqim, sochiluvchan magnit oqim, reaktiv quvvat, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich.

Kirish. Asinxron motorning ishlash tamoyilidan ko'rinadiki, rotor chulg'ami elektr jihatdan stator chulg'ami bilan bog'lanmagan. Asinxron motor ishlash jarayonida stator va rotor chulg'amlaridagi toklar ikkita magnitlovchi kuchlarni hosil qiladi. Rotorning magnitlovchi kuchlari va statorning magnitlochi kuchlari hisoblanadi. Bu magnitlovchi kuchlar birgalikda ta'siri natijasida statorga nisbatan sinxron tezlik n_1 bilan aylanadigan umumiy magnit oqimi Φ ni vujudga keltiradi. Bu magnit oqimini stator chulg'ami bilan ham, rotor chulg'ami bilan ham ilashgan asosiy Φ va ikkita sochilish oqimlaridan: Stator chulg'amining sochilish oqimi F_s va rotor chulg'amining sochilish oqimi F_{s1} dan iborat deb aytish mumkin. Ushbu bobda asinxron motorning uch fazali nosimmetrik toklarini nazorat va boshqarishda qo'llanilayotgan stator tokini kuchlanish ko'rinishidagi chiquvchi signalga o'zgartiruvchi o'zgartkichning tadqiq qiladigan tavsiflari atroflicha yoritilib beriladi.

Hozirgi vaqtda tok o'zgartkichlarning ko'plab turlari ma'lum va bu holat ularning zarur rusumdagisini va muayyan konstruktsiyasini tanlashni qiyinlashtiradi. Honeywell

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

kompaniyasining o'zgartkichlari – tok datchiklari. Mavjud tok o'zgartkich va datchiklar, Xoll effektiga asoslangan tok o'zgartkich – datchiklari katta toklarni o'lchashda yuqori aniqlikka ega bo'lsada, magnit tizimining to'yinishi tufayli ular aniqlikda cheklovlarga ega, qo'shimcha manbalarni talab qiladi va nisbatan qiymat hisoblanadi.

Asinxron motorda asosiy magnit oqim Φ stator chulg'aming magnitlovchi kuchi F_1 bilan rotor chulg'aming magnit kuchi F_2 nin birgalikda ta'sir etishi hisobiga hosil bo'ladi.

$$\Phi = \frac{F_1 + F_2}{R_M} = \frac{F_0}{R_M} \quad (\text{Vb})$$

bu yerda, R_M -asinxron motor magnitaviy qarshiligi.

$F_1 + F_2 = F_0$ - asinxron motorning umumiy magnitaviy kuchi, bu kuch son jihatdan stator chulg'aming salt ishlash rejimidagi magnitaviy kuchiga teng hisoblanadi.

Bu magnit yurituvchi kuch quyidagicha aniqlanadi.

$$F_0 = 0,45m_1 \frac{w_1 I_0}{p} K_1 \quad (\text{A})$$

bunda, I_0 -salt ishlash rejimi stator chulg'am tok.

Asinxron motor stator toklarini kuchlanish ko'rinishdagi chiqish signaliga o'zgartkichlarining dinamik tavsiflarini tahlil qilishda U_{chiq} chiqish kuchlanishlari asinxron motor stator toklariga, o'lchash chulg'aminining o'ramlari soniga – w_0 , shuningdek stator tizimining parametrlariga bog'liqligini aniqlash talab etiladi [2; 22-27-b.]

Metod. Asinxron motor stator toklarining qiymatlari, parametrlari va boshqa ta'sirlarga boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning signallarini vaqt bo'yicha o'zgarishini dinamik tavsiflar orqali aniqlaymiz.

Dinamik tavsiflarni tadqiq qilish uchun 4AA63A4Y3 tipli asinxron motorning texnik ma'lumotlari: $P_n = 0,25 \text{ kVt}$, $U_n = 380 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Gts}$, $n = 1500 \text{ ayl/min}$, $r'_1 = 0,15 \Omega$, $x'_1 = 0,082 \Omega$, $r''_2 = 0,14 \Omega$, $x''_2 = 0,17 \Omega$, $\cos\varphi_n = 0,65 \%$, $\eta_n = 0,68 \%$, $x'_1 = 0,082 \Omega$, $k_{i \text{ as.mot}} \frac{I_{ish.tu}}{I_n} = 4$ ga teng bo'lib stator chulg'amlari tarmoqqa yulduz ko'rinishida ulanadi hamda o'ramlar soni $W_1 = 100$ tani tashkil etadi.

Asinxron motorning stator pazlariga o'lchov chulg'ami joylangan bo'lib, uning joylashuv sxemasi xuddi stator chulg'amlarining pazlarda joylashuv sxemasi kabi bajarilgan. Asinxron motor nominal ish holatida stator chulg'amlaridan o'tuvchi toklari $I_{1 \text{ nom}} = I_{2 \text{ nom}} = I_{2 \text{ nom}} = 1,125 \text{ A}$ ga, salt yurishidagi tok $I_{1 \text{ salt}} = I_{2 \text{ salt}} = I_{2 \text{ salt}} = 0,82 \text{ A}$ ga teng. Tok o'zgartkich o'lchov chulg'amlarini kesib o'tuvchi maksimal magnit oqimi quyidagiga teng.

$$\Phi_{1m} = \Phi_{1m} = \Phi_{1m} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_f}{4,44 \cdot f \cdot w_1} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{4,44 \cdot 50 \cdot 100} = 0,013 \text{ Vb}$$

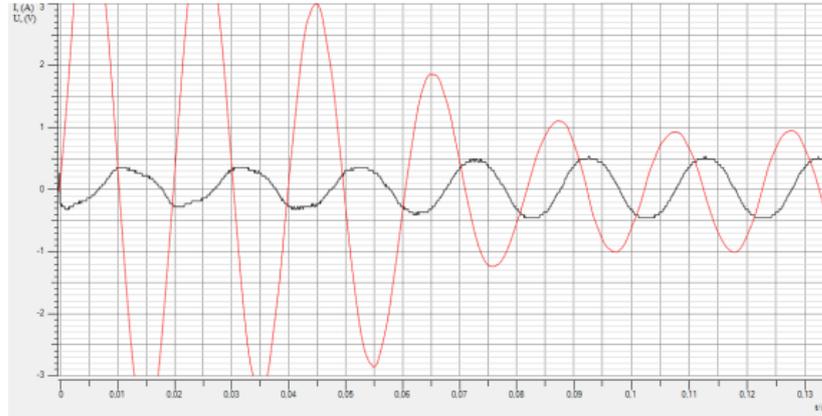
Uch fazali asinxron motor reaktiv quvvati nosimmetrik kattaliklarini nazorat qilish va baholashda qo'llanilayotgan boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning chiqish kuchlanishlarini quyidagicha yozamiz.

$$U_a = R_a I_a + \frac{d}{dt} (L_a I_a + M_{ax} I_x)$$

$$U_b = R_b I_b + \frac{d}{dt} (L_b I_b + M_{bx} I_x)$$

$$U_c = R_c I_c + \frac{d}{dt} (L_c I_c + M_{cx} I_x)$$

Uch fazali tok o'zgartkichining aktiv qarshiliklari va induktivliklari, w_1, w_2, w_3 – o'lchov elementlarining o'ramlar soni; $i_{chiq.a}, i_{chiq.b}, i_{chiq.c}$ – o'lchov chulg'ami toklari.



1 -rasm. Asinxron motor birlamchi stator toki va tok o'zgartkichining dinamik tavsiflari

bu yerda, qizil chiziq – asinxron motor stator toki o'zgarishlari, qora chiziq – tok o'gartkich chiqishidagi kuchlanish ko'rinishidagi signal.

Dinamik tavsiflardandan ko'rishimiz mumkinki, asinxron motor o'zining turg'un holatiga $t=0-0,09s$ oralig'ida erishayotganini, boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich $t=0-0,06 s$ oralig'ida erishayotganini ko'rishimiz mumkin.

Asinxron motor birlamchi tokining o'lchash diapazonini kengaytirish stator chulg'ami toklari tomonidan yaratilgan magnit oqimining nazorati yo'li bilan o'lchov chulg'amining halqalarini o'zaro kontrollerning blokirovkalanuvchi kontaktlari bilan alohida yoki ketma-ket ulash asosida erishiladi, ikkita halqaning ketma-ket ulanishi asinxron motor tokni kuchlanishga o'zgartkichning o'lchov chulg'ami chiqish kuchlanishining bitta alohida xalqasiga nisbatan ikki karra kattaroq qiymatini ta'minlaydi.

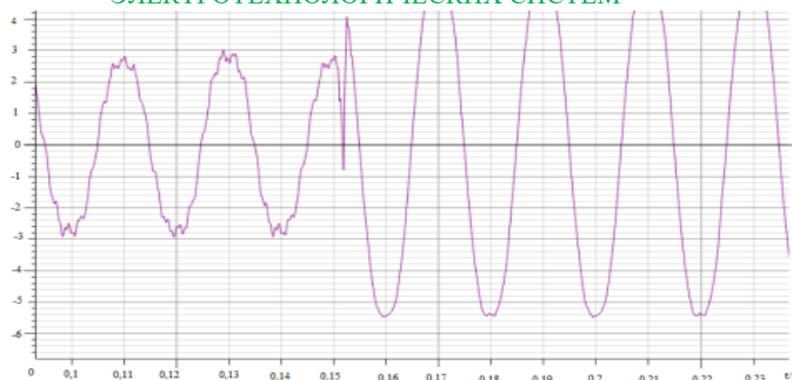
$$U_{a\Sigma} = U_{1,8} + U_{14,15}$$

$$U_a = \left(4,44 \cdot f \cdot W_{c1} \cdot \frac{I_A}{R_\mu} \right) (W_{11} + W_{12})$$

Qachonki o'lchov chulg'amining o'ramlar soni $W_{11} = W_{12}$ bo'lsa, mikrokontrollerning blokirovkalanuvchi kontaktlari avtomatik tarzda ulanadi, natijada $K = 2$ ga teng bo'ladi. Chunki yig'indi summar chiqish kuchlanish, tok o'zgartgichi chulg'amining bitta mustaqil halqasi chiqish kuchlanishidan ko'ra ikki karra katta bo'ladi.

Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichining o'lchov halqalarini ketma-ket ulashdagi dinamik jarayonlarni quyidagi 2- rasmda ko'rishimiz mumkin.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

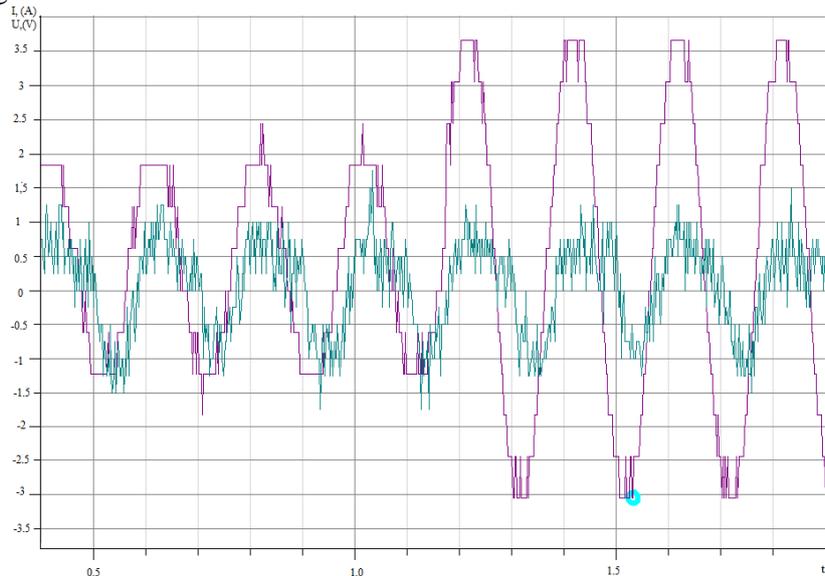


2-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning o'lchov halqalarini ketma –ket ulashdagi dinamik tavsiflari

Asinxron motor stator toklarini o'zgartkich chiqish kuchlanishlariga bog'liqligining dinamik tavsiflarini tadqiq qilishda keltirilgan analitik ifodalar va grafiklardan shunday xulosaga kelamizki, asinxron motor U_1 kuchlanishli elektr tarmog'iga ulangandan so'ng, motor parametrlariga bog'liq holda tok o'zgartkichi chiqishidagi kuchlanishlar birlamchi stator tokiga ta'sirini aniqlash kerak bo'ladi.

Asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat va boshqarish uchun taklif qilinayotgan boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichni kuchlanish ko'rinishidagi signalini asinxron motor birlamchi tarmoq stator tokiga ta'sirini aniqlash eng muhim ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi.

O'lchov sezgir element halqalari ketma-ket ulanganda, chiqish kuchlanishining miqdori ikki karra ortishi, shu holatga mos ravishda stator chulg'ami birlamchi tokining o'zgarishi diskret signal ko'rinishida namoyon qilindi, Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning birlamchi tarmoq tokiga bog'liqlik dinamik tavsifi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichning birlamchi tarmoq tokiga bog'liqlik dinamik tavsifi

Yuqorida bayon etilgan qurilmalarning asosiy natijalarini tahlili shuni ko'rsatadiki, kontaktli o'zgartkichlarda yordamchi elektr ta'minot manbalariga ehtiyoj yo'qligiga

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

qaramay, nisbatan katta og'irlikka va quvvat iste'moliga egaligi va ish holati ishonchliligi pastligi, asinxron motor stator chulg'amida hosil qilingan manit oqim, sochiluvchan magnit oqim, MYuKlarni hisobga olish imkoni chegaralanganligidan ularni asinxron motor reaktiv quvvatining nazorat va boshqaruv tizimlarida tok o'zgartkichlari sifatida qo'llash maqsadga muvofiq emas.

Biz taklif qilgan qurilmamiz aynan stator paziga joylashtirilgani hamda reaktiv quvvat iste'molini aniqlash imkoni katta ekanligi, aniqligi va sezgirligi yuqori bo'lganligi uchun dinamik tavsiflari yaqqol olinadi.

Xulosa. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkichni birlamchi tarmoq stator tokiga ta'sirini o'rgananimizda quvvati 0,25 kVtli asinxron motorni nominal toki 0.86 Ani tashkil etdi, tok o'zgartkichning toki 0.0025A ni tashkil etadi. Bundan huloa qilish mumkinki, 1/400 miqdorni tashkil etdi. Boshqariluvchan chiqish kuchlanishli tok o'zgartkich o'lchov chulg'amining ikkita mustaqil xalqasi kontrollerning o'zaro blokirovkalanuvchi kontaktlari orqali ketma-ket yoki alohida ulanishi birlamchi tarmoq stator tokiga ta'siri juda ham kichik qiymatni tashkil etishini ko'rsatib berdi.

Adabiyotlar

1. Allal A. Abderrahmane K. Diagnosis of induction motor faults using the motor current normalized residual harmonic analysis method [International Journal of Electrical Power & Energy Systems]. Volume 140, may 2021, 208-219p.

2. Ammar K. Al-Musawi., Fatih Anayi., Michael Packianather. Three-phase induction motor fault detection based on thermal image segmentation [Infrared Physics & Technology]. Volume 104, january 2020, 3-7p.

3. Andrzej Trzynadlowski. Control of induction motors [Books , 1st edition] october 2, 2000 3-5p.

4. Jacqueline J. Guedes., Marcelo Favoretto Castoldi., Alessandro Goedel., Cristiano Marcos Agulhari., Danilo Sipoli Sanches. Parameters estimation of three-phase induction motors using differential evolution. [Electric Power Systems Research]. Volume 154, january 2018, 204-212 p.

5. Juan R.N. Real and reactive power control of induction motor drive [LSU master's].Theses 2019.93-99p.

6. Krontiris E., Hanitch R., Paralika M., Rampias I., Stathais E., Nabe A., Kadirov T.M., Khashimov A.A., Karimov Kh.G., Sitdikov R.A., Shaislamov A.Sh., Yusupov B., Gayibov T.Sh., Siddikov I.Kh., Tulaganov M.M., Badalov A.A. Energy Management Training in Uzbekistan [The final report of the Project EC T JEP-10328 - 97. TU - Berlin (Germany), TEI -Athens (Athens, Greece), TashGTU (Tashkent, Uzbekistan)]. 1997-2001. 213-226 pp.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ (ГА) ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Проф. Сапаев Х.Б., ст.преп. Муминов Х.А.

ТашГТУ, Узбекистан

Annotatsiya – chidamlilik, ishonchlilik, arzon narx va oddiy texnik xizmat ko'rsatish tufayli asinxron elektr motorlar sanoatda eng ko'p qo'llaniladi. Ushbu

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

dvigatellarning ta'siri (energiya iste'moli rovida) energiya talab qiladigan sohalarda muhim o'rin tutadi. Ushbu maqola optimal boshqaruv orqali uch fazali asinxron dvigatellardan foydalanish samaradorligini oshirish sohasidagi ishlanmalarni ko'rib chiqadi. Sun'iy intellekt usullaridan foydalanish, ya'ni sun'iy neyron tarmoqlari, ekspert tizimlari va tabiiy algoritmlar, genetik algoritmlar va optimallashtirishda differentsial evolyutsiya kabi usullar ham ushbu maqolaga kiritilgan.

Аннотация – Благодаря прочности, надежности, низкой цене и простому техническому обслуживанию, асинхронные электродвигатели получили наибольшее применение в промышленности. Влияние этих двигателей (в роли потребления энергии), в энергоемких отраслях занимает значительное место. Эта статья представляет собой обзор разработок в области повышения эффективности использования трехфазных асинхронных двигателей за счет оптимального управления. Использование методов искусственного интеллекта, а именно таких как искусственные нейронные сети, экспертные системы и естественные алгоритмы, генетические алгоритмы и дифференциальной эволюции в оптимизации, также включены в эту статью.

Abstract – Due to the strength, reliability, low price and easy maintenance, asynchronous electric motors have been most widely used in industry. The influence of these engines (in the role of energy consumption) occupies a significant place in energy-intensive industries. This article provides an overview of developments in the field of improving the efficiency of using three-phase asynchronous motors through optimal control. The use of artificial intelligence methods, namely artificial neural networks, expert systems and natural algorithms, genetic algorithms and differential evolution in optimization, are also included in this article.

Ключевые термины: генетические алгоритмы, оптимизация, асинхронный электропривод,

Асинхронный двигатель является высоко эффективной электрической машиной при работе на ее номинальном крутящем моменте и скорости. Тем не менее, при малых нагрузках, нет баланса между потерями в меди и стали, в результате значительное снижение эффективности. При частичной нагрузке КПД и коэффициент мощности может быть улучшена путем корректировки возбуждения двигателя в соответствии с нагрузкой и скоростью. Для реализации указанной цели, асинхронный двигатель должны быть либо подается через инвертор или переработан с оптимизация алгоритмов.

Асинхронные электроприводы широко применяются в различных промышленных и бытовых устройствах благодаря своей простоте, надежности и эффективности. Оптимизация работы таких приводов играет важную роль в повышении энергоэффективности и снижении издержек производства. Одним из эффективных методов оптимизации является использование генетических алгоритмов. Генетические алгоритмы - это методы оптимизации, вдохновленные принципами естественного отбора и генетики. Они позволяют находить оптимальные решения в сложных задачах, где простые аналитические методы могут оказаться неэффективными. Применение генетических алгоритмов в оптимизации режимов работы асинхронного электропривода позволяет улучшить его эффективность, снизить энергопотребление и повысить надежность. Основная

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

идея использования генетических алгоритмов в оптимизации асинхронного электропривода заключается в создании популяции индивидуальных решений, которые представляют собой набор параметров, определяющих режим работы привода. Затем с помощью операторов скрещивания, мутации и отбора происходит эволюция популяции, при которой лучшие решения сохраняются и улучшаются с каждым поколением. Применение генетических алгоритмов позволяет решать задачи оптимизации асинхронного электропривода, такие как выбор оптимальных параметров управления, оптимизация энергопотребления, улучшение динамических характеристик и снижение износа оборудования. Благодаря возможности параллельной обработки и высокой скорости сходимости, генетические алгоритмы позволяют эффективно решать сложные задачи оптимизации в реальном времени. Таким образом, использование генетических алгоритмов при оптимизации режимов асинхронного электропривода является эффективным и перспективным подходом, который позволяет повысить энергоэффективность, надежность и производительность привода. Дальнейшее развитие и исследования в этой области могут привести к созданию более совершенных систем управления и оптимизации электроприводов, способствуя снижению издержек и улучшению экологической устойчивости производства.

Генетические алгоритмы являются эффективным инструментом для оптимизации режимов работы асинхронного электропривода. Их использование позволяет значительно улучшить энергетические характеристики системы, увеличить ее надежность и снизить затраты на эксплуатацию. Генетические алгоритмы позволяют быстро находить оптимальные параметры работы электропривода, учитывая различные ограничения и условия. Таким образом, применение генетических алгоритмов в оптимизации режимов работы асинхронного электропривода является эффективным способом повышения эффективности и экономичности работы системы.

Использование генетических алгоритмов в оптимизации работы асинхронного электропривода позволяет учитывать множество параметров, которые влияют на его эффективность. Эти алгоритмы способны находить оптимальные настройки системы на основе генетического кода и принципов естественного отбора. Благодаря этому, можно быстрее достигнуть оптимальных результатов и сократить время настройки электропривода.

Применение ГА в оптимизации асинхронных электроприводов

ГА применяются в оптимизации различных аспектов режимов асинхронных электроприводов, включая:

Оптимизация параметров контроллера: Настройка параметров контроллера (например, ПИД-регуляторов) может быть оптимизирована с использованием ГА для достижения желаемых характеристик, таких как быстрый отклик, низкая ошибка установившегося значения и стабильность.

Оптимизация частоты переключения: ГА могут использоваться для определения оптимальной частоты переключения для преобразователей частоты, которые питают асинхронные электроприводы. Это может улучшить КПД, снизить потери и электромагнитные помехи.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Оптимизация потерь в двигателе: ГА могут помочь в минимизации потерь в двигателе, оптимизируя параметры двигателя, такие как число полюсов, обмотку статора и конструкцию ротора.

Оптимизация энергопотребления: ГА можно использовать для разработки энергосберегающих стратегий управления, которые сводят к минимуму потребление энергии без ущерба для производительности.

Процесс оптимизации с использованием ГА включает в себя следующие шаги:

1. Определение цели оптимизации: Определение желаемых целей оптимизации, таких как снижение потерь, повышение эффективности или улучшение характеристик отклика.

2. Кодирование переменных: Кодирование параметров оптимизации в виде хромосом, которые представляют возможные решения.

3. Создание популяции: Генерация начальной популяции хромосом с помощью случайных или эвристических методов.

4. Оценка пригодности: Оценка пригодности каждой хромосомы в популяции с использованием целевой функции.

5. Отбор: Выбор лучших хромосом из популяции на основе их пригодности для перехода к следующему поколению.

6. Кроссовер и мутация: Применение генетических операторов кроссовера и мутации для создания новых хромосом и поддержания генетического разнообразия.

7. Итерации: Повторение процесса отбора, кроссовера и мутации до достижения желаемого критерия завершения.

Использование ГА для оптимизации асинхронных электроприводов имеет ряд преимуществ:

Робастность: ГА не зависят от начальных условий и могут найти решения даже в сложных многомерных пространствах.

Параллелизм: ГА можно легко реализовать в параллельных вычислительных средах, что значительно ускоряет процесс оптимизации.

Отсутствие необходимости в градиентной информации: ГА не требуют вычисления градиентов целевой функции, что делает их пригодными для задач с недифференцируемыми функциями.

Одним из основных преимуществ генетических алгоритмов является их способность к работе с большим объемом данных и сложными ограничениями. Они могут учитывать различные факторы, такие как температура окружающей среды, нагрузка на систему, тип используемых материалов и прочие параметры, которые влияют на работу электропривода. Это позволяет создать более надежную систему, которая будет работать более эффективно в различных условиях.

Кроме того, генетические алгоритмы способны учитывать изменчивость в работе системы и корректировать настройки в реальном времени. Это позволяет сократить время настройки электропривода и улучшить его работу в динамике. Таким образом, применение генетических алгоритмов в оптимизации режимов работы асинхронного электропривода является эффективным и перспективным направлением развития в области энергетики и автоматизации.

Генетические алгоритмы являются эффективными инструментами для оптимизации режимов асинхронных электроприводов. Они могут помочь улучшить

производительность, снизить потери и оптимизировать энергопотребление, что приводит к более эффективному и надежному функционированию электроприводов.

Литература

1. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы [Текст]/ Под ред. В.М. Курейчика. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 320 с. — ISBN 5-9221-0510-8.
2. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я.Браславский, З.Ш.Ишматов, В.Н.Поляков. М.: АСАДЕМА. 2004. 202 с.
3. С. Thanga Raj, S. P. Srivastava, Pramod Agarwal. Энергоэффективное управление трехфазным асинхронным двигателем – Обзор. International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 1, No. 1, April 2009

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Проф. Сапаев Х.Б., ст. преп. Муминов Х.А.

ТашГТУ, Узбекистан

Ush bu ishda elektr transport vositasining tortish haydovchisi uchun elektr motorini tanlashga nafaqat elektr parametrlari nuqtai nazaridan, balki mexanik ta'sirlardan kelib chiqadigan parametrlarga ham yondashish imkonini beradigan metodologiyani o'rganadi

В работе исследуется методика позволяющая подойти к выбору электродвигателя для тягового привода электромотоцикла не только с точки зрения электрических параметров, но и параметров от механических воздействий.

The work explores a methodology that allows one to approach the choice of an electric motor for the traction drive of an electric vehicle not only from the point of view of electrical parameters, but also parameters from mechanical influences.

Изучением автомобилей с электрическим приводом занимаются известные научно-исследовательские институты и центры, работающие независимо либо совместно с мировыми автопроизводителями. Так, ведущим институтом Японии в области исследования и развития электромотоциклов является Японский автомобильный научно-исследовательский институт (JARI); в США это Научно-исследовательский институт электроэнергетики (EPRI), объединившийся с компанией Chevrolet для решения задачи повсеместного использования гражданами электромотоциклов; в Германии – Мюнхенский технический университет (TUM), работающий совместно с концерном BMW в проекте VisioM; в Корее – Корейский электротехнический научно-исследовательский институт (KERI) и др.

На сегодняшний день конструктивные параметры тягового привода электромотоцикла делятся на три группы: «энергетические» (параметры батареи), «силовые» (параметры электродвигателя) и «механические» (параметры трансмиссии) [2].

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При выборе «энергетических» параметров обычно необходимо исследовать основные энергетические показатели движения электромобиля (пробег, расход энергии при движении, расход энергии на единицу пути и грузоподъемности, удельная энергия батареи), на основании которых производить выбор типа и массы комплекта батарей.

Часто рассматриваются четыре типа тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ): свинцово-кислотные, никель-кадмиевые, никель-металлогидридные, литий-ионные. Для оптимизации соотношения между грузоподъемностью и пробегом при выборе массы комплекта батарей электромобиля используется понятие транспортной работы:

$$A = G \cdot L, \text{ т} \cdot \text{км}$$

где G – грузоподъемность электромобиля (кг); L – пробег (км).

В представленной методике выбор типа и массы комплекта батарей основывается только на анализе энергетических показателей, тягово-скоростные и экономические показатели не учитываются. Влияние параметров трансмиссии и параметров электродвигателя не исследовалось. Для использования МЭД и метода Шеферда в представлении процесса разряда батарей необходимо наличие экспериментальных разрядных характеристик (то есть проведение эксперимента), с помощью которых определяются коэффициенты уравнения кривой разряда при различных значениях силы тока. При таком подходе получаются максимально достоверные результаты исследования. Однако, ввиду многообразия представленных на рынке типов батарей и производителей, процесс выбора, согласно представленной методике, требует больших затрат времени и средств.

Выбор оптимального значения емкости, определяющего массу комплекта батарей, основывается на обеспечении заданного пробега. Пробег электромобиля является единственным энергетическим показателем. В качестве тягово-скоростного показателя выступает скорость движения автомобиля, при которой достигается максимальный пробег. Данная скорость не задается в качестве исходных данных, а определяется, исходя из критерия оптимизации.

Представленная в методике математическая модель описывает связь между силами, действующими на колесо, и глубиной разряда батареи. В данном случае показывается зависимость степени разряда батарей от грузоподъемности электромобиля. Для определения отданной и обеспечиваемой емкостей батареи используются следующие соотношения:

$$CR_{n+1} = CR_n - \frac{\delta t \times I^k}{3600}, CS_{n+1} = CS_n + \frac{\delta t \times I}{3600}$$

где CR_n – отданная емкость ТАБ в нагрузку (Ач); CS_n – обеспечиваемая емкость ТАБ (Ач); k – экспонента Пекерта; δt – время (с); I – ток разряда (А).

Глубина разряда батареи DOD_n является отношением отданной емкости к емкости Пекерта (C_p):

$$DOD_n = \frac{CR_n}{C_p}$$

С помощью разработанного алгоритма определяется степень разряда АКБ, исходя из отданной в нагрузку мощности и рекуперации при торможении.

Зависимость глубины разряда АКБ имеет линейный характер, и дальность пробега убывает с ростом массы полезного груза (рис. 1). В результате

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

исследования определяется оптимальная скорость движения, которая в данном примере составляет 30 км/ч. Положение максимума дальности пробега связано с наличием определенного эксплуатационного крутящего момента электродвигателя.

Определение оптимальных значений емкости и скорости происходит с помощью обобщенной методики двухпараметрической оптимизации (параметры x и y) методом градиентного спуска.

Представленная методика оптимизации позволяет найти оптимальные значения емкости ТАБ и скорости движения по критерию максимального пробега электромобиля. Определение оптимальной скорости движения электромобиля дает представление о его применении. Методика имеет узкую направленность, поскольку в ней рассматривается только один конструктивный параметр.

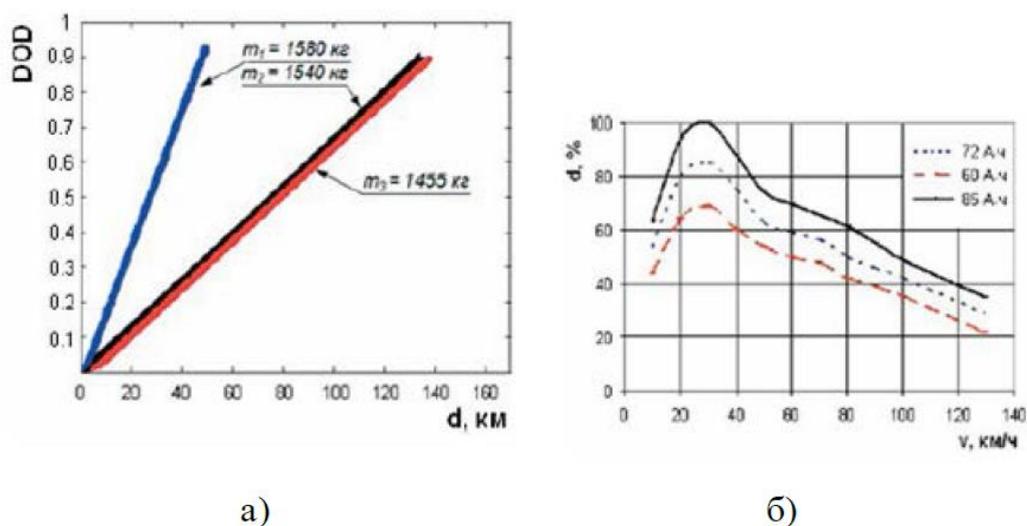


Рис. 1. Дальность пробега: а) – зависимость глубины разряда батареи DOD от дальности пробега d в стандартном цикле; б) – зависимость дальности пробега d от скорости v .

Автомобиль является сложной системой, поэтому выбранный конструктивный параметр на основе одного показателя или нескольких показателей одной группы может привести к ухудшению других показателей. Так, например, наибольший пробег достигается при максимально возможной емкости ТАБ, увеличение которой ведет к повышению массы комплекта батарей, его стоимости, и, следовательно, к уменьшению грузоподъемности. При неизменной грузоподъемности увеличивается расход энергии, а также ухудшаются тягово-скоростные показатели. Представленные графики зависимости степени разряда батарей и дальности пробега при трех значениях грузоподъемности не дают представления в целом о зависимости данных параметров от грузоподъемности, которая является одним из основных показателей конкурентоспособности автомобиля.

При выборе «силовых» параметров используется математическая модель, позволяющая в едином координатном базисе описать взаимосвязь между условиями движения электромобиля и работой тяговой системы. На основании математической модели упорядочивается определение параметров и характеристик силовых агрегатов привода. Исходя из заданных требований к основным эксплуатационным показателям, строится характеристика тягового баланса

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

электромобиля (рис. 2.), которая в дальнейшем преобразуется в механическую и нагрузочную характеристику тягового электродвигателя (ТЭД) (рис. 3).

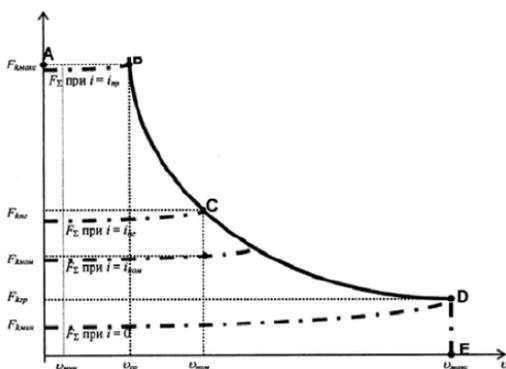


Рис. 2. Характеристики тягового баланса электромобиля

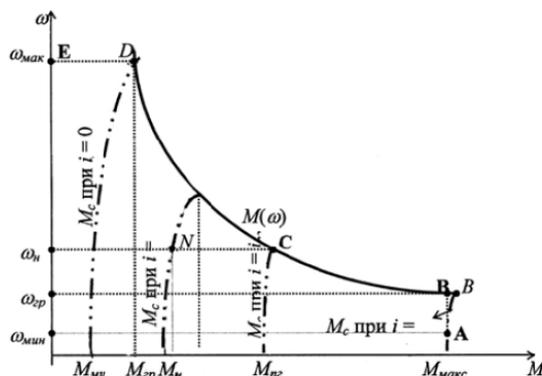


Рис. 3. Механическая и нагрузочная характеристики ТЭД

Данная методика позволяет подойти к выбору электродвигателя более детально. Первое ее отличие от методики выбора электродвигателя с помощью тягового расчета – это исследование не только механических параметров, но и электрических. Второе отличие – принципиальный подход. В тяговом расчете выбор электродвигателя осуществляется на основании анализа эксплуатационных показателей электромобиля при установке различных вариантов электродвигателя (модель: электродвигатель – колесо – дорога).

Литература:

1. Богданов К.Л. Тяговый привод электромобиля – Учебное издание М.: МАДИ 2009. – 57с.
2. Голубчик Т.В./ Выбор параметров комбинированной энергетической установки автомобиля с применением математического моделирования//.
3. Lewandowski A., Galinski M. Practical and theoretical limits for electrochemical double-layer capacitor // Journal of Power Sources.2007. 173.
4. <http://web.snauka.ru/issues/2015/06/54602>

УДК 621.311.1

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМИНИ РАҚАМЛАШТИРИШ БОРАСИДА FACTS ТЕХНОЛОГИЯСИНИНГ ЎРНИ

*Катта ўқитувчи. Нормуратов Баҳром Равианович, талаба Амриллаев
Маъруфжон Фахриддин ўғли*

Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон

Аннотация. *Электр энергетика тизимини рақамлаштириши учун техник жиҳозлаш тенденцияси мослашувчан (бошқариладиган) электр узатиш тизимларидан фойдаланишга кўра баҳоланмоқда (FACTS – Flexible Alternative Current Transmission Systems). Чунки FACTS технологияси -электр энергетика*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

тизимларининг (ЭЭТ) ишончлилиги ва самарадорлигини таъминлашининг истиқболли воситаси ҳисобланади.

Аннотация. Тенденция технического оснащения электроэнергетической системы оценивается по использованию гибких (управляемых) систем передачи электроэнергии (FACTS – Flexible Alternative Current Transmission Systems), поскольку технология FACTS является перспективным средством обеспечения надежности и эффективности. Электроэнергетических систем (ЭЭС).

Annotation. The trend in technical equipment for the digitalization of the electricity grid is assessed on the basis of the use of flexible (controlled) power transmission systems (FACTS – Flexible Alternative Current Transmission Systems). This is because FACTS technology is a promising means of ensuring the reliability and efficiency of electrical energy systems (EES).

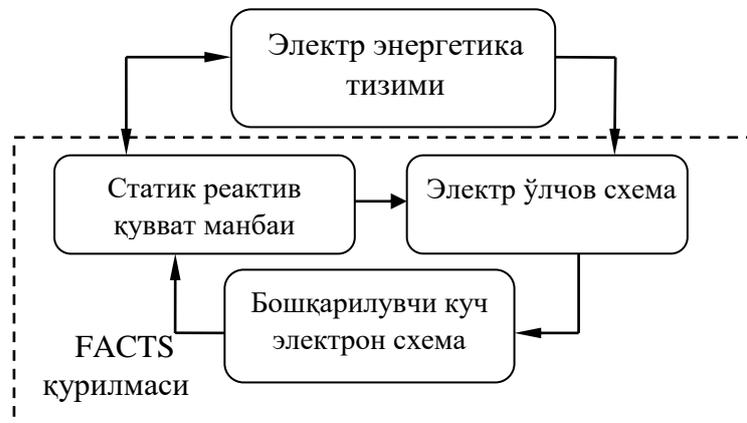
Калим сўзлар: FACTS технологияси, рақамлаштириши, энерготежамкорлик, электр энергетика тизими.

Ключевые слова: технология FACTS, цифровизация, энергосбережение, электроэнергетическая система.

Keywords: FACTS technology, digitization, energy saving, electrical power system.

Электр энергетика тизимини рақамлаштириш сифатида бошқариладиган мослашувчан(эгиловчан) ўзгарувчан токли узатиш тизими (FACTS- Flexible Alternative Current Transmission System) дан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Электр энергетика тизимининг юқори кучланишли тармоқларида қувват оқимларини бошқаришни такомиллаштириш учун FACTS технологиясининг вазифаси салмоқли ҳисобланади.

FACTS технологияси – бу қурилмалар оиласи, уларнинг ҳар бири алоҳида ёки бошқа қурилмалар билан биргаликда электр энергетика тизимининг ўзаро боғлиқ параметрларини бошқариш учун ишлатилиши мумкин. FACTS технологиясининг мақсади электр энергетика тизимларида қувват оқимларини барқарор бошқаришни такомиллаштиришдир. FACTS нинг асосий элементларидан бири бу РКМ-реактив қувват манбаи (1-расм), талаб қилинадиган режимга ва ЭЭТнинг белгиланган хусусиятларига қараб реактив қувватни ҳам ишлаб чиқаришга, ҳам истеъмол қилишга қодир.



1-расм. FACTS қурилмасининг умумий схемаси

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

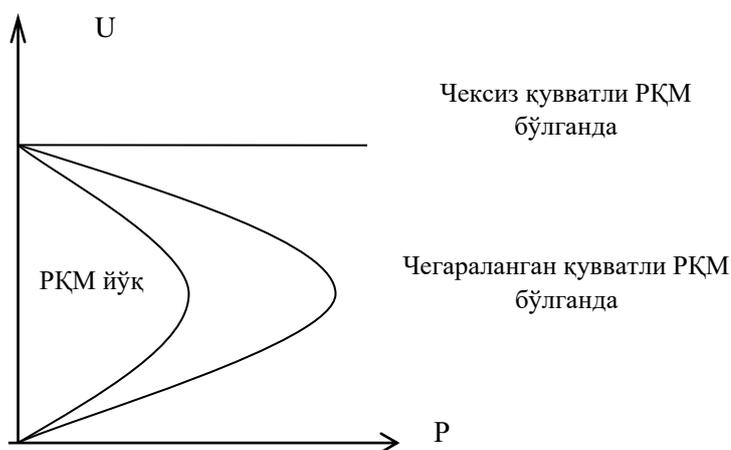
Юқоридаги имкониятларни амалга ошириш учун FACTS қурилмалари тармоққа кетма-кет, параллел ва комбинацияланган ҳолатда уланиши мумкин.

Умуман олганда, FACTS технологияси муайян назорат вазифаси шартларига қараб ҳар хил тузатувчи ҳаракатларни олишга имкон беради.

FACTS технологиясининг асосий имкониятлари қуйидагилар: кучланишни бошқариш (ростлаш), нагрукани симметриклаш, динамик турғунлик чегарасини ошириш, муддатли ўта кучланишларни чеклаш, реактив қувватни компенсациялаш, ЭУЛ нинг ўтказиш қобилитини ошириш ва бошқалар.

Қуйида FACTS технологиясининг имкониятларидан бир қанчасини кўриб ўтамиз:

Кучланишни ростлаш. 2-расмдан кўришиб турибдики, юкламанинг ортиши билан тугундаги кучланиш кўчкисигача сезиларли даражада камайиши мумкин. Бундай ҳолда юклама шиналарида FACTS технологиясини ўрнатиш, юклама шинасидаги кучланишни рухсат этилган қийматдан пасайишига йўл қўймайди.



2-расм. ЭУЛ нинг охирида кучланишнинг ростланиши (РҚМ-реактив қувват манбаи)

Динамик турғунлик чегарасини ошириш. Агар ишлаб чиқариш қуввати учун компенсатор томонидан реактив қувват чиқиши нолга тенг бўлиши шarti билан танланса, у ҳолда кучланишни ушлаб туриш ва динамик барқарорлик чегарасини ошириш учун FACTS қурилмасининг барча иш диапазонида зарур компенсация таъминланади.

ЭТдаги тебранишларни сўндириш. Электр узатиш линиясининг индуктив қаршилигининг бўйлама компенсацияси билан, кондансатор батареялари сифимининг резонансидан ва асосий частотадан паст частоталарда электр узатиш линияси ва генераторнинг эквивалент қаршилигидан келиб чиқадиган субсинхрон резонанс юзага келиши мумкин. Натижада пайдо бўлган тебранишлар амплитудаси генераторлар синхронизмдан чиқиб кетгунча ортади. FACTS қурилмалари бу пайтда субсинхрон резонансни самарали равишда сўндириш имконини беради.

Ўта кучланишларни чеклаш. Бир неча 1000 км узунликдаги узатиш линияларида узгичлар билан жиҳозланган реакторлардан фойдаланиш заряд қувватларни компенсациялашда керакли натижа бермайди. Шунтловчи реактор кўринишида тайёрланган FACTS қурилмасидан фойдаланиш электр узатиш линиясининг охирида ўта кучланишни чеклаш имконини беради.

Юкламани симметриялаш. Электр тармоқларда носимметрик юклама кучланиш мувозанатини, элементларнинг ортиқча юкланишини ва электр

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

машиналарида қўшимча исрофларни келтириб чиқаради. Кўндаланг реактив қувват компенсаторидан фойдаланиш ЭЭТдаги юкларни симметриялайди ва $\cos\phi$ ни оширади. $\cos\phi$ ёки кучланишни бошқариш билан юкларни симметриялаш фақат фазали реактив қувватни бошқариш имкониятига эга FACTS қурилмалари ёрдамида амалга оширилиши мумкин.

Реактив қувватни компенсациялаш. Подстанцияда жойлашган FACTS қурилмалари ўзгартирувчи аппаратлар томонидан истеъмол қилинадиган ёки филтрларни алмаштириш натижасида юзга келадиган реактив қувватни компенсациялаш орқали ўзгарувчан ток тармоғидаги кучланишни ростлаш имкониятига эга.

Хулоса. Электр энергетика тизимини рақамлаштириш ҳозирги кунда бир қатор энерготехнология ва интеллектуал технологиялар ва қурилмалар ёрдамида амалга ошмоқда. Бу чоралар ўз навбатида электр энергетика тизимида юқори даражадаги ишонччилик ва тежамкорлик пайдо қилади. Шу ўринда FACTS технологияси ҳам электр энергетика тизимларининг (ЭЭТ) ишончилиги ва самарадорлигини таъминлашнинг истиқболли воситаси ҳисобланади. Инсон факторининг деярли йўқлиги бу ҳам электр ускуналарнинг эксплуатация даври давомида персонал билан кузатилиши мумкин бўлган шикастланишларнинг камайишига олиб келади.

Адабиётлар рўйхати

1. М.Ш.Мисриханов, Ш.В.Хамидов. «Технологии управляемых гибких электропередач переменного тока и их применение в электроэнергетических системах»- Ташкент: «Navro'z», 2019, 217с.

2. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Перспективное развитие электроэнергетики ОЭС Центральной Азии с внедрением устройств FACTS и возобновляемых источников энергии. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 70. Методические и практические проблемы надежности систем энергетики. В 2-х книгах. / Книга 1 / отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2019. -С.37-45.

3. Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н., Хамидов Ш.В. Расчет потоков мощности в электрических сетях с устройствами FACTS/ ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2018. -208 с.

4. Shukhrat Khamidov, Sunnatilla Tillaev, Bahrom Normuratov. “Improving the reliability of UPS Central Asia implementation of FACTS devices”- Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020).

УДК 621.311.1

**FACTS ҚУРИЛМАЛАРИ ОИЛАСИ РАҚАМЛАШГАН ТЕХНОЛОГИЯ
СИФАТИДА**

**Катта ўқитувчи Нормуратов Баҳром Рашианович, талаба
Турсунбекова Махбубахон Рашиан қизи**

Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон

Аннотация. Электр энергетика тизимини рақамлаштириш кўп жиҳатдан замонавий бошқарилувчи технология ва қурилмаларга боғлиқ. Шу каби замонавий технологиялар қаторига тўла автоматлаштирилган FACTS қурилмаларини киритиш мумкин.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. *Цифровизация электроэнергетической системы во многом зависит от современных управляемых технологий и устройств. К числу таких современных технологий можно отнести полностью автоматизированные устройства FACTS.*

Abstract. *Digitization of the electric power system depends to a large extent on modern controlled technology and devices. Fully automated FACTS devices can be included among such modern technologies.*

Калит сўзлар: *FACTS, электр энергетика тизими, рақамлаштириш, қувват оқими, ишончлилик.*

Ключевые слова: *FACTS, электроэнергетическая система, цифровизация, потоки электроэнергии, надежность.*

Key words: *FACTS, electric power system, digitization, power flow, reliability.*

Электр энергетика тизимини рақамлаштириш тўла автоматлашган ҳолда ишловчи бошқариладиган мослашувчан (эгиловчан) ўзгарувчан токли узатиш тизими (FACTS- Flexible Alternative Current Transmission System) дан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Электр энергетика тизимининг юқори кучланишли тармоқларида қувват оқимларини бошқаришни такомиллаштириш учун FACTS қурилмалар оиласининг вазифаси салмоқли ҳисобланади.

FACTS технологияси - бу қурилмалар оиласи, уларнинг ҳар бири алоҳида ёки бошқа қурилмалар билан биргаликда электр энергетика тизимининг ўзаро боғлиқ параметрларини бошқариш учун ишлатилиши мумкин. FACTS технологиясининг мақсади электр энергетика тизимларида қувват оқимларини барқарор бошқаришни такомиллаштиришдир.

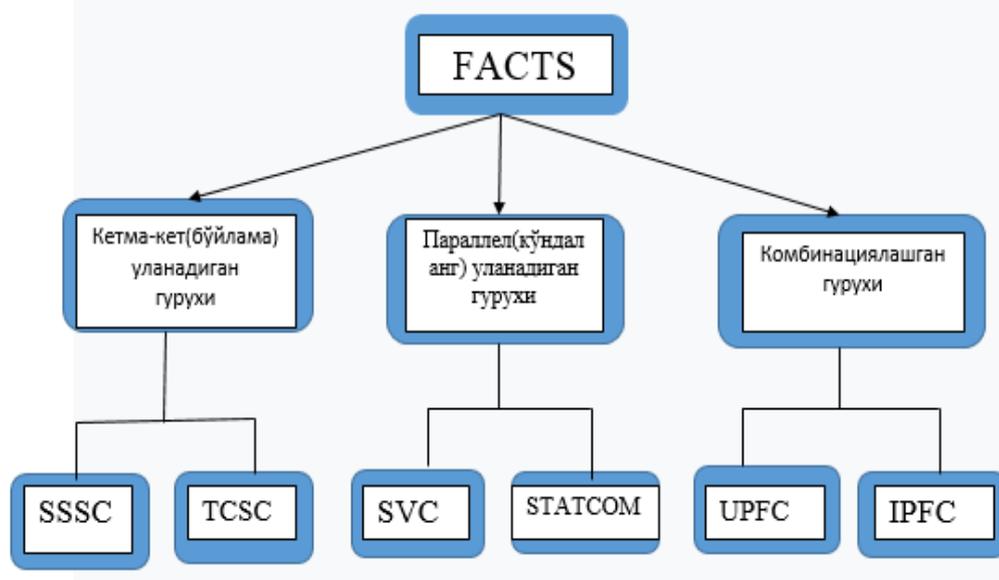
FACTS технологиясининг асосий имкониятлари қуйидагилар:

- Кучланишни бошқариш (ростлаш);
- Нагрузкани симметриклаш;
- Динамик турғунлик чегарасини ошириш;
- Муддатли ўта кучланишларни чеклаш;
- Реактив қувватни компенсациялаш;
- ЭУЛ нинг ўтказиш қобилиятини ошириш ва бошқалар.

Юқоридаги имкониятларни амалга ошириш учун FACTS қурилмалари тармоққа кетма-кет, параллел ва комбинацияланган ҳолатда уланиши мумкин.

Умуман олганда, FACTS технологияси муайян назорат вазифаси шартларига қараб ҳар хил тузатувчи ҳаракатларни олишга имкон беради ва турларга бўлинади.

FACTS қурилмалар оиласи шартли равишда 3 гуруҳга бўлинади:



1-расм. FACTS тузилмаси

SSSC (Static Synchronous Series Compensator)- Бўйлама статик синхрон компенсатор;

TCSC(Thyristor Controlled Series Capacitor)- Тиристорли бошқариладиган бўйлама конденсатор; **SVC(Static Var Compensator)**- Статик реактив қувват компенсатори;

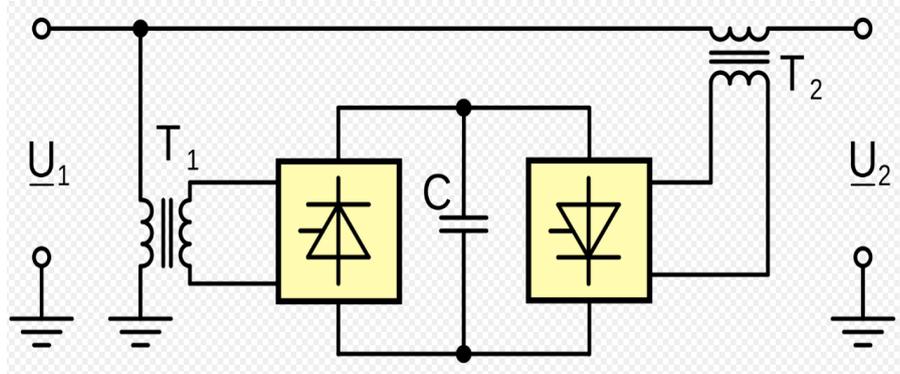
STATCOM(Static Synchronous Compensator)- Статик синхрон компенсатор;

UPFC(Unified Power Flow Controller)- Бирлаштирилган қувват оқимли регулятор;

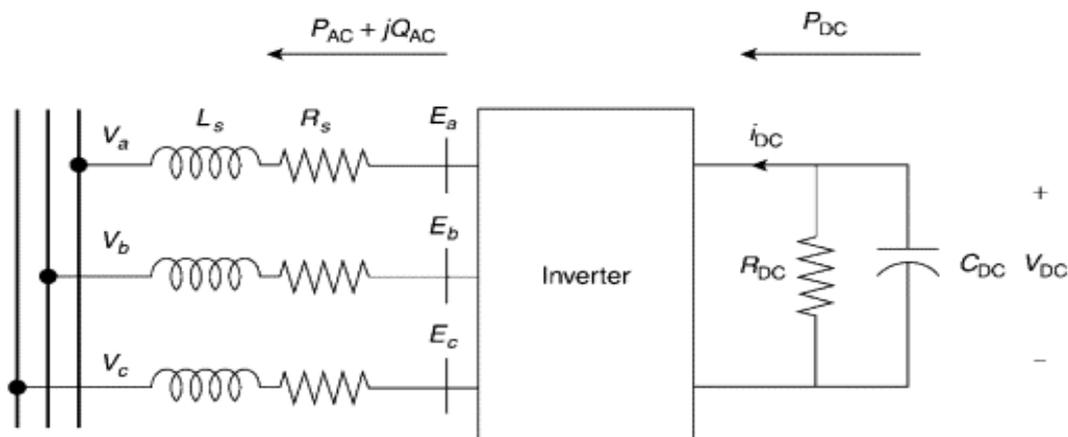
IPFC (Interline Power Flow Controller)- Линиялараро қувват оқимли регулятор.

Шундай қилиб, кучланиш чегараларига риоя қилиш учун **SVC**, **STATCOM** ва **TCSC**, иссиқлик чегаралари учун **TCSC**, **SSSC** ва **UPFC**, барқарорликни ошириш учун **TCSC**, **SSSC** ишлатилади. **UPFC** тури - бу электр узатиш линияларидаги актив ва реактив қувватни бошқариш, линия қувватини ўзгартириш, линия кучланишини бошқариш учун юқори самарали FACTS қурилмаси ҳисобланади.

Бир нечта FACTS қурилмаларининг уланиш схемаларини қараб чиқамиз:



2-расм. Бирлаштирилган қувват оқимли регулятор (UPFC-*Unified Power Flow Controller*)



3-расм. STATCOM(Static Synchronous Compensator)- Статик синхрон компенсатор

Хулоса. Ривожланган давлатларда электр энергетика тизимини рақамлаштириш бир қатор афзалликларга сабаб бўлмоқда. Буни энерготехнология ва интеллектуал технологиялар ва қурилмалар ёрдамида амалга ошириш кўзда тутилган. FACTS технологияси ҳам электр энергетика тизимларининг (ЭЭТ) ишончилиги ва самарадорлигини таъминлашнинг истиқболли воситаси ҳисобланадиган рақамлашган интеллектуал технологиядир.

Фойдаланилган адабиётлар.

1. Мисриханов М.Ш, Хамидов Ш.В. «Перспективное развитие электроэнергетики ОЭС Центральной Азии с внедрением устройств FACTS возобновляемых источников энергии»-Международный научный семинар им.Ю.Н.Руденко, Книга 1, Иркутск-2019г.

2. М.Ш.Мисриханов, Ш.В.Хамидов. «Технологии управляемых гибких электропередач переменного тока и их применение в электроэнергетических системах»- Ташкент: «Navro'z», 2019, 217с.

3. Shukhrat Khamidov, Sunnatilla Tillaev, Bahrom Normuratov. “Improving the reliability of UPS Central Asia implementation of FACTS devices”- Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020).

4. Ш.В.Хамидов, Б.Р.Нормуратов, С.М.Тиллаев. «Внедрение устройств FACTS как фактор повышения надежности объединенной энергосистемы Центральной Азии»- “Энергия ва ресурс тежаш муаммолари” журнали ТДТУ 2020 йил №3-4 ISSN 2091-5985.

УДК 681.518

ПРИМЕНЕНИЕ IOT ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСВЕЩЕНИЯ

Иванова Вилия Равильевна, канд. техн. наук, доцент

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
РФ*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. В работе предлагается анализ уровня применения инновационной технологии – Интернет вещей; представлены основные «трудности» внедрения данной технологии; указаны основные тенденции развития открытых коммуникационных систем; приведен пример клиентоориентированного варианта применения *IoT* технологии на практике (на примере автоматизированной системы освещения); представлено краткое описание функционирования предлагаемой системы с указанием возможных вариантов масштабирования; приведены приоритетные варианты исполнения коммуникационных связей.

Ключевые слова. Интернет вещей, идентификаторы, алгоритмы, внедрение, беспроводные технологии, цифровизация, протокол связи, коммуникации, открытость систем, автоматизация.

Спрос на решения в области Интернета вещей (*IoT*) стремительно растет. Перспективным становится использование рассматриваемой технологии для реализации систем «Умный дом»; различных инструментов в сельском хозяйстве для прогноза климатических изменений и контроля качества продукции; всевозможных сенсоров, программных систем, анализа больших данных, реализации различных приложений для покупок, персонализированных приложений для ведения пациентов и оценки методов лечения в области здравоохранения; реализации «умных» парковок; построения адаптивных сетей для потребителей электроэнергии и др.

Рост технологической зрелости позволяет расширять возможности сервисов на основе *IoT*. Последнее связано с использованием различных стандартов беспроводной связи и широкому применению цифровых технологий. Благодаря этому становится возможным увеличение в разы количества подключаемых к интернету повседневных объектов. Развитие программных решений *IoT* позволяет выстраивать сложные алгоритмы для машинного обучения, которые являются основой для развития и становления систем искусственного интеллекта [1,2]. Таким образом, основным вектором развития становится повсеместное использование алгоритмов машинного обучения и аналитики в режиме реального времени для обеспечения огромных возможностей для коммуникации и максимального комфорта людей.

Безусловно внедрение *IoT* «наталкивается на трудности», которые сдерживают повсеместное внедрение инновационной технологии. Первой проблемой становится обеспечение безопасности передачи и конфиденциальности данных, что связано с интеграцией огромного количества различных устройств в одну сеть и передачи данных между ними в режиме реального времени. Еще одним существенным недостатком становится разрозненность нормативной базы, основы которой могут быть применены для создания сети *IoT*. Так производители могут использовать различные решения для взаимодействия и коммуникаций всех объектов сети, что становится проблемой при попытке объединения и согласованной работы с другими системами автоматизации и требуется использование дополнительного оборудования (шлюзы, маршрутизаторы, коммутаторы). Также сложность интеграции приводит к необходимости добавления новых функций и как следствие приводит к непредвиденным затратам для производителей.

Несмотря на ряд проблем, связанных с распространением технологии *IoT* наблюдается тенденция развития открытых систем, которые требуют эволюционного прогресса нормативной базы. Также имеется необходимость наличия и проработанности различных клиенто-ориентированных вариантов

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

применения *IoT* технологии на практике, которые должны демонстрировать преимущества ее использования в разных сферах человеческой деятельности.

В работе предлагается анализ возможности применения технологии Интернета вещей для оценки уровня качественных показателей освещения (фон, контраст объекта различения с фоном, показатель ослепленности, коэффициент пульсации освещенности, показатель дискомфорта) в помещении.

Для этого в работе предлагается реализация эффективной системы управления освещением, которая будет функционировать согласно определенному алгоритму. Аппаратная часть системы управления освещением на основе алгоритма будет включать в себя следующие функциональные элементы: светильники (с полупроводниковыми источниками света) с интеллектуальными блоками питания и беспроводными коммуникационными модулями [3,4,5]. Целевым рынком распространения конечного продукта являются образовательные учреждения, жилищные помещения, производственные площадки, административные здания и др. С помощью такой системы можно будет осуществлять постоянный контроль световой среды в помещении и за счет наличия микропроцессорных модулей производить туманные вычисления для генерирования «самостоятельных» сценариев работы светильников. А именно, интеллектуальный блок питания светильника будет оценивать поступающие команды и выбирать подходящий алгоритм для совершения действий осветительному устройству.

Для реализации интеллектуального блока будут задействованы мультидатчик и модуль беспроводного соединения. Передача данных будет реализована на базе систем ближнего действия (сети *PAN*). Примерами для такого соединения могут быть протоколы *Zigbee*, *Z-Wave*, *Bluetooth*. Здесь также будет учитываться эффективность используемых протоколов, которые должны обеспечивать энергосбережение и малую задержку по времени. В настоящее время существует несколько десятков стандартов Интернет вещей, одним из приоритетных становится *Lora* и *LoraWan*. Его основными преимуществами являются частотный разрешенный диапазон, открытость стандарта, хороший радиус действия (до 1 км), малое энергопотребление. Перечисленные преимущества позволяют «обратить внимание» на вариант исполнения протокола связи с привлечением *Lora*.

Мультидатчик представляет собой интегрированное устройство для регистрации различных сигналов (уровень светового потока, коэффициент пульсации, яркость, цветовую температуру) и передачи их в блок управления интеллектуального устройства, выполненного с использованием контроллера. Обработка полученных данных регистрации позволит путем вычислений определить уровень светового комфорта в помещении. Таким образом, индивидуальное управление каждым светильником позволит регулировать без участия человека уровень яркости, цветовую температуру осветительных устройств, режим энергосбережения тем самым создавая экосистему освещения.

Наличие интеллектуального блока в каждом светильнике делает такую систему распределенной, что требует также учитывать это в алгоритме работы связи с остальными осветительными устройствами, задействованными в данной схеме. Концепция построения такой сети будет немного отличаться от технологии межмашинного взаимодействия. Так обмен данными между осветительными устройствами будет осуществлен без участия протокола *IP*, при этом данные будут агрегироваться на граничном шлюзе, который послужит точкой входа в интернет. Для дальнейшего развития предлагаемой системы планируется расширение возможностей и уход от централизованного выхода в глобальную сеть путем

интеллектуализации отдельного блока осветительного устройства и придания ему «самостоятельности».

Постоянство подключения к сети Интернет позволит присоединить систему к облачным сервисам [2]. Преимуществом такого подключения станет снижение общей стоимости владения предлагаемой инновационной системы. Последнее произойдет благодаря возможностям облачных сервисов таких как вычислительная мощность; виртуализация процесса для построения эффективной работы исследуемой системы; резервное копирование и высокий уровень безопасности данных.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 29161-2019. Информационные технологии. Структура данных. Уникальная идентификация для интернета вещей.
2. Ли П. Л55 Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М.А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.: ил.
3. Иванова В.Р. Интернет вещей – цифровая технология для обеспечения полного спектра цифровых услуг. Материалы V Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности», 2021. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», С. 21-25.
4. Иванова В.Р., Иванов И.Ю. Контроль уровня освещенности рабочей поверхности с помощью интеллектуального блока управления светильника. Сборник докладов V Международной молодежной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи ». Т. 2, с. 11-14.
5. Иванова В.Р., Садыков М.Ф. Интеллектуальная система управления искусственным освещением. Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции «Системы связи и радионавигации». Красноярск 2014. С.136-139.

BASIC WAYS TO IMPROVE EFFICIENCY OPERATIONS OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

*Senior Lecturer Mirzayev Uchqun Nazarqosimovich , Assistant
teacher Majidov Xomidxon Orifxon o'g'li , student Istamov Og'abek Keldiyor o'g'li
Jizzakh polytechnic institute Jizzakh city, Uzbekistan*

Abstract — Ways to save energy in asynchronous electric drives and improve the efficiency of working modes of electric drives are analyzed in this paper

Keywords — electric drive; thyristor voltage Converter – asynchronous motor; phase rotor; technological process; DC and AC.

Currently, the main type of regulated electric drive is a frequency-controlled asynchronous electric drive - the system "semiconductor frequency Converter-

asynchronous motor". However, along with this electric drive, in some cases for solving individual production tasks and energy saving, the system "thyristor voltage Converter – asynchronous motor" is used, which provides voltage regulation of the first harmonic of the voltage supplied to the stator.

In operation are also electric drives based on asynchronous motors with a phase rotor, regulated by changing the additional resistances in the rotor circuits, the so – called rheostat control systems – "rheostat control device – asynchronous motor with a phase rotor". Especially many of these electric drives are part of lifting and transport mechanisms.

Taking into account the above methods and control systems for asynchronous electric drives, it is possible to outline the following directions for reducing AD energy consumption.

The first direction is associated with the reduction of losses in the electric drive when it performs specified technological operations according to specified tachograms and with a certain loading mode. These are electric drives that operate in start-and-stop modes (cranes, elevators, main drives of slabs and blanks, auxiliary positional mechanisms of rolling mills, etc.) or long-term modes with a slowly changing load (pumps, fans, compressors, conveyors, etc.). In such electric drives, due to the reduction of electric drive losses in steady-state and transient modes, significant energy savings can be achieved. In cinematically connected electric drives (roller rails, multi-motor bogie drives, etc.), a uniform division of loads between the motors also minimizes losses in them.

The second direction is related to changing the technological process based on the transition to more advanced methods of regulating the electric drive and the parameters of this technological process. This reduces the energy consumption of the electric drive. As an example, electric drives of turbo mechanisms (pumps, fans, turbochargers), reciprocating pumps and compressors, conveyors, fuel — air ratio control systems, etc. can be used. In this case, as a rule, the effect is not limited to saving electricity in the electric drive, in many cases it is possible to save resources (water, solid and liquid fuels, etc.).

Both of these directions are characterized by the fact that they reduce energy consumption in the electric drive: in the first case, due to reducing energy losses, in the second, due to the use of less energy-consuming process control on the part of the electric drive.

We can also mention the third direction, which ensures the implementation of energy-saving technologies. It is known that there are a number of technological processes where an electric drive of relatively small power controls the flow of energy, the power of which is tens or hundreds of times greater than the power of the electric drive. Such objects include DC and AC arc steelmaking furnaces, vacuum arc furnaces, ore recovery furnaces, induction heating plants, etc. On them, electric drives with a capacity of several kilowatts can control a process that consumes tens or even hundreds of megawatts. It is obvious that the efficient use of such significant amounts of energy largely depends on the perfection of the electric drive, its speed and accuracy, the degree of automation of the process. This direction is not associated with a decrease in the energy flow through the electric drive, more often than not, the energy consumption of the electric drive even increases. Nevertheless, since this direction is associated with significant energy savings, let's consider it on the example of an arc steelmaking furnace.

Let's formulate the ways of energy saving in an asynchronous electric drive.

In the first direction, the following ways can be used to reduce energy losses in an asynchronous electric drive.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Reasonable choice of the installed motor power corresponding to the real needs of the controlled mechanism. This task is related to the fact that the load factor of many engines is 50% or less, which indicates either a low qualification of developers, or the imperfection of the used method for calculating the power of the electric drive. It is obvious that an engine of low power quickly fails due to overheating, and an engine with a large power reserve converts energy inefficiently, i.e. with high specific losses in the engine itself due to low efficiency and in the supply network due to a low power factor. Therefore, the first way is to improve the methods of selecting engine power and checking it for heating, as well as to improve the skills of developers, designers and maintenance personnel. In practice, there are cases when a failed motor is replaced by a suitable shaft height or diameter, and not by power. The existing methods of selecting engine power and testing it by heating can only be considered as a first approximation. It is necessary to develop more advanced methods based on accurate accounting of the operating modes of the electric drive, changes in its energy indicators, thermal processes in the engine, insulation conditions, etc. Of course, this implies extensive use of computer technology and special software.

2. Transition to more economical engines, in which the rated values of efficiency and power factor are increased due to the increase in the mass of active materials (iron and copper), the use of more advanced materials and technologies. This path, despite the high cost of such engines, becomes obvious when we consider that according to Western European experts, the cost of electricity consumed annually by an average engine is 5 times higher than its cost. During the service life of the engine, which is tens of years, energy savings will significantly exceed the capital costs of such an upgrade. As noted earlier, this path has not yet been properly recognized in domestic practice.

3. Transition to a more energy-efficient electric drive system. Energy losses in transient modes change markedly when using rheostat control, TPN – AD and PPC – AD systems with minimal losses when using frequency-controlled electric drives. Therefore, within each of these systems, there are more or less successful options in terms of energy and technology. The task of the designer is a competent and fully justified choice of a specific technical solution.

4. Use of special technical means that ensure the minimization of energy losses in the electric drive. Since a significant part of asynchronous electric drives operate under conditions of slowly changing loads (electric drives of turbo-mechanisms, conveyors, etc.), the deviation of the load of the electric drive from the nominal one worsens the energy performance of the electric drive. Currently, such means can include devices for regulating the voltage on the engine in accordance with the level of its load. As a rule, these are either special voltage regulators based on TPN that are switched on between the mains and the motor stator, or frequency converters that provide a so-called power-saving mode. In the first case, the TPN performs, in addition to the function of energy saving, no less important functions of controlling the start and brake modes, sometimes regulates the speed or torque, provides protection, diagnostics, i.e. increases the technical level of the drive as a whole. In the second case, the power saving mode is considered as an additional option of the frequency Converter and is available only in some manufactured types of converters. Given the versatility of their application, such devices are economically feasible for variable-load drives, even at a relatively high cost.

5. Improvement of electric drive control algorithms in the TPN – AD and PPC – AD systems based on energy criteria for evaluating its quality, i.e. improvement of known solutions, development of effective technical solutions for their implementation and search for new solutions that are optimal in the energy sense.

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

In the second direction of reducing energy consumption, it is crucial to switch from an unregulated electric drive to an regulated one and increase the level of automation by including a number of technological parameters (pressure, flow, temperature, etc.) in the control loop.

The third direction of reducing energy consumption is characterized by the improvement of the electric drive system in combination with automation of the technological process and the correct choice of the appropriate quality control of the electric drive from the existing ones or the development of new, better systems.

References

- [1] Mirzaev ICHKUN and Abdullaev Elnur Mathematical Description of Asynchronous Motors (April 15 2020) International Journal of Academic and Applied Research (IJAAAR) 2020 Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3593185> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3593185>
- [2] Mirzaev ICHKUN and Abdullaev Elnur Experiment of Open-circuit Voltage in 'EPH 2 Advanced Photovoltaic Trainer' Laboratory and Types of PV Cell (April 30 2020) International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) Vol 4 Issue 4 April – 2020 Pages: 41-46; ISSN: 2643-640X, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3623014>
- [3] Mirzaev ICHKUN and Abdullaev Elnur Study of the Electrical Characteristics of a Solar Panel for Multi-Residential Apartments Using a Computerized Measuring Stand (Eh 2 Advanced Photovoltaic Trainer) (2020) International Journal of Academic Engineering Research (IJAEER) ISSN: 2643-9085 Vol 4 Issue 4, April – 2020, Pages: 59-61 . Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3622045>
- [4] Mirzaev ICHKUN Experiment of Open-circuit Voltage in 'EPH 2 Advanced Photovoltaic Trainer' Laboratory and Types of PV Cell (April 30 2020) International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) Vol 4 Issue 4 April – 2020 Pages: 41-46; ISSN: 2643-640X, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3623014>
- [5] Mirzayev, U. and Tulakov Jakhongir Turakul ugl, J. T. "THE MODERN METHODS OF USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES" // Central Asian Problems of Modern Science and Education: Vol. 4 : Iss. 2 , Article 165. 19-29 Pages
- [6] Acarnley PP. Stepping Motors: A Guide to Modern Theory and Practice. 4th ed. London, IET; 2002. Pages: 85-86
- [7] Hendershot JR, Miller TJE. Design of Brushless Permanent-Magnet Motors. LLC. Motor Design Books;

KABEL ISHLAB CHIQRARISH QURILMASINING ELEKTR YURITMASINI SAMARADORLIGINI OSHIRISH

*DSc., prof. X.B. Sapayev, DSc., prof. Sh.B.Umarov, ass. U.A. Boqijonov
ToshDTU, O'zbekiston*

Annotation. The article presents the results on the development and creation of energy-saving technology that ensures the efficient operation of asynchronous electric drives with high energy performance on the basis of modern semiconductor technology, taking into account the production characteristics of LLC “NATIONAL HOLDINGS”.

Key words: asynchronous electric drive, frequency converter, dynamic mode, electromechanical system, electric drive control system.

Аннотация. В статье приводятся результаты по разработке и созданию энергосберегающей технологии, обеспечивающей эффективную работу асинхронного электропривода волоочильной машины с высокими энергетическими показателями на базе современной полупроводниковой техники, с учетом производственных особенностей ООО “NATIONAL HOLDINGS”.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, частотный преобразователь, динамический режим, электромеханическая система, система управления электроприводом.

Аннотация. Мақоллада “NATIONAL HOLDINGS” MCHJni ishlab chiqarish xususiyatlarini hisobga olgan holda zamonaviy yarimo‘tkazgich texnologiyasi asosida yuqori energiya ko‘rsatkichlariga ega bo‘lgan asinxron elektr yuritmalarining samarali ishlashini ta‘minlaydigan energiya tejaydigan texnologiyani ishlab chiqish va yaratish bo‘yicha natijalar keltirilgan.

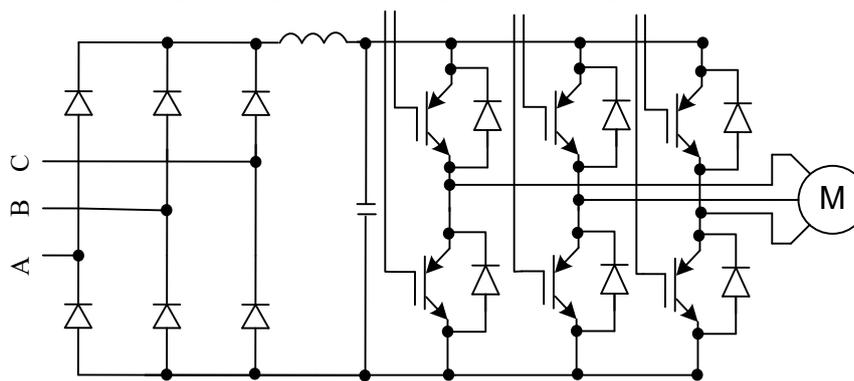
Калит so‘zlar: асинхрон электр yuritma, chastota o‘zgartkichi, dinamik rejim, elektromexanik tizim, электр yuritmani boshqarish tizimi.

Doimiy kuchayib borayotgan energetika inqirozi sharoitida energiya resurslari va elektr energiyasidan oqilona foydalanish dolzarb muamodir, shuning uchun energiya tejovchi texnologiyalar va qurilmalarni ishlab chiqish, tadqiq qilish va keng joriy etish bugungi kun va butun keyingi davr uchun dolzarb vazifadir. davr [1].

Dunyoda texnologik mashina va mexanizmlarning dinamik ish rejimlarini, elektromexanik tizim elementlarini zamonaviy boshqaruv asboblari bilan takomillashtirish, elektromexanik tizim elementlarini takomillashtirish va boshqarish usullarini qo‘llash orqali sanoatning turli tarmoqlarida energiya tejankor texnologiyalar yaratilmoqda. Shu bilan birga, sanoat inshootlarining energiya samaradorligini oshirish, elektr yuritmalarni boshqarish tizimini takomillashtirish orqali elektr energiyasi sarfini kamaytirish borasidagi ishlar amalga oshirilib, o‘z navbatida ushbu sohani rivojlantirishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Ma'lumki, sanoat, qishloq xo‘jaligi va maishiy ob'ektlarning asosiy qismi elektr qurilmalari tomonidan iste'mol qilinadigan barcha elektr energiyasining 60 dan 70% gacha iste'mol qilinadigan ommaviy foydalanishning tartibga solinmagan elektr yuritmalari tomonidan boshqariladi. Sanoat mexanizmlari uchun elektr yuritmalarning umumiy sonidan faqat kichik bir qismi murakkab va nozik boshqariladigan texnologik jarayonga ega bo‘lib, ular uchun boshqariluvchi elektr yuritma ishlatiladi. [2].

Ushbu mexanizmlarning aksariyati nazoratsiz va avtomatlashtirilmagan; ishga tushirish rejimlari ta'minlanganligi sababli yuritmalarning o'rnatilgan quvvati talab qilinadigan quvvatdan o'rtacha 1,5 - 3 baravar ko'p. Ushbu maqolada "NATIONAL HOLDINGS" MCHJda kabel ishlab chiqarishning energiya samaradorligini oshirish bo'yicha tavsiyalar berilgan. Yaxshilangan energiya samaradorligini ta'minlash uchun elektr yuritmani chastota o'zgartgich bilan jihozlash tavsiya etiladi. O'zgartgich sifatida impuls kengligi modulyatsiyasi (PWM) bilan zamonaviy chastota o'zgartgich tanlash taklif etiladi. Ushbu turdagi chastota o'zgartgichlar barqaror energiya ko'rsatkichlari va yuqori quvvat omili tufayli eng istiqbolli hisoblanadi. PWM bilan zamonaviy chastota o'zgartgich samaradorlik va kamida 0,97 quvvat koeffitsiyentiga ega. Bundan tashqari, PWM chastotali o'zgartgichlar mos keladigan transformator ham mavjud bo'lib, bu uning energiya, hizmat ko'rsatish va og'irlik xajmi xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Elektr jihozlarining elektr yuritmalari uchun, bizning nuqtai nazarimizdan, Toshiba o'zgartgichi eng mos keladi, uning sxemasi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. chastota o'zgartgich sxemasi

Elektr dvigatelini boshqarish usuliga ko'ra, chastota o'zgartgich (FC) ikki guruhga bo'lish mumkin: vektor va skaler nazorat bilan va har bir usul o'zining afzalliklari va kamchiliklariga ega. [3].

Skalyar boshqaruv turi. Skalyar (chastota) boshqaruv bilan motor fazalarining garmonik toklar hosil bo'ladi, ya'ni boshqaruv ko'pincha maksimal motor momentining validagi qarshilik momentiga doimiy nisbatida saqlanadi. Ya'ni, chastota o'zgaranda, kuchlanish amplitudasi shunday o'zgaradiki, maksimal motor momentining joriy yuk momentiga nisbati o'zgarishsiz qoladi. Bu nisbat dvigatelning ortiqcha yuk hajmi deb ataladi. Doimiy haddan tashqari yuk hajmida, aylanish tezligini boshqarishning butun diapazonida nominal quvvat koeffitsienti va dvigatelning samaradorligi deyarli o'zgarmaydi.

Skayar usulning muhim afzalligi bir vaqtning o'zida elektr motorlar guruhini boshqarish qobiliyatidir.

Skayar boshqaruv usuli ishlab chiqarilgan sozlamalaridan foydalanganda ham oson sozlash imkonini beradi.

Vektor boshqaruv turi. Vektor boshqaruvi sinxron va asinxron motorlarni boshqarish usuli bo'lib, u nafaqat fazalarning garmonik toklarini (kuchlanishlarini) hosil qiladi, balki rotorning magnit oqimini (dvigatel validagidagi moment) boshqarishni ham ta'minlaydi.

Vektor boshqaruv ish paytida yuklama bir xil chastotada o'zgarishi mumkin bo'lsa, ya'ni yuklama momenti va aylanish tezligi o'rtasida aniq bog'liqlik bo'lmasa, shuningdek, nominal momentlarda kengaytirilgan chastotani boshqarish diapazonini olish zarur bo'lgan hollarda, masalan, 100% moment uchun 0...50 Gts yoki hatto qisqa vaqt ichida M_{nom} ning 150-200%, bu sizga boshqaruv oralig'ini sezilarli darajada oshirish, boshqarish aniqligini, elektr yuritmani tezligini oshirish imkonini beradi. Ushbu usul motor momentini bevosita boshqarishni ta'minlaydi. Aylanish momenti stator toki bilan belgilanadi, bu qozg'atuvchi magnit maydon hosil qiladi.

To'g'ridan-to'g'ri momentni boshqarish bilan stator tokining amplitudasi va fazasidan tashqari, ya'ni tok vektorini o'zgartirish kerak. "Vektorli boshqaruv" atamasi shu erdan keladi. Chastotani o'zgartirgichni boshqarishning vektor usuli elektr motorini skaler usulga qaraganda ancha yaxshi boshqarish imkonini beradi. Ammo bunday o'zgartgichni o'rnatish elektr yuritmani loyihalashda va elektr mashinalari sohasida chuqur bilimlarni talab qiladi.

Tezlikni qayta ishlash bilan vektorli boshqarish usuli - ish paytida yuklama bir xil chastotada o'zgarishi mumkin bo'lgan, ya'ni yuklama momenti va aylanish tezligi o'rtasida aniq bog'liqlik bo'lmaganda, tezlikni aniq boshqarish uchun ishlatiladi (qo'shimcha

enkoderdan foydalanish kerak). shuningdek, maksimal chastotani boshqarish diapazonida aylanish momenti nominalga yaqin bo'ladi.

Vektor usuli normal ishlaydi, agar dvigatelning yorlig'i qiymatlari to'g'ri kiritilgan bo'lsa va uning avtomatik sinovi muvaffaqiyatli o'tgan bo'lsa. Vektor usuli chiqish toki, chastotasi va kuchlanishi to'g'risidagi ma'lumotlarga asoslangan o'zgartgich protsessor tomonidan amalga oshiriladigan real vaqtda murakkab hisob-kitoblar orqali amalga oshiriladi.

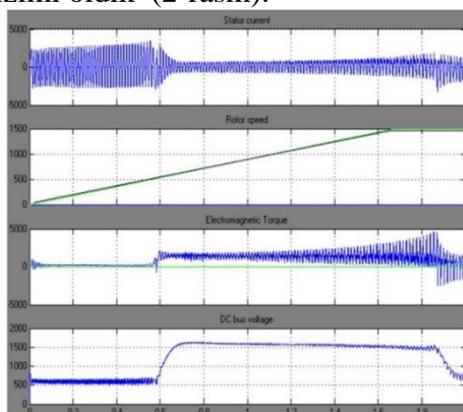
Protsessor foydalanuvchi tomonidan kiritilgan dvigatelning pasportida berilgan ma'lumotlardan ham foydalanadi. O'zgartgichning chiqish tokining o'zgarishiga javob berish vaqti (yuklama momenti) 50 ... 200 ms ni tashkil qiladi. Vektor usuli dvigateldagi kuchlanishni yetarli darajada kamaytirish orqali yukni kamaytirishda dvigatelning reaktiv tokini minimallashtirishga imkon beradi. Dvigatel validagidagi yuk o'zgarishiga, o'zgartgich dvigateldagi kuchlanishni yetarli darajada oshiradi. Bunga qo'shimcha ravishda, past, nolga yaqin aylanish tezligida to'g'ridan-to'g'ri momentni boshqarish uchun chastota bilan boshqariladigan elektr yuritmaning tezlikni aks ettirmasdan ishlashi mumkin emas. Teskari aloqa datchigi bilan vektorli boshqaruv 1:1000 va undan yuqoriroq tezlikni boshqarish diapazonini ta'minlaydi, tezlikni boshqarishning aniqligi foizning yuzdan bir qismi, momentning aniqligi bir necha foizni tashkil qiladi.

Bunday holda, yuritma uchun vektorli boshqaruvidan foydalanish tavsiya etiladi. Elektr yuritmani tarmoqqa "to'g'ridan-to'g'ri" ulanganda cho'lg'am orqali 6-10 marta boshlang'ich toklarning oqib o'tishiga olib keladi, bu esa katta elektrodinamik va mexanik kuchlarning paydo bo'lishiga olib keladi, buning natijasida dvigatel cho'lg'amlariga ta'sir qiladi. eskirishning ko'payishi, mexanik va elektr qismlarining ishlash muddati elektr yuritma va mexanizm qismlarining sezilarli darajada qisqarishiga olib keladi.

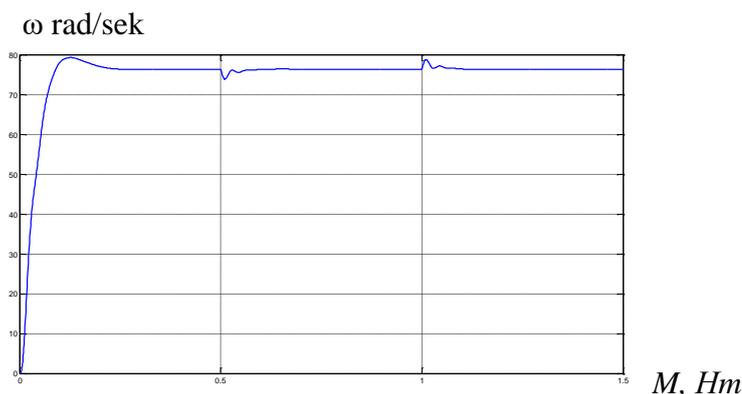
Barqaror aylanish tezligiga erishgandan so'ng, elektr yuritma kam yuklanish rejimida ishlaydi, buning natijasida iste'mol qilinadigan umumiy quvvatning asossiz ortiqcha sarflanishi yuzaga keladi, buning natijasida texnik, iqtisodiy, energiya va ekspluatatsion ko'rsatkichlari. butunlay kamayadi. Shu bilan birga, ishlab chiqarish birligiga to'g'ri keladigan energiya sarfi oshadi.

Asinxron motorlarning ishga tushirish tokini kamaytirish va mexanizmlarga nisbatan past darajadagi yuklama bilan barqaror ish rejimlarida avtomatlashtirilgan elektr yuritmaning energiya samaradorligini oshirish uchun turli xil optimallik mezonlariga muvofiq energiya parametrlarini optimallashtirish kerak (minimal stator toki, maksimal FIK va quvvat koeffitsienti).

Dvigatelning mexanik va elektromexanik xarakteristikalari Mathcad 2000 dasturi yordamida hisoblab chiqilgan va chizilgan. Simulyatsiya natijasida biz chastota o'zgartgich - asinxron motor tizimi oldik (2-rasm).



2-rasm. Chastotani o'zgartirgich - asinxron motor tizimi hisoblangan tavsiflari



3-рasm. Dvigatel tezligining momentga bog'liqligi grafigi

Asinxron elektr yuritma uchun energiya parametrlarini optimallashtirish mikroprotssorli boshqaruvga ega "Tiristor kuchlanish rostlagich - motor" tizimi yordamida amalga oshirilishi mumkin.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritmani amalga oshirishda tiristor kuchlanish rostlagichdan foydalanish tizimning statik va dinamik ish rejimlarida ham funkcionalligini oshirishga imkon beradi. Mikroprotssorli boshqaruv tizimidan foydalanish avtomatlashtirilgan elektr yuritmani strukturasing barqarorligini ta'minlagan holda, tizimning energiya parametrlarining optimalligi uchun tanlangan mezonni amalga oshirishni, muammosiz ishga tushirishni va favqulodda ish sharoitidan samarali himoya qilishni ta'minlaydi.

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda shuni aytish mumkinki, NATIONAL HOLDINGS MChJ ishlab chiqarish xususiyatlarini inobatga olgan holda, zamonaviy yarimo'tkazgich texnologiyasi asosida yuqori energiya ko'rsatkichlariga ega asinxron elektr yuritmalarning ishlashini ta'minlovchi energiya tejoychi texnologiyani ishlab chiqish va yaratish eng muhim vazifalardan biridir. dolzarb muammolardan, shuningdek, energiya nuqtai nazaridan texnologik chizma mashinalari uchun zamonaviy talablarga eng yaxshi javob beradigan yangi avlod energiya tejoychi texnologiyalarni ishlab chiqish, tadqiq qilish va yaratish dolzarb tadqiqot ob'ektidir.

Adabiyotlar ro'yxati

1. Hoshimov O.O., Imomnazarov A.T. Elektrmexanik tizimlarda energiya tejamkorlik. Darslik. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2015.- 167 b.
2. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана.-Ташкент: Moliya, 2007.- 388 с.
3. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов.- М.: Издательский дом МЭИ, 2015.-373с.

UDC 517.946

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ**

MODELING OF NONLINEAR ELECTROMECHANICAL OBJECTS

НОЧИЗИҚЛИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ОБЪЕКТЛАРНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ

*DSc., prof. Sagatov M.V.,
senior lecturer Khamdamova S.M., student Shukurillayev U.R.
Tashkent state technical university named after Islam Karimov*

Аннотация. Статья посвящена анализу электромеханических объектов с учетом нелинейных зависимостей и распределенности параметров компонентов системы. Определено влияние нелинейностей для составления модели системы и эффективного применения моделирующих программных средств.

Ключевые слова: электромеханические системы, нелинейности, моделирующие программные средства, математическое описание.

Аннотация. Мақола чизикли бўлмаган боғлиқликлар ва тизим компонентларининг параметрларини тақсимлашни ҳисобга олган ҳолда электромеханик объектларни таҳлил қилишга бағишланган. Тизим моделини компиляция қилиш ва моделлаштириш дастуридан самарали фойдаланиш учун ночизиклиликларнинг таъсири аниқланган.

Калим сўзлар: электромеханик тизимлар, ночизиклиликлар, моделлаштириш дастурлари, математик тавсиф.

Abstract. The article is devoted to the analysis of electromechanical objects, taking into account nonlinear dependencies and the distribution of parameters of system components. The influence of nonlinearities is determined for the compilation of a system model and the effective use of modeling software.

Keywords: electromechanical systems, nonlinearities, modeling software, mathematical description.

The widespread use of electromechanical systems requires solving the problems of developing high-speed and, at the same time, high-precision systems that must reproduce complex operating laws, taking into account nonlinear dependencies in control objects and the influence of external factors, adapt to operating conditions changing over time, and allow operation at significant levels interference, operate using remote monitoring and control, have diagnostic subsystems, etc. [1, 2, 3]

The tasks of calculation and analysis of modern controlled electromechanical systems are characterized primarily by high requirements for their quality indicators. This leads to the fact that linear models do not always satisfy these requirements. Effects associated with such nonlinearities as “backlash”, “friction”, “saturation”, “dead zone”, etc. begin to affect the system.

For the class of electromechanical objects under consideration, the following most common types of nonlinearities can be formulated:

– nonlinearities caused by the properties and design of connections. This includes connections with piecewise linear elastic characteristics and connections with clearance (for example, spline and key connections, gears, couplings), as well as connections with smooth non-linear characteristics (for example, rubber couplings, ball bearings);

– nonlinearities caused by dissipative elements, for example, forces of inelastic internal resistance during oscillatory processes, forming hysteresis loops, viscous friction (for example, plain bearings). In a relatively low speed range, the drag forces can be proportional to the speed of the concentrated mass. When studying over a wide speed range, the power-law dependence of the torque on the rotation speed is more reliable;

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

– Coulomb friction is characterized by a nonlinear dependence of the resistance force on speed. Dry friction is characterized by a dependence that is very complex. The curvilinear part of the characteristic is sometimes replaced by a straight line with a negative slope;

– nonlinearity of the characteristics of electric motors, which significantly manifest themselves in the modes of start, reverse, braking, and transition from one state to another;

– nonlinearities due to the nature of the load, for example, the dependence of the moment of static resistance on the rotation speed (propeller) or on the path (shears for cutting metal);

– functional nonlinearities (for example, nonlinearities such as the product of two functions);

– nonlinearities associated with quantization of signals by level in discrete control systems, for example, quantization of a signal by time in a pulse-width control system;

– nonlinearities caused by the properties of the thyristor converter, for example, the characteristic of a thyristor DC converter.

The nonlinear characteristics discussed above do not exhaust the possible types of nonlinearities. They are the most typical and often found. When studying specific dynamic nonlinear EMS, it is advisable to first determine the influence of certain nonlinearities in order to compile an acceptable model of the system.

Let us consider in more detail the mathematical description of some of the most typical analytical nonlinearities. On the basis of this description, analytical nonlinearities of other types can be described similarly.

Nonlinearity of the type of coordinate restrictions caused by elements of the control system is analytically described in the following way:

$$\begin{cases} y = ax, & \text{if } |x| < |x_0|; \\ y = \text{sign } x |y_0|, & \text{if } |x| > |x_0|. \end{cases}$$

Nonlinearity of the type of relay characteristic with a dead zone can be analytically described by the dependencies

$$\begin{cases} y = 0, & \text{if } |x| < |x_0|; \\ y = \text{sign } x |y_0|, & \text{if } |x| > |x_0|. \end{cases}$$

An analytical description of a nonlinear characteristic such as a rectangular hysteresis loop will have the form:

$$\begin{cases} y = -y_0, & \text{if } x < x_0 \text{ и } y < 0; \\ y = y_0, & \text{if } x > -x_0 \text{ и } y > 0; \\ y = 0, & \text{if } |x| < |x_0| \text{ и } y = 0. \end{cases}$$

Backlash in electromechanical systems is one of the most common nonlinearities that have a negative impact on the stability and quality of transient processes. There are different mathematical models of backlash, the most common of which is geometric:

$$\begin{cases} y = x - c, & \text{at } y > 0; \\ y = x + c, & \text{at } y < 0; \\ y = y_0 = \text{const}, & \text{at } |y - x| < c, \end{cases} \quad (1)$$

where c – constant, y_0 – the value of the output signal at the time when $|y - x|$ became less than c . A feature of the backlash characteristic is a hysteresis type loop, which has a constant width $2c$ and length, which varies depending on the amplitude of the input value. It must be taken into account that during the “selection” of the backlash ($y=y_0$), the driven element of the mechanical transmission is disconnected from the driving element and, therefore, the static and dynamic loads on the driving element are reduced. While selecting the backlash, the hard feedback signal remains constant, and during this time the system seems to open.

A simple geometric model of backlash (1) corresponds to a mechanical transmission in which the load has low inertia and an insignificant moment of dry Coulomb friction. In many cases, such idealization is impossible, and in calculations it is necessary to use a more complex model taking into account dry friction forces.

In the theory of automatic control, it is customary to distinguish the following components of the friction moment.

Linear friction, where the friction torque depends linearly on the speed $V=px$. In this case, linear friction is taken into account as a damping moment and does not violate the linearity of the transfer function

$$M_{fr} = k px, \quad (2)$$

where k – constant coefficient.

Dry or Coulomb friction is a nonlinear component of the friction torque

$$M_{fr} = C \text{sign } px. \quad (3)$$

At high speeds of mutual movement of parts between which friction occurs, sometimes the quadratic dependence of the friction moment on the relative speed of movement of these parts is taken into account

$$M_{fr} = C(px)\text{sign } px. \quad (4)$$

Thus, the typical dependence of the friction torque on px can be described by the following equation

$$M_{fr}(px) = k px + C \text{sign } px + C(px)\text{sign } px. \quad (5)$$

In some cases, for example, when the friction torque is determined by the friction of parts made of plastic materials and metal parts,

$$M_{fr} = M_0, \quad (6)$$

where M_0 – moment of static friction.

In contrast to the relay characteristic, it should be borne in mind that $M(px)$ can take not only the values $+C$ and $-C$, but also the value $-C < M < +C$, when the speed $px=0$ for some time. When the speed value instantaneously passes through zero, the moment of dry friction abruptly changes sign.

Due to the fact that in most real electromechanical drives there is always both backlash and dry friction and inertia of the driven shaft, it seems interesting to study a more general mathematical model of an electromechanical drive. [4]

The kinematic diagram of the considered device is shown in Figure 1.

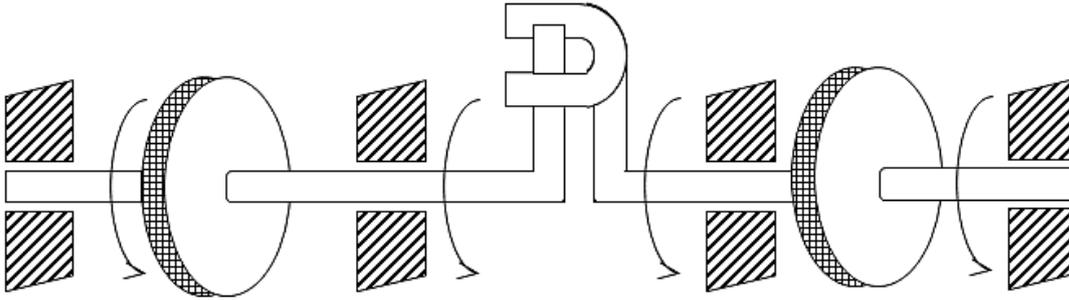


Figure 1. Kinematic diagram of an electromechanical drive

where the introduced notations: x and y – rotation angles of the input and output shafts; j_1 and j_2 – moments of inertia of the driven and drive shafts; M_y – electromechanical control torque on the drive shaft; M_1 , M_2 and M_3 – moments of resistance due to dry (Coulomb) friction. The motion of the input and output shafts with a harmonic control signal is described by the following differential equations. At the time when the backlash is selected and contact is made between the drive and driven shafts, i.e. $\dot{x} = \dot{y}$, we have

$$\begin{cases} j \dot{x} + \mu \dot{x} + (M_1 + M_2 + M_3) \text{sign}(x) = kU_m \sin \omega t; \\ M_y = M_1 + M_2 + M_3, \end{cases} \quad (7)$$

where $j = j_2 + j_3$ – total moment of inertia of driven and drive shafts, μ – coefficient of linear friction, M – dry friction moment, $M_y = kU_m \sin \omega t$ – control torque, U_m , ω – amplitude and frequency of the control signal.

When selecting backlash, i.e. when $\dot{x} \neq \dot{y}$, we get

$$\begin{cases} j_1 \dot{x} + \mu_1 \dot{x} + M_1 \text{sign}(x) = kU_m \sin \omega t; \\ j_2 \dot{y} + (\mu_2 + \mu_3) \dot{y} + (M_2 + M_3) \text{sign}(y) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

At separate time intervals of one oscillation period, the movement of the driving and driven shafts of an electromechanical drive is described by linear differential equations, which can be reduced to the standard form:

$$\begin{cases} T_1 \dot{x} + \dot{x} = k_1 U_m \sin \omega t - m_1 - m_2 - m_3; \\ T_2 \dot{x} + \dot{x} = k_2 U_m \sin \omega t - m_1; \\ T_3 \dot{y} + \dot{y} = -m_2 - m_3; \end{cases} \quad (9)$$

where T_1 – time constant of the device when engaging the drive and driven shafts, T_2 – time constant of the drive shaft when there is no clutch with the driven shaft, T_3 – time constant of the driven shaft when there is no clutch with the drive shaft, k_1 – transmission ratio of the drive control voltage to the speed of rotation of the driven shaft when engaging it with the drive shaft, k_2 – transmission ratio of the drive control voltage to the rotation speed of the drive shaft in the absence of clutch with the driven shaft, m_1 , m_2 and m_3 – constant values characterizing the influence of dry friction moments, respectively M_1 , M_2 and M_3 .

The constant coefficients of equations (9) are related to the coefficients of equations (7) and (8) by the following relations:

$$T_1 = \frac{j_1 + j_2}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3}; T_2 = \frac{j_1}{\mu_1}; T_3 = \frac{j_2}{\mu_2 + \mu_3}; k_1 = \frac{k}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3}; k_2 = \frac{k}{\mu_1};$$

$$m_1 = \frac{M_1}{\mu_1}; m_2 = \frac{M_2}{\mu_2}; m_3 = \frac{M_3}{\mu_3}.$$

In the most general case, for forced oscillations of the considered drive at one oscillation period, five phase angles are characteristic, which determine the limits of validity of individual linear equations (9):

$\psi_1 = \omega t_1$ – corresponds to the moment of time t_1 of disengagement of the driven and driving shafts;

$\psi_2 = \omega t_2$ – corresponds to the time t_2 when the speed of the drive shaft becomes zero;

$\psi_3 = \omega t_3$ – corresponds to the moment in time t_3 , when the driving or driven shaft begins to move after stopping;

$\psi_4 = \omega t_4$ – corresponds to t_4 – stop of the driven shaft;

$\psi_5 = \omega t_5$ – corresponds to t_5 – backlash selection time.

To implement each of the above nonlinear characteristics on a computer, it is necessary to have a number of software modules.

With high demands on the quality indicators of modern controlled EMS, it is necessary to take into account the effects associated with such nonlinearities as backlash, friction, saturation and dead zone. Having analyzed many nonlinearities, we can conclude that some of them can be considered as special cases of others. This makes it possible to reproduce several nonlinearities with one software module. With this simplification, some parameters used to specify one nonlinearity may be zero for another. When creating a basic set of nonlinear blocks, it is necessary to proceed from both the requirements for universality and the feasibility of reducing the number of blocks, and the requirements for their speed.

In the case of implementing complex nonlinear characteristics that are difficult to describe analytically, there is a need to develop a universal module where they would be specified in a table. The use of such a module can be effective in cases where nonlinear elements are specified using experimental data. However, this representation requires large amounts of RAM, which in some cases can lead to limitations in the implementation of models that include a large number of complex nonlinear dependencies.

Thus, for the effective use of modeling software, it is necessary to create a set of software modules for typical nonlinearities that would provide the most complete coverage of all kinds of frequently encountered nonlinear characteristics for the class of controlled EMS.

References

1. А. А. Верлань, В. А. Федорчук, М.В. Сагатов. Интегральные динамические модели электромеханических объектов. ISBN 978-9943-13-539-0, “IQTISOD-MOLIYA”, 2015, стр. 328.
2. Бенькович Е. С. Практическое моделирование сложных динамических систем / Е. С. Бенькович, Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков — СПб. : БХВ, 2001. — 401 с.
3. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Физматлит, 2005. – 320 с.
4. Моделирование электромеханических систем: Учебник / А. П. Черный, А. В. Луговой, Г. Ю. Сисюк, Д. И. Родькин и др. - Кременчуг, 2001. - 376 с.

**РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЦИФРОВЫХ ДРАЙВЕРОВ
IGBT**

студент А.Н. Жуков

НИУ «МЭИ», Москва, Россия

Любое электрооборудование требует тестирования с целью проверки качества изготовления. Испытания могут быть выполнены путем помещения испытуемого устройства в его рабочую среду или с использованием специализированных испытательных стендов. Первый подход имеет много недостатков. Это потенциально опасно как для испытуемого оборудования, так и для окружающего оборудования. Протестировать все режимы работы не представляется возможным из-за множества ограничений. Второй подход требует специфического оборудования, но он может проверить изготовленное оборудование в любом желаемом состоянии.

В данной работе рассматривается проблема тестирования драйверов IGBT и проектирование специального испытательного стенда. IGBT широко используются в силовой электронике с момента их изобретения в 1980-х годах. Они используются в электроприводах, и большая часть их применения относится к используемым устройствам 600 В, 1,2 кВ и 1,7 кВ. Для мощных IGBT с напряжением блокировки 1,7 кВ требуется интеллектуальная схема управления для работы и защиты силовых транзисторов. Они используются в тяговых приводах, горнодобывающем оборудовании, нефтяных буровых и насосных станциях и других приводах 0,69 кВ переменного тока мощностью от 0,3 до 2,0 МВт.

Цифровой драйвер IGBT имеет множество режимов работы, которые следует протестировать. Это работа самого драйвера при нормальном режиме работы силового IGBT-транзистора, и это последовательная проверка каждой возможной неисправности, которая может быть обнаружена в процессе работы устройства. Испытательный стенд предназначен для изготовленного по индивидуальному заказу IGBT-драйверу с теми же параметрами и протоколом связи, что и 1SP0635V2M1-17 от ST-Concept Technologie GmbH. Он был разработан для проверки нормального режима работы, active clamping, короткого замыкания, превышения по току, обрыва затвора IGBT и неисправности потери мощности. Испытательный стенд работает под управлением микроконтроллера и имеет связь с компьютером по интерфейсу CAN. Связь используется для выбора режимов тестирования и анализа полученных данных.

**ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ НА
КОЭФФИЦИЕНТ ИСКАЖЕНИЙ ТОКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ
МАЛЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ОТНОШЕНИЯ ЧАСТОТЫ МОДУЛЯЦИИ К
ПЕРВОЙ ГАРМОНИКЕ**

Маслеников Д.Р.

НИУ «МЭИ», Москва, Россия

Автономный инвертор напряжения (АИН) обрел широкое применение в частотных электроприводах, солнечной и ветряной энергетике для формирования электрической сети или работы с существующей сетью. Наиболее используемым способом управления АИН является широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Основной проблемой применения ШИМ является наличие высших гармоник в

токе, которые дополнительно нагревают обмотки статора и вызывают пульсации крутящего момента.

Существует несколько подходов к улучшению гармонического состава токов. Один из них — установка синусного фильтра между инвертором и двигателем, другой — применение определенного метода ШИМ [1]. При использовании синусного фильтра увеличивается масса и габариты электропривода, а также стоимость. Использование специальных методов ШИМ может уменьшить коэффициент нелинейных искажений (КНИ) и размеры фильтра.

В настоящее время широкое распространение получают преобразователи на основе трехуровневых инверторов. Линейное напряжение на выходе 3-уровневого инвертора имеет на один уровень больше, чем у 2-уровневого инвертора. Поэтому форма тока, протекающего в фазах двигателя, более синусоидальная с меньшим КНИ [2],[3]. Однако двухуровневые инверторы так же широко используются из-за более простой конструкции и большого опыта эксплуатации, поэтому в представленном исследовании рассматривается данный тип инверторов. При управлении инвертором каждый метод ШИМ оказывает определенное влияние на КНИ токов [4], [5].

В статье анализируются три метода: векторная ШИМ с привязкой к отрицательной шине, векторная ШИМ с переменной привязкой и ШИМ методом мгновенных фазных потенциалов. Для анализа разработана математическая модель синхронного электропривода с возбуждением от постоянных магнитов с векторной системой управления.

Список литературы

1. S. Rahmani, A. Hamadi and K. Al-Haddad, "A new combination of Shunt Hybrid Power Filter and Thyristor Controlled Reactor for harmonics and reactive power compensation," 2009 IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC), Montreal, QC, Canada, 2009, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPEC.2009.5420375.
2. A. Panda, G. Dyanamina and R. K. Singh, "MATLAB Simulation of Space Vector Pulse Width Modulation for 3-level NPC Inverter and 2-level Inverter," 2021 International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET), Hyderabad, India, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/SeFet48154.2021.9375668.
3. N. Soualhi, A. Makouf, N. Nait-Said and S. Hamada, "Comparison between a Two-Level and Three-Level Inverter fed Induction Motor including Losses and Efficiency," 2020 4th International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET), Hammamet, Tunisia, 2020, pp. 89-94, doi: 10.1109/IC_ASET49463.2020.9318310.
4. V. Prakht, V. Dmitrievskii, A. Anuchin, and V. Kazakbaev, "Inverter Volt-Ampere Capacity Reduction by Optimization of the Traction Synchronous Homopolar Motor," Mathematics, vol. 9, no. 22, p. 2859, Nov. 2021, doi: 10.3390/math9222859. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/math9222859>.
5. Pratheesh. K. J, Jagadanand. G and R. Ramchand, "An improved space vector PWM method for a three-level inverter with reduced THD," 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), Costa da Caparica, Portugal, 2015, pp. 167-172, doi: 10.1109/CPE.2015.7231067.

**INCREASING THE CONSTRUCTION MECHANICAL STRENGTH OF AC
CONVERTER-FED ELECTRIC MOTORS WITH AN AXIAL MAGNETIC FLUX
USING DIGITAL MODELS**

Pauliukavets Siarhei Anatolievich, Ph.D., associate professor, Radkevich Artsiom Andreevich, master student, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract: The influence of resonant frequencies on the construction mechanical strength of AC synchronous electric motor with an axial magnetic flux and a permanent magnet rotor was analyzed. A digital three-dimensional model of the electric motor was constructed, on the basis of which a study of the dynamic load of the motor structure was carried out using the finite element method (FEM). The values of resonant frequencies at which the construction is deformed were determined, and sections of the structure with the greatest influence of resonant frequencies were identified.

Keywords: AC converter-FED motor, synchronous machine, permanent magnets rotor, resonant frequencies, finite element method, axial electric motor.

Introduction

The invention of neodymium magnets provided the starting point for the development of axial flux permanent magnet (AFPM) motors, which have been the subject of research for the past 20 years. Axial flux motors have a high torque-to-weight ratio, improved heat dissipation for cooling, low weight, high power density and high torque [1], making them promising for many applications.

Axial flux permanent magnet motors with a coreless stator are considered highly efficient machines due to the absence of core losses and can potentially operate at higher efficiency than traditional electric motors. In addition to the advantages associated with the use of permanent magnets with axial flux, AFPM electric motors have several other advantages, such as high torque-to-weight ratio, higher power density, higher efficiency and more compact structure [2]. These properties of brushless motors with a permanent magnets rotor have determined their distribution in wind power plants, electric vehicle wheel motors, hybrid vehicles and robotics.

To date, there have been a number of studies on axial flux motors [2], [3], which are focused on the study of motor designs with a toroidal stator with slots (TAFPM-S), as well as toroidal stator designs without slots (TAFPM-NC) motors with constant axial flow. Motors of the TAFPM-S type are the most studied type of axial motors [2]. Their characteristics are characterized by high specific power and torque. Their disadvantages include high torque from cog harmonic field interference and pulsating torque [4].

One of the main problems with axial flux core motors is the presence of significant gear torque in the stator since the rotor and stator face each other and a larger surface area of the magnets is exposed to the magnetic field of the stator core compared to other types of DC motors [3]. Therefore, reducing gear torque is necessary to improve the overall efficiency of AFPM motors. Brushless synchronous motors of the TAFPM-NC type have

the best application prospects due to the low cost of their production and the absence of torque from tooth harmonic field interference [3].

With all the advantages of brushless motors with a toroidal stator and axial magnetic flux distribution, their energy efficiency can be increased by using a coreless stator design. Initially [5], the first samples of axial magnetic flux motors had coreless stators and consisted of diamond-shaped copper windings with nine turns per coil and had an EMF of almost sinusoidal shape.

Coreless permanent magnet axial flux motors have a special disk type design with a coreless stator located between two rotors. Because of this, they are lighter and more efficient since losses in the stator core are eliminated [5]. However, since the stator windings are exposed to a time-varying magnetic field, eddy current losses in the conductors can be significant, especially if the motors operate at high frequencies. Therefore, to reduce losses in the windings of coreless motors, special Litz wires are used.

Analysis of the mechanical strength of the axial-flux electric drive

A preliminary analytical calculation of the mechanical stability of the design of the designed axial motor with a permanent magnets rotor is carried out to identify areas of the greatest dynamic load of the engine components, in particular the stator and rotor, which makes it possible to optimize the design at the prototyping stage without manufacturing an experimental sample.

In connection with the development of computing technologies, this problem can be solved in software packages for three-dimensional analysis of structures using the finite element method (FEM analysis). In this paper, the design of the studied AFPM engine is evaluated using step-by-step time-based 3D FEM analysis in CAE SolidWorks Simulation.

Although 3D modeling is more realistic among the calculations presented, it is difficult require access to expensive software and take a lot of time. Analytical calculations On the other hand, 2D modeling is much easier to perform and produces results in good condition.

Performing a FEM analysis of an engine includes the stages of constructing a geometric model of resonant frequencies in the object; creating a mesh surface with a given step for analyzing temporal changes; selecting boundary conditions for modeling (product materials, differentiation methods, etc.) and executing a program for solving resonant frequency equations. The result of the analysis is a visualization of the distribution of resonant frequencies on a spatial model of the engine, corresponding to the dynamic load of each element.

Material properties, magnet and conductor sizes remain constant during the simulation. However, as a result of performing FEM analysis, a change in the state and dimensions of structures may occur due to their deformation under the influence of resonant frequencies. The results of the frequency analysis of the power units of the AFPM engine are presented in Figures 1 and 2.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Model name: PCB MOTOR_EXM
 Study name: Frequency 1 (Default)
 Plot type: Frequency Amplitude
 Mode Shape: 5 Value = 21.260 Hz
 Deformation scale: 4.49042e-05

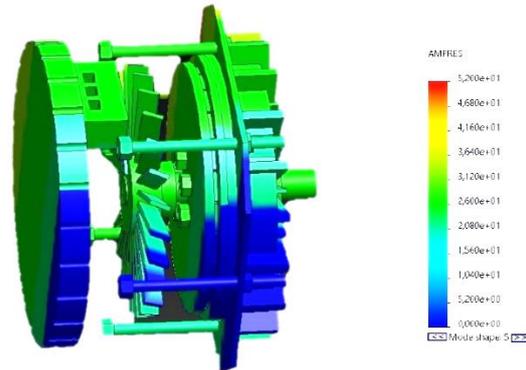


Figure 1. FEM frequency analysis of power units of an axial motor with a permanent magnets rotor at a resonant frequency of 5.2 kHz

Model name: PCB MOTOR_EXM
 Study name: Frequency 1 (Default)
 Plot type: Frequency Amplitude
 Mode Shape: 4 Value = 20.146 Hz
 Deformation scale: 8.44391e-05

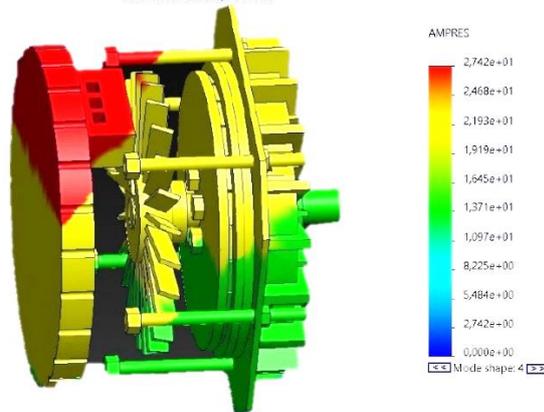


Figure 2. FEM frequency analysis of power units of an axial motor with a permanent magnets rotor at a resonant frequency of 21.146 kHz

Stress analysis showed that mechanical deformations that occur at resonant frequencies above 3 kHz lead to significant deformations of the engine components. At the resonant frequency of 11 kHz, the motor plates are subject to significant stress. Mechanical stresses in the rotor are concentrated in the areas between the permanent magnets and the steel core, reaching the greatest stress at the outer edge of the rotor plate. The greatest oscillations on the rotor, reaching a value of 14.2 kHz, and deformations of the plate, affecting its deviation from the axial location on the shaft, were noted.

A graph of the resonant frequencies of the engine depending on the number of FEM analysis iterations performed is shown in Figure 3.

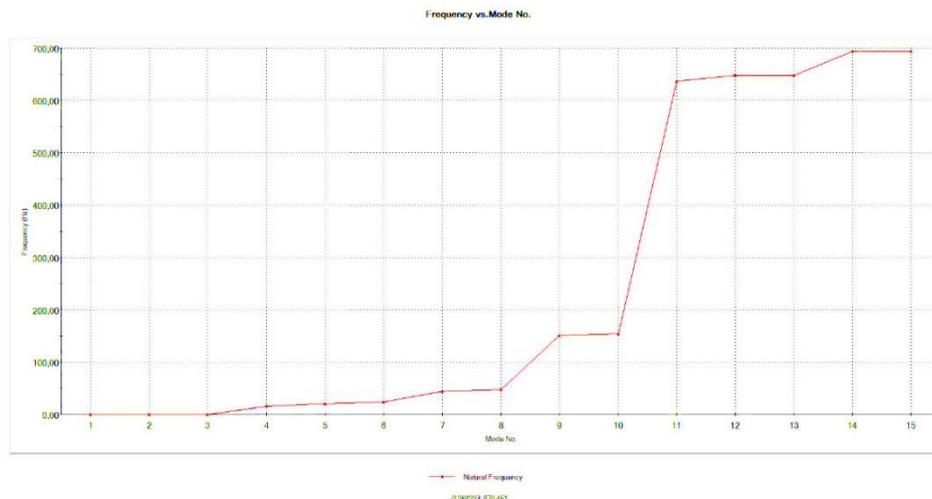


Figure 3. Graph of the resonant frequencies of the motor depending on the number of FEM analysis iterations

Conclusion

As a result of the study of the influence of resonant frequencies on the dynamic load of a valve-type axial motor with a permanent magnets rotor, it was found that the element of the engine most susceptible to unwanted deformations is the permanent magnets rotor, which has resonant oscillations when the frequency increases to 3 kHz. The rotor plate shear stress was 4.7% of the motor structure shear stress. The rotor plates were subjected to no less vibrations, which were significantly deformed at a resonant frequency of 8.42 kHz with a deformation scale of 98,5 % and a deformation scale of 733 % at a frequency of 15 kHz. This obviously leads to the destruction of the motor's magnetic circuit. In addition, at frequencies above 14.2 kHz, intense deformations of the motor shaft are observed. The graph of the resonant frequencies of the motor depending on the number of FEM analysis iterations was received.

Therefore, recommendations for optimizing the design of a motor operating at high resonant frequencies include increasing the thickness of the stator and rotor core boards and using more mechanically robust materials for the rotor core and motor shaft.

Literature

1. Ali, S. Comparative study among different rotor topologies of axial flux permanent magnet machines // 2022 Second International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART): IEEE, 2022. P. 1–6.
2. Chung D. W., You Y. M. Design and performance analysis of coreless axial-flux permanent-magnet generator for small wind turbines // Journal of Magnetism. 2014. T. 19. №. 3. P. 273–281.
3. Fei W., Luk P. C. K., Jinupun K. Design and analysis of high-speed coreless axial flux permanent magnet generator with circular magnets and coils // IET electric power applications. 2010. T. 4. №. 9. P. 739–747.
4. Huner E., Akuner M. Axial-flux synchronous machines compared with different stator structures for use in working // Przegląd Elektrotechniczny. 2012. T. 88. P. 174–177.
5. Kesgin M. G. et al. Design optimization of coreless axial-flux PM machines with Litz wire and PCB stator windings // 2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). IEEE. 2020. P. 22–26.

Секция №2

*Технология цифровизации и энергоаудит, обеспечивающие
энергоэффективность и ресурсосбережение в
электромеханике и электротехнологии, тепловой и атомной
энергетике*

UDC:621.313.333

OPTIMIZING PUMPING STATION OPERATION MODES

Abidov Kudrat Gayratovich

*Tashkent State Technical University, Professor of the Department of Electrical
Engineering, Doctor of Technical Sciences, Uzbekistan*

Abstract: *Pumping stations have been studied as objects of control and energy saving. Methods are given for determining the optimal values of the rotation speed of the pumping unit and the supply of the pumping unit of mechanical water lifting systems, ensuring a minimum specific energy consumption. Mathematical methods have been developed to describe the pump installation of mechanical water-lifting systems.*

Keywords: *Pumping station, machine water lifting systems, water consumption schedule, pump installation, pump unit, water supply, electric drive, optimization, rotation frequency, specific power consumption, mathematical methods.*

Introduction

The modern needs of the sectors of the economy of the Republic of Uzbekistan for energy resources tend to increase constantly. The commissioning of new energy facilities capable of covering the growing electricity demand requires significant capital investment in their construction. Therefore, in the republic, as well as in developed foreign countries, the problem of increasing electricity production through its rational use by developing and implementing energy-saving technologies in various sectors of the economy is brought to the forefront.

It is known that pumping units of pumping stations in machine water lifting systems are one of the most massive and energy-intensive objects. In this regard, ensuring energy-saving modes of their operation takes a special priority, allowing significant electricity savings in implementing the technological process of water supply at the national level (about 15-18% of the consumed amount).

The development of energy and resource-saving operating modes for the pumping unit of the pumping station in machine water lifting systems should be based on the following principles:

- Pump station operation in strict accordance with the water consumption schedule;
- Development of operational mode charts for the pump installation, taking into account the design, technological, and operational features of the pump station of machine water-lifting systems, ensuring its optimal water supply process;
- Selection of a rational option for energy-hydraulic equipment for the pump installation, preferably with an adjustable electric drive, capable of providing comprehensive automation of the technological process of water supply for the pump station of machine water-lifting systems;

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Application of scientifically justified and technically feasible, progressive specific power consumption standards for the pump station of machine water-lifting systems.

By the present time, in the practice of machine water lifting, only unregulated electric drives are used as the drive for the pumping unit. In order to coordinate the water supply mode of the pumping station with the water consumption schedule, the only practically used method of regulating its performance at the moment is the adjustment of the number of operating units, which provides for a stepped (per unit) regulation of the flow rate. In most operating irrigation pumping stations, there is a mismatch between the actual water consumption schedule and its coverage provided by the operation of the machine water lifting system pumping station. Therefore, typically, in order to avoid crop yield losses of field and garden crops, the machine water lifting pumping stations deliberately operate with an inflated covering schedule, which in turn leads to unjustified overconsumption of water resources and electrical energy. Another feature of the operation of the machine water lifting system pumping station is their conversion to a regulated electric drive instead of an unregulated one, which will undoubtedly allow for the efficient use of electrical energy and irrigation water, implement the transition to comprehensive automation of the technological processes of water supply of pumping stations, increase the flexibility of managing the load of electrical equipment, and increase the overall operational resource of the energy and hydromechanical equipment of the pump unit.

In pump engineering practice, there are two fundamentally different methods of regulating the performance (delivery) of a pumping unit:

- Quantitative – with constant speed (frequency) of the pump impeller, by changing the characteristics of the discharge pipeline, the geometry of the pump flow passages, the flow kinematics at the impeller inlet, etc.;

- Qualitative – by changing the speed (frequency) of the pump impeller.

The following methods of quantitative delivery regulation of the pumping unit can be applied at the pump station of machine water lifting systems:

- a) by using a throttling valve (throttling);
- b) by diverting part of the water from the discharge pipeline to the suction pipeline;
- c) by introducing air into the suction pipeline;
- d) by changing the diameter of the impeller;
- e) by adjusting the impeller blades or the guide apparatus.

It should be noted that the listed methods can only achieve pump performance regulation mainly below its nominal delivery value.

Among the quantitative methods of pump delivery regulation mentioned by us, throttle flow control has gained the widest application in the operation of small pumping stations for machine water lifting systems, where it is necessary to regulate its performance for a short period.

The advantages of throttle flow control include its simplicity, lack of need for additional equipment, and the possibility of smoothly regulating the pump delivery within the range from to zero.

The main disadvantages of throttling are its uneconomical nature due to increased non-productive energy costs, a significant reduction in the efficiency of pumping equipment, and accelerated wear of the valve, especially when the water contains a sufficient amount of abrasive particles in suspension and has a predominant turbidity, which is typical for rivers and channels in most regions of our republic.

The regulation of the pump unit's supply by diverting a portion of the water can be achieved by adjusting the opening of a valve installed on the bypass pipeline, through which the required liquid flow is achieved by diverting it from the pressure pipeline to the

suction pipeline. This method of regulating the water flow of the pump unit is mainly used to eliminate unstable pump operation and is considered most appropriate in terms of energy efficiency only for pumps with a specific speed coefficient (n) greater than 300, where an increase in the pump unit's supply leads to a decrease in power on its shaft. In centrifugal pumps with a lower specific speed coefficient, regulating the pump unit's performance by diverting water leads to an increase in the pump's power. Consequently, it causes an overload of the pump unit's drive motor. Despite improving the pump's cavitation properties, this regulation method contributes to a decrease in its efficiency, complicates the communication system, and increases the amount of equipment and the overall size of the pump installation.

A more economical method than throttling is the regulation of the pump unit's supply by admitting air into the suction pipeline. This method can be applied in cases where the pump unit operates on an unbranched pressure network that does not require special devices to remove air, and the actual suction head for a particular pump model is significantly less than the allowable value.

By introducing air into the suction pipeline, the pump's flow-head characteristic is shifted downwards, while maintaining the values of the H characteristic, and the intersection points determine the operating mode of the pumping unit. Thus, by varying the amount of air entering the suction pipeline, it is possible to select the pump operating mode that corresponds to the required delivery values of the pump unit. However, with an increase in air content, despite the improved power consumption indicators of the pump unit, its efficiency deteriorates due to the drop in head developed by the pump, and it also provides a limited range of water delivery regulation, determined by the reduction in the pump's cavitation qualities.

The method of regulating the delivery of the pump unit by trimming the pump impeller on the outer diameter without changing the shape of its blades is mainly used in pumping stations of machine water lifting systems equipped with identical pump equipment, where there is a need to use a pump of this type with a lower power consumption while providing the required delivery according to the pumping station coverage schedule. Typically, the maximum impeller trimming, taking into account its speed coefficient, is no more than 11-15%, and in the practice of operating pumping stations of machine water lifting systems, it is quite common to equip identical pump units with pump equipment with different impeller diameters.

The considered method of regulating pump performance compared to throttling provides significant power savings, has relatively high efficiency, and is most effective for regulating the supply of a pump station in water lifting systems. However, regulating the performance of a centrifugal pump by trimming its impeller diameter externally has the drawback of fixing the pump supply at a constant level for a long period of time (until the next overhaul period of the pump unit), as well as a limited range of flow rate adjustment for the pump unit. Adjusting the performance of a pump unit by changing the angle of the impeller blades is most effective in systems with low static head and is mainly implemented in axial and diagonal flow pumps. An analysis of the applied methods of quantitative performance regulation of centrifugal pumps has shown that throttling or direct pump intervention leads to a significant reduction in the energy performance of the pump unit and sometimes complicates its design, shortens the service life of the hydraulic equipment, and hinders the possibility of automating the water supply process.

Research Methods and the Received Results

The efficiency of the water lifting pump unit, characterized by such an important technical and economic indicator as the specific power consumption for delivering a unit

volume of water into the hydraulic pressure pipeline while ensuring the required water consumption schedule, is significantly influenced by the design and operational parameters of the pump unit. By implementing organizational and technical measures to adjust them accordingly and necessary changes to the characteristics of the hydraulic equipment, it is possible to achieve some reduction in the electricity consumption for water delivery to rational values, in addition to using methods of regulating the water supply of the pump unit or other technical solutions associated with significant changes in the established water lifting process technology. The introduction of such adjustments to the values of design and operational corrections should be based on detailed studies of the dependence of energy indicators on these quantities.

Each pump unit has suction and pressure pipelines through which the liquid is moved to the main hydraulic pressure pipeline under the influence of the pressure developed by the centrifugal pump. The pressure pipeline of the pump unit is usually divided into two parts: communication (within the premises of the water pumping stations) and supply (from the premises of the water pumping stations to the connection point to the main hydraulic pressure pipeline). The design parameters of each of these pipelines affect the energy performance of the pump unit due to the existing pressure losses. With the characteristic pipeline pressure network ($H_{TR} = const$, $R_{TR} = const$) and the defined geometry of the centrifugal pump impellers ($i_d = const$) remaining unchanged, the operating point position of the pumping unit in machine water lifting systems is determined by the pump unit rotation frequency n and their total delivery $Q_T \approx N \cdot Q_{PU}$.

Therefore, under the given operating conditions of the pumping station, the optimization of its operation modes based on the criterion of minimum specific power consumption can be presented as the objective function depending on the pump unit rotation frequency and the irrigation water flow rate. It is obvious that with the provision of coordinated and proportionate regulation of the pump unit rotation frequency [1-5], the minimum specific power consumption of the pumping station will be achieved at the minimum cost for each of the jointly operating pump units.

The specific power consumption of a pump unit can be represented as:

$$\Delta \Theta = \frac{m_1 \cdot (m_2 \cdot n^6 + m_3 \cdot Q \cdot n^5 + m_4 \cdot Q^2 \cdot n^4 + m_5 \cdot Q^3 \cdot n^3 + m_6 \cdot n^3 + [Q \cdot (a_1 \cdot n^2 + b_1 \cdot Q \cdot n + c_1 \cdot Q^2)])}{+ m_7 \cdot Q \cdot n^2 + m_8 \cdot Q^4 \cdot n^2 + m_9 \cdot Q^2 \cdot n + m_{10}} \quad (1)$$

where

$$m_1 = 2724 \cdot Kt \cdot P_{ДБ.Н} / (0,001 \cdot \gamma);$$

$$m_2 = \left\{ (1 - \eta_N) / [\eta_N \cdot (1 + A_{II}) \cdot (K_{WEAR} \cdot Kt \cdot P_N)^2] \right\} \cdot c_2^2 = m_{11} \cdot c_2^2;$$

$$m_3 = 2 \cdot m_{11} \cdot a_2 \cdot c_2; \quad m_4 = m_{11} \cdot (a_2^2 - 2 \cdot b_2 \cdot c_2);$$

$$m_5 = -2 \cdot m_{11} \cdot a_2 \cdot b_2; \quad m_6 = c_2 / (K_{WEAR} \cdot Kt \cdot P_N);$$

$$m_7 = a_2 / (K_{WEAR} \cdot Kt \cdot P_N); \quad m_8 = m_{11} \cdot b_2^2;$$

$$m_9 = -b_2 / (K_{WEAR} \cdot Kt \cdot P_N);$$

$$m_{10} = A_P \cdot (1 - \eta_{ДБ.Н}) / [\eta_{ДБ.Н} \cdot (1 + A_{II})];$$

$$a_1 = A_H \cdot i_d^2 / n_N^2; \quad b_1 = B_H / (n_N \cdot i_d); \quad c_1 = C_N / i_d^4;$$

$$a_2 = A_p \cdot i_d^2 / n_H^2; \quad b_2 = B_p / (n_N \cdot i_d); \quad c_2 = C_p \cdot i_d^5 / n_H^3;$$

$$K_{cha} = e^{-0,00000833T_{pr}}; \quad Kt = 1,24 - 0,000196 \cdot t_0^2; \quad i_d = D_F / D_{CAT}.$$

Here:

K_{WEAR} - wear and tear coefficient of the pump working parts;

K_t - coefficient that takes into account changes in the nominal power of the pump unit's electric motor depending on the ambient temperature;

D_{CAT} - catalog diameter of the pump impeller.

Let us denote the pump unit supply as x_1 and the rotation frequency as x_2 .

The optimization problem of the operating modes of the pumping station can be formulated as the following nonlinear programming problem:

$$\Delta \mathcal{E}(x_j) \Rightarrow \min ; \quad (2)$$

$$g_{ij}(x_j) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad (3)$$

$$g_{lj}(x_j) = 0, \quad l = m + 1, \dots, p; \quad (4)$$

$$x_j > 0, \quad j = 1, \dots, k. \quad (5)$$

Based on the generalized rule of Lagrange multipliers and the well-known Kuhn-Tucker theorem, we minimize the objective function $\Delta \mathcal{E}(x)$ over the feasible set defined by constraints (3)-(5). Then, the minimum point of the specified objective function can be found as the solution to the following system of equations with additional variables λ_i , x_{k+i} , $i = 1, \dots, m$; μ_j , $j = 1, \dots, k$; λ_l , $l = m + 1, \dots, p$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta \mathcal{E}(x_j)}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot \frac{\partial g_{ij}(x_j)}{\partial x_j} + \sum_{l=m+1}^p \lambda_l \cdot \frac{\partial g_{lj}(x_j)}{\partial x_j} - \mu_j &= 0 \\ g_{ij}(x_j) + x_{k+i}^2 &= 0 \\ g_{lj}(x_j) &= 0 \\ \lambda_i \cdot x_{k+i} &= 0 \\ \mu_j \cdot x_j &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

At the same time $x_j \geq 0$, $\mu_j \geq 0$, $\lambda_i \geq 0$, $\lambda_l > 0$.

Here:

$g_{ij}(x_j)$ - limitations presented in the form of inequalities.;

$g_{lj}(x_j)$ - restrictions presented in the form of equalities;

x_j - dependent variables x_1 and x_2 ($k = 2$).

Since the regulation of the rotational speed of the pump unit, which is structurally combined to work together in the pumping unit, and therefore its delivery, is carried out between the stages, then for the given range of changes in head $H_{\min} < H < H_{\max}$ provided during step (aggregate) regulation of the pump unit performance by means of automation, the limitations will be recorded as follows:

$$Q_{ГП} - Q_T = Q_{ГП} - N \cdot Q = Q_{ГП} - N \cdot x_1 < 0 \quad (7)$$

$$n - n_{\max} = x_2 - n_{\max} < 0 \quad (8)$$

$$n_{\min} - n = n_{\min} - x_2 < 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} a_3 \cdot n^2 + b_3 \cdot Q \cdot N \cdot n + c_3 \cdot N^2 \cdot Q^2 - H_{CT} - R_{ГП} \cdot N^2 \cdot Q^2 = \\ = a_3 \cdot x_2^2 + b_3 \cdot N \cdot x_1 \cdot x_2 + N^2 \cdot x_1^2 \cdot (c_3 - R_{ГП}) - H_{CT} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Here:

$$a_3 = A_{SH} \cdot i_d^2 / n_H; \quad b_3 = B_{SH} / (n_H \cdot i_d); \quad c_3 = C_{SH} / i_d^4, \quad (11)$$

where

A_{SH} , B_{SH} , C_{SH} - approximation coefficients of the total head-flow characteristic N of the jointly operating pump units..

As a result, we obtain a system of nonlinear equations:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta \mathcal{E}(x_1, x_2)}{\partial x_1 - \lambda_1 \cdot N + \lambda_4 \cdot [b_3 \cdot N \cdot x_2 + 2 \cdot N^2 \cdot x_1 \cdot (c_3 - R_{TP})] - \mu_1} &= 0 \\ \frac{\partial \Delta \mathcal{E}(x_1, x_2)}{\partial x_2 + \lambda_2 - \lambda_3 + \lambda_4 \cdot (2 \cdot a_3 \cdot x_2 + b_3 \cdot N \cdot x_1) - \mu_2} &= 0 \\ Q_{TP} - N \cdot x_1 + x_3^2 &= 0 \\ x_2 - n_{\max} + x_4^2 &= 0 \\ n_{\min} - x_2 + x_5^2 &= 0 \\ a_3 \cdot x_2^2 + b_3 \cdot N \cdot x_1 \cdot x_2 + N^2 \cdot x_1^2 \cdot (c_3 - R_{TP}) - H_{CT} &= 0 \\ \lambda_1 \cdot x_3 = 0; \quad \lambda_2 \cdot x_4 = 0; \quad \lambda_3 \cdot x_5 = 0; \quad \mu_1 \cdot x_1 = 0; \quad \mu_2 \cdot x_2 = 0; \\ x_1, x_2 > 0; \quad \mu_1, \mu_2 > 0; \quad \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 > 0. \end{aligned} \quad (12)$$

This system of equations can be solved by the Newton-Raphson method, which is the most common and widely used method for solving a system of nonlinear equations [2-12] described, as is known, by the recurrent formula:

$$x_{K+1} = x_K - \alpha_K \cdot [\varphi(x_K) / \varphi'(x_K)], \quad (13)$$

where

$\varphi(x_K)$ - scalar function of some argument x_K ;

α_K - iteration step length.

When solving (13) using the Newton-Raphson method, it is necessary to set the relative error \mathcal{E} , the number of equations of the system, the maximum number of iterations, as well as the initial approximation for each x_i , $i = 1, \dots, m$.

For x_1 and x_2 , the actual flow of the pumping unit and its current rotation speed n are taken as initial approximations:

$$x_{10} = Q = Q_T / N; \quad x_{20} = n. \quad (14)$$

Then:

$$x_{30} = \sqrt{N \cdot Q - Q_{TP}}; \quad x_{40} = \sqrt{n_{\max} - n}; \quad x_{50} = \sqrt{n - n_{\min}} \quad (15)$$

Conclusion

Based on the expressions defining the mathematical model of the pumping unit, as well as the system of nonlinear equations (12) and the initial conditions (14), (15), optimal values of the pump unit rotation frequency and the pump supply for the machine water lifting system can be determined, ensuring the minimum specific power consumption while maintaining constant parameters $R_{TR} = \text{const}$, $H_{TR} = \text{const}$, $i_d = \text{const}$.

References:

1. Allaev K.R., Khokhlov V.A., Sytdykov R.A. Transient processes of pumping stations. Ed. prof. MM. Muhammadijeva. – T.:, "Science and Technology", 2012, 180 p.

2. Allaev K.R., Khokhlov V.A., Titova Zh.O. Increasing the energy efficiency of pumping stations with long pipelines // Problems of energy and resource saving. – Tashkent, 2013 - No. 1-2 - P. 10-15.
3. Karelin V.Ya., Minaev A.V. Pumps and pumping stations. -M.: Stroyizdat, 1986. - 320 p.
4. Khamudkhanov M.M. Mathematical modeling of a pump installation for electric machine irrigation systems // Bulletin of Tashkent State Technical University, 2011. No. 1-2. P.53-58.
5. Kamalov T.S., Khamudkhanov M.M. Electric drive system for machine irrigation pumping units. -Tashkent: “Fan”, 1985. -96 p.
6. Kamalov T.S., Khamudkhanov M.M., Akhmedov I. Guidelines for regulating specific rates of electrical energy consumption and forecasting energy consumption by pumping stations, cascades of pumping stations, wells and by planning levels. -Tashkent: Uzinformenergo, 1990. – 79 p.
7. Khamudkhanov M.M., Yussef Rabakh. Methodology for calculating constant coefficients of approximation of pump operating characteristics // Automated electric drive. Collection of TSTU scientific works, - Toshkent, 1994. B. 92-96.
8. Kurganov A.M., Fedorov N.F. Handbook on hydraulic calculations of water supply and sanitation systems. 3rd ed. -L.: Stroyizdat, 1986. -384 p.
9. Shevelev F.A. Tables for hydraulic calculations of steel, cast iron, asbestos-cement and plastic pipes. -M.: Stroyizdat, 1986. -114 p.
10. Vilner Ya.M., Kovalev Ya.T., Nekrasov B.B. Reference book on hydraulics, pumps and hydraulic transmissions. -Minsk: Higher School, 1985. -384 p.
11. Abidov K.G. Increasing the reliability of reclamation pumping stations using self-starting electric motors. // Electrical equipment: operation and repair. - Moscow, 2020 No. 3 (189) March. P.34-38.
12. Abidov K.G. The influence of design parameters on energy-saving and operational performance of water-lifting pumping units. // Electrical equipment: operation and repair. -Moscow.No.1, 202

УДК 621.3.01

К РАСЧЁТУ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ГРАФОВ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ

*Д.т.н., профессор Абидов Кудрат Гайратович, к.т.н., доцент Туляганов
Мурот Муслимович
ТашГТУ, Узбекистан*

Аннотация. Статья посвящена расчету переходных процессов в линейных электрических цепях методом пространства параметров состояния, в котором матрица перехода цепи и сами переходные кривые определяются оптимальным в вычислительном плане способом: по виду графов переменных состояния. Показано, что при расчёте цепей высокого порядка, рекомендуется для цепей не выше третьего порядка. Если электрическая цепь описывается системой уравнений более высокого порядка, то определение матрицы перехода становится громоздким, и только для некоторых частных случаев задача решается сравнительно просто. Сигнальные графы являются эффективным средством, дающим возможность осуществления логичной последовательности действий при

решении совместных линейных уравнений, описывающих состояние электрической цепи.

Ключевые слова: переходной процесс, электрические цепи, метод пространства параметров, матрица перехода, граф переменных состояний, алгоритм расчета, закон коммутации, дифференциальное уравнение, сосредоточенные параметры, установившийся режим, линейные элементы.

Алгоритм расчёта переходных процессов в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами R,L,C методом пространства параметров состояния, как известно [1], состоит из следующих шагов:

1. По виду докоммутационной схемы с учётом законов коммутации определяются независимые начальные условия цепи: $i_L(0)$ и $u_C(0)$.
2. Для послекоммутационной схемы записываются уравнения по законам Кирхгофа или по методу контурных токов.
3. Выбираются: а) переменные состояния цепи, в качестве которых оптимально брать токи в индуктивностях и напряжения на ёмкостях, определяющих общий порядок системы дифференциальных уравнений цепи; б) переменные управления или входа, ими могут служить э.д.с. и токи источников питания; в) переменные выхода, за которые можно принять токи в активных сопротивлениях и ёмкостях, напряжения на активных сопротивлениях и индуктивностях.
4. Исходные дифференциальные уравнения приводятся к канонической форме записи, т.е. представляются решёнными относительно первых производных переменных состояния по времени и записываются в виде двух основных уравнений метода переменных состояния:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\bar{x}} &= \bar{A}\bar{x} + \bar{B}\bar{u}, \\ \bar{y} &= \bar{C}\bar{x} + \bar{D}\bar{u}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где \bar{x} – матрица переменных состояния размером $1 \times n$ (n-порядок цепи);

\bar{u} – матрица входа размером $1 \times m$;

\bar{y} – матрица выхода размером $1 \times k$;

$\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}$ – постоянные матрицы соответствующих размеров, элементы которых зависят только от параметров R,L,C цепи.

5. Рассчитываются общие решения дифференциальных неоднородных матричных уравнений:

$$\bar{x}(t) = \bar{\varphi}(t)\bar{x}(0) + \int_0^t \bar{\varphi}(t-\tau)\bar{B}\bar{u}(\tau)d\tau, \quad (2)$$

$$\bar{y}(t) = \bar{C}\bar{\varphi}(t)\bar{x}(0) + \bar{C} \int_0^t \bar{\varphi}(t-\tau)\bar{B}\bar{u}(\tau)d\tau + \bar{D}\bar{u}(t), \quad (3)$$

где $\bar{\varphi}(t)$ – матрица перехода размером $n \times n$, определение элементов которой и составляет главную трудность при использовании данного алгоритма. Вычисление матрицы можно осуществить, в частности, следующими способами [1,2]:

$$\bar{\varphi}(t) = e^{\bar{A}t}, \quad (4)$$

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

$$\vec{\varphi}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \vec{A}^k \frac{t^k}{k!}, \quad (5)$$

$$\vec{\varphi}(t) = L^{-1} \left\{ [p\vec{J} - \vec{A}]^{-1} \right\}, \quad (6)$$

$$\vec{\varphi}(t) = \sum_{k=1}^n \vec{\Phi}_k e^{p_k t}, \quad (7)$$

где

$$\vec{\Phi}_k = \frac{\prod_{l \neq k} (\vec{A} - p_l \vec{J})}{\prod_{l \neq k} (p_k - p_l)} \quad (8)$$

Другой возможный способ определения $\vec{\varphi}(t)$ вытекает из представления уравнений цепи в виде ориентированного графа – графа переменных состояния и вычисления элементов $\vec{\varphi}(t)$ непосредственно по нему. Кроме наглядности и упрощения процедуры вычисления матрицы перехода здесь достигается также исключение избыточных операций, связанных с неплотностью матриц, т.е. большим количеством нулей в них.

Свободный режим в линейной электрической цепи с постоянными параметрами описывается однородным дифференциальным матричным уравнением

$$\dot{\vec{x}} = \vec{A}\vec{x} \quad (9)$$

Прямое преобразование Лапласа обеих частей этого уравнения и приведение подобных слагаемых этого уравнения приводит к выражению

$$[p\vec{J} - \vec{A}]\vec{X}(p) = \vec{x}(0), \quad (10)$$

откуда получаем формулу расчёта (6) для матрицы перехода $\vec{\varphi}(t)$.

Так как любая задача, содержащая линейные соотношения между переменными, может быть сформулирована в виде графа сигналов и решена непосредственно по нему, определить изображения по Лапласу элементов матрицы перехода можно, выполнив некоторые несложные преобразования графа или используя формулу Мэсона для.

Покажем это на конкретном примере.

Пусть для некоторой разветвлённой цепи второго порядка составлены однородные дифференциальные уравнения состояния

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_1 - 2x_2 \\ \dot{x}_2 &= 3x_1 - 4x_2 \end{aligned} \right\}$$

при начальных условиях $x_1(0)$ и $x_2(0)$.

Требуется найти матрицу перехода $\vec{\varphi}(t)$ цепи.

1. Строим граф цепи, переменных состояния цепи:

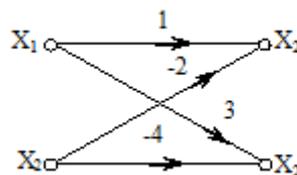


Рис.1. Граф цепи, переменных состояния.

Передачами ветвей графа являются элементы основной матрицы цепи $\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & -2 \\ 3 & -4 \end{bmatrix}$

2. Вычисляем матрицу $p\bar{J} - \bar{A} = \begin{bmatrix} p-1 & +2 \\ -3 & p+4 \end{bmatrix}$ и строим граф для изображений и начальных значений переменных состояния, изображающий уравнения (10):
3. Выполняем инверсию ветвей с передачей $p-1$ и $p+4$:

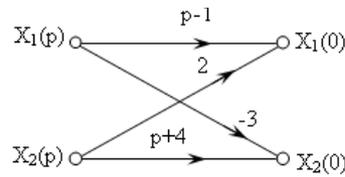


Рис.2. Инверсия ветвей с передачей $p-1$. $p+4$

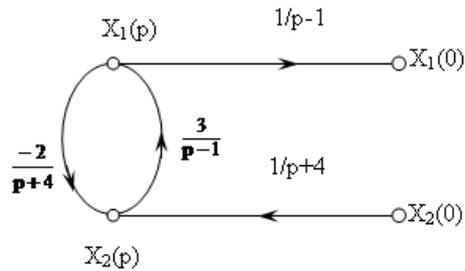


Рис.3. Инверсия ветвей с передачей $p+4$

4. Искключаем узел $X_2(p)$ и затем узел $X_1(p)$:

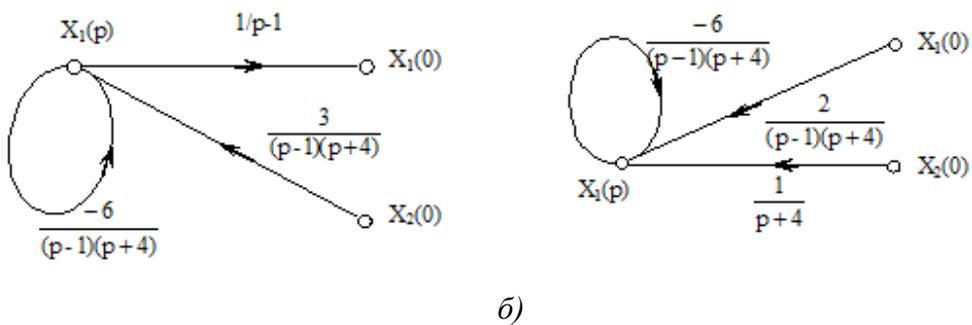


Рис.4. Исключение узлов графов

5. Искключаем петлю с передачей $\frac{-6}{(p-1)(p+4)}$ и находим изображения элементов матрицы перехода $\vec{\varphi}(t)$:

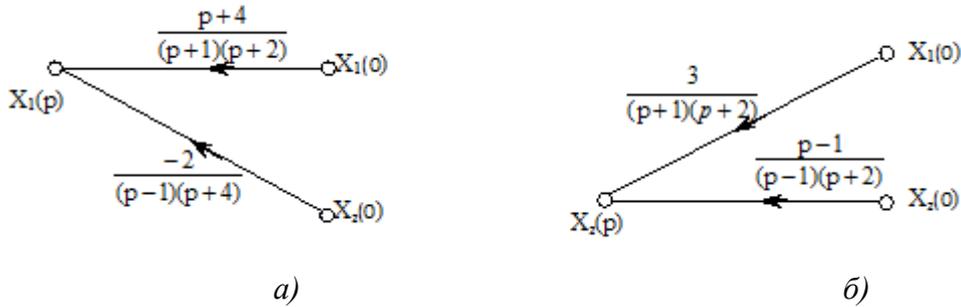


Рис.5. Исключение петель графов.

6. По виду графов записываем:

$$\begin{aligned}
 x_1(t) &= L^{-1} \left\{ \frac{p+4}{(p+1)(p+2)} \right\} x_1(0) + L^{-1} \left\{ \frac{-2}{(p+1)(p+2)} \right\} x_2(0) = \\
 &= (3e^{-t} - 2e^{-2t})x_1(0) + (-2e^{-t} + 2e^{2t})x_2(0). \\
 x_2(t) &= L^{-1} \left\{ \frac{3}{(p+1)(p+2)} \right\} x_1(0) + L^{-1} \left\{ \frac{p-1}{(p+1)(p+2)} \right\} x_2(0) = \\
 &= (3e^{-t} - 3e^{-2t})x_1(0) + (-2e^{-t} + 3e^{2t})x_2(0).
 \end{aligned}$$

Записываем матрицу перехода $\vec{\varphi}(t)$

$$\vec{\varphi}(t) = \begin{bmatrix} 3e^{-t} - 2e^{-2t} & -2e^{-t} + 2e^{-2t} \\ 3e^{-t} - 3e^{-2t} & -2e^{-t} + 3e^{2t} \end{bmatrix}.$$

С помощью графа переменных состояния цепи может быть найдена не только матрица перехода $\vec{\varphi}(t)$, но и рассчитан полностью сам переходный процесс в цепи. Введём вектор-столбец \vec{x} , вектор-столбец \vec{u} и вектор-столбец \vec{v} соответственно для представления переменных состояния процесса, входа и системы увеличенной размерности и получим первое дифференциальное уравнение цепи из системы (1) в виде [2]:

$$\vec{\dot{V}} = \vec{A}y \cdot \vec{V}, \quad (11)$$

где $\vec{V} = \begin{bmatrix} \vec{u} \\ \vec{x} \end{bmatrix}$, \vec{A} – основная матрица цепи увеличенной размерности.

Решение уравнения (11) имеет вид:

$$\vec{V}(t) = \vec{\varphi}_y(t) \vec{V}(0), \quad (12)$$

где $\vec{\varphi}_y(t)$, называется расширенной матрицей перехода цепи, т.к. характеризует одновременно изменение как переменных состояния цепи, так и входа. Если заданы начальные условия, то могут быть легко найдены функции времени, описывающие изменение переменных состояния цепи.

Дополнив граф переменных состояния цепи узлами, соответствующими входным переменным $\vec{u}(t)$, передачами между переменными состояния и входными переменными, получим граф, изображающий уравнение (11) во временной области.

Для этого необходимо описать с помощью графов и входные воздействия. Ниже показаны графовые модели в переменных состояния для экспоненциальной $e(t) = Ee^{at}$, постоянной $e(t) = E$ и синусоидальной э.д.с. $e(t) = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$:

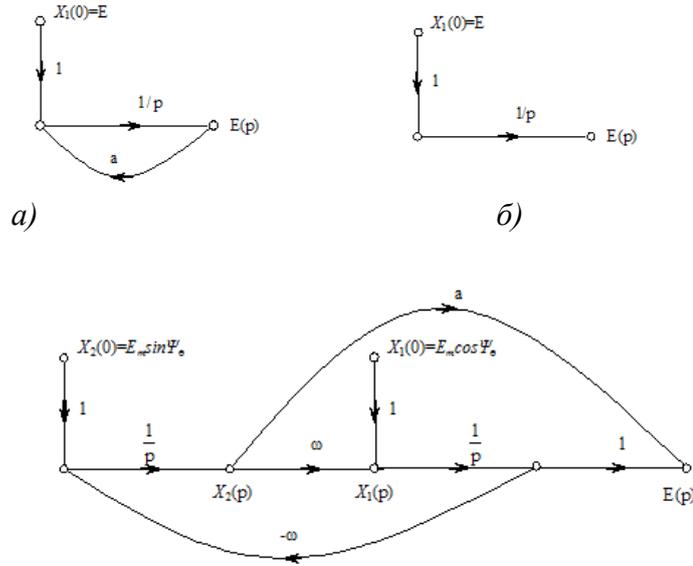


Рис.6. Графовые модели переменных состояния.

Приведём пример расчёта переходных процессов с помощью графов переменных состояния для схемы рис. 7а при $e(t) = E = 60$ в, $R_1 = 20$ ом, $R_2 = 40$ ом; $L = 0,2$ мГн, $C = 1$ мкФ, $R_3 = 40$ ом.

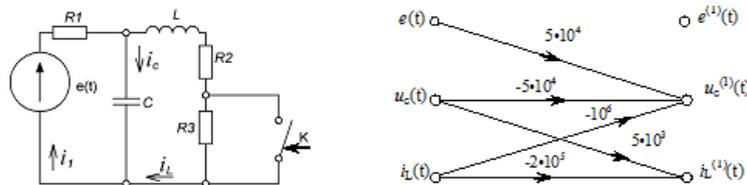
1) Выбрав в качестве переменных состояния напряжение на ёмкости u_C и ток в индуктивности i_L , определим начальные условия и запишем дифференциальные уравнения цепи в переходном режиме [3,4]:

$$\begin{aligned}
 i_{L\text{уст}}(0_-) = i_L(0) &= \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = 0,6 \text{ A;} \\
 u_{C\text{уст}}(0_-) = u_C(0) &= i_{L\text{уст}}(0)(R_2 + R_3) = 48 \text{ B}
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 i_1 - C \frac{du_C}{dt} - i_L &= 0 \\
 R_1 i_1 + u_C &= e \\
 R_1 i_1 + R_2 i_L + L \frac{di}{dt} &= e
 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

2) Решаем (13) относительно первых производных выбранных переменных состояния u_C и i_L и получаем:

$$\left. \begin{aligned}
 u_C^{(1)} = \frac{du_C}{dt} &= \frac{1}{R_1 C} u_C - \frac{1}{C} i_L + \frac{1}{R_1 C} e = 5 \cdot 10^4 u_C - 10^6 i_L + 5 \cdot 10^4 e \\
 i_L^{(1)} = \frac{di_L}{dt} &= \frac{1}{L} u_C - \frac{R_2}{L} i_L = 5 \cdot 10^3 u_C - 2 \cdot 10^5 i_L
 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$



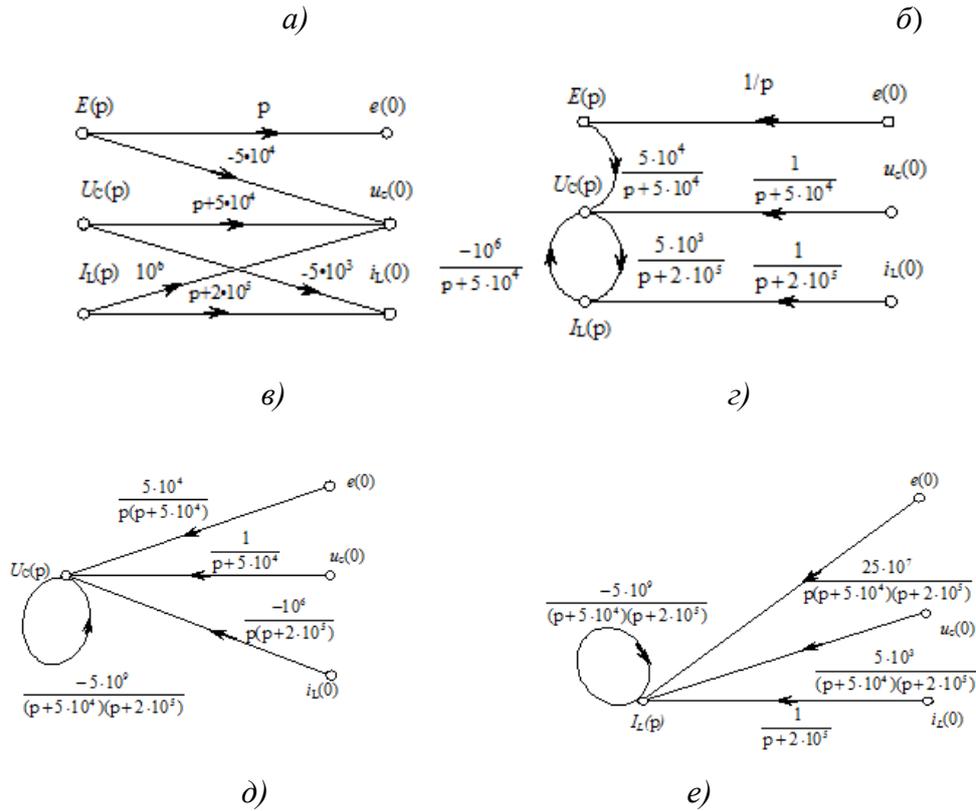


Рис. 7. Графы переменных состояния

3) Граф переменных состояния, соответствующий уравнениям (14), построен на рис. 7б, из рассмотрения которого находим основную матрицу цепи увеличенной размерности:

$$\bar{A}_Y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 5 \cdot 10^4 & -5 \cdot 10^4 & -10^6 \\ 0 & 5 \cdot 10^3 & -2 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

4) Используя выражение $[p\vec{J} - \bar{A}_Y]$, строим граф изображений переменных состояния (рис. 7в). Инвертируя ветви с передачами p , $(p+5 \cdot 10^4)$, $(p+2 \cdot 10^5)$ и исключив узлы $E(p)$ и $I_L(p)$, получим граф рис. 7д, из которого после исключения петли находим:

$$U_c(p) = \frac{5 \cdot 10^4 (p+2 \cdot 10^5)}{p(p+10^5)(p+1,5 \cdot 10^5)} e(0) + \frac{p+2 \cdot 10^5}{(p+10^5)(p+1,5 \cdot 10^5)} u_c(0) + \frac{-10^6}{(p+10^5)(p+1,5 \cdot 10^5)} i_L(0)$$

5) Аналогично из графа рис. 7е определяем изображение тока в ветви с индуктивностью:

$$I_L(p) = \frac{25 \cdot 10^7}{p(p+10^5)(p+1,5 \cdot 10^5)} e(0) + \frac{5 \cdot 10^3}{(p+10^5)(p+1,5 \cdot 10^5)} u_c(0) + \frac{5 \cdot 10^4}{(p+10^5)(p+1,5 \cdot 10^5)} i_L(0)$$

6) Переходя к оригиналам и учитывая, что $e(0) = E = 60$ В, $u_c(0) = 48$ В, $i_L(0) = 0,6$ А, получим выражения для искомых переменных:

$$u_c(t) = 40 + 24e^{-10^5 t} - 16e^{-1,5 \cdot 10^5 t} \text{ В,}$$

$$i_L(t) = 1 + 1,2e^{-10^5 t} - 1,6e^{-1,5 \cdot 10^5 t} \text{ А}$$

По работе можно сделать следующее заключение: метод графов переменных состояния является строгим и точным методом расчета переходных процессов в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами [5,6].

Сохраняя все достоинства метода пространства переменных состояния, указанный подход является более простым и наглядным, более эффективным в вычислительном отношении. Это становится особенно важным при расчёте цепей высокого порядка, т.к. аналитический метод определения матрицы перехода, необходимый для вывода уравнений состояния методом пространства параметров состояния, можно рекомендовать для цепей не выше третьего порядка. Если электрическая цепь описывается системой уравнений более высокого порядка, то определение матрицы перехода становится громоздким, и только для некоторых частных случаев задача решается сравнительно просто.

Кроме того, метод графов переменных состояния подтверждает известные выводы о том, что сигнальные графы являются эффективным средством, дающим возможность осуществления логичной последовательности действий при решении совместных линейных уравнений, описывающих состояние электрической цепи.

Литература

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. Учебник для вузов. Том 1. СПб.: Питер, 2003.-463 с.
2. Ту.Ю. Современная теория управления. -М.; Машиностроение, 1971. -300 с.
3. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G`. Elektrotexnikani nazariy asoslari. (birinchi kitob) TDTU, 2006 . -144 b.
4. Каримов А.С. Назарий электротехника. -Т.: □китувчи, 2003. -428 б.
5. Рашидов Й.Р., Абидов К.Ф., Колесников И.К. Электротехниканинг назарий асослари I, II, III қисмлар (Маъруза матинлари тўплами), Тошкент:ТошДТУ, 2002. -250 б.
6. Abidov Q.G`., Qadirova D.R. Chiziqli elektr zanjirlarida o`tkinchi jarayonlar bo`yicha hisob - grafik ishini bajarish yuzasidan uslubiy ko`rsatma. –Toshkent: ToshDTU, 2010. -36 b.

УДК 621.9.02.002

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

***Мухиддинов Зайниддин Носирович, доцент
Атаджанова Малика Зафар қизи, старший преподаватель***

*Ташкентский государственный технический университет им. И.Каримова, г.
Ташкент, Узбекистан*

АННОТАЦИЯ

Производственные предприятия на протяжении своей деятельности принимают множество решений технического и организационного характера,

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

призванных повысить эффективность производства и деятельности в целом, связанных с капитальными вложениями. Целесообразность внедрения таких решений должна проверяться как с технической, так и с экономической точки зрения. Значимость экономической оценки связана с тем, что даже самые прогрессивные технические решения могут оказаться невыгодными для конкретного предприятия с учетом его условий функционирования.

Ключевые слова: энергоэффективность, технологическое производство, машиностроительное производство, электропотребление

ANNOTATSIYA

Ishlab chiqarish korxonalari o'z faoliyati davomida ishlab chiqarish va umuman kapital qo'yilmalar bilan bog'liq operatsiyalar samaradorligini oshirishga qaratilgan ko'plab texnik va tashkiliy qarorlar qabul qiladilar. Bunday echimlarni amalga oshirishning maqsadga muvofiqligi ham texnik, ham iqtisodiy nuqtai nazardan tekshirilishi kerak. Iqtisodiy baholashning ahamiyati shundaki, hatto eng ilg'or texnik echimlar ham muayyan korxonaga uchun uning ish sharoitlarini hisobga olgan holda foydasiz bo'lib chiqishi mumkin.

Kalit so'zlar: energiya samaradorligi, texnologik ishlab chiqarish, mashinasozlik ishlab chiqarish, energiya iste'moli

ANNOTATION

Throughout their activities, manufacturing enterprises make many technical and organizational decisions designed to increase the efficiency of production and operations in general related to capital investments. The feasibility of implementing such solutions should be checked from both a technical and economic point of view. The significance of economic assessment is due to the fact that even the most advanced technical solutions may turn out to be unprofitable for a particular enterprise, taking into account its operating conditions.

Keywords: energy efficiency, technological production, mechanical engineering production, power consumption

Поскольку электрические двигатели являются ключевыми элементами, от которых зависят функциональные качества станков, то о них следует рассказать подробнее. В прежние времена машины оснащались, как правило, одним электродвигателем, который приводил в движение и заготовку, и инструмент.

Для того чтобы с помощью одного мотора можно было решать все задачи, станок оснащался сложными механическими приводами – ременными или зубчатыми. То есть электродвигатель работал всё время в одном и том же режиме, а энергия для движения заготовок и инструмента отбиралась от него с помощью приводных устройств – в зависимости от конкретных потребностей. Такая схема сильно усложняла технику и увеличивала энергозатраты.

Сегодня станкостроители используют другие принципы. Теперь машины оснащаются таким количеством двигателей, которое требуется для обеспечения нормальной работы. Современные станки комплектуются несколькими электромоторами, каждый из которых выполняет свои узкие функции, в числе которых следующие.

1. Вращение и подача заготовок.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2. Вращение и перемещение инструмента.
3. Манипуляции измерительными приборами.
4. Движение транспортёрной ленты системы удаления отходов.

Использование дискретных электродвигателей позволило отказаться от громоздких приводов, что упростило эксплуатацию металлообрабатывающих станков в целом. Плюс к этому, современные малогабаритные электромоторы потребляют незначительное количество электрической энергии, что позитивно сказывается на прибыльности предприятий.

При разработке норм электропотребления используют три основных подхода: опытный, расчетно-аналитический и статистический.

Опытный способ требует замеров расходов электроэнергии на каждую операцию в заданных режимах технологического процесса, предусмотренного регламентом. Суммированием полученных пооперационных расходов определяют расход электроэнергии на единицу продукции.

Такой подход требует применения большого числа измерительных приборов и значительных трудозатрат. Для получения достоверных результатов по каждой операции необходимо провести большое число измерений и статистическую обработку результатов, а также сопоставить получаемые данные с расходами по участку, цеху, производству. Поэтому данный способ применим, главным образом, для определения индивидуальных норм в условиях конкретного производства.

Расчетно-аналитический способ предполагает определение норм расхода электроэнергии расчетным путем — по паспортным данным технологического оборудования с учетом степени его загрузки, режимов работы и других факторов. Для общепроизводственных норм следует учесть также мощность и режимы работы всего вспомогательного оборудования (вентиляции, водопровода и канализации, электроосвещения, ремонтных нужд и т.д.).

Режимы работы электроприемников учитывают с помощью различных коэффициентов (включения, загрузки и др.), эмпирический выбор и случайный характер которых приводят к значительным погрешностям. Поэлементный расчет множества составляющих энергозатрат делает метод чрезвычайно трудоемким.

Статистический способ нормирования основан на статистической обработке данных по общим и удельным расходам за ряд временных отрезков и выявлении факторов, влияющих на их изменение. Расчеты ведутся по показаниям приборов учета электроэнергии и данным по выпуску продукции. Этот способ наименее трудоемок, надежен и получил широкое распространение в практике нормирования электропотребления. Рассмотрим практические приемы его применения.

Удельные расходы электроэнергии рассчитывают по выделенному объекту — производственному участку, цеху или отдельному энергоемкому агрегату, имеющему "собственный" счетчик на вводе. Организация учета электроэнергии является обязательным условием эффективного нормирования.

Система технического учета электроэнергии часто не совпадает с административным делением предприятия, что обусловлено сложностью и разветвленностью систем электроснабжения. Поэтому при назначении административных единиц, осуществляющих нормирование, следует соотносить их с узлами учета.

Для контролируемого объекта выделяют основные виды продукции, объем выпуска которых можно подсчитать за смену, сутки или за один цикл работы

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

оборудования. Соответственно показания счетчиков электроэнергии снимают посменно, посуточно или за каждый цикл работы.

Для расчета характерных показателей нужен подготовительный этап сбора статистических данных — не менее 50 периодов. В табл. 1 показан примерный вид представления исходных данных. По окончании каждого временного интервала записывают общее электропотребление объекта (по счетчику) и выпуск продукции. В последнюю колонку вносят значения удельных расходов электроэнергии, полученные по формуле $w=W/M$, где W — фактический расход электроэнергии на выпуск продукции в количестве M (количество может измеряться в различных единицах).

Табл. 1.

Номер периода	Общее электропотребление W , кВт·ч	Выпуск продукции M , т	Удельный расход электроэнергии w , кВт·ч/т
1	50 985	82,5	618
2	53 703	91,8	585
...
50	48 752	84,2	579

Фактические удельные расходы электроэнергии за разные периоды времени неодинаковы, что обусловлено различной нагрузкой выделенного объекта, режимами работы, составом сырья и другими факторами. Если все эти условия совпадают, то значения удельных расходов близки за разные периоды, их распределение должно быть нормальным (гауссовым). В этом случае можно получить среднее значение расхода электроэнергии за ряд периодов и использовать его как нормативное.

Следует отметить, что распределение экспериментальных данных является нормальным (гауссовым) только в случае одинаковых условий протекания технологического процесса и одинаковых параметров выпускаемой продукции. Достаточно часто данные не соответствуют нормальному распределению, что обусловлено двумя факторами.

Во-первых, может иметь место изменение параметров выпускаемой продукции, сырья или режимов работы оборудования. Например, марка стали и профиль прокатанного металла оказывают большое влияние на расход электроэнергии (прокатка арматуры определяет удельный расход электроэнергии 180 кВт·ч, нержавеющей стали такого же диаметра — 540 кВт·ч). В этих случаях наблюдение должно быть организовано таким образом, чтобы получить требуемое количество измерений по однородной продукции.

Во-вторых, нарушение нормального распределения объясняется техноценологическими свойствами, которые в данном случае проявляются отступлениями от технологии, браком, непопаданием в марку (например, объем плавки существенно меньше номинального). Именно эти случаи должен выявлять ответственный технолог и принимать меры. Отклонение распределения от нормального задает некоторую область, которая определяет возможные объемы энергосбережения организационными мерами.

Для получения обоснованных норм необходимо проверить соответствие статистического закона распределения удельных расходов электроэнергии нормальному (гауссову) распределению. Можно использовать проверку по критерию χ^2 . Если полученное значение критерия превышает теоретическое, гипотезу о соответствии статистического распределения нормальному следует отвергнуть.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Это означает, что по полученным данным нельзя выработать **единую норму расхода электроэнергии на единицу продукции**, то следует разделить их по характерным технологическим режимам, рассчитывая для каждого нормы электропотребления, или определить статистическую зависимость удельного расхода от влияющих факторов $w = f(x_1, x_2, x_3)$, где в качестве факторов x_1, x_2, x_3 могут выступать объемы выпуска продукции, температура, скорость обработки и др.

Если проверка подтверждает, что распределение удельных расходов близко к нормальному, на основе этих данных может быть определена норма расхода электроэнергии. Для мониторинга наиболее удобно установить диапазон, в котором должен находиться удельный расход электроэнергии.

Наиболее просто диапазон устанавливают по значениям среднего расхода и среднеквадратичного отклонения σ . Упрощенно нижняя граница диапазона может быть принята равной $w_{\min} = w_{\text{ср}} - 1,5\sigma$, а верхняя - $w_{\max} = w_{\text{ср}} + 1,5\sigma$. Как правило, за заданный диапазон выходят 10 - 20 % удельных расходов электроэнергии, получаемых в реальных условиях производства, что обусловлено ошибками работников, нарушениями режима, отклонением качества продукции и др. Технологический персонал должен обращать внимание на такие случаи и принимать меры.

Например, опытным способом определяли технологическую норму для прокатного производства в зависимости от температуры металла, скорости прокатки, калибровки, трения в подшипниках, технологических потерь и др. Такой же подход применили при нормировании электропотребления металлорежущих станков, где для каждой обрабатываемой детали нашли полезную работу с учетом скорости резания и времени обработки. Однако эти результаты нельзя перенести на все металлорежущие станки даже в пределах одного завода, поскольку на практике видов обрабатываемых деталей и режимов обработки — множество.

Кроме того, как использовать эти нормы, полученные для каждой обрабатываемой детали? Поставить возле станка счетчик электроэнергии и сопоставлять расход по каждой детали с нормативом невозможно. Суммирование же нормативов с учетом количества и ассортимента выпущенных деталей даст большую погрешность из-за невозможности учета всех действующих факторов.

Также и расчетно-аналитическим методом невозможно перейти от данных по номинальной мощности отдельных электроприемников с учетом всех возможных технологических режимов, видов продукции, качества сырья к расходам электроэнергии для цеха или предприятия за месяц, квартал, год.

Столь существенный разброс объясняется различием технологических, организационных, социальных факторов для каждого производства, и ясно, что среднеотраслевая норма не может быть распространена на все предприятия. В то же время нельзя считать, что предприятие работает неэффективно, если оно превышает среднеотраслевые значения.

Снижение производства, неполная и нестабильная загрузка оборудования приводят к увеличению удельных расходов, что еще более усилит разрыв в данных. Поэтому в современных условиях среднеотраслевые нормы расхода электроэнергии нельзя применять ни для прогнозирования электропотребления, ни для оценки энергосбережения.

Литература

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. *Мироненко, Е. В.* Оптимизация режимов резания при обработке на тяжелых токарных станках с учетом энергозатрат / *Е. В. Мироненко, В. С. Гузенко, Л. В. Васильева, О. Е. Мироненко* // Вюник Национального технического университета «Харгавский политехнический институт». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технологи в машинобудуванні. Харюв: НТУ «ХПІ». -2010.-№ 40.- С. 62-70.
2. *Старков, В. К.* Физика и оптимизация резания материалов / *В. К. Старков.* - М.: Машиностроение, 2009. - 640 с. - ISBN 978-5-94275-460-0.
3. *Мироненко, Е. В.* Научные основы создания систем агрегатно-модульных инструментов для тяжелых токарных станков: дис. ...д-ра техн. наук: 05.03.01. / *Е. В. Мироненко*; Донбасская гос. машиностроительная академия. - Краматорск, 2003. - 417 с.
4. *Васильченко, Я. В.* Разработка технологических систем для обработки крупногабаритных деталей на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков / *Я. В. Васильченко, Т. А. Сукова, М. В. Шаповалов* // Вюник СевНТУ. Зб. наук. пр. Серія : Машиноприладобудування та транспорт. Севастополь: СевНТУ. - 2013. - Вип. 139. - С. 28-32.

УДК 620.92

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВА ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ
И ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Бобоев Алимардон Абдуманнонович

ТТУ имени академика М.С. Осими, город Душанбе, Республика Таджикистан

Аннотация. В данной статье рассматривается генерация, производство и потребление электроэнергии в Республики Таджикистан, а также динамика роста производства и потребления электроэнергии по отраслям. Произведен анализ показатели энергетической системы Республики Таджикистан в 2023 году.

Ключевые слова: Возобновляемые источники энергии, производства, потребление, экспорт электроэнергии.

Таджикистан считается горная страна. Страна граничит с Афганистаном, Китаем, Кыргызстаном и Узбекистаном. В начале 2020 года численность население страны достигло более 9,3 млн человек, с среднегодовым приростом население около 2% 2,2%. Объем валового внутреннего продукта республики в 2020 год составил 82,5 млрд. сомони, а его реальный рост обеспечено на уровне 4,5 За последние 20 лет уровень бедности в стране снизился с 83% в 2000 году до 26,3% в 2020-м. Таджикистан обладает крупными гидроэнергетическими ресурсами. Особое место в этом контексте занимает гидроэнергетика. Технически возможные и экономически целесообразные к освоению гидроэнергоресурсы Таджикистана составляют 317 млрд. кВт·ч в год, из которых пока освоены около 5%. При этом страна обладает 4% всего мирового гидроэнергетического потенциала. По удельным показателям гидроэнергетического потенциала на один квадратный километр территории и на душу населения Таджикистан занимает, соответственно, первое и второе места в мире. По использованию ресурсов производства «зеленой энергии» занимает шестое место в мире. В Национальном докладе о ходе реализации стратегических документов страны в контексте Целей Устойчивого Развития отмечается, что гидроэнергетика должна рассматриваться не только как

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

основа достижения энергетической безопасности, обеспечения экологической устойчивости, но и как предпосылка достижения «зеленого» роста. Таджикистан уникальная горная страна, граничащая с Афганистаном, Китаем, Кыргызстаном и Узбекистаном. Население страны насчитывает более 10,5 миллиона жителей, и каждый год эта цифра увеличивается на 2-2, 2%. Валовой внутренний продукт в 2020 году составил 82, 5 миллиарда сомони, а его рост составил 4, 5%. За последние двадцать лет уровень бедности в стране снизился с 83% в 2000 году до 26, 3% в 2020 году. Таджикистан обладает значительными гидроэнергетическими ресурсами, а гидроэнергетика играет особую роль в этом контексте. На данный момент только около 5% от потенциала гидроэнергии Таджикистана было освоено, что составляет примерно 317 миллиардов кВтч в год. Это примерно 4% от всех гидроэнергетических ресурсов в мире. Таджикистан занимает первое место в мире по удельным показателям гидроэнергетического потенциала на один квадратный километр и второе место по показателям на душу населения. Кроме того, страна занимает шестое место в мире по использованию "зеленой энергии". Гидроэнергетика не только обеспечивает энергетическую безопасность и экологическую устойчивость, но и служит основой для достижения "зеленого" роста, как отмечается в Национальном докладе о ходе реализации стратегических документов страны в контексте Целей Устойчивого Развития. Энергосистема Таджикистана включает в себя западную и восточную (Памирскую) энергосистемы, которые работают изолированно. Управление электроэнергией осуществляется ОАХК "Барки Точик", государственной компанией. На данный момент энергосистема ГБАО работает изолированно и не связана с основной системой Таджикистана. "Памир Энерджи" управляет одиннадцатью маленькими и мини-гидроэлектростанциями общей мощностью 44, 16 МВт. Главным потребителем электроэнергии в стране является сектор коммунального хозяйства и население, которые потребляют около 42% всей электроэнергии. Промышленная сфера занимает вторую позицию в потреблении с долей около 24,4%, а сельское хозяйство занимает третье место с долей 16%. В 2023 году выработка электроэнергии в Таджикистане составила 21, 6 миллиарда кВтч, что на 453 миллиона больше, чем в 2022 году. При этом Таджикистан экспортировал 2, 6 миллиарда кВтч электроэнергии, в основном в Афганистан, Узбекистан и Казахстан.

Генерация. Система энергетики Республики Таджикистана имеет две части, которые работают независимо друг от друга: западную и восточную (Памирскую) энергосистемы. Открытая Акционерная Холдинговая Компания ОАХК «Барки Точик» управляет сектором электроэнергии и является владельцем государственного имущества. Компания управляет электростанциями и электрическими сетями, обеспечивая производство, транспортировку и распределение электроэнергии по всей стране, за исключением одной автономной области. С начала декабря 2002 года энергоснабжение в ГБАО было передано из рук компании "Барки Точик" в частную компанию "Памир Энерджи" на основе долгосрочного Концессионного соглашения. В данный момент система электроснабжения ГБАО функционирует автономно и не подключена к основной энергосистеме. Компания «Памир Энерджи», управляет одиннадцатью малыми и мини ГЭС, общей установленной мощностью 44,16 МВт и ЛЭП 35/10/0,4 кВ общей протяженностью 2609 км. Установленная мощность энергосистемы Республики Таджикистан в 3 квартале 2023 года составила 6436,47МВт, причем на долю гидроэлектростанций приходится 88,84% (5718,47 МВт) всей установленной мощности, тепловых станций всего 718 МВт, то есть около 11,16%.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Производство. В 3 квартале 2023 года энергосистемой Республики Таджикистан произведено 6336 млн. кВт*ч электроэнергии, где выработка ГЭС мощностью более 25 МВт составила 6311 млн. кВт*ч (99,6 выработка ГЭС мощностью менее 25 МВт 23 млн. кВт*ч (0,36 выработка ТЭС 2,4 млн. кВт*ч (0,038%). Следует отметить, что более 95% электроэнергии, вырабатываемой в Таджикистане, получают на гидроэлектростанциях, в том числе 94% на крупных и средних. Вырабатываемая на ГЭС электроэнергия имеет сезонный характер и зависит от стока воды в реках. Самый низкий уровень выработки электроэнергии наблюдается в осенне-зимний период (с октября по апрель/май), в то время как спрос на электроэнергию в это время самый высокий. В то же время, в летний период подача электроэнергии наиболее надежная, т.к. в это время года имеется избыток электроэнергии в объеме 3-7 млрд. кВт·ч.

Потребление. В третьем квартале 2023 года потребление электроэнергии достигло 4725 миллионов кВт.ч. В связи с увеличением численности населения в Республике Таджикистан, последние данные о потреблении электроэнергии в разных сферах экономики показали, что основные потребители электроэнергии в этой стране - это коммунальные хозяйства и населенные пункты, которые составляют примерно 43% всей потребленной энергии. Промышленные предприятия по объему потребления электроэнергии занимают второе место, потребляя 24% электроэнергии. В сельском хозяйстве на третьем месте находится сельское хозяйство, которое обеспечивает 16% общего потребления [3].



Рис.1 Структура потребления электроэнергии в Республики Таджикистан в 2022 году.

Источник: Составлено автором на основе данных ОАХК «Барки Точик»

С увеличением объема выработки электроэнергии и численность населения, естественно, возрастает ее внутреннее потребление. В 2023-м выработка электроэнергии на электростанциях Республики Таджикистана составила 21,6 млрд кВт·ч, что примерно на 453 млн больше, чем в 2022-м. Из этого почти 16,5 млрд кВт·ч принадлежат "Барки точик", а более 1,2 млрд кВт·ч приходится на долю электроэнергетических и теплоцентралов. По данным "Барки точик", в 2023 году Таджикистан экспортировал 2,6 млрд кВт·ч электроэнергии, в том числе в Афганистан (1,6 млрд), Узбекистан (907,5 млн) и Казахстан (144,6 млн), что на 124,2 млн кВт·ч больше, чем в 2022-м [2].

Литература

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Проект программы Европейского Союза SWITCH Asia II «Содействие энергоэффективности и производству возобновляемой энергии в секторе туризма на уровне сообществ в Центральной Азии». Отчёт о результатах анализа состояния энергетического сектора, производства энергии из ВИЭ в секторе туризма на уровне сообществ в Республике Таджикистан.
2. Электронный ресурс: <https://tj.sputniknews.ru/>. Дата обращения 11.04.2024г.
3. Бобоев А.А. Роль тарифного регулирования в энергосбережении. Бобоев А.А. // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2023. №2. Стр. 47-50.

**МЕТОДИКА ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ИНДУКЦИОННЫХ КАНАЛЬНЫХ
ПЕЧЕЙ ЁМКОСТЬЮ 3 ТОННЫ
АО УЗМЕТКОМБИНАТ**

Пулатов А.А., Сапаев Х.Б., Маткурбанов П.С

*Ташкентский государственный технический университет им. И.Каримова, г.
Ташкент, Узбекистан*

В статье рассматривается тепловой расчет индукционных канальных печей на основе ступенчатой теории нагрева. При этом индукционная печь рассматривается как система состоящая из трёх взаимосвязанных в тепловом отношении тел с внутренним источником тепла.

**АЖ УЗМЕТКОМБИНАТДАГИ СИҒИМИ 3 ТОННАЛИ ИНДУКЦИОН
КАНАЛ ПЕЧЛАРИ ИССИҚЛИК ЖАРАЁНЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ
УСЛУБИ**

Мақолада индукцион канал печларининг иссиқлик ҳисоби босқичли қизиш назарияси асосида амалга оширилган. Бунда канал печларни ички иссиқлик манбаларига эга бўлган ва ўзаро иссиқлик бўйича боғланган учта иссиқлик жисмлари тизими сифатида қаралган.

**METHODOLOGY FOR THERMAL CALCULATION OF INDUCTION
CHANNEL FURNACES WITH A CAPACITY OF 3 TONS JSC
"UZMETKOMBINAT"**

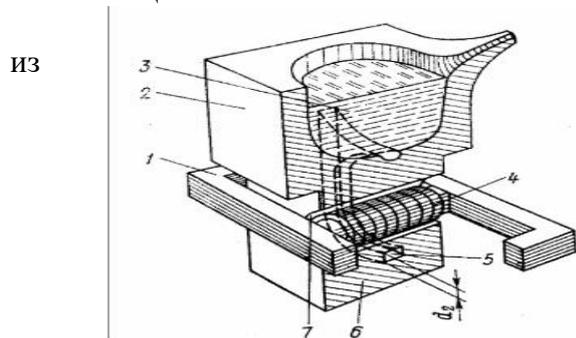
Melting process in terms of heat balance equation and heat circuit subject to electrical and heat parameters changing is discussed in this article.

Бекабадском меткомбинате индукционные канальные печи в основном используются для плавки цветных металлов (медь и сплавы на медной основе – латуни, бронзы, алюминий и их сплавы), а также в качестве миксеров для тех же металлов.

Наличие в индукционных канальных печах электродинамического и теплового движения расплавленного металла или сплава обеспечивает однородность химического состава и равномерность температуры расплавленного металла или сплава в ванне печи. Индукционные канальные печи рекомендуется использовать в

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

тех случаях, когда к выплавляемому металлу и полученным из него отливкам предъявляются высокие требования, в частности, по минимальным газонасыщенности и неметаллическим включениям.



Конструктивно печь состоит (рис. 1) футерованной ванны 2, в которой помещается почти вся масса расплавляемого металла 3, и находящейся под ванной индукционной единицы. Ванна сообщается с плавильным каналом 5, также заполненным расплавом. Расплав в канале и прилегающем участке ванны образует замкнутое

проводящее кольцо. Система индуктор – магнитопровод называется печным трансформатором.

Рис.1 Общий вид индукционно канальной печи.

Футеровка, образующая плавильный канал, называется подовым камнем 6. Подовый камень представляет собой огнеупорный массив с цилиндрическим проемом 7, в который вставляется индуктор 4, навитый на стержень замкнутого магнитопровода 1.

К основным достоинствам индукционных канальных печей можно отнести:

1. Минимальный угар (окисление) и испарение металла, так как нагрев происходит снизу. К наиболее нагретой части расплава, находящейся в каналах, нет доступа воздуха, а поверхность металла в ванне имеет сравнительно низкую температуру.
2. Малый расход энергии на расплавление, перегрев и выдержку металла. Канальная печь имеет высокий электрический КПД благодаря использованию замкнутого магнитопровода. В то же время высок и тепловой КПД печи, так как основная масса расплава находится в ванне, имеющей толстую теплоизолирующую футеровку.

Автоматическое управление процессом расплавления металлов с реализацией энергосберегающих режимов работы в электротермических установках, является актуальной задачей для данной отрасли промышленности [1]. Для получения высококачественных металлов в машиностроительных предприятиях широко используются индукционные канальные печи.

Принцип индукционного нагрева и плавки заключается в преобразовании энергии электромагнитного поля, поглощаемой электропроводным нагреваемым объектом в тепловую энергию. Индукционная канальная печь состоит из следующих конструктивных частей: магнитопровода, индуктора и канала (рис. 1). Принцип работы ее аналогичен принципу работы трансформатора. Индуктор представляет первичную обмотку трансформатора, а вплавленный металл в канале вторичную короткозамкнутую обмотку.

Исследование плавки металла в индукционной канальной печи осуществляется на основе теории индукционного нагрева уравнениями теплового баланса и тепловой схемы с учетом изменения электрических и тепловых параметров, в соответствии с законом управления канальной печью. Исследование теплового состояния процесса плавки в канальной печи осуществляется с учетом следующих положений и допущений: печь считаем симметричной и ванну как конструктивный элемент не будем учитывать; распределенные электрические и тепловые параметры канальной

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

печи заменяем на эквивалентные сосредоточенные; изменение тепловых и электрических параметров в зависимости от температуры заранее учтены. [2].

С учетом принятых допущений, индукционная канальная печь по тепловому отношению можно представить как тепловая система, состоящая из следующих тепловых тел: 1 – индуктор, 2 – магнитопровод, 3 – вставляемый металл, с соответствующими тепловыми проводимостями между ними (рис.2).

Методика определения число тепловых тел и соответствующих тепловых проводимостей между ними эквивалентной тепловой схемы (ЭТС) индукционной канальной печи и составления к ней системы уравнений теплового баланса для установившегося и неустойчивого режимов нагрева основываются на физические процессы расплавления металлов в индукционных печах [3].

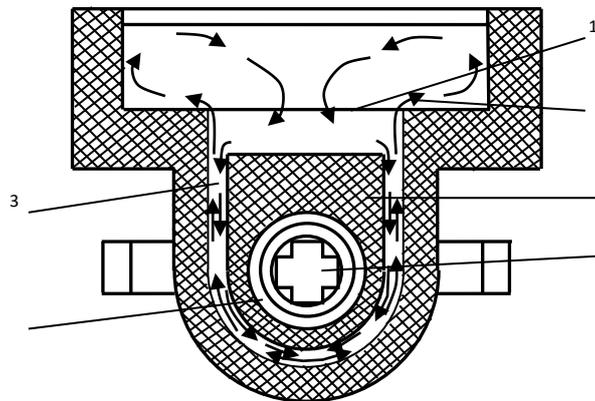


Рис. 2. Основные конструктивные элементы индукционной канальной печи:
1 – нижняя часть ванны; 2 – ванна; 3 – канал; 4 – магнитопровод; 5 – индуктор;
6 – жаропрочный керамический блок

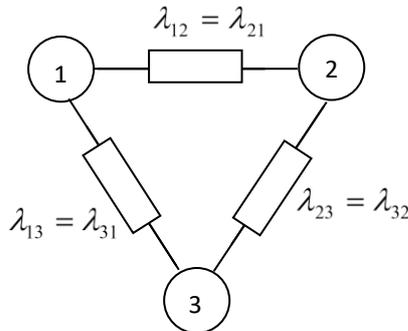


Рис. 3. Эквивалентная тепловая схема индукционной канальной печи
Составим систему дифференциальных уравнений теплового баланса, соответствующего эквивалентной тепловой схеме индукционной канальной печи, описывающую нестационарные процессы плавки металла, состоящих из трех взаимосвязанных в тепловом отношении тел с внутренними источниками тепла (рис.2).

$$\left. \begin{aligned} C_1 \frac{d\theta_1}{dt} + \lambda_{11}\theta_1 - \lambda_{12}\theta_2 - \lambda_{13}\theta_3 &= P_1 \\ C_2 \frac{d\theta_2}{dt} - \lambda_{21}\theta_1 + \lambda_{22}\theta_2 - \lambda_{23}\theta_3 &= P_2 \\ C_3 \frac{d\theta_3}{dt} - \lambda_{31}\theta_1 - \lambda_{32}\theta_2 + \lambda_{33}\theta_3 &= P_3 \end{aligned} \right\} (1)$$

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

где $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – средние превышения температуры индуктора, магнитопровода и плавящего металла индукционной канальной печи соответственно; C_1, C_2, C_3 – тепловые емкости, соответствующих рассматриваемых тепловых тел; P_1 – потери мощности в индукторе; P_2 – потери в магнитопроводе; P_3 – активная мощность, идущая на нагрев металла; $\lambda_{11} = \lambda_{12} + \lambda_{13}, \lambda_{22} = \lambda_{21} + \lambda_{23}, \lambda_{33} = \lambda_{31} + \lambda_{32}$ – суммарные тепловые проводимости соответствующих рассматриваемых тепловых тел; $\lambda_{12} = \lambda_{21}$ – тепловая проводимость между индуктором и магнитопроводом; $\lambda_{23} = \lambda_{32}$ – тепловая проводимость между магнитопроводом и расплавляемым металлом; $\lambda_{13} = \lambda_{31}$ – тепловая проводимость между индуктором и расплавляемым металлом [4].

Для решения системы уравнений можно применить численный метод Рунге – Кутты четвертого порядка, который дает более достаточно точные результаты.

Для построения вычислительных схем методов Рунге–Кутты четвертого порядка в Тейлоровском разложении искомого решения $\theta_i(t)$ учитываются члены, содержащие степени шага h до четвертой включительно. После аппроксимации производных правой части системы обыкновенного дифференциального уравнения (СОДУ) $f(t, \theta_i)$ получено семейство схем Рунге–Кутты третьего порядка, из которых наиболее используемой в вычислительной практике является следующая:

$$\theta_i(t_0 + h) = \theta_{i0} + (K_{1i} + 2K_{2i} + K_{3i}) + \theta(h^5), \quad (2)$$

где $K_{1i} = hf(t_0, \theta_{i0}), K_{2i} = hf(t_0 + h/2; \theta_{i0} + K_{1i/2}), K_{3i} = hf(t_0 + h/2; \theta_{i0} + K_{2i/2})$.

Для СОДУ записанных в форме Коши. Для удобства программной реализации, особенно в случае систем ОДУ формулы (2) рекомендуется преобразовать к виду:

$$\left. \begin{aligned} \theta_i(t_0 + h) &= \theta_{i0} + (q_{i1} + 2q_{i2} + q_{i3})/3 \\ \text{где } q_{i1} &= h_2 f_1(t_0, \theta_{i0}), h = h/2 \\ q_{i2} &= h_2 f_1(t_0 + h_2, \theta_{i0} + q_{i1}), \\ q_{i3} &= h f_1(t_0 + h_2, \theta_{i0} + q_{i2}). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$i=1, 2, 3$ – номер уравнения в СОДУ из n уравнений.

Для реализации алгоритма решения задачи составлена программа на языке ПАСКАЛЬ (рис. 3).

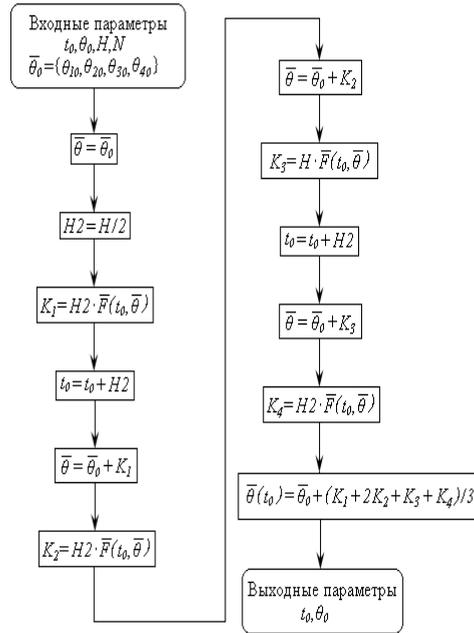


Рис.4. Программа расчета тепловых процессов канальных печей.

Таким образом, разработанная методика расчета тепловых процессов индукционных канальных печей позволяет определить температуру расплавляемого металла и основных конструкций печи, как в стационарном, так в нестационарном тепловых режимах. Это способствует автоматизации и компьютеризации процесса управления всеми режимами работы индукционной канальной печи. [5,6].

Литература:

1. Блинов Ю.И. Современные энергосберегающие электротехнологии. Санкт-Петербург. 2000 г.
2. Khashimov A.A., Imomnazarov A.T., Pulatov A.O. Mathematical model of metal melting processes in crucible furnaces. International Symposium on Helting by Electrotermic Sources, Padua (Italy), June 22–25, 2004.
3. A.A. Pulatov, B.M. Mamadaliyev, H.A. Mo'minov. Application of equivalent thermal circuits for calculation of thermal processes of induction crucible furnaces with a capacity of up to 1000 kg.
4. Web of Conferences Volume 289 (2021) International Conference of Young Scientists “Energy Systems Research 2021” Irkutsk, Russia, May 25-28, 2021
5. A.A. Pulatov, J.B. Bekmuradov, O.O. Zaripov. Features of using linear graphs in developing mathematical model of metal melting process in induction crucible furnace. E3S Web of Conferences Volume 289 (2021) International Conference of Young Scientists “Energy Systems Research 2021” Irkutsk, Russia, May 25-28, 2021.
6. Pulatov A.A., Shaimiev M.F., Mirsaidov U.M. Automation of production mechanisms using energy-efficient asynchronous electric drives based on intelligent converter technology. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2388(1), 012127

УДК 62

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ
ЭЛЕКТРОВЗОВ СЕРИИ «ЎЗБЕКИСТОН»**

*Бердиев У.Т., к.т.н., профессор, Сайдуллаев С.- соискатель
Ташкентский Государственный транспортный университет*

Аннотация. На статья рассмотрены разработка технологии ремонта вакуумных выключателей используемых в электроподвижном состава. Определении условия повышения работоспособность и безотказной работы вакуумного выключателя для безопасной движение электроподвижного состава. Изучены элементы вакуумного выключателя и выхода из строй, а также пути их устранения.

Ключевое слова: Вакуумный выключатель, технология, высоковольтная цепь, изолятор, расход воздуха, клапан регулирования, износ контакта, электропневматическая трубка, воздушной.

При создании подвижного состава нового поколения, а также для безопасной эксплуатации существующего одной из первоочередных задач является обеспечение прочной и надежной конструкции вакуумного выключателя электровозов с целью продления срока эксплуатации [1, 3].

По данным локомотивной службы АЖ “Ўзбекистон темир йўллари” установлено, что в целом отказы вакуумного выключателя электровозов распределяются следующим образом: наиболее часто отказывают вакуумные клапаны и воздухопроводы, электродвигатели компрессоров (соответственно 10 и 15% всех отказов) [2, 7].

Поэтому, повышения надежности работы имеющихся в эксплуатации электровозов путем модернизации отдельных конструктивных узлов при капитальном ремонте с продлением срока полезного использования, являются актуальными. Конкретно, решение главной ключевой задачи: «дальнейшее ускоренное проведение модернизации, технического и технологического перевооружения предприятий, широкое внедрение современных гибких технологий» [4, 6].

Ресурс надежности, заложенный в конструкции локомотива при проектировании и постройке, постепенно расходуется, и при его значении ниже определенного уровня может произойти порча (отказ) локомотива, что может стать причиной аварии, чаще - нарушения графика движения поездов, перерасхода топлива или электроэнергии, останова на железнодорожном участке и т. п..

Для предупреждения этих недопустимых явлений создана и функционирует система технического обслуживания (ТО) и текущих ремонтов (ТР). Система ТО и ТР включает комплекс работ для поддержания и восстановления исправности или только работоспособности вакуумного выключателя ВВАС. N99 для электровозов серии «Ўзбекистон» [2, 4, 6].

На данным таблицами приведены принципы обработки отказа и замены а также классы ремонта вакуумного выключателя электровозов серии «Ўзбекистон».

Класс ремонта

Класс ремонта	Описание	Пробег(km)	Интервал (для справки)
	Текущий контроль		Вход в депо и выход из депо электровоза
VI	Визуальный контроль	6000	2 недели
I1	Проверка класса 1	25000~45000	2-3 месяца
I2	Проверка класса 2	110000~1350000	9-11 месяцев
I3	Проверка класса 3	450000~5250000	3-3.5 года
R1	Корректировка класса 1	90000~105000	6~7 года
R2	Корректировка класса 2	1800000~2100000	12~14 лет
R3	Корректировка класса 3	2700000~3150000	18~21 лет
UM		Внеплановый ремонт	

Трудозатрата на ремонт приведен в таблице 2.

Место проверки	Требование к крутящему моменту затяжки
Соединительная часть высокого напряжения	67 N.m
Соединительная часть заземления	50 N.m
Стопорные болты выключателя	67 N.m
Стопорные болты пневматического соединения	30N.m

Высоковольтная цепь на вершине электровоза оснащена вакуумной переключательной лампой, которая отключает дугу переменного тока [4, 6, 7]. Гасительная камера разъединяется от атмосферы с помощью уплотнения. Два главных контактов помещаются в вакуумной переключательной лампе. Один из контактов представляет собой неподвижной, а другой - подвижной. Управление контактом осуществлено вместе спущия электропневматического механического устройства и направляющего аппарата в процессе включения.

Поддерживающий изолятор, установленный на опорной плите, представляет изоляцию. Изолированная направляющая тяга соединяет электропневматическое механическое устройство с подвижным контактом через оси изолятора [4, 7, 8].

О-образное уплотняющее кольцо приложено вплотную к верхней плите, чтобы обеспечить герметичность выключателя ВВАС и крыши кузова локомотива.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Электропневматическое механическое устройство поставлено на опорной плите внутри электровоза, и предназначено для управления подвижным контактом.

Включающее устройство имеет воздух трубки, и представляет необходимое давление в процессе быстрого включения подвижного контакта. Такая электропневматическая трубка включает в себе установленный в цилиндре клапан регулирования давления, который предназначен для поддержания постоянного давления воздуха. Переключатель давления контролирует минимальное давление включения выключателя. Электромагнитный клапан управляет количеством расхода воздуха в цилиндре [1, 5]. Давление сжатого воздуха переводится на механическое усилие путём управления цилиндром механического устройства. Путём использования количества расхода воздуха в клапане регулирования давления обеспечивают подходящую скорость включения. При этом количество расхода воздуха определяется скоростью движения приводной системы [2, 5].

Состояние включения главного выключателя обеспечено держашей катушкой. После того, как электромагнитный клапан получает электричество, допускается опускание воздуха высокого давления из прессующего цилиндра. Такая система может быстрое расцепление и отключение выключателя.

Когда прерыватель отключается током держашей катушки (у источника электропитания нет электричества), прерыватель выключается, и быстрое расцепление осуществляется путём восстановления контактного давления пружин [3, 6]. С помощью этой системы обеспечивают отключение главного выключателя при прекращении питания током и сжатым воздухом.

Для ограничения колебания расцепляющего устройства при окончании хода необходимо осуществить поглощение силы удара путём сжатия воздуха.

На рисунок 1., приведена сравнение характеристики вакуумного и воздушного отключения. Из этих характеристик видно, что, поскольку вакуум обладает отличной изолированностью, расстояние между ток несущими контактами может быть спроектировано малым [7, 8]. При следующей нулевой точки переменного тока легко отключить дугу переменного тока. За время, продолжительностью в миллисекунду, изоляция между контактами вскоре восстановлена, и не будет иметь место повторное зажигание электродуги. Это равняется тому, что насильно добавить одну комбинированную притягательную силу, чтобы электродуга сможет воротиться вокруг оси контакта. Поскольку такого действия горячее пятого электродуги уменьшается, и тем самым обеспечено минимизация износа контакта.

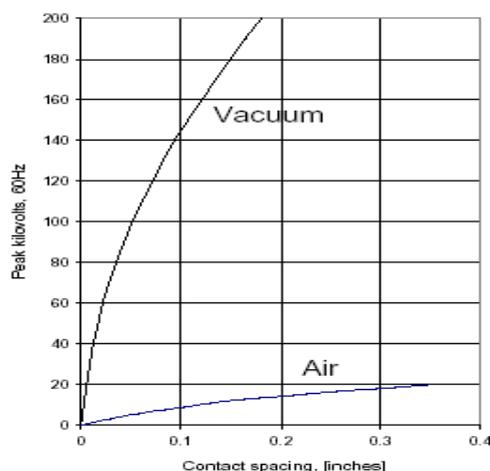


Рис. 1. Сравнение характеристики вакуумного и воздушного отключения

1. Инструкция по эксплуатации и обслуживанию электровозов типа «Ўзбекистон» Китай 2010 г.
2. Ю.П.Петропавлов. Технология ремонта электроподвижного состава – М.:Маршрут, 2006
3. Berdiev, Abitkhodja Burkhankhodzhaev, Malika Tuychieva, Elena Iksar, Komil Usmonov, Investigation of energy indicators with asymmetry of the voltage of the power source of mainline electric locomotives of alternating current, AIP Conference Proceedings 2552, 030018 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0131839>.
4. "Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией" Г.Е. Агафонов, И.В. Бабкин, Б.Е. Берлин СПб.: "Энергоатомиздат", 2002
5. J.S. Fayzullayev. "Improvement of functional diagnostics of asynchronous motors" in AIP Conference Proceedings, 2612, 050034 (2023).
6. U.Berdiev, A. Norboev, Z. Mamarajabova Investigation of Asymmetry in Asynchronous Motor Used in a Borehole Pump List of Author(s):"2023 International Conference February 19-23,2023 San Francisco, CA", ICNTET-2022.
7. Авторское свидетельство СССР №710081, кл. H01H 33/66. БИ №2, 1980.
8. ГОСТ Р 52565-2006. Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.

УДК 62

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Бердиев Усан Турдиевич, к.т.н., профессор, Сулоймонов Уткир Баходир угли -
ассистент*

Ташкентский Государственный транспортный университет

Аннотация. На статья рассмотрены методы разработка электродвигателей на основа композиционных материалов из железных порошков ASC100.29 с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Определении условия повышения стабильности разработок электродвигателей на основе изменения толщиной оксидного слоя. В работе использованы трехмерные модели магнитных схем, позволяющие достичь силу до 4500 Н прикрытием момента от 3 до 8 Нм, которой позволяет получить мощность двигателя 100-200 Вт.

Ключевое слова магнитомягкий материал, изоляци, железный порошок, статор, оксидное покрытие, удельных магнитных потерь, толщина, перемагничивание.

Введение: Метод применения композиционных материалов в технологии разработки электродвигателей открывает новые возможности в широком применении их, для улучшением эксплуатационных характеристик. Они обладают способностью легко намагничиваться и размагничиваться без потерь; способны обеспечивать прохождение максимального потока через единичное сечение магнитопровода, уменьшая габариты и вес; обеспечивают малые потери при работе в переменных полях, что в свою очередь снижает температуру нагрева, повышает К.П.Д. и рабочую индукцию электродвигателя [1, 3, 5]. Эти материалы удовлетворяют механическим свойствам, стабильностью

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

работы электродвигателя во времени при разных температурах. Наиболее перспективными магнитомягкими материалами являются материалы, изготовленные на основе металлических порошков, частицы которых покрыты тонким слоем изоляции. Наличие изоляции позволило снизить электромагнитные потери и увеличить добротность композитов [2, 5].

Метод исследования: В последние годы на основе энергосберегающих технологий ведутся работы по использованию различных энергосберегающих технологий в электротехнической промышленности. Одна из таких работ посвящена использованию композиционных магнитных материалов, разработанных на основе железного порошка, в сердечниках статора и ротора электрических машин и возможности достижения на их основе энергоэффективности [2, 6, 8].

Исследования основаны на методе применения магнитомягких материалов в виде металл – диэлектрик – металл [М.Д.М.] для разработки различных электродвигателей. Как известно, что при увеличении частоты питаемого напряжения, увеличивается скорость вращения электродвигателей [4, 9].

Результаты проведения эксперимента. В работе была получена зависимость магнитной проницаемости, μ и магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H , для статора показана на рис. 1. [2, 7, 10].

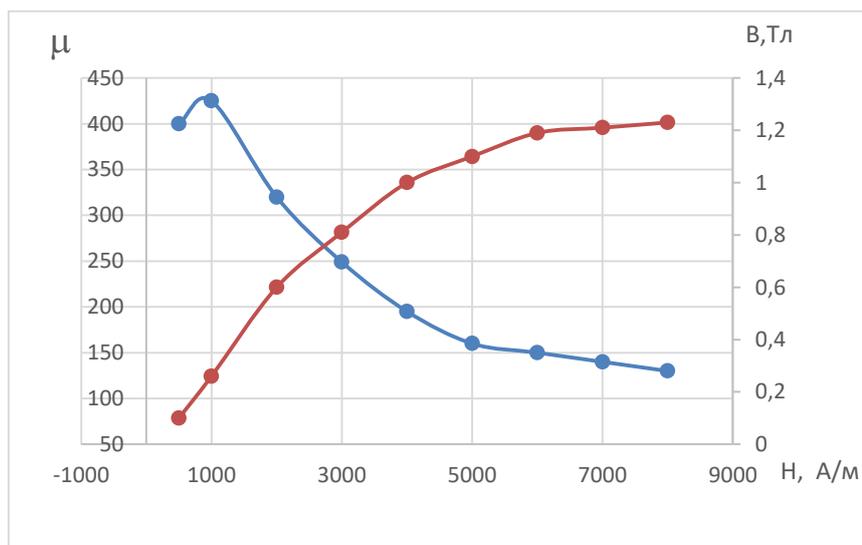


Рис. 1. Зависимость магнитной проницаемости и магнитной индукции от напряжённости магнитного поля. 1 - зависимость магнитной проницаемости; 2- зависимость магнитной индукции.

Также была определена зависимость удельных магнитных потерь $W_{уд}$ от напряжённости магнитного поля рис. 2.

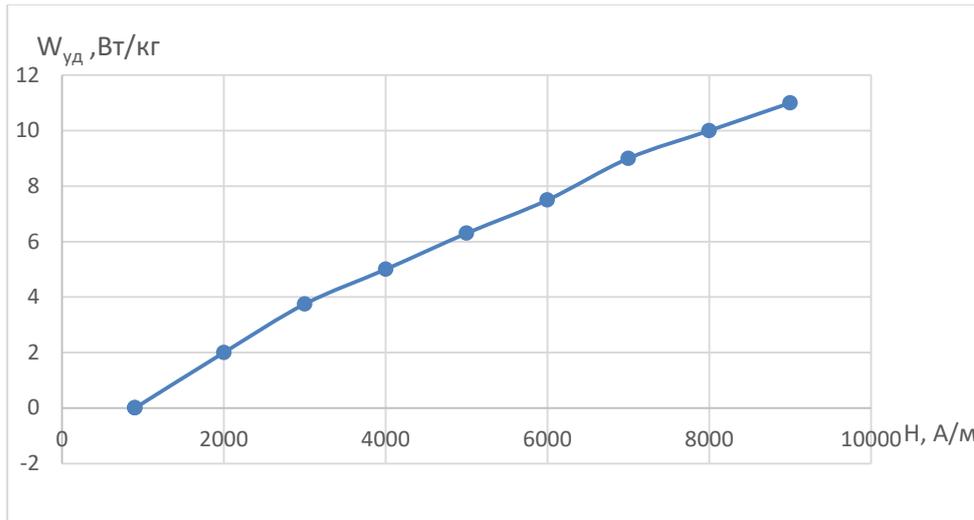


Рис. 2. Зависимость удельных магнитных потерь от напряжённости магнитного поля.

Для определения динамических характеристик разработанного магнитопровода статора была использована экспериментальная установка (рис.3).

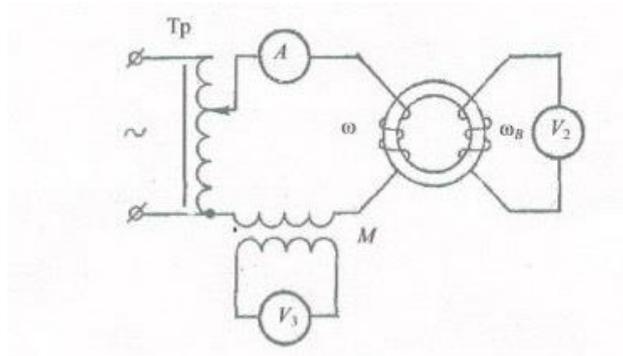


Рис. 4. Экспериментальная установка для определения динамических характеристик разработанного статора.

Для определения потерь на перемагничивание использовалась схема (рис. 4)

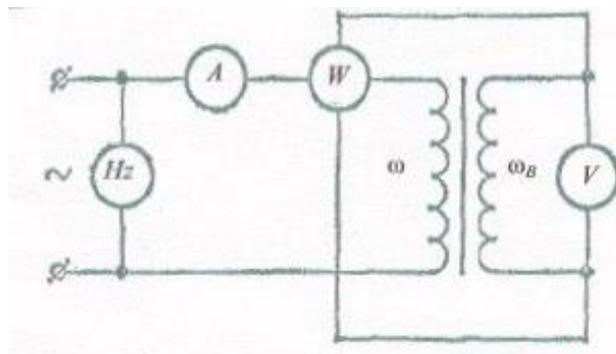


Рис. 4. Экспериментальная схема определения потерь на перемагничивание.

На основе порошка ASC100.29С оксидным покрытием от 1 до 20 НМ электромагнитные характеристики увеличиваются при дальнейшем увеличением

толщина покрытия начинают уменьшаться [8, 11]. На рис. 5. показана зависимость магнитной проницаемости от толщины покрытия оксидным материалом [12, 13].

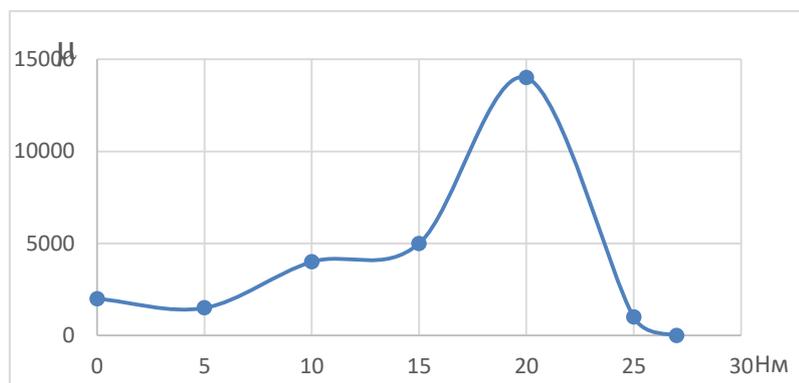


Рис. 5. Зависимость магнитной проницаемости оксидным материалом

Зависимости напряженности и плотности удельных магнитных потерь

для порошковая материала ASC100.29 с оксидными покрытиями, в зависимости от его толщины представлена на рис. 6. [7, 9].

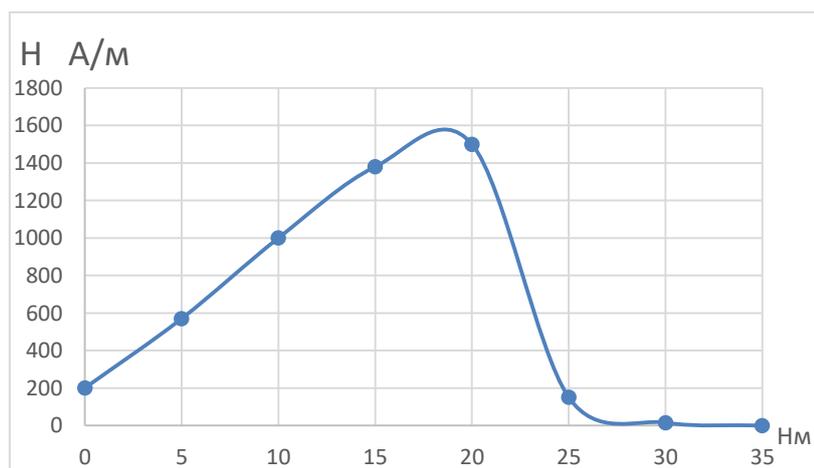


Рис. 6. Зависимость напряженности магнитного поля порошка ASC100.29 от толщины оксидного слоя.

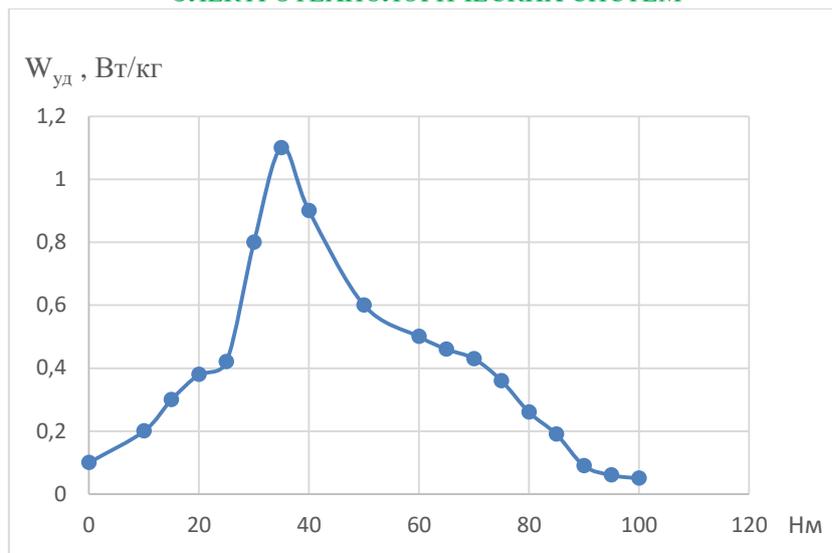


Рис. 7. Зависимость мощности удельных потерь порошка ASC100.29 от толщины оксидного слоя.

На основе магнитных материалов разработана электрическая машина с внутренним ротором и осевым магнитным потоком, а также с тороидальным потоком (рис. 8) [4, 7, 12].

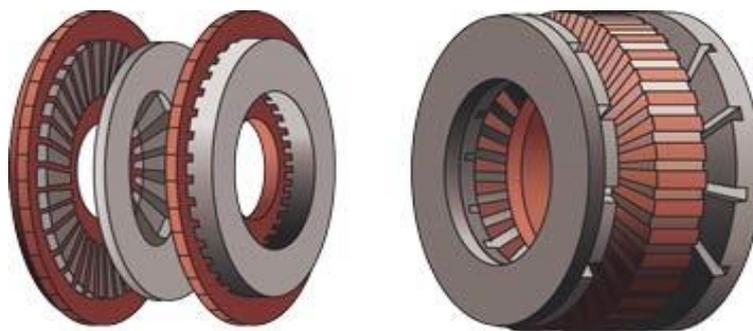


Рис. 8. Электрические машины на основе композиционных материалов а) с внутренним ротором; б) с тороидальным осевым потоком

Применение электрических машин на основе порошковой технологии (рис. 8.) позволило увеличить электромагнитную силу в 3 раза, плотность мощности на 30% и достичь мощности от 100 Вт до 100 кВт. В тоже время был обеспечен больший момент 15 Нм при скорости вращения 1500 об/мин. [3, 10, 13]. Так как скорость электрических машин зависит от частоты, а с использованием порошковой технологии с понижением частоты можно увеличить скорость вращения в 3 раза.

Выводы:

1. Разработанный композиционный магнитомягкий материал на основе порошка ASC100.29 с оксидным слоем обладает хорошими электромагнитными свойствами и не уступает зарубежным аналогам.
2. Магнитоповорот на основе магнитомягких материалов обладает достаточной прочностью, повышенной эффективностью и другими эксплуатационными характеристиками.
3. Разработаны способы измерения динамических характеристик и потерь на перемагничивание статора на основа порошковой технологии.

4. Число витков катушки зависит от температуры спекания, чем выше температура уменьшается напряженность магнитного поля, тем меньше становится намагничивающая сила, тем меньше число витков.

Литература

1. Dmitrienko S.B., Kochuk E.V., Apyazi V.V., Tolmacheva V.V., Zolotov Y.U. Recent advance in sample preparation techniques and methods of sulfonamides detection and review // Anal. Chim Acta 2014 V.850. pg – 25
2. Usan Berdiev, Abitkhodja Burkhanhodzhaev, Malika Tuychieva, Elena Iksar, Komil Usmonov, Investigation of energy indicators with asymmetry of the voltage of the power source of mainline electric locomotives of alternating current, AIP Conference Proceedings 2552, 030018 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0131839>.
3. Soft magnetic composite Technology CMC- update Hoganes AB. Swedes – N2, 2003 - 8 p № 1 6 2005 - 4p
4. U.T.Berdiev, A.K.Vecher, F.F. Khasanov, Investigation of the frequency characteristics of composite iron powders with insulating oxide coatings. «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO – 2021), Узбекистан, Ташкент, 1 – 3 апреля.
5. Existing & Future avtomatic applications for soft magnetic composites / Lars hultman, henrigue Lopes // 1 workshop sobre Inovações nos materiais Magnetic para a Industria Avtomobilistica Actual as percpectives dos Carros hibrido . 30 Julno 2008 – Sao Paolo, Brazil.
6. A.U.Gapparov, G. A. Govor, U. T. Berdiyev, F. F. Hasanov, and A. M. Kurbanov. Magnetic-soft materials based on iron for electromechanical engineering, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012048.
7. Sarkar K. Pai P.K , Katiyor P.K. Composite coatings from blast furnace pig iron by high velocity oxy - fuel (HVOF) process and their electrochemical behavior. Surf. Coat. Techol. 2019. No. 372. p72 – 83 DOI: 10.1016/j. surfcoat. 2019.05 /25
8. Imprvored Machinablity by Selection of PM Materlais, Additives and Tool Materials / Olof Andersson, Mats Larsson Во На // Proceedins of PM 2010 Powder Metallurgy Worid Congress & Exhibitlon, Florense 10-14 October 2010, Vol 2, p379-384
9. Xu X. Y, Liuw.J., Zhong M.L., Sun H.Q., Chen G.N. Drect laser fabricated in Situ Materials Science 2004-No 39-P4289-4293
10. Тунг М. Особенность формирования комплекса магнитных свойств порошкового Fe-P материала –аналога технического железа, полученного горячей объемной штамповкой пористой заготовки. Автореф Ростов-на Дон, 2010 27с
11. J.S. Fayzullayev. “Improvement of functional diagnostics of asynchronous motors” in AIP Conference Proceedings, 2612, 050034 (2023).
12. A.K. Vecher, G. A. Govor, U. T. Berdiyev, F. F. Khasanov, Magnitomyagkiye materialy na osnove zheleza, ispol'zuyemyye v elektromashinostroyenii, Vestnik TashIIT, № 3, 212–217, (2019).
13. U.Berdiev, A. Norboev, Z. Mamarajabova Investigation of Asymmetry in Asynchronous Motor Used in a Borehole Pump List of Author(s):“2023 International Conference February 19-23,2023 San Francisco, CA”, ICNTET-2022.

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА D-РАЗБИЕНИЯ И АНАЛИЗ С
ПРИМЕНЕНИЕМ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА В МАТЛАВ**

*Нелюбин И.А. студент 2- курса 75-22 ЭЭЭ
руководитель: асс.Орипов С.Х.*

Ташкентский Государственный технический университет

Аннотация Данная работа посвящена исследованию устойчивости динамических систем с использованием метода D-разбиения и анализа с применением критерия Найквиста в среде MATLAB. Метод D-разбиения представляет собой эффективный инструмент для анализа устойчивости систем с использованием дискретных значений параметров исследуемой системы. В работе проводится анализ устойчивости неустойчивой системы с помощью метода D-разбиения, а затем результаты анализа проверяются с применением критерия устойчивости Найквиста в MATLAB. Полученные результаты позволяют оценить устойчивость системы и выявить ее особенности. Это исследование имеет важное значение для практического применения методов анализа устойчивости в инженерных и научных задачах.

Введение. Исследование устойчивости динамических систем является одним из ключевых аспектов в области автоматического управления. Одним из методов проверки устойчивости системы является анализ ее переходной характеристики по прямым показателям качества, таким как перерегулирование.[1] В случае, когда переходная характеристика показывает неустойчивость системы, необходимо провести более детальный анализ. Из передаточной функции разомкнутой системы мы можем получить характеристический многочлен замкнутой системы. Для определения области устойчивости по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) применяется метод D-разбиения. Этот критерий позволяет определить, в каких диапазонах частот система остается устойчивой. Далее мы проверяем область устойчивости по методу Гурвица на основе его положительных детерминантов. Этот метод также используется для определения устойчивости системы и является одним из стандартных методов анализа устойчивости. После того как область устойчивости определена, производится вычисление переходной характеристики в данной области. Затем проводится анализ переходной характеристики с использованием критерия Найквиста и годографа, чтобы подтвердить устойчивость системы. Таким образом, в данном исследовании мы предлагаем комплексный подход к анализу устойчивости системы, который включает в себя использование различных методов и критериев для более точной и надежной оценки ее устойчивости.

Методика и экспериментальная часть. Устойчивая система определяется способностью выходного сигнала, в виде переходной характеристики, вернуться в исходное положение после прекращения на неё возмущающих воздействий.

Поэтому такая система является рабочей. В постановке к задаче рассмотрим неустойчивую систему, передаточная функция которого выглядит следующим образом:

$$W(s) = \frac{0,2}{s^3 + 2s^2 + 0,2s + 1} \quad (1)$$

приведа её к устойчивости с помощью критерия D-разбиения, путём применения анализа по критерию Найквиста.

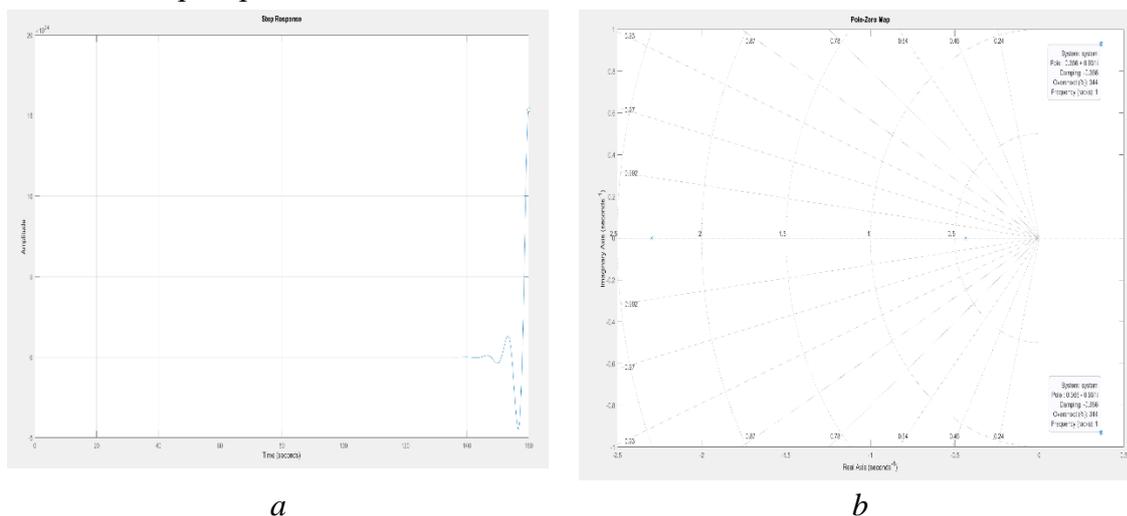


Рис.1. Анализ неустойчивой системы автоматического управления (САУ):
а – переходная характеристика САУ, б – расположение корней САУ на
комплексной плоскости.

При вводе передаточной функции в MATLAB получаем переходную характеристику, которая по графику расходится. При этом переходная характеристика описывает, что система не устанавливает постоянное значение управляемой величины в соответствии с задающим воздействием, вследствие система неустойчива (рис.1.а.).

Поскольку все полюса корней расположены в неустойчивой плоскости согласно теореме Ляпунова система является неустойчивой (рис.1.б.).

Для такой системы при определении области устойчивости одного параметра D-разбиения и согласно условию Неймарка, что область устойчивости должна находиться слева от линии разбиения, если двигаться вдоль неё от меньших значений к большим[2]. На этой основе определяем характеристическое уравнение замкнутой системы, от её передаточной функции разомкнутой системы, добавляя к ней вспомогательную функцию, так как данная система без астатизма:

$$W(s) = \frac{k}{s^3 + 2s^2 + ks + 1} \quad (2)$$

$$\text{тогда } W(s) = \frac{W(s)}{1+W(s)} = \frac{k}{s^3 + 2s^2 + ks + 1 + k}.$$

Характеристическое уравнение замкнутой системы:

$$D(s) = s^3 + 2s^2 + ks + 1 + k. \quad (3)$$

И находим коэффициент:

$$\kappa = \frac{s^3 + 2s^2 + 1}{s + 1} \quad (4)$$

Затем по методу D-разбиения находим по коэффициенту полюса корней на комплексной плоскости.

$$\kappa = - \frac{(i\omega)^3 + 2(i\omega)^2 - 1}{1 + i\omega} \quad (5)$$

где: $U(\omega) = \frac{\omega^4 + 2\omega^2 - 1}{1 + \omega^2}$ – вещественная часть; $V(\omega) = \frac{\omega^3 - 2\omega^3 + \omega}{1 + \omega^2}$ – мнимая часть.

В MATLAB вводим эти координаты и по АФЧХ видно на рис.2.а. , что устойчивой областью может быть $\kappa > 1$ на линии D-разбиения , то есть. отражение мнимой оси на плоскости на плоскость κ . Пусть $\kappa = 2$, подставляя его в характеристический многочлен

$$D(s) = s^3 + 2s^2 + 2s + 1 \quad (6)$$

И по Гурвицу проверяем данную систему на устойчивость.

$$a_0 = 1; a_1 = 2; a_2 = 2; a_3 = 1. \quad \Delta_1 = 2; \Delta_2 = 1; \Delta_3 = 3.$$

Так как определители матриц больше нуля, система должна быть устойчивой. Проверим систему, подставляя $\kappa = 2$, $W(s) = \frac{2}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$ и вводим в MATLAB , чтобы получить переходную характеристику[3]. На рис.2.б. дана переходная характеристика из которого вычисляем перерегулирование:

$$\delta = \frac{2.16 - 1.99}{1.99} \cdot 100 = 8.54\%$$

и декремент угасания:

$$\chi = \left[\frac{2.16 - 1.99}{1.97 - 1.99} \right] \cdot 100 = 8.5\% ,$$

чтобы проверить на устойчивость по определению $\delta < 10\%$ или 30% . Так как перерегулирование $\delta = 8.54\%$, система считается

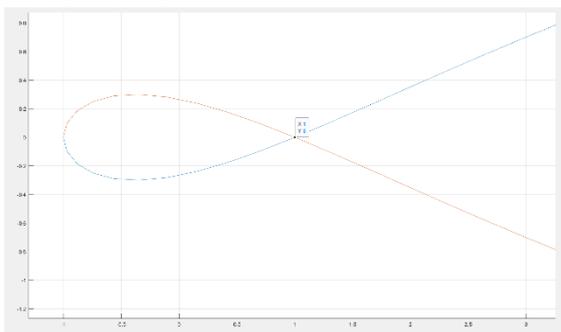


Рис.2. Анализ системы после замены коэффициентов по методу D-разбиение

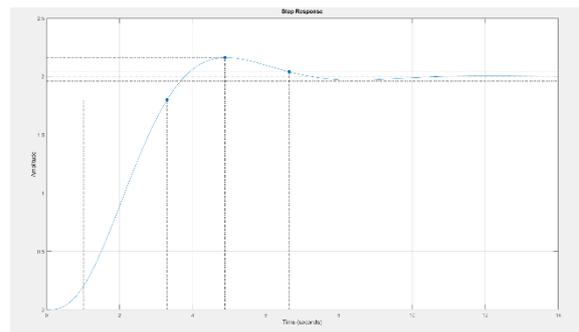


Рис.3. Переходная характеристика системы

устойчивой. И строим годограф Найквиста для анализа и окончательной проверки системы.

$$W(i\omega) = \frac{2}{(i\omega)^3 + 2(i\omega)^2 + 2i\omega + 1}$$

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

$$\text{Получаем } Re = \frac{4\omega^2 - 2}{(-\omega)^6 - 1} \quad Im = \frac{-2i\omega^3 + 4i\omega}{(-\omega)^6 - 1}.$$

Так как на рис.4. АФЧХ разомкнутой системы $W(i\omega)$ охватывает точку $(-1, i0)$, что и подтверждает устойчивость.

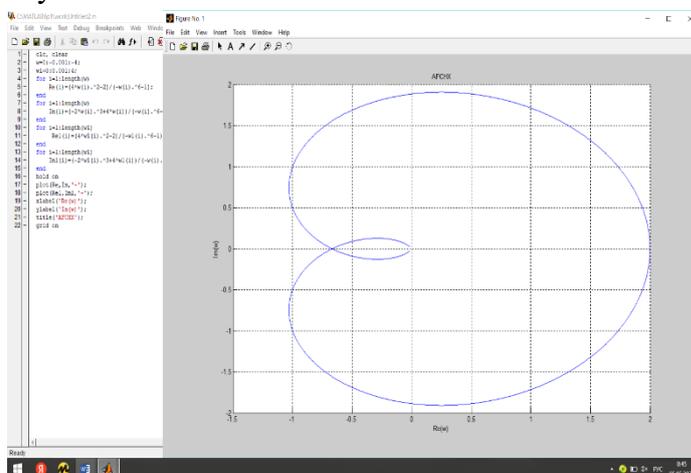


Рис.4. АФЧХ разомкнутой системы

Заключение. При исследовании данной системы, было доказано что она может быть устойчивой или неустойчивой, исходя в какой области будет находиться коэффициент на линии D-разбиения, на основе определения область устойчивости должна находиться слева от линии разбиения, если двигаться вдоль неё от меньших значений к большим.

Критерий устойчивости Найквиста проводит анализ на основе метода для систем без астатизма, если разомкнутая часть системы устойчива, то для устойчивости замкнутой части необходимо, чтобы АФЧХ не охватывал точку $(-1, i0)$.

Из этого годографа видно то, что по методу D-разбиения в пространстве параметры характеристического уравнения, в зависимости от расположения в области линии D-разбиения, определяется его коэффициентом, который описывает устойчивость системы в пространстве на комплексной плоскости.

Также устойчивость системы обусловлена его переходным процессом, так как по расчётам из данного исследования:

- В области устойчивости наблюдается затухание переходного процесса, где все вещественные корни отрицательные;
- В области неустойчивости, где имеется положительный вещественный корень, следовательно переходной процесс расходится.

Литература.

1. Теория систем автоматического регулирования. Бессекерский В. А., Попов Е. П., издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1972, 768 стр.
2. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. - Мн.: Дизайн ПРО 2000. - 352 с.: ил.
3. A. Petrovas, R. Rinkevičienė. Automatic Control Theory I, II: A Laboratory Manual. Vilnius: Technika, 2012. 98 p. [4,09 author's sheets. 2012 06 04].

4. Основы теории непрерывных и дискретных систем регулирования. – 5-е изд., перераб. и доп.: учеб. пособие / А.С. Востриков, Г.А. Французова, Е.Б. Гаврилов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008. – 476 с.
5. Гусев, А. Н. Основы теории автоматического управления : конспект лекций. - Текст: электронный / А. Н. Гусев, В. А. Вьюжанин, В. Д. Закаблукровский ; Гос. ком. Рос. Федерации по высш. образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара, 1996.
6. An Introduction to Control Theory Applications with Matlab. Lazaros Moysis, Michail Tsiaousis, Nikolaos Charalampidis, Maria Eliadou Ioannis Kafetzis August 31, 2015.
7. 1st ed. 2018 Frank. ControlBasic Concepts Illustrated by Software Examples

СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARDUINO

Туляганов М.М, Мўминов Х.А. Атажиев Ш.М
Ташкентский Государственный технический университет

В начале 2000-х годов начали появляться первые системы полунатурного моделирования и прототипирования на основе персональных компьютеров (ПК) с архитектурой x86. Эти системы были значительно более доступными по цене по сравнению с специализированными системами, использующими процессоры DSP. Они использовали стандартные процессоры ПК и платы сбора данных, которые были широко распространены. Благодаря возможности использования процессоров x86 различных типов и размеров, эти системы обладали широким диапазоном соотношения цена/производительность. Этот подход обеспечивал преимущества в виде повышенной производительности процессоров ПК и снижения цен на память, поскольку все компоненты были доступны для приобретения. Эта тенденция продолжает развиваться, поскольку технологии продолжают расти, появляются новые устройства на базе микроконтроллеров с расширенной поддержкой устройств ввода/вывода. Поддержка простого аналогового и цифрового ввода/вывода теперь дополняется более продвинутой поддержкой широтно-импульсной модуляции (ШИМ), энкодеров, новых протоколов и других расширенных возможностей ввода/вывода. Наличие стандартизированных компонентов в сочетании с программными драйверами и быстрым ростом производительности процессоров и микропроцессоров поднимает возможности прототипирования на уровень производительности, сопоставимый с фирменными системами, но с более низкими затратами и коммерчески доступным оборудованием.

Новые МПС и платформы позволяют тестировать прототипы в реальном времени, проверять новые алгоритмы и интеграцию ПО и аппаратного обеспечения на ранних стадиях проектирования, тем самым снижая необходимость в дорогостоящих или разрушающих испытаниях полноразмерных АСУ. Одним из таких инструментов является аппаратно-программная платформа Arduino, созданная на базе микроконтроллеров ATmega. Ее открытая архитектура позволяет свободно копировать или расширять линейку продукции. Бесплатная среда разработки (IDE) предоставляет дополнительные возможности для программирования и компиляции программ.

При разработке прототипа АСУ важно учитывать следующее:

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Цель прототипирования (демонстрация идеи, проверка гипотез и т.д.).
- Решаемая проблема.
- Несмотря на то, что не все гипотезы оправдываются и не все идеи пригодны для использования, созданный прототип всегда приносит новые знания и решения.

Прототипы условно можно разделить на глобальные и локальные [3]. Глобальные прототипы моделируют АСУ целиком. Их использование позволяет выявлять проблемы, связанные с полнотой функционирования системы и внутренними противоречиями. Локальные прототипы моделируют небольшую часть АСУ. Они могут быть использованы для определения лучших (по ряду параметров) алгоритмов, схемотехнических решений, и т. д. Локальные прототипы в свою очередь можно разделить на вертикальные и горизонтальные прототипы (рис. 1).

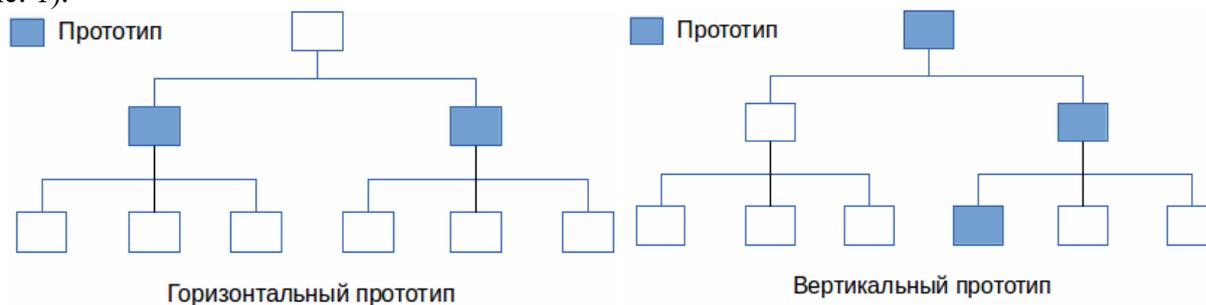


Рис. 1. Локальные прототипы: а – вертикальный; б – горизонтальный

Создание прототипа АСУ предоставляет возможность проверить существующие идеи, породить новые и продемонстрировать их заинтересованным сторонам. Опытные специалисты знают, что сначала необходимо изучить и протестировать несколько идей, прежде чем сосредотачиваться на той, которая показала лучшие результаты.

Рассмотрим пример вертикального прототипирования более подробно. На блок-схеме системы управления на рисунке представлена взаимосвязь контроллера с исполнительными механизмами и датчиками на установке. Для проверки работы и целостности модели устройства был использован робот-манипулятор MeArm. В качестве системы управления была выбрана платформа Arduino.

При сборке данной системы необходимо было учитывать различные факторы, такие как физические ограничения механизмов, углы поворота серводвигателей, проводка и мощность питания.



Рис. 2. Робот-манипулятор MeArm

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

После сборки физической модели манипулятора началась работа по программированию. Основные задачи включали в себя управление манипулятором в ручном и автоматическом режимах, а также повторение действий оператора. Разработанный алгоритм программы состоял из трех модулей: выбора режима, чтения данных с датчиков и модуля памяти для записи действий оператора и автоматического режима.

При увеличении уровня вертикального прототипирования можно подключить персональный компьютер для расширения возможностей системы. Это позволит использовать компьютер для более сложных алгоритмов и быстрой обработки информации. Использование различных уровней прототипирования и полунатурного моделирования открывает путь к проектированию более совершенных систем управления.

Литература

1. Arduino [Электронный ресурс] // Arduino: [сайт]. [2019]. URL: <https://www.arduino.cc/> (дата обращения: 15.03.2019).
2. Сидоров В.Г., Ткачева Т.В., Шкловец М.А. Автоматизированный лабораторный комплекс // XX юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика Михаила Федоровича Решетнева, «Решетневские чтения» : Материалы (г. Красноярск, 09–12 ноября 2016 г.) : в 2 ч. Красноярск : СибГАУ, 2016. Ч. 2. С. 539–541.
3. Анатольев А. Г. Прототипирование и концептуальное проектирование [Электронный ресурс] // Прототипирование и концептуальное проектирование А. Г. Анатольев: [сайт]. [2016]. URL: <http://www.4stud.info/user-interfaces/prototypes-and-concept-design.html> (дата обращения: 15.03.2019).

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR REMOTE CONTROL OF PUMPS IN AGRICULTURE

Akbarov F.A, Atajiyev Sh.M, Boqijonov U.A

Ташкентский Государственный технический университет

Abstract: Farming sustains the livelihoods of many individuals in India, with agriculture serving as the primary source of sustenance. Given the country's variable weather patterns and unpredictable rainfall, access to irrigation for agriculture is often limited. Consequently, numerous farmers resort to tapping groundwater for irrigation, employing bore wells and pumps to bring it to the surface. However, manually controlling these pumps poses significant challenges and risks, including incidents of electrocution and snake bites. To address this issue, we propose leveraging IoT, Android, and GSM technologies to remotely manage these pumps via mobile devices, be they smartphones or feature phones. Through an Android application or simple text messages, users can remotely command the activation and deactivation of water pumps, facilitating efficient watering of crops for specified durations. Additionally, integrated sensors provide real-time data on temperature, humidity, and soil moisture levels, aiding farmers in making informed decisions about irrigation practices.

Introduction: In Uzbekistan, agriculture stands as the predominant occupation, heavily reliant on water for irrigation. While various water sources like canals, ponds, and

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

rainwater exist, many regions solely depend on rainfall and groundwater. However, rainfall in Uzbekistan is unpredictable and unevenly distributed, prompting numerous farmers to turn to groundwater for irrigation, often utilizing bore wells to extract water. Yet, controlling these pumps poses considerable risks and demands significant effort. In areas lacking continuous power supply, farmers must await electricity availability, often resulting in prolonged waits at the farm. Tragically, incidents of electric shocks from direct contact with the motor starter, often due to loose connections or wet hands, are common. Additionally, the risk of snake bites while operating the pump is prevalent, as snakes often inhabit motor starter boxes, leading to unfortunate encounters during nocturnal operations. Despite these hazards, farmers are compelled to manage the pumps, recognizing the indispensable need for water to nurture their crops and sustain their livelihoods. The introduction of remotely controlled agricultural pumps offers a promising solution to mitigate the risks associated with manually operated pumps. By eliminating the need for physical contact with the starter, the risk of electrocution diminishes significantly. Furthermore, farmers can conveniently oversee pump operations from the safety of their homes using their mobile phones, reducing the likelihood of snake bites or exposure to adverse weather conditions in the fields. This objective is pursued through two distinct approaches. The first method leverages internet connectivity, employing a Wi-Fi module connected to the motor, and an accompanying Android application enables users to transmit on/off commands via the internet. Sensors integrated into the module capture pertinent data, which is then relayed to the application via the internet or cloud services. However, considering the limited internet infrastructure in many rural areas and the prevalence of feature phones among farmers, an alternative method utilizing GSM technology becomes imperative. In this approach, a GSM module replaces the Wi-Fi module, enabling pump control via simple SMS commands sent to the module's SIM card. This method accommodates smartphone users lacking internet access and ensures compatibility with feature phones. The Android application is designed to facilitate seamless control via both internet and SMS, catering to the diverse technological landscape prevalent among Indian farmers.

Problem Statement: The inconvenience associated with manually activating or deactivating water pumps installed in remote farms poses a widespread challenge for farmers. Often, when it's time to irrigate their fields, farmers must halt their ongoing tasks and journey to the farms to initiate the pump sets, wasting precious time and energy, especially considering that many farms are situated far from their residences. Moreover, the necessity of physical contact with the electrical systems has resulted in numerous accidents within agricultural settings. Tragically, there have been reported instances of farmers suffering fatal electrocutions while engaging with these systems. Additionally, incidents involving snake bites and lightning strikes during pump operation further underscore the dangers associated with this manual process. Furthermore, the need for continuous monitoring of the field's physical condition necessitates frequent visits by the farmer, adding to the already burdensome task. This repetitive endeavor demands significant time and effort on the part of the farmer. All of the aforementioned challenges stem from the traditional practice of physically attending the farm to toggle the motor on or off, highlighting the urgent need for a more efficient and safer alternative.

Solution Framework: The proposed system offers a comprehensive remote management solution for water pumps, leveraging mobile phone technology. This system is adaptable for use with both smartphones, utilizing an Android application, and basic feature phones, operating via SMS commands. Recognizing the limited internet connectivity in many rural areas and the prevalent use of feature phones among farmers, a GSM module has been integrated to enable SMS-based control (Fig 1).

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

By automating pump control through dedicated controllers, the need for manual intervention to toggle the motor on or off is eliminated, streamlining operations and reducing labor requirements. Additionally, the system incorporates sensors to monitor soil moisture levels and field temperatures, providing real-time data to users. This information empowers users to make informed decisions regarding irrigation without the necessity of physically visiting the field, optimizing water usage and enhancing efficiency.



Fig 1. GSM Based Agriculture Motor Pump Controller

Workflow: When the farmer intends to activate or deactivate the motor, they access the Android application on their mobile phone. Within the application, they can monitor sensor readings such as temperature and soil moisture. If the conditions indicate a need for irrigation, the farmer initiates the pump by selecting the "motor on" button. This action triggers the transmission of an ON signal to the real-time database, hosted on Google Firebase, which communicates with the Wi-Fi module connected to the pump, facilitating its activation. Concurrently, the sensor data is continuously updated in the real-time database, and the Android application retrieves and displays this information for the user's reference. When optimal conditions are attained, the farmer can deactivate the pump by selecting the "motor off" button within the app, halting irrigation operations. In scenarios where a smartphone or internet connectivity via Wi-Fi is unavailable, the system seamlessly transitions to GSM mode. In this mode, the farmer can activate the pump by sending a text message containing the keyword "1" to the mobile number associated with the SIM card inserted in the GSM module. Conversely, to deactivate the pump, the farmer sends a message with the keyword "0". To ensure user-friendly operation, the Android application integrates GSM functionality, enabling pump control via simple button clicks for SMS commands (Fig 2).



Fig 2. Placeholder for application interface screenshot

Results and Conclusion: The conducted experiment demonstrates precise motor control with a responsive delay of only a few seconds. By effectively eliminating the need for physical proximity to the motor, the project significantly reduces associated risks and efforts. The remotely controlled agricultural pump system proves to be cost-effective and straightforward to set up. Its user-friendly application interface, featuring large buttons and color-coded elements, ensures ease of use for farmers. Moreover, the system boasts high accessibility, accommodating both Wi-Fi and GSM connectivity options, thereby catering to a broad user base ranging from smartphone to feature phone users. The experiment reveals exceptional reliability, with the system exhibiting accurate reachability via both internet and SMS channels. The integration of sensors provides valuable data for monitoring field conditions, enhancing decision-making processes related to irrigation. Overall, the system offers considerable benefits to farmers with minimal initial investment, making it a viable solution for enhancing agricultural practices and improving yields.

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ЭС

Муминова Мохинур

Студентка магистратуры ТаШГТУ

Annotatsiya. Optimallashtirish vazifasi har doim juda dolzarb bo'lib kelgan va yaqinda fan va texnikaning turli sohalarining jadal rivojlanishi bilan u yanada muhim ahamiyat kasb etdi. Har qanday ob'ektning xatti-harakatlarini tenglama yoki tenglamalar tizimi bilan tavsiflash mumkin (ya'ni haqiqiy ob'ektning matematik modelini yaratish),

muhandisning vazifasi ushbu chegara sharoitida berilgan aniqlik bilan funktsiyani tanlashdir, bu esa optimal yechimni "ko'rsatishi" mumkin.

***Аннотация.** Задача оптимизации всегда была весьма актуальной, а в последнее время, с ускоренным развитием различных областей науки и техники, она приобрела еще более весомое значение. Так как поведение любого физического объекта можно описать уравнением или системой уравнений (т.е. создать математическую модель реального объекта), то задачей инженера является подбор функции с заданной точностью при данных граничных условиях, которая бы могла "показать" оптимальное решение.*

***Annotation.** The optimization task has always been very relevant, and recently, with the accelerated development of various fields of science and technology, it has acquired even more significant importance. Since the behavior of any physical object can be described by an equation or a system of equations (i.e., to create a mathematical model of a real object), the engineer's task is to select a function with a given accuracy under given boundary conditions that could "show" the optimal solution.*

Ключевые слова: оптимизация, топливо, расход.

Целью решения задачи оптимизации режима ЭС заключается в минимизации эксплуатационных издержек. При этом достаточно рассматривать только часть издержек, зависящую от режима, а издержки, практически не зависящие от режима (содержание персонала, амортизационные отчисления, расходы, связанные с эксплуатацией электрических сетей), при оптимизации не учитывать. К издержкам ЭС, зависящим от режима, относятся главным образом издержки на топливо, расходуемое ТЭС, которые для любого периода T определяются как

$$I_{\text{топ}}^T = \sum_i c_i V_i^T \quad (1)$$

где V_i^T – расход условного топлива i -й ТЭС за период T ; c_i – его цена.

Расход условного топлива каждой станции V_i^T является интегралом по времени мгновенных расходов топлива V_i следующего вида:

$$V_i^T = \int_0^T V_i dt \quad (2)$$

Таким образом, V_i^T зависит от всего режима станции в рассматриваемый период и является по терминологии вариационного исчисления функционалом, функционалом является и величина $I_{\text{топ}}^T$. Вместе с тем от режима ЭС в той или иной мере зависят и некоторые другие виды издержек. В частности, от режим работы ЭС зависит износ некоторых видов оборудования (например, износ турбогенератора зависит от числа его пусков, от колебаний нагрузки и др), а следовательно, и расходы на его ремонт.

От режима работы ЭС в некоторой степени зависит эффективность работы некоторых неэнергетических отраслей народного хозяйства. В частности, от режима работы ГЭС зависит эффективность ирригации, судоходства, рыбного хозяйства; отклонения от норм напряжения и частоты снижают эффективность работы ряда потребителей. От режима работы ТЭС и ГЭС могут зависеть и издержки, связанные с охраной окружающей среды.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Принципиально наиболее точный учет указанных обстоятельств возможен путем введения так называемых функций ущерба, т.е. дополнительных издержек, возникающих при отклонении параметров режимов от оптимальных значений (для потребителя, водопользователя и т.п.). Очевидно, что в условиях социалистического хозяйства должны минимизироваться полные народнохозяйственные издержки, зависящие от режима, что дает следующее выражение для минимизируемой (целевой) функции:

$$I^T = I_{\text{топ}}^T + \sum_j Y_j \quad (3)$$

где Y - ущерб у j -го потребителя (агрегата, водопользователя).

Функции ущерба, как правило, имеют сложный характер и зависят не только от режима в данный момент времени, но и от всего режима работы в предшествующий период, в частности от длительности работы с отклонениями параметров режима от оптимальных и от глубины этих отклонений. Они могут зависеть от многих параметров. В ряде случаев ущерб (например, от воздействия на окружающую среду) трудно поддается денежному выражению. В связи с этим функции ущерба, за исключением отдельных случаев, мало изучены, что препятствует их применению при практических расчетах. Вместе с тем имеющиеся исследования показывают, что функции ущерба имеют вид, аналогичный. Их характерными свойствами являются наличие широкой области изменений параметров режима, в которых ущерб незначителен, и резкое повышение ущерба при выходе за границы этой области. Поэтому при практических расчетах обычно устанавливают допустимые пределы изменения параметров режима, при работе внутри которых ущербом пренебрегают.

Таким образом, задача оптимизации сводится к минимизации целевой функции (1) при соблюдении ряда ограничений, указанных ниже. Вместе с тем излагаемая методика позволяет учесть функции ущерба в тех случаях, когда они известны. Необходимо заметить, что учет цен на топливо в выражении (1) при оптимизации режима приводит к повышению нагрузки ТЭС, работающих на дешевых видах топлива, и разгрузке ТЭС, работающих на дорогих видах. Общий расход топлива в ЭС при этом увеличивается. Вместе с тем действующие в настоящее время цены на топливо не всегда правильно отражают народнохозяйственную ценность различных его сортов. Кроме того, они не могут отразить конъюнктурные условия топливоснабжения, которые часто меняются. Поэтому в практике расчетов условного минимума издержек по формуле (1) обычно заменяют условием минимума суммарного расхода условного топлива. Это достигается без изменения методики оптимизации приравнением в формуле (1) всех и единице. Дефицитность некоторых сортов топлива учитывается введением ограничений на их расход в течение некоторого периода.

Литература

1. Арзамасцев Д. А. АСУ и оптимизация режимов энергосистем / Д. А. Арзамасцев, П. И. Бартоломей, А. М. Холян. – М. : Высш. шк., 1983. – 268 с.
2. Веников В. А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем / В. А. Веников, В. Г. Журавлев, Т. А. Филиппова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
3. Сидоркин Ю. М. Оптимизация в электроэнергетических системах : метод. указания и задания к практическим занятиям и лабораторным работам / Ю. М. Сидоркин, А. В. Лыкин, В. В. Медведков. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2005. – 51 с.

4. Филиппова Т. А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учебник / Т. А. Филиппова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2005. – 300 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).
5. Т.Х.Насиров, Т.Ш.Гайибов Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т: 2014.
6. Т.Ш.Гайибов Теоретические основы оптимизации ЭЭС. – Т: Учебное пособия. 2023.

NAVOIY ISSIQLIK ELEKTR STANSIYASIDA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH UCHUN TRANSFORMATOR TANLASH

*Pulatov Abror Obidovich, Umarov Shuxrat Badreddinovich, Boboniyozov Qutbiddin
Asliddin o'g'li*

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Bugungi kunda transformatorlarning sanoat va ishlab chiqarish hamda qishloq xo'jaligi mexanizmlarini elektr energiyasi bilan ta'minlashda asosiy o'rin egallaydi. Maqolada asosan elektr stansiyaga quvvatlari va iqtisodiy jihatdan optimal transformator tanlash keltirilgan. Stansiyaning o'z ehtiyojlari uchun generatorlardan ishlab chiqarilgan 16.5 kV kuchlanishini iste'molchilarga 6 kV qilish uchun transformatorlardan foydalaniladi. Maqolada transformator tanlash uchun ikki xildagi transformatorlar hisob-kitob qilindi ya'ni 16 MVA va 20 MVA quvvatlilari taqqoslanib optimal variant tanlandi.

Kalit so'zlar: elektr stansiya, quvvat, transformator, generator, narxi, tabiiy gaz

Navoiy issiqlik elektr stansiyasi haqida.

"Navoiy issiqlik elektr stansiyasi" ochiq aksiyadorlik jamiyati mintaqada sanoat va ijtimoiy-madaniy sektor ob'ektlarini issiqlik va elektr energiyasi bilan ta'minlaydigan asosiy manba hisoblanadi. Respublika energetika tizimining eng yirik issiqlik elektr stansiyalaridan biri bo'lgan elektr stansiyasining qurilishi 1960 yilda boshlangan va quvvati 25 ming kVt bo'lgan stansiyaning birinchi bloki 1963 yil fevral oyida tarmoqqa ulangan.

2014 yilda korxonada 8 801 510 ming kVt quvvatni etkazib berdi. soat elektr energiyasi. Issiqlik ishlab chiqarish 2 million 040 ming Gkalni tashkil etdi.

1963 yil fevraldan boshlab stansiya, ya'ni birinchi blok elektr tarmog'iga kiritilgan paytdan boshlab 2015 yil 1 yanvargacha 331 milliard 673 million kVt ishlab chiqarildi. soat elektr energiyasi, shu davrda issiqlik 147 million 843 ming Gkal ishlab chiqarildi.

1965 yilgacha stansiya Navoiy kon-metallurgiya kombinati tarkibida bo'lgan va 1965 yildan boshlab O'zbekiston Energetika vazirligi balansiga o'tkazilgan.

Stansiyaning asosiy energiya ishlab chiqaruvchi (elektr va issiqlik) uskunalari quyidagilardan iborat:

- umumiy quvvati 50 megavatt bo'lgan №1, 2 energiya bloklari (TGM-151 tipidagi 2 ta qozon va VPT-25-4 tipidagi 2 ta turbinli agregatlar), har biri 25 ming kilovatt; [5]

- umumiy quvvati 300 megavatt bo'lgan 3,4-sonli energiya bloklari (TGM-94 tipidagi 2 ta qozon va PVK-150-130 rusumidagi 2 ta turbinali agregatlar), har biri 150 ming kilovatt; R-50 tipidagi 2 ta turbinli agregatlar, har biri 50 megavatt, PT-60-130 turdagi bitta birlik, TGM-84 tipidagi 4 ta qozon; № 3,4 energiya bloklari (umumiy quvvati 320 megavatt (TGM-94 tipidagi 2 ta qozon va K-160-130 tipidagi 2 ta turbinali agregatlar) har biri 160 ming kilovatt;

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- umumiy quvvati 420 megavatt bo'lgan 11,12 energiya bloklari (TGME tipidagi 2 ta qozon) Har biri 210 ming kilovatt bo'lgan K-210-130 tipidagi 206 va 2 turbinali agregatlar). 2012 yilning IV choragidan boshlab quvvati 478 megavatt bo'lgan kombinatsiyalangan sikl zavodi foydalanishga topshirildi.

Dastlab stansiya NKMK tarkibiga kirgan, ammo 1965 yilda u O'zbekiston SSR Energetika vazirligiga o'tkazilgan. 11-energiya bloki 1981 yilda ishga tushirilgan. 2004 yilda Navoiy IES OAO Navoiy IESga aylantirildi.

2009 yil avgust oyida "O'zbekenergo" Turkiyaning "Enerji Sanayi ve Ticaret AŞ" va Ispaniyaning "Initec" bilan Navoiy IES ni modernizatsiya qilish uchun 530 million dollarlik shartnoma imzoladi. Shartnomaga binoan 478 MVt quvvatga ega gaz turbinasi (ПГУ) BGQ qurilmasini kalit asosida qurishni amalga oshirdi. Ob'jekt 2012 yilda foydalanishga topshirilgan. BGQ blokining yetkazib beruvchisi "Mitsubishi" edi.

2014 yilda "O'zbekenergo" DAK tomonidan quvvati 450 MVt bo'lgan ikkinchi birlashtirilgan sikl stansiyasini qurish uchun tender e'lon qilindi. Natijada, 2016 yil oktyabr oyida "Mitsubishi Corporation", "Mitsubishi Hitachi Power Systems Ltd" va "Calik Enerji Sanayi ve Ticaret AS" konsortsiumi bilan shartnoma imzolandi. Loyihaning umumiy qiymati 550 million dollarni tashkil etadi.

2017 yil 28 martda O'zbekiston Prezidenti Shavkat Mirziyoyev ikkinchi birlashtirilgan zavodi qurilishi boshlanishi munosabati bilan kapsulani qo'ydi.

2018 yilda 450 MVt quvvatga ega BGQ qurilmasi foydalanishga topshirildi.

2023 va 2025 yillarga qadar quvvati 650 MVt bo'lgan yana ikkita birlashtirilgan sikli gaz turbinalarini qurish rejalari e'lon qilindi. Uning ishga tushirilishi bilan Navoiy IES ning umumiy quvvati 2918 MVt ga yetishi kerak.

Prezident Shavkat Mirziyoyev 2017 yil 28 mart kuni Navoiy viloyatiga tashrifi chog'ida Navoiy issiqlik elektr stansiyasida bo'lib, ikkinchi bug'-gaz qurilmasi poydevoriga tamal toshi qo'ygan edi. Yaponiyaning «Mitsubishi Corporation» va «Mitsubishi Hitachi Power Systems» konsorsiumi hamda «O'zbekenergo» aksiyadorlik jamiyati o'rtasida mazkur bug'-gaz qurilmasini bunyod etish bo'yicha shartnoma imzolangan edi. Qurilish «Mitsubishi Corporation and MHPS» konsorsiumi va Turkiyaning «Calik Enerji» kompaniyasi tomonidan amalga oshirildi.

An'anaviy elektr stansiyalarining foydali ish koeffitsientini oshirish yo'llarini izlash — butun dunyo texnologlari e'tiborida bo'lgan masala. Bug'-gaz qurilmalari ushbu muammoning zamonaviy yechimidir. Issiqlik elektr stansiyalarining foydali ish koeffitsiyenti odatda 40 foizni tashkil etadi. Navoiy IESning birinchi bug'-gaz qurilmasida bu ko'rsatkich 57 foiz bo'lsa, ikkinchisida 61 foizni tashkil etadi.[6]



1-rasm. Navoiy IES 478 MVt Bug'-gaz qurilmasi.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Bug‘-gaz qurilmasi ishga tushirilishi natijasida yiliga 3 milliard 454 million kilovatt-soat elektr energiya va issiqlik energiyasi ishlab chiqariladi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, loyiha samarasida 1 kilovatt-soat elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun shartli yoqilg‘i sarfi kamayishi hisobidan yiliga o‘rtacha 829 million kub metr tabiiy gaz tejraladi.

Prezident ushbu ehtiyojni ta‘minlash maqsadida Navoiy IES bazasida bug‘-gaz qurilmalari uchun xodimlar tayyorlaydigan o‘quv markazi tashkil etish bo‘yicha topshiriq bergan edi. Korxonada Yaponiya xalqaro hamkorlik agentligi — JICA moliyaviy ko‘magida o‘quv markazi tashkil etildi. Hozirgi kungacha bu yerda 166 mutaxassis tayyorgarlikdan o‘tdi.

Navoiy issiqlik elektr stansiyasi yuqori darajada sanoatlashgan va unga tutash mintaqadagi iste‘molchilarni elektr va issiqlik energiyasi bilan ta‘minlovchi asosiy manba hisoblanadi. Navoiy kon-metallurgiya kombinati, “Navoiyazot”, “Qizilqumsement” aksiyadorlik jamiyatlari kabi yirik korxonalar, iqtisodiyotimizda salmog‘i tobora ortib borayotgan kichik biznes va xususiy tadbirkorlik sub‘ektlarining samarali faoliyati va aholini yanada ishonchli elektr energiya bilan ta‘minlash aynan ushbu stansiyada amalga oshirilayotgan investitsiya loyihalariga bevosita bog‘liq.

Kuch transformatorlarini tanlash.

Stansiyaning o‘z ehtiyojlari uchun generatordan ishlab chiqarilgan 16.5 kV kuchlanishini iste‘molchilarga 6 kV qilish uchun transformatorlardan foydalaniladi. Hozir esa shu transformatorlarni hisoblab tanlab olamiz.

Variant 1. $S_{nt} = 16000$ (kVA)

Transformator TDN-16000/16.5

$$\Delta P_{xx} = 24 \text{ kVt}$$

$$\Delta P_{kz} = 158 \text{ kVt}$$

Narxi:

$$K_{tl} = n \cdot K = 1 \cdot 1\,215\,500\,000 = 1\,215\,500\,000 \text{ so‘m}$$

Yuklama koeffitsienti $K_z = S_p / (n \cdot S_{nt})$

$$\text{Ma‘lumot uchun } S_p = 10222.4 \text{ kVA}$$

$$K_z = 10222.4 / (1 \cdot 16000) = 0,63$$

1 yil uchun maksimal isrof vaqti

$$\tau_m = (0,124 + T_m / 10000)^2 \cdot T_{yil}$$

T_m – To‘xtovsiz ishlaganda maksimal isrof vaqti = 7000 soat

T_{yil} – Bir yildagi maksimal soat = 8760 soat

$$\tau_m = (0,124 + 7000 / 10000)^2 \cdot 8760 = 5948 \text{ soat/yil}$$

Bir yilda 1 kVt maksimal quvvatni narxi

$$m = \beta \cdot \tau_m$$

$$\beta \text{ – qo‘shimcha stavka} = 330 \text{ so‘m/kVt}$$

$$m = 330 \cdot 5948 = 1\,962\,840 \text{ so‘m/kVt·yil}$$

1 va 2 toifa uchun to‘g‘ri keladi.

$$m = 1\,962\,840 \text{ (so‘m/kVt·yil) da 1 kVt ni bir yillik salt ishlashida maksimal isrofi}$$

$$m_0 = \beta \cdot T_v$$

$$m_0 = 330 \cdot 8760 = 2\,890\,800 \text{ so‘m/kVt·yil}$$

Transformatoridagi bir yillik isrof narxi

$$U_{pl} = n (m \cdot \Delta P_{kz} \cdot K_z^2 + m_0 \cdot \Delta P_{xx}) = 1 \cdot (1962840 \cdot 158 \cdot 0,63^2 + 2890800 \cdot 24) = 192\,469\,288 \text{ so‘m/yil}$$

Podstansiya va taqsimlash qurilmalarni elektr texnik jihozlari uchun amortizatsiyaga chiqim normasida: $E_a = 0,063$ [4]

$$U_a = K_{tl} \cdot E_a = 1215500000 \cdot 0,063 = 76\,576\,500 \text{ so‘m}$$

Joriy ta‘mirlash va xizmat ko‘rsatishga chiqim:

$$E_{tr} = 0,03$$

$$U_{tr} = K_{tl} \cdot E_{tr} = 1215500000 \cdot 0,03 = 36\,465\,000 \text{ so'm}$$

Eksploatatsiya chiqimlari:

$$U_{tl} = U_{pl} + U_a + U_{tr} = 192\,469\,288 + 76\,576\,500 + 36\,465\,000 = 305\,510\,788 \text{ so'm}$$

Keltirilgan xarajat $E_n = 0,12$

$$Z_{pt} = E_n \cdot K_{tl} + U_{tl} = 0,12 \cdot 1215500000 + 305510788 = 451\,370\,788 \text{ so'm}$$

Variant 2. $S_{nt} = 20000$ (kVA)

Transformator TDN-20000/16.5 tanlaymiz

$$\Delta P_{xx} = 24 \text{ kVt}$$

$$\Delta P_{kz} = 158 \text{ kVt}$$

Narxi:

$$K_{t2} = n \cdot K = 1 \cdot 1\,301\,300\,000 = 1\,301\,300\,000 \text{ so'm}$$

Yuklama koeffitsienti $K_z = S_p / (n \cdot S_{nt})$

$$\text{Ma'lumot uchun } S_p = 10222.4 \text{ kVt}$$

$$K_z = 10222.4 / (1 \cdot 20000) = 0,52$$

1 yil uchun maksimal isrof vaqti

$$\tau_m = (0,124 + T_m / 10000)^2 \cdot T_{yil}$$

$$T_m - \text{To'xtovsiz ishlaganda maksimal isrof vaqti} = 7000 \text{ soat}$$

$$T_{yil} - \text{Bir yildagi maksimal soat} = 8760 \text{ soat}$$

$$\tau_m = (0,124 + 7000 / 10000)^2 \cdot 8760 = 5948 \text{ soat/yil}$$

Bir yilda 1 kVt maksimal quvvatni narxi

$$m = \beta \cdot \tau_m$$

$$\beta - \text{qo'shimcha stavka} = 330 \text{ so'm/kVt}$$

$$m = 330 \cdot 5948 = 1\,962\,840 \text{ so'm/kVt-yil}$$

1 va 2 toifa uchun to'g'ri keladi.

$$m = 1\,962\,840 \text{ (so'm/kVt-yil) da 1 kVt ni bir yillik salt ishlashida maksimal isrofi}$$

$$m_0 = \beta \cdot T_v$$

$$m_0 = 330 \cdot 8760 = 2\,890\,800 \text{ so'm/kVt-yil}$$

Transformatoridagi bir yillik isrof narxi

$$U_{pl} = n (m \cdot \Delta P_{kz} \cdot K_z^2 + m_0 \cdot \Delta P_{xx}) = 1 \cdot (1962840 \cdot 158 \cdot 0,52^2 + 2890800 \cdot 24) = 153\,238\,005 \text{ so'm/yil}$$

Podstansiya va taqsimlash qurilmalarni elektr texnik jihozlari uchun amortizatsiyaga chiqim normasida: $E_a = 0,063$

$$U_a = K_{tl} \cdot E_a = 1\,301\,300\,000 \cdot 0,063 = 81\,981\,900 \text{ so'm}$$

Joriy ta'mirlash va xizmat ko'rsatishga chiqim:

$$E_{tr} = 0,03$$

$$U_{tr} = K_{tl} \cdot E_{tr} = 1\,301\,300\,000 \cdot 0,03 = 39\,039\,000 \text{ so'm}$$

Eksploatatsiya chiqimlari:

$$U_{tl} = U_{pl} + U_a + U_{tr} = 153\,238\,005 + 81\,981\,900 + 39\,039\,000 = 274\,258\,905 \text{ so'm}$$

Keltirilgan xarajat $E_n = 0,12$

$$Z_{pt} = E_n \cdot K_{tl} + U_{tl} = 0,12 \cdot 1\,301\,300\,000 + 274\,258\,905 = 430\,414\,905 \text{ so'm}$$

Xulosa.

Hisoblagan transformatorlarni bir-biri bilan taqqoslaganda 2- variantni keltirilgan xarajati 1 variantga nisbatan kam va hamma ko'rsatkichlari jihatdan tejamli – Variant 2- TDN 20000/16.5 kVA ni loyiha uchun tanlaymiz.

Variantini tanlash bo'yicha taqqoslash 1-jadvalda keltirilgan.

	1-jadval	
Taqqoslanadigan kattaliklarni nomlanishi	Variant 1	Variant 2

1. Tanlangan transformatorlar quvvati [kVA]	16000	20000
2 Narxi [mln.so'm]	1215.5	1301.300
3. Yuklama koefitsienti K_z	0.63	0.52
4. 1yil el. en. isrof narxi U_p [mln.so'm/yil]	192.469	153.238
5. Amortizatsiyaga chiqim [mln.so'm]	76.576	81.981
6. Joriy ta'mir. va xiz. ko'rsat.chiqim [mln.so'm]	36.465	39.039
7. Eksploatatsiya chiqimlari [mln.so'm]	305.510	274.258
8. Keltirilgan xarajatlar[mln.so'm]	451.370	430.414

O'z xarajatini qoplash muddati:

$$T_{ok} = (K_{t2} - K_{t1}) / (U_{t1} - U_{t2}) = (1301.300 - 1215.500) / (305.510 - 274.258) =$$

$$= 85.800 / 31.251 = 2.7 \text{ yil}$$

Demak, ikkinchi variant tejamli va loyiha uchun qabul qilamiz. Bunda bizni hisob-kitoblarga qaraganda 20.956 mln. so'm pulni tejab qolgan bo'lamiz.

ADABIYOTLAR

1. Usmonxo'jaev N. Yoqubov B. Elektr ta'minoti. Toshkent-2017 yil. bet-250
2. Ibragimov U. Elektr mashinalari. Toshkent -2019 yil. bet -125
3. Salimov J.S. Pirmatov I.B. Elektr mashinalar Toshkent-2012 yil. bet -98
4. Spravochnik po proektirovaniyu elektrosnabjeniya liniy elektroperedachi «Energiya» M-2017g. bet -175
5. www.ies.uz
6. www.wikipedia.uz

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕГО АГРЕГАТА ПРИ РАЗНЫХ СХЕМАХ УЗЛА ПОДОГРЕВА ГАЗА

А.А Мукольянц, Ж.М. Низомов

Ташкентский государственный технический университет

Аннотация. Мақолада ҳар бир ҳолатда максимал электр энергиясини ишлаб чиқарish муаммосining optimal yechimini topish uchun gazni isitishning turli xil variantlarida detander-generator agregatining samaradorligini taqqoslash ko'rib chiqiladi. Kirish parametrlarining eksergetik foydali ish koefitsientiga ta'sirini aniqlash uchun ko'rib chiqilayotgan sxemalarning har birining eksergetik tahlili o'tkazildi. Kirish parametrlarining eksergetik foydali ish koefitsientiga ta'sirining grafigi ko'rsatilgan.

Калит сўзлар: tabiiy gaz, detander-generator agregati, drossel, elektr energiyasi, gazni isitish, eksergetik FIK, energiya samaradorligi, issiqlik tashuvchining harorati, sovutish.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье рассматривается сравнение эффективности работы детандер-генераторного агрегата при разнообразных вариантах подогрева газа с целью нахождения оптимального решения задачи максимальной выработки электроэнергии в каждом конкретном случае. Проведен эксергетический анализ каждой из рассматриваемых схем в целях выявления влияния входных параметров на эксергетический коэффициент полезного действия. Выведены графики зависимости влияния входных параметров на эксергетический коэффициент полезного действия.

Ключевые слова: природный газ, детандер-генераторный агрегат, дроссель, электроэнергия, подогрев газа, эксергетический КПД, энергоэффективность, температура теплоносителя, холодоснабжение.

Аннотация. The article discusses a comparison of the operating efficiency of an expander-generator unit for various gas heating options in order to find the optimal solution to the problem of maximum electricity generation in each specific case. An exergy analysis of each of the considered schemes was carried out in order to identify the influence of input parameters on the exergy efficiency. Graphs of the influence of input parameters on the exergy efficiency are plotted.

Keywords: natural gas, expander-generator unit, throttle, electricity, gas heating, exergy efficiency, energy efficiency, coolant temperature, refrigeration

Детандер-генераторные агрегаты, используются для трансформации механической энергии высокого давления транспортируемого природного газа, в электрическую [1]. Такое решение позволяет повысить эффективность использования газопроводной системы и частично снизить затраты на получение энергии.

При проведении сравнения эффективности ДГА и дросселя на ГРП в качестве критерия эффективности был выбран эксергетический КПД. Предполагалось сравнение эксергетического КПД для схемы с дросселем и между предлагаемыми (без подогрева потока газа, с подогревом потока газа перед детандером, с подогревом потока газа после детандера, с подогревом потока газа перед и после детандера) [2]. Такой подход позволяет оценить термодинамическую эффективность различных технологических решений и выбрать наиболее оптимальное из них.

При расчёте эксергетического КПД использовалось следующее выражение:

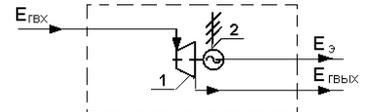
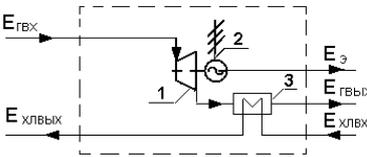
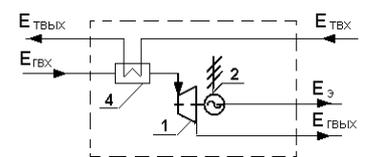
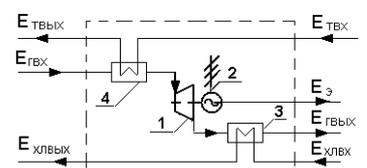
$$\eta_e = \frac{\sum E_{\text{ВЫХ}}}{\sum E_{\text{ВХ}}},$$

где $\sum E_{\text{ВЫХ}}$ и $\sum E_{\text{ВХ}}$ - сумма эксергий на выходе и на входе установки, кВт.

В табл.1 рассмотрены схемы включения ДГА, взамен схемы с дросселем при расширении газа.

Таблица 1

Описание схемы	Схема	Выражение для эксергетического КПД
1. Схема с дросселирующим устройством		$\eta_e = \frac{E_{\text{ГВЫХ}}}{E_{\text{ГВХ}}}$

<p>2. Схема с ДГА без подогрева потока газа (электропитание потребителя)</p>		$\eta_e = \frac{(E_{ГВЫХ} + E_{Э})}{E_{ГВХ}}$
<p>3. Схема с ДГА с подогревом потока газа после детандера (электро-и хладоснабжение потребителя)</p>		$\eta_e = \frac{E_{ГВЫХ} + E_{Э} + E_{ХЛВЫХ}}{E_{ГВХ} + E_{ХЛВХ}}$
<p>4. Схема с ДГА с подогревом потока газа перед детандером (электропитание потребителя)</p>		$\eta_e = \frac{E_{ГВЫХ} + E_{Э}}{E_{ГВХ} + E_{ТВХ}}$
<p>5. Схема с ДГА с подогревом потока газа перед и после детандера (электро-и хладоснабжение потребителя)</p>		$\eta_e = \frac{E_{ГВЫХ} + E_{Э} + E_{ХЛВЫХ}}{E_{ГВХ} + E_{ХЛВХ} + E_{ТВХ}}$

В расчётах были приняты следующие исходные данные: плотность транспортируемого природного газа - 0,75 кг/м³; относительный КПД детандера - 0,85; температура газа до детандера принята +130°С; температура, теплоносителя составила +10°С; температура охлаждающей жидкости + 8 °С.

Эксергия потока природного газа:

$$E_{\text{пот}} = G_{\text{пот}} [(h_{\text{пот}} - h_0) - T_0(s_{\text{пот}} - s_0)], \quad (1.1)$$

где $G_{\text{пот}}$ - массовый расход газа, кг/с;

$h_{\text{пот}}$, h_0 - энтальпия газа при текущих параметрах и параметрах окружающей среды, кДж/кг;

T_0 - температура окружающей среды, К;

$s_{\text{пот}}$, s_0 - энтропия газа, кДж/(кг·К).

Рассчитывается эксергия тепла:

$$E_{\text{теп}} = Q_{\text{теп}} (1 - T_0 / T_{\text{теп}}), \quad (1.2)$$

где $Q_{\text{теп}}$ - подводимое тепло, кВт;

$T_{\text{теп}}$ - температура подводимого тепла, К.

Рассчитывается эксергия холода:

$$E_{\text{хол}} = Q_{\text{хол}} (T_0 / T_{\text{хол}} - 1), \quad (1.3)$$

где $Q_{\text{хол}}$ - отводящий поток холода, кВт;

$T_{\text{хол}}$ - температура отводящего потока холода, К.

Температура потока, который направляется потребителю:

$$T_{\text{ср.лг}} = \frac{T_6 - T_M}{\ln(T_6 / T_M)}, \quad (1.4)$$

где T_6 – максимальная температуры потока, К;

T_m – минимальная температуры потока, К.

Рассчитывается эксергия электроэнергии по:

$$E_{\text{э}} = N_{\text{э}}, \quad (1.5)$$

где $N_{\text{э}}$ – электрическая мощность, кВт.

Величины эксергий и эксергетических КПД после расчета отображены в табл.2, [3].

Таблица 2

Схема	Эксергия электроэнергии и $E_{\text{э}}$, кВт	Эксергетический КПД, η_e %
1. Схема с дросселированием	-	50,31
2. Схема без подогрева потока газа	5115	88,99
3. Схема подогрева потока газа после детандера	4851	83,66
4. Схема с подогревом потока газа перед детандером	6280	81,78
5. Схема подогрева потока газа перед и после детандера	5598	80,99

Схема №1. Дросселирование

При исследовании воздействия параметров процессов на эффективность использования ДГА вместо дросселя необходимо учитывать влияние различных факторов на эксергетический КПД. Важными параметрами являются давления при входе и на выходе, температуры газа при входе в ГРП, массовый расход газа и температура окружающей среды.

Процесс при дросселировании газа – адиабатический. В этом случае технологический перепад давления газа после прохождения через детандер полезно не используется.

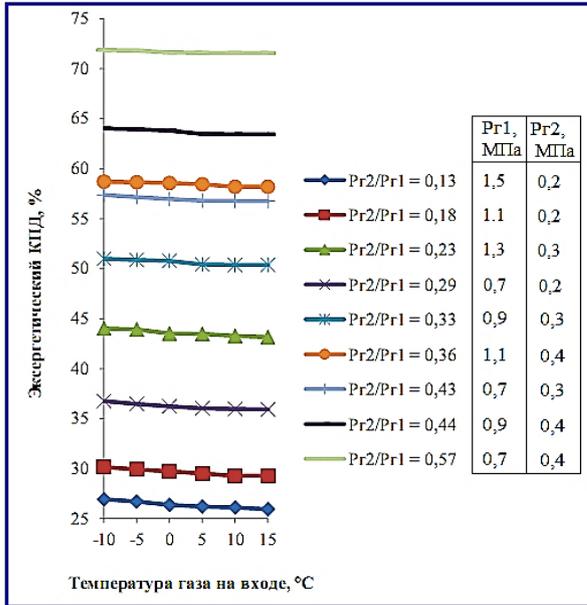


Рис.1. Влияние температуры газа при входе на ГРП на эксергетический КПД дросселя

Рассчитанные результаты для ГРП изображены на графике (рис.1).

Повышение температуры газа на входе в ГРП приводит к увеличению его энтропии на выходе из-за увеличения тепловых потерь и повышения необратимости процесса. Увеличение энтропии означает, что возрастает бесполезная составляющая энергии газа, которую нельзя использовать для выполнения работы. В связи с чем, эксергия газа на выходе уменьшается.

Схема №2. Отсутствие подогрева газа перед детандером

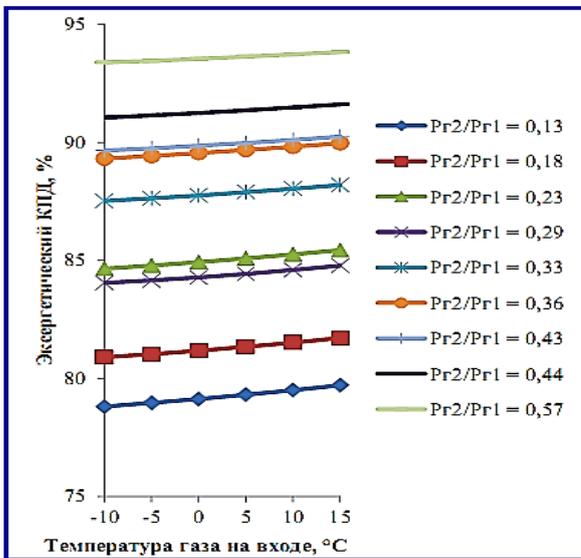


Рис.2. График зависимости эксергетического КПД ДГА от температуры газа (отсутствие подогрева газа)

Использование ДГА на газораспределительных станциях может привести к более высокому эксергетическому КПД и эффективному использованию энергии транспортируемого газа. Также это позволяет производить электрическую энергию на ГРП для собственного потребления или передавать ее потребителям.

На рис.2 изображен график влияния температуры входящего газа на эксергетический КПД установки.

Схема №3. Подогрев газа перед детандером

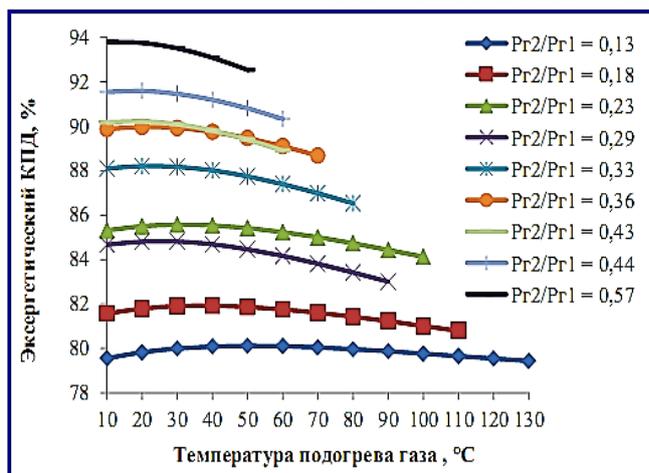


Рис.3. Влияние температуры подогрева газа на эксергетический КПД ДГА

вающего газ перед детандером. Кривая зависимости изменения КПД, в этом случае, описывается полиномиальной функцией k -й степени. В связи с чем, температура подогретого газа перед детандером влияет на эксергетический КПД ДГА, а применение теплообменника, подогревающего газ перед ДГА приводит к увеличению эксергетического КПД.

Рассчитанные результаты для ГРП изображены на графике (рис.3).

Схема №4. Подогрев газа за детандером

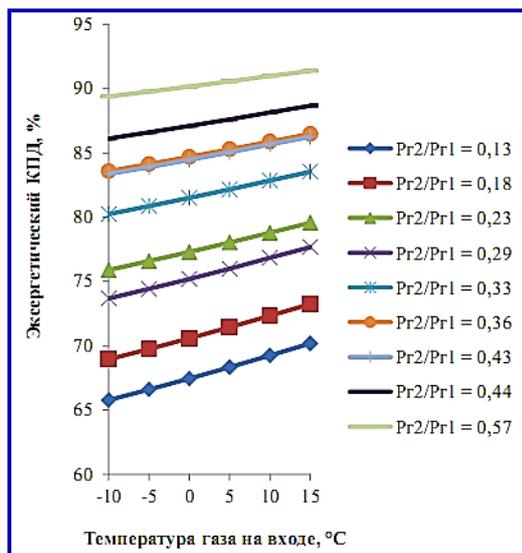


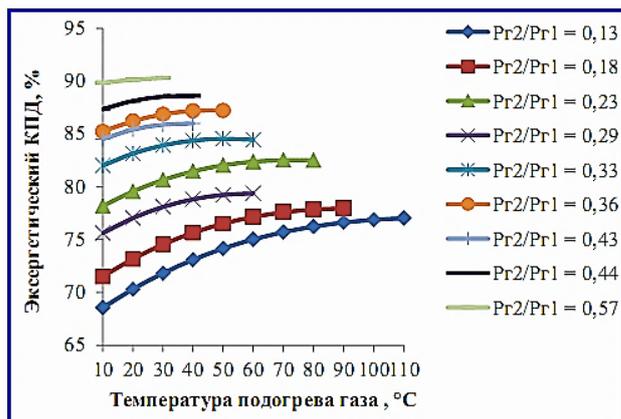
Рис.4. Влияние повышения температуры газа на входе ГРП на эксергетический КПД ДГА

На рис.4 видно, что эксергетический КПД ДГА с подогревом газа за детандером увеличивается, если растет температура газа на входе агрегата.

Схема №5. Подогрев газа до и за детандером

Газ входящий на ГРП перед детандером подогревается в теплообменнике, и вся подведенная энергия преобразуется в детандере в механическую. С повышением температуры природного газа на входе в ДГА, эксергетический КПД ГРП будет зависеть от температуры теплоносителя, нагрет-

Если газ расширяется в детандере без подогрева перед ним, то на выходе сильно охлаждается и может быть использован как источник холода. В связи с чем газ необходимо подогреть на выходе. Такой подход позволяет использовать энергию, которая обычно теряется при неоптимальной работе установки, и позволяет снизить энергопотребление и затраты на холодоснабжение.



При недостаточности тепла для подогрева газа в детандере до необходимой температуры, устанавливаются теплообменники, которые размещаются до и после детандера. Из графика (рис.5) видно, увеличении температуры подогрева газа перед детандером влечёт за собой увеличение эксергетического КПД.

Рис.5. Рост эксергетического КПД ДГА в зависимости от температуры подогрева газа перед детандером

Таким образом, по результатам расчета вытекает следующее: использование ДГА на ГРП существенно повышает эффективность работы, и снижает затраты при выработке электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка схемы и эксергетический анализ работы ДГА с возможностью одновременного получения электроэнергии и «глубокого холода» / В. Я. Губарев, А. Ю. Картель // Вестн. Воронеж. гос. университета инженер. технологий. – 2014. – № 3. – С. 40 – 44.
2. Влияние конфигурации турбодетандерного оборудования на эффективность использования силового потенциала топливного газа / А.С. Стребков, А.В. Осипов, С.В. Жавроцкий // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 4 (44). – С. 109-113.
3. Мукольянц А.А., Таубалдиев А.А., Махмудов А.А. Использование детандер-генераторного агрегата для энергоснабжения объектов, удаленных от магистральных электрических сетей. Всероссийская конференция “Неделя науки Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого”: Сборник материалов Всероссийской конференции, В 3 ч. Ч. 1. - СПб, 4-10 апреля 2022 г. С. 217-219.

OHISTA ISHGA TUSHURISH QURILMASNI QO'LLAB KABEL CHO'ZISH JARAYONINI TAKOMILLASHTIRISH

DSc., prof. X.B.Sapayev, DSc., prof. Sh.B.Umarov, ass. U.A. Boqijonov
Ташкентский государственный технический университет

Annotation. The article presents the results of modernizing the current technological process of cable production of NATIONAL HOLDINGS LLC by ensuring an increase in the smoothness of wire tension. It is shown that the use of a soft start device will significantly reduce the harmful dynamic effects on the engine and drive mechanism, will provide a significant increase in the service life of electric motors and

actuators, and will also increase the service life of expensive equipment - dies, and will also reduce the level of copper waste.

Key words: asynchronous electric drive, frequency converter, dynamic mode, electromechanical system, electric drive control system.

Аннотация. В статье приводятся результаты по модернизации действующего технологического процесса кабельного производства ООО «NATIONAL HOLDINGS» за счет обеспечения повышения плавности натяжения проволоки. Показано, что применение устройства плавного пуска позволит существенно уменьшить вредные динамические воздействия на двигатель и приводной механизм, обеспечит значительное увеличение срока эксплуатации электродвигателей и исполнительных устройств, а также увеличит срок службы дорогостоящего оборудования – фильеров, а также обеспечит снижение уровня отходов меди.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, частотный преобразователь, динамический режим, электромеханическая система, система управления электроприводом.

Аннотация. Maqolada sim tarangligining silliqiligini oshirishni ta'minlash orqali NATIONAL HOLDINGS MChJ korxonasida kabel ishlab chiqarishning joriy texnologik jarayonini modernizatsiya qilish natijalari keltirilgan. Yumshoq ishga tushirish moslamasidan foydalanish orqali yuritma motori va qo'zg'alish mexanizmiga zararli dinamik ta'sirni sezilarli darajada kamaytirishi, elektr motori va ishchi organining ishlash muddatini sezilarli darajada oshirishi, shuningdek, qimmatbaho uskunalар - fileralarning ishlash muddatini oshirishi, shuningdek, mis chiqindilari darajasini pasaytirilishi ko'rsatilgan...

Калит so'zlar: asinxron elektr yuritma, chastota o'zgartkichi, dinamik rejim, elektromexanik tizim, elektr yuritmani boshqarish tizimi.

Dunyoda sanoatning turli sohalarida keng qo'llaniladigan tok o'zgartgichlari asosida kuch yarimo'tkazgichli o'zgartgich texnologiyasini ishlab chiqish, energiya parametrlarini saqlashda yuqori aniqlik bilan ulardan oqilona foydalanish, ekspluatatsiya ishonchliligini oshirish va xizmat ko'rsatish darajasini oshirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Hozirgi vaqtda rivojlangan mamlakatlarda "...ishlab chiqarilgan elektr energiyasining 60% dan ortig'i yarimo'tkazgichli o'zgartgichlar orqali o'tadi. Energiya elektronikasi tizimlaridan jahon darajasiga qadar foydalanish orqali ishlab chiqarilgan elektr energiyasining 12-15 foizini tejash mumkin bo'ladi" [1]. Shu munosabat bilan, iste'mol qilinadigan energiya sifati va energiya manbalarining ishonchliligi uchun yuqori talablarga ega bo'lgan energiya ob'ektlarini zarur energiya bilan ta'minlash uchun mo'ljallangan turli maqsadlar uchun tok o'zgartgichlari asosidagi vintel o'zgartgichlarining energiya samaradorligini oshirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. [2].

Yuqoridagi muammolarni hal qilish uchun kabel ishlab chiqarishning texnologik jarayonini modernizatsiya qilish bo'yicha turli tadbirlarni ishlab chiqish va amalga oshirish shubhasizdir.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ushbu maqolada NATIONAL HOLDINGS MChJ kabel ishlab chiqarishning joriy texnologik jarayonini ohista ishga tushirishni ta'minlash orqali modernizatsiya qilish natijalari keltirilgan. Ushbu taklif qilingan texnik yechim simning tolasini tortilishining silliqqligini ta'minlash orqali dvigatel va qo'zg'alish mexanizmiga zararli dinamik ta'sirlarni sezilarli darajada kamaytirishga, elektr motorlari va aktuatorlarning xizmat qilish muddatini sezilarli darajada oshirishga, shuningdek qimmat uskunalarning ishlash muddatini oshirishga imkon beradi. va mis chiqindilari darajasini pasaytiradi.

Hozirgi vaqtda elektr motorlarini yumshoq ishga tushirishning to'g'ridan-to'g'ri ishga tushirish yoki yumshoq ishga tushirishning loyihalashning afzalligi, masalan, yulduzdan uchburchakka o'tish, avtotransformatordan foydalanish va hokazolar nisbatan yaxshiligiga hech qanday shubha yo'q. [3].

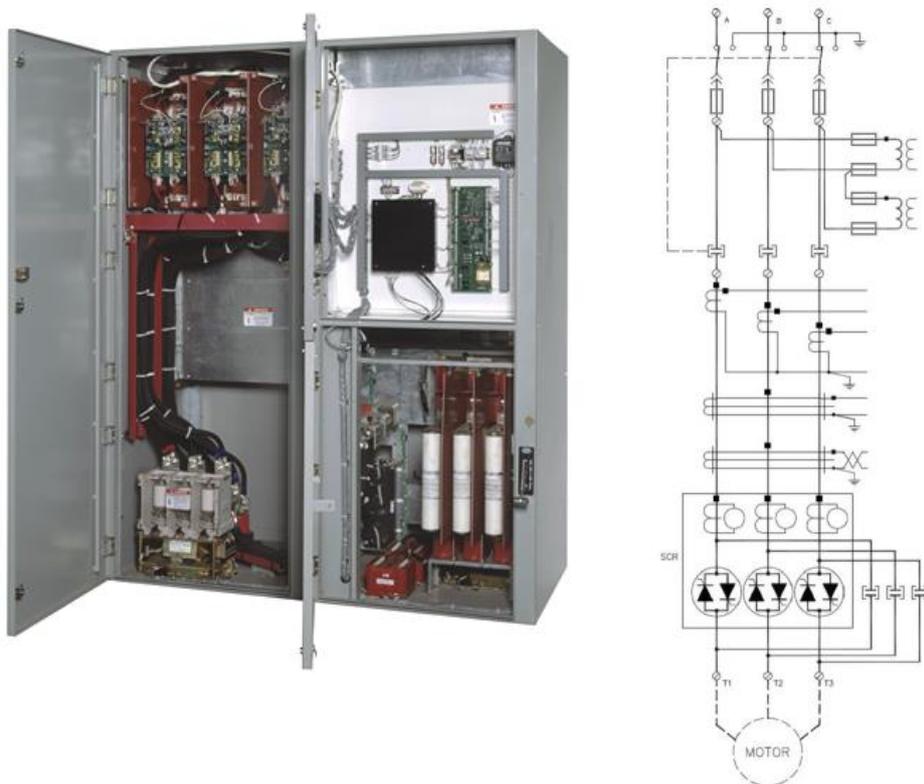
Tiristorni ishga tushirish moslamalari (TPU) yoki ular ham deyilganidek, uch fazali past kuchlanishli asinxron motorlarning (IM) ishga tushirish va to'xtash rejimlarini qisqa tutashgan rotor bilan boshqarish uchun mo'ljallangan yumshoq ishga tushirish moslamalari (SPD), butun dunyoda keng tarqalmoqda.

Tarmoqqa to'g'ridan-to'g'ri ulanish orqali asinxron qisqa tutashgan rotorli motorlarni ishga tushirish odatda nominal qiymatdan bir necha barobar ko'p bo'lgan katta boshlang'ich tok bilan birga keladi. To'g'ridan-to'g'ri ishga tushirish paytida motor momenti nominaldan sezilarli darajada oshib ketadigan qiymatlarga ham yetishi mumkin. Bu harakatlanuvchi mexanizm ham, tarmog'ida o'zgarish va katta yuklanishga olib keladi. Bir qator mexanizmlar tezlashuv, sekinlashuv yoki tormozlash vaqtida motor momentini silliq oshirish yoki kamaytirishni talab qiladi. Ushbu muammoni hal qilish uchun ishga tushirish toki va motor momentidagi yuklamani kamaytirish uchun maxsus ishga tushirish moslamalari qo'llaniladi.

UPP dan foydalanish shunday imkoniyatlarni beradi:

- 1) dvigatelning ham, mexanizmning ham eng yuqori mexanik yuklarmarini cheklash;
- 2) yumshoq, zarbasiz ishga tushirishni amalga oshiradi;
- 3) ishga tushirish tokini kamaytiradi;
- 4) quvvat koeffitsientini yaxshilidi;
- 5) motor yuklamasiz ishlayotganida energiyani tejaydi;
- 6) ulangan paytida tokni sakrashlarni yo'q qilish;
- 7) ba'zi hollarda, elektr va gidro muftalaridan foydalanishni istisno qiling.

NATIONAL HOLDINGS MChJ korxonasiida JKSSS seriyali ohista ishga tushirish qurilmasidan (SPD) foydalanish taklif qilindi. Ko'plab tadqiqotlar va so'nggi ishlanmalar tufayli tiristorlar yordamida ishlab chiqarilgan elektr motorlar uchun JKSSS ohista ishga tushirish qurilmalarining zamonaviy seriyasi paydo bo'ldi. Komponentlarning optimal joylashuvi bilan ixcham dizayn (400A shkafning kengligi atigi 762 mm) saqlash va ishlatish uchun qulay va xavfsizdir. Asinxron, sinxron elektr motorlar va faza rotorli motorlarni ishga tushirish va himoya qilish uchun JKSSS seriyasi 6,6 kV gacha kuchlanish uchun mavjud (10 kV va undan yuqori kuchlanish uchun ular buyurtma asosida alohida ishlab chiqariladi).



1-rasm. JKSSS seriyali ohista ishga tushirish moslamasi (SPD): a) tashqi ko'rinish; b) elektr sxemasi

Ohista ishga tushirish boshqariladigan funksiyalarni ta'minlaydi: ishga tushirish paytida ham, ish rejimida ham g'ayritabiiy sharoitlardan va diagnostikadan himoya qilish, zarbasiz ishga tushirish - qo'zg'alish mexanizmi uchun eng qulay rejim, to'xtash rejimi bilan qisqartirilgan ishga tushirish momenti bilan boshlang. Shovqinsiz ishga tushirish eksponensial qonunga muvofiq dvigatelga kuchlanish qo'llash orqali amalga oshiriladi. Bunday holda, boshlang'ich momentni to'g'ridan-to'g'ri ishga tushirish bilan solishtirganda taxminan 10 barobar kamaytirish mumkin. Boshqariladigan ishga tushirish, shuningdek, boshlash vaqti 0,2 - 60 soniya ichida sozlanganda murakkab ishga tushirishni (kechiktirilgan ishga tushirishni) va ishga tushirish vaqtida ishga tushirish toklari belgilanganidan oshmaydigan tokni kesish bilan boshlashni ham anglatadi. Joriy uzilish bilan ishga tushirish rejimida ishga tushirish toklarining qiymatlari (to'xtash toki) $I_{start} = I_{nom} \div 6 I_{nom}$ chegaralarida o'rnatilishi mumkin, bu erda I_{nom} - dvigatelning nominal toki.

Ohista ishga tushirishdan foydalanishning umumiy natijasi elektr yuritmaning ishonchligini oshirishdan iborat.

Ohista ishga tushirishdan foydalanish orqali sim tola texnologiyasini ishlab chiqarishni modernizatsiya qilish imkonini berdi:

- mis chiqindilari darajasini pasaytirish (8% ga);
- qimmatbaho uskunalarning xizmat qilish muddatini oshirish - tabiiy olmos o'rtacha (5% ga) o'ladi;
- mashina vaqti uzaytirildi (12% ga);
- texnologik asbob-uskunalarni to'ldirilishdan ishlashning smenalari soni o'rtacha 1,2 barobarga oshirildi.

Shu bilan birga, hal qilinishi kerak bo'lgan asosiy vazifa texnologik jarayonning silliqiligini oshirish va simlarning uzilishini kamaytirish, ob'ektini hisobga olgan holda uning parametrlarini nazorat qilish orqali kabel va sim mahsulotlarining tok o'tkazuvchanligi ekspluatatsion parametrlarini yaxshilash edi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. <https://www.electronics.ru/journal/article/68.pdf>
2. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана.-Ташкент: Molia, 2007.- 388 с.
3. Hoshimov O.O., Imomnazarov A.T. Elektrmexanik tizimlarda energiya tejamkorlik. Darslik. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2015.- 167 b.

УДК 621.313

ОБОЩЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАБЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Иванова В.П., Цыпкина В.В., Козлитин М.Н., Аминов Р.Д.

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

В настоящее время конструкции всех кабельных изделий содержат токопроводящую жилу (ТПЖ), которая производится на волочильных машинах (ВМ). Высокое качество ТПЖ обеспечивается при соблюдении технологических требований: регулирование натяжения проволоки; отсутствие петель, перетягов; контроль натяжения и минимизация относительного удлинения. Данные требования являются основными технологическими нормативами, поддержание которых в требуемых диапазонах позволяет получить качественную кабельную продукцию – кабель или провод.

Процесс волочения, особенности исполнения ВМ определяют требования к автоматизированному электроприводу (АЭП)[1]: согласование движения рабочих органов ВМ, пуск и останов; регулирование рабочей скорости в заданном диапазоне; регулирование натяжения проволоки и стабилизация равномерности раскладки; регулирование натяжения и диаметра проволоки; обеспечение высокой надежности электрооборудования; стабилизация диаметра проволоки и ее остаточных деформаций, фиксированная вытяжка на заданный диаметр готового изделия, соблюдение маршрута волочения, петлеобразование и обрывность, плавность пуска и торможения, а так же включение режима аварийного останова.

Требования к АЭП ВМ определяют принципы и варианты построения систем управления электроприводом (СУ ЭП). Основной отличительной чертой рассматриваемой модернизированной системы является наличие дополнительного блока, который обеспечивает стабилизацию скорости волочения проволоки. Это достигается путем уменьшения частоты вращения вала электродвигателя дополнительного блока, связанного с осью приемного барабана основного механизма ВМ через редуктор, с обеспечением автоматического регулирования частоты вращения двигателя и как следствие поддержание натяжения и вытяжки проволоки в требуемом диапазоне.

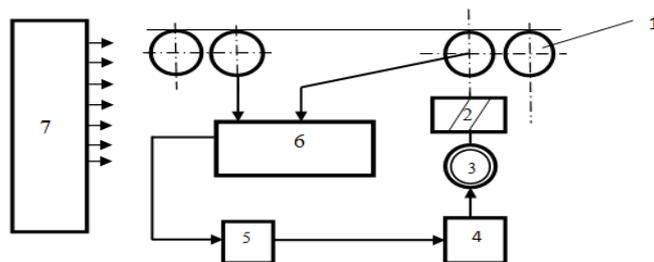


Рис.1 Функциональная схема СУЭП ВМ:

1 – тянущий барабан; 2 – редуктор; 3- ЭД; 4 – преобразователь (усилитель мощности); 5– система регулирования параметров процесса волочения; 6 – система датчиков; 7 – система вспомогательных устройств

АЭП ВМ должен обеспечить контроль и управление основными технологическими параметрами волочения: длина и диаметр проволоки, натяжение, число витков на тянущем барабане (рис.1). При этом необходимо согласовать работу дополнительного узла и основного рабочего механизма волочильной машины, а так же приемного механизма с учетом соблюдения всех технологических режимов процесса волочения.

Роль усилителя мощности в системе управления АЭП ВМ выполняют тиристорные/транзисторные преобразователи. Датчики системы зависят от вида СУЭП ВМ: количество контролируемых координат, вид снимаемого сигнала, требование к точности. Построение АЭП ВМ обеспечивается контролем основных технологических параметров процесса волочения и управлением через натяжение проволоки на последующем тянущем барабане дополнительного блока: длины проволоки и диаметра, окружной и линейной скоростей и числа витков. Согласование скоростей барабанов и исключение перенатяжения выполняют петлеобразователи – (датчики натяжения), они дают возможность уменьшить чувствительность системы к упругости металла, а сигнал, получаемый с датчика натяжения, оценивает величины натяжения и позволяет системе оперативно управлять натяжением и идентифицировать другие параметры процесса волочения, которые недоступны прямому измерению.

Процесс намотки отволоченной проволоки на барабан приемника осуществляется устройствами с контактным и бесконтактным измерением радиуса намотки (прямой и косвенный способы).

Контактный способ не может обеспечить высокую точность измерений текущего радиуса намотки (эксцентриситет барабана), поэтому предпочтительными являются устройства, реализующие бесконтактные способы измерения радиуса (косвенная оценка отношения линейной скорости барабана к окружной, измерение радиуса барабана как длины наматываемой проволоки при повороте барабана на угол равный одному радиану). Состав устройства: импульсные датчики частоты вращения наматывающего вала. Длина намотанной проволоки определяется количеством импульсов напряжения на выходе датчика с достаточно высокой точностью измерения радиуса барабана и дополняется системой, позволяющей начать измерение с произвольной координаты.

Натяжение проволоки, как основная координата, определяет ее свойства [2]. Система регулирования натяжения реализуется на принципах косвенного и прямого регулирования. Автоматизация и оперативный контроль технологических

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

режимов работы оборудования в общем случае реализуются системой управления двухдвигательным электроприводом ВМ с использованием двухконтурных систем подчиненного регулирования частоты вращения двигателя ВМ и приемника. Пропорционально-интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы) позволяют во внутреннем контуре тока двигателя ВМ и приемника компенсировать инерционность силовой цепи и формировать переходный процесс в контуре тока с обеспечением более быстрого роста тока якоря при отсутствии перерегулирования с необходимым ограничением тока и скорости двигателей при перегрузках и колебаниях напряжения сети (выбор осуществляется из условия обеспечения минимальной статической ошибки по скорости ведущего двигателя ВМ). Двигатель приемника оснащен ПИ-регулятором скорости и натяжения проволоки. Управление ВМ осуществляется в функции сигнала, формируемого либо на выходе измерителя радиуса приемного барабана, либо в функции длины наматываемой проволоки. Работа устройства основана на способе управления плотностью намотки (Архимедова спираль) [3], формированием, в соответствии с законом регулирования, натяжения проволоки в функции сигнала разности фактического и теоретического радиусов намотки, поступающего через интегратор на вход датчика натяжения. Сигналы оперативного контроля скорости намотки, длины проволоки, ее натяжения, показателя равномерности раскладки, радиуса барабана и числа витков поступают в управляющее устройство и обеспечивают выдачу текущей информации о ходе технологического процесса и формируют команду на автоматический останов при достижении заданных параметров (длина проволоки и радиус барабана).

При выборе варианта построения системы управления процессом волочения [4,5] необходимо учитывать динамические характеристики объекта управления и контура регулирования натяжения к контуру регулирования плотности намотки; регулирование натяжения, снижение чувствительности динамических характеристик к естественной инерции барабана и статического момента приводного двигателя; выполнить построение системы на уровне контура управления изменением диаметра проволоки, что объясняется высокими требованиями к точности измерения линейных параметров движущейся проволоки, радиуса намотки, натяжения и частоты вращения барабана, необходимостью применения для контроля процесса намотки проволоки датчиков; в случае установки малоходового датчика натяжения в условиях параметрических и внешних возмущений использовать реверсивные преобразователи для питания приводных двигателей и обеспечение необходимого быстродействия и точности регулирования во всех режимах работы.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что правильно выбранный вариант САУ ЭП позволит повысить эксплуатационные характеристики ВМ на 10% по сравнению с имеющимися, а качество готовой продукции и эксплуатационные параметры отволоченной проволоки останутся на прежнем уровне. При этом будет достигнута существенная экономия меди за счет уменьшения числа аварийных остановов, сокращение заправочных концов и как следствие внедрение программы ресурсо- и энергосбережения в основное производство .

Список литературы

1. Ганель В.Я. Электропривод волочильных станов и канатных машин. -М., Металлургиздат – 1962. - С.102-125.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижяев С.А. Электропривод и автоматизация волоочильного оборудования. – Самара: ООО «ИЦ Книга», 2002. - С. 63-74.
3. Быстров А.М. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий текстильной промышленности /Быстров А.М., Глазунов В.Ф. - М.: Легкая индустрия, 1977. - С.225-263.
4. Глазунов В.Ф. Принципы подчиненного регулирования при построении электропривода высокоскоростной поточной линии, 1980. - С. 75-86.
5. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижяев С.А. Автоматизация и наладка кабельного оборудования.- Самара: ООО «ИЦ Книга», 2001. - С. 175-185.
6. Патент РУз № UZ FAR 00659 от 20.07.2010г. «Волоочильная машина»

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Исамухамедов Д.Н., Атамухамедова Р.Ф., Ортиқова М.Ж., Ёкубжонов Д. У.
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова*

В кабельной промышленности наблюдается постоянное развитие новых технологий, направленных на улучшение производительности, надежности и эффективности кабельных систем. Некоторые из последних технологических инноваций включают в себя:

Использование графена: Графен, однослойный углеродный материал, обладает уникальными электрическими и механическими свойствами. Внедрение графена в состав кабелей позволяет улучшить их проводимость и прочность, что делает их более эффективными для передачи сигналов.

Новые материалы с низкой диэлектрической проницаемостью: Разработка новых материалов с пониженной диэлектрической проницаемостью, таких как полиэтилен с пониженной диэлектрической проницаемостью (PE-LD), помогает уменьшить потери сигнала на высоких частотах и повысить пропускную способность кабелей.

Использование фторпластиков: Фторопластики, такие как PTFE, обладают низкой диэлектрической потерей и высокой термической стабильностью, что делает их идеальными материалами для кабелей, используемых в высокочастотных приложениях, таких как системы 5G.

Умные кабельные системы: Внедрение сенсоров, аналитики данных и систем искусственного интеллекта позволяет создавать умные кабельные системы, способные мониторить состояние кабелей в реальном времени, выявлять проблемы и предотвращать отказы.

Экологически устойчивые материалы и процессы: Внимание к экологической устойчивости приводит к разработке более экологически чистых материалов и процессов производства кабельных систем, что способствует снижению воздействия на окружающую среду.

Эти технологии продолжают развиваться и применяться в кабельной промышленности, обеспечивая более высокую производительность, надежность и эффективность передачи данных в различных приложениях, от телекоммуникаций до энергетики и промышленности.

Эти и другие новые технологии играют важную роль в развитии кабельной промышленности и позволяют компаниям быть конкурентоспособными на рынке.



Рис.1 Оптоволоконный кабель.

Специальные полимеры, медь с покрытием серебром, алюминий, стекловолокно и другие инновационные материалы. Также важно, чтобы кабели для 5G были гибкими и легкими, чтобы обеспечить удобство установки и эксплуатации. Все эти технологические инновации в кабельной промышленности обеспечивают развитие сетей 5G и обеспечивают быструю и надежную связь для потребителей.

Полиэтилен с пониженной диэлектрической проницаемостью (PE-LD) действительно является материалом с низкой диэлектрической проницаемостью. Это означает, что он способен уменьшать потери сигнала при передаче высокочастотных сигналов. Из-за этого PE-LD часто используется в качестве изоляции для проводников, особенно в приложениях, где важно сохранить качество сигнала на высоких частотах, например, в кабелях для передачи данных или в радиочастотных приложениях. Кабельная промышленность действительно находится в центре технологических изменений, а различные материалы, такие как фторопластик (PTFE) и графен, играют ключевую роль в этом процессе. Улучшение материалов для кабелей помогает повысить их производительность, надежность и эффективность передачи сигналов на высоких частотах, что особенно актуально в эпоху 5G и расширения интернета вещей. Системы умного управления кабельными сетями также являются важной частью развития отрасли, позволяя более эффективно использовать ресурсы, предотвращать отказы и обеспечивать более надежную работу кабельных сетей (рис.1).

Экологическая устойчивость также становится все более важной для отрасли, и разработка более экологически чистых материалов и процессов производства способствует снижению воздействия на окружающую среду.

В целом, прогноз на будущее кабельной промышленности выглядит обнадеживающе, с фокусом на увеличение пропускной способности, интеграцию новых технологий, экологическую устойчивость и развитие умных систем управления.

Внедрение новых технологий, таких как 5G, требует разработки и производства соответствующих кабелей. Продолжаются исследования и разработки для создания кабелей, способных эффективно работать в новых сетевых средах. Экологическая устойчивость: Возрастающее внимание к экологической устойчивости приведет к разработке кабелей, более эффективных с точки зрения использования ресурсов и переработки. Развитие умных кабельных систем: Системы умного управления

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

кабельными сетями будут продолжать развиваться, обеспечивая оптимизацию работы и мониторинг состояния кабелей. Рост применения в промышленности и строительстве: Кабели будут все активнее использоваться в различных промышленных и строительных приложениях, поддерживая автоматизацию процессов и передачу данных. Прогноз на будущее свидетельствует о том, что кабельная промышленность будет находиться в центре технологических изменений и играть важную роль в поддержании современных коммуникационных и энергетических потребностей. Развитие кабельной отрасли приносит с собой множество выгод и возможностей для общества. В первую очередь, развитие кабельных технологий способствует более быстрой и надежной передаче данных. Это важно для коммуникаций в интернете, мобильной связи, телевидении и других сферах. Также они играют ключевую роль во внедрении новых технологий, что тоже не маловажно. Более того, развитие технологий делает их еще и более безопасными, что, в современных условиях, тоже несомненный плюс.

Литература

1. Автоматизированные информационные технологии в экономике : учебник / М. И. Семенов [и др.] ; под общ. ред. И. Т. Трубилина. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 416 с.
2. Алексеева, М. Б. Технология использования систем мультимедиа : учеб. пособие / М. Б. Алексеева, С. Н. Балан. – СПб. : Изд. дом «Бизнес-пресса», 2002. – 176 с.
3. V.V. Tsyapkina, V.P. Ivanova, D. N. Isamukhamedov, A. U. Turabekov, S. M. Nayitmuradova; Ways to solve the system technical and economic issue - digital transformation of the technological process of manufacturing cable products. AIP Conf. Proc. 5 January 2023; 2552 (1): 070010. <https://doi.org/10.1063/5.0117074>
4. N. B. Pirmatov, D. B. Madrakhimov, V. P. Ivanova, V. V. Tsyapkina, M. J. Ortikova, R. F. Atamukhamedova; Determination of the degree of digitalization at the cable enterprise level. AIP Conf. Proc. 5 January 2023; 2552 (1): 070009. <https://doi.org/10.1063/5.0117025>
5. Akabirova L.X., Khamidov B.T., Dosumov Sh.R. Issledovanie procesa izmelcheniya materialov na osnove matematicheskoy model. // International magazine "UNIVERSUM" - Technicheskie nauki - Moscow, 2019. №10(67) - С.18-22 [02.00.00. №1].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ В КАБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Цыпкина В.В., Иванова В.П., Ганиева Ф.Ф., Мамадалиева У.А.

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Повышение эффективности кабельного производства является актуальной проблемой, решение которой строится на базе ресурсосберегающей технологии процесса волочения.

Волоочильная машина представляют собой сложный электромеханический комплекс, состоящий из различных объектов, объединенных в единую систему регулирования. Одной из основных характеристик этих машин является производительность. Основным источником повышения производительности является, увеличение скорости волочения и уменьшение длительности и

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

количества остановов, что достигается механизацией и автоматизацией производственного процесса.

Проблему повышения экономической эффективности технологического процесса волочения можно решить путем совмещения фельерного и бесфельерного процессов волочения [1]. Данный метод имеет преимущества, так как дает экономический эффект около 25%, вызванный увеличением срока эксплуатации дорогостоящего, импортируемого алмазного инструмента. Изменение в конструкции волочильной машины (модернизации) осуществляется путем добавления вспомогательного блока, который создает на участке выхода проволоки с чистовой фильеры дополнительное усилие, для получения добавочного растяжения обеспечивая выполнения требований предъявляемых к готовой продукции - соответствие параметров выходного диаметра готового изделия. Однако, предлагаемая модернизация волочильной машины ведет к изменению конструкции, а решение данной задачи сводится к анализу произведенных расчетов и определению целесообразности внесения изменений в конструктив путем моделирования, а именно:

1. Построение информационной (виртуальной) модели волочения существующей технологии и предлагаемой;
2. Построение математической модели объекта - волочильной машины как действующей (реальной), так и модернизированной.

Информационная модель позволит получить реальную возможность улучшить управление волочильным процессом с учетом геометрического, механического и физического подобия с их соблюдением. Реальная физическая модель должна учитывать основные параметры физических эффектов волочения, в том числе и вторичных, действие которых учитывается при разработке эффективных технических решений [2,3].

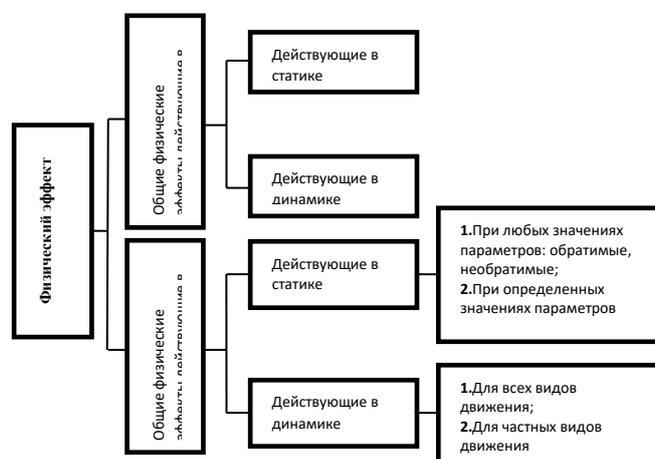


Рис.1. Схема создания информационной модели построенной на базе поэтапного отбора данных из соответствующих физических эффектов

Разработка технического решения и проведение анализа воздействия физического эффекта основано на иерархической классификации физических эффектов - статическая информационная модель (рис.1), путем поэтапного отбора данных о соответствующих физических эффектах, возникших в процессе волочения: диаметром объекта (изделия), химическим составом материала, а параметрами физического эффекта являются: диаметр заготовки; диаметр отволоченной проволоки; соблюдение постоянства объема материала [4].

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Отклонение от установленных норм хотя бы одной величины, влечет за собой появление брака продукции.

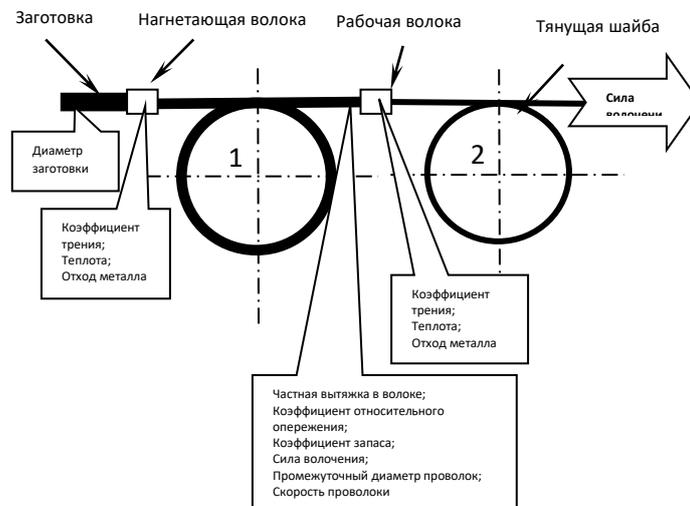


Рис.2. Виртуальная модель технологического процесса волочения

Исследование технологии процесса волочения рассматривается как последовательная цепь этапов - звеньев, каждое из которых, воздействуя на движущийся через них металл, сообщает или отбирает у него энергию (тепло). На практике ход процесса определяется тремя факторами: тянущей шайбой, волочильным инструментом, обрабатываемым объектом.

Посредством тянущей шайбы создается тянущее усилие, определяемое как сила волочения; а технологический инструмент - формирует требуемые размеры и обеспечивает чистоту поверхности [2]. Объектом, на который воздействует данное устройство является металл, который так же является связующим звеном для всей модели волочения в целом. Созданная информационная модель позволяет анализируя физические явления оценить способ совмещения фильерного и бесфильерного волочения как процесса обработки металла давлением с учетом увеличения нагрузки на оборудование, т.к. опробование таких процессов связано с возможными авариями и поломками оборудования. Обеспечение надежности определяется необходимыми параметрами процесса обработки давлением путем моделирования с использованием теории подобия отражено в общей методике анализа физических явлений на основе теории подобия [4].

Таким образом, виртуальная модель технологического процесса имеет вид (рис.2), а перечисленные режимы работы реализуются путем использования обобщенной математической модели (4).

$$\left\{ \begin{array}{l} W(z, t, T) = f_{11}(z) f_2(T) \\ W(z, t, T) = f_{12}(z) f_2(T) \\ f(z) = \frac{dp}{dl} qS(l-z) \\ f = ES \frac{du}{dz} \\ N = \sum_{v=0}^m \frac{dp}{dl} \frac{dv}{dt} \\ f(t) = \sum_{n=1}^m d_m dt \\ \Omega = (0 < z < l, 0 < r < r_0, 0 < t < t_0); T(r, z, 0) = T_0(z, r) \in \Omega \end{array} \right. \quad (1)$$

Литература

1. Патент РУз на полезную модель № FAR 00659 от 22.07.10 г. «Волоочильная машина».
2. Л.А. Красильников, А.Г. Лысенко. Волочилицы проволочки. Металлургия, 1987.
3. Л.В. Александров, Н.П. Шепелев. Моделирование - этап создания эффективных технических решений. НПО «Поиск», Москва, 1992.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЬНО- ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Цыпкина В.В., Иванова В.П., Исамухамедов Д.Н., Турабеков А.У.

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

В кабельной промышленности вся технология описывается и поддерживается большими и емкими по содержанию потоками данных, которые играют важную роль в передаче информации о процессах производства, управлении оборудованием, контролем качества кабельного изделия и многими другими составляющими единого производственного процесса изготовления КПП.

Цифровой трансформации производственно-технологического процесса изготовления кабельно-проводниковой продукции, как способа повышения эффективности технологии. Изучены методы искусственного интеллекта, направленные на обработку данных производственного процесса. Обоснована задача разработки комплексной технологической платформы ориентированной на улучшение эффективности технологии изготовления кабельного изделия.

В условиях цифровизации производственного процесса работа с большим объемом информации, которая является содержательной частью любого производственно-технологического процесса, подлежащая анализу, высококачественной и быстрой обработке полученных данных, принятие правильного,

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

единственно верного производственного решения является важным аспектом, обеспечивающим высокую эффективность работы всего кабельного предприятия. Следует отметить, что неправильные или несовершенные данные могут привести к ошибочным выводам и негативно сказаться на принятии решений, что в последствии очень плохо отразится не только на производственном процессе, но на финансово-экономическом положении кабельного завода в целом. Привлечение методов и технологий искусственного интеллекта (ИИ) поможет улучшить качество и достоверность производственных и технологических данных, скорость их обработку, а также анализ и оптимизировать процесс принятия решений [1-3].

Цифровая трансформация производственно-технологического процесса изготовления кабельно-проводниковой продукции строится с грамотно разработанной технологической платформы, которая является центром стратегического управления производственным процессом для кабельного предприятия, т.к. способна обеспечить эффективность и конкурентоспособность кабельного завода и используемых технологий в производственном процессе [4].

При этом основными компонентами и функциональными возможностями такой платформы являются:

Управление данными: Платформа должна обеспечивать сбор, хранение и анализ данных о производственных процессах, параметрах производства, качестве продукции и других ключевых аспектах. Это может включать в себя использование баз данных, системы управления данными и аналитические инструменты.

Мониторинг и управление производственными операциями: Платформа должна предоставлять возможности для мониторинга производственных операций в режиме реального времени, а также для управления оборудованием, персоналом и материалами. Это может включать в себя системы SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и системы управления производством (MES).

Планирование и оптимизация производственных процессов: Платформа должна обеспечивать возможности для планирования производственных операций, оптимизации использования ресурсов и управления производственными заказами. Это может включать в себя использование систем планирования ресурсов предприятия (ERP) и алгоритмов оптимизации производства.

Контроль качества и обеспечение качества продукции: Платформа должна предоставлять возможности для контроля качества продукции на различных этапах производства и для принятия мер по обеспечению соответствия стандартам качества. Это может включать в себя использование систем управления качеством (QMS) и автоматизированных систем тестирования.

Интеграция с внешними системами и устройствами: Платформа должна быть способна интегрироваться с другими системами и устройствами, такими как поставщики материалов, системы отслеживания и мониторинга, а также системы управления складом.

Аналитика и отчетность: Платформа должна обеспечивать возможности для анализа данных и генерации отчетов о производственной деятельности, эффективности процессов, качестве продукции и других ключевых показателях. Это позволяет принимать обоснованные решения и улучшать производственные процессы.

Таким образом, технологическая платформа для кабельного предприятия является ключевым инструментом для централизованного управления и оптимизации всех производственных процессов, что способствует повышению

эффективности и конкурентоспособности не только готовой кабельной продукции, но всего кабельного предприятия в целом.

Литература

1. Маклаков С.В. ВРwin и Erwin: CASE-средства для разработки информационных систем.– М.: Диалог-МИФИ, 2000г. — 304с.
2. Павлинов А. А., Кознов Д. В., Перегудов А. Ф., Бугайченко Д. Ю., Казакова А. С., Чернятчик Р.И., Иванов А.Н. О средствах разработки проблемно-ориентированных визуальных языков // Системное программирование. 2006. Т. 2. № 1. С. 116–141.
3. V.V. Tsyapkina, V.P. Ivanova, D. N. Isamukhamedov, A. U. Turabekov, S. M. Hayitmuradova; Ways to solve the system technical and economic issue - digital transformation of the technological process of manufacturing cable products. AIP Conf. Proc. 5 January 2023; 2552 (1): 070010. <https://doi.org/10.1063/5.0117074>
4. N. B. Pirmatov, D. B. Madrakhimov, V. P. Ivanova, V. V. Tsyapkina, M. J. Ortikova, R. F. Atamukhamedova; Determination of the degree of digitalization at the cable enterprise level. AIP Conf. Proc. 5 January 2023; 2552 (1): 070009. <https://doi.org/10.1063/5.0117025>
5. Akabirova L.X., Khamidov B.T., Dosumov Sh.R. Issledovanie procesa izmelcheniya materialov na osnove matematicheskoy model. // International magazine "UNIVERSUM" - Technicheskie nauki - Moscow, 2019. №10(67) - С.18-22 [02.00.00. №1].

УДК 631.624

НАСОС СТАНЦИЯСИНИНГ АВАНКАМЕРАСИДАГИ СУВ САТҲИ БАЛАНДЛИГИ ЎЗГАРГАНДА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОР РЕЖИМЛАРИНИ ТАДҚИҚОТЛАШ

М.М. Мирсаидов, У.А. Боқижонов, Ж.Ш. Ботиров

*Ташкентский государственный технический университет имени Ислама
Каримова*

Мақолада аванкамерадаги сув сатҳи баландлигини ўзгаришига таъсир кўрсатувчи омиллар кўрсатилиб, сув сатҳи ўзгаришини насос агрегатининг электр энергияси истеъмолига таъсирини ўзгариши асослаб берилган. Насос станциясининг аванкамерадаги сув сатҳини барқарорлаштирувчи частота билан ростланадиган насос агрегати электр юритмасининг функционал схемаси ишлаб чиқилган. Насос агрегатлари ковитация режимларига тушиб қолишидан сақлаш зарурлиги кўрсатилган.

Калит сўзлар: насос станция, аванкамера, асинхрон двигател, частота ўзгартиргич, босимли қувур, механик тавсиф, гидро зарблар, сув сарфи, сув босими, статик момент, фойдали иш коэффициенти, қувват коэффициенти, қувват исрофи.

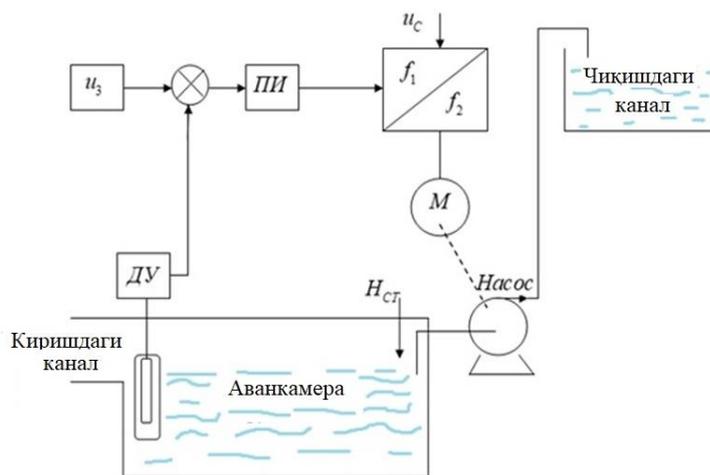
Кириш. Замонавий насос станциялари автоматик бошқариш тизимларида насос агрегатлари иш режимларини ростлашда автоматлаштирилган ростланувчан электр юритмалари ёрдамида амалга оширилади. Суғориш насос станциянинг

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

асосий ростланувчи кўрсаткичлардан бири аванкамерасидаги сув сатҳини барқарорлиги ҳисобланади. Аванкамерадаги сув сатҳини барқарорлаштириш икки усулда амалга оширилади.

Биринчи усулда насос станцияси сув билан таъминлайдиган кириш каналига ўрнатилган сув тўсиш иншоотларини (шлюз) ҳолатини ўзгартириб, бунда сув етказиб бериш графиги асосида насос станцияси сув берилади ва шу сув истеъмолчиларга етказилади. Насос станцияси кириш канали ва чиқиш каналидаги сув сарфини мос келиши ҳисобига аванкамерадаги сув сатҳининг барқарорлиги таъминланади.

Иккинчи усулда мавсумий дарё сувларини камайиши насос станцияси кириш каналидаги сув сарфини камайиши ҳисобига аванкамерадаги сув сатҳини ўзгариши кузатилади. Бундай ҳолатларда кириш каналидаги сув сарфининг миқдорига қараб насос агрегатларини ишга тушириш тавсия этилади. Ақс ҳолда, насос агрегатлари кавитация иш режимида ишлайди ва электр энергиясининг солиштирма сарфининг қиймати ортади. Аванкамерасидаги сув сатҳини барқарорлаштириш схемаси 1 – расмда кўрсатилган.



1 – расм. Насос станциясининг сув олиш иншоотида қуйи бьеф сув сатҳини барқарорлаштириш схемаси

Асосий қисм. Маълумки, насос станциясининг кириш каналидаги сув сарфининг камайиши унинг аванкамерасидаги сувнинг пастки бьефи сатҳи $V_{пб}$ ўзгаришига, яни маълум Δh миқдорга пасайган бўлиши мумкин. Бу ҳолда насос станциясининг статик босими $H_{ст}$ қиймати Δh га ортади ва $H_{стВ} = H_{ст} + \Delta h$ га тенг бўлади, бу ерда насос агрегати сув сарфининг қиймати Q_B га тенг бўлади. Насос агрегати сув сарфи – босим ва босим қувури тавсифларининг номинал иш режимида А нуктасида кесишади. А нуктадаги статик босими $H_{стА}$, сув сарфи Q_A , босим қувурининг тавсифи $Q - H_{трА}$ деб белгиланган.

Аванкамерадаги сув сатҳи баландлиги пасайганда статик босимнинг $H_{стА}$ ортиши туфайли босим қувури тавсифи $Q - H_{трВ}$ ва сув сарфи – босим тавсифи $Q_B - H_B$ В нуктага ўзгаради. Бу нуктада қувурдаги босимнинг ортиши насос агрегати валидаги қувватни ортишига, ФИК камайишига ва сув кўтаришни солиштирма электр энергия сарфини ортишига сабаб бўлиб, бу нуктада насос агрегати ишлаш унумдорлиги кичик бўлади. Бу ҳолда насос станциясининг аванкамерасига ўрнатилган сув сатҳи баландлиги датчигидан келаётган сигнал

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сатх бўйича тескари алоқанинг узатиш коэффициенти аниқлаш қуйидагича амалга оширилди, яъни, бошқаришни юқори мосланувчан сигнали амалда автоматик барқарорлаштириш тизими янада мосланувчан созлашни берадиган, талаб этилаётган оптималлашга мўлжалланган бўлиб, юқори ва паст нисбий барқарорлаш даражасини таъминлаш мақсадида номинал қийматига нисбатан ярмида камаяди.

Юқорида келтирилганларни ҳисобга олган ҳолда қуйидаги ифодани ёзамиз:

$$K_{\text{опт}} = \frac{U_{6,н}}{H_{\text{ст.мин}} + \frac{1}{2} \frac{U_{6,н}}{H_{\text{ст}} - H_{\text{ст.макс}}}} \quad (3.1)$$

насоснинг босим бўйича узатиш коэффициенти қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$K_{\text{нас}} = \frac{H_{н}}{\omega_{н}} \quad (3.2)$$

ПИ – ростлагичининг вақт доимийлиги аниқланади

$$T_{\text{P}} = \frac{2 * T_{\text{чў}} * K_{\text{чў}} * K_{\text{М}} * K_{\text{нас}} * K_{\text{опт}}}{I_{\text{г}}} \quad (3.3)$$

ПИ–ростлагичининг параметрларини замонавий частота ўзгартиргичларга киритиш учун унинг PID ячейкаси кириш клеммаларидан фойдаланилади.

Насос станцияси учун сув сатҳи барқарорлаштирилган насос агрегатининг функционал схемасини ҳисоблаш.

1.1. Частота ўзгартиргичининг статик узатиш коэффициенти

$$E_{\text{чў}} = \frac{U_{н}}{0,985 - 0,00375 * P_{\text{ж}}} = \frac{6000}{0,985 - 0,00375 * 4} = 6185 \text{ В}$$

унда
$$K_{\text{чў}} = \frac{E_{\text{чў}}}{U_{6,н}} = \frac{6185}{10} = 618,5 \text{ В}$$

бу ерда $U_{6,н} = 10 \text{ В}$ – бошқарувнинг номинал кучланиши.

1.2. Частотавий ўзгартиргичининг электр магнитли вақт доимийлиги $T_{\text{чў}} = (0,003 \div 0,005) \text{ с}$ доирада қабул қилиш мумкин. $T_{\text{чў}} = 0,005 \text{ с}$. деб қабул қиламиз.

1.3. ЭЮК бўйича ички тескари алоқа коэффициенти

$$K_{\text{э}} = \frac{I_{\mu\text{НОМ}} * (x_0 + x_1)}{\omega_0} = \frac{68,5 * (84,9 + 19,27)}{78,5} = \frac{7130,85}{78,5} = 90,9 \text{ В * с}$$

1.4. АД электр магнит моментининг узатиш коэффициенти

$$K_{\text{М}} = \frac{M_{н}}{K_{\text{э}} * (\omega_0 - \omega_{н})} = \frac{8246}{90,9 * (78,5 - 76,4)} = 43,2 \text{ Нм/В}$$

1.5. Статор ва ротор чулғамларидаги тарқалиш индуктивлиги

$$L_1 \approx L_2 = \frac{x_1}{314} \approx \frac{x_2}{314} = \frac{19,27}{314} = 0,0614 \text{ Гн}$$

1.6. Магнитланиш индуктивлиги

$$L_{\mu} = \frac{x_0}{314} = \frac{84,9}{314} = 0,27 \text{ Гн}$$

1.7. Статор ва ротор чулғамларининг тўлиқ индуктивлиги

$$L_S = L_r \approx L_\mu + L_1 = L_\mu + L_2 = 0,27 + 0,0614 = 0,331 \text{ Гн}$$

1.8. Частота билан ростланадиган электр юритманинг эквивалент индуктивлиги

$$L_\Sigma = L_{др} + \frac{3}{2} * k_i^2 * \left(L_S - \frac{L_\mu^2}{L_r} \right) = 0 + \frac{3}{2} * 1,1032^2 * \left(0,331 - \frac{0,27^2}{0,331} \right) = 0,203 \text{ Гн}$$

бу ерда $L_{др} = 0$ Гн – ўзгармас ток занжиридаги дросселнинг индуктивлиги,

$$k_i = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} - \text{коммутация функциясининг модули.}$$

1.9. Частота билан ростланадиган электр юритманинг эквивалент актив қаршилиги

$$R_\Sigma = L_{др} + \frac{3}{2} * k_i * \left(r_1 + r_2' * \frac{L_\mu^2}{L_r^2} \right) = 0 + \frac{3}{2} * 1,1032^2 * \left(1,37 + 2,78 * \frac{0,27^2}{0,332^2} \right) = 3,62 \text{ Ом}$$

1.10. Частота билан ростланадиган электр юритманинг электромагнит вақт доимийлиги

$$T_{эл} = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{0,203}{3,62} = 0,056 \text{ с}$$

1.11. Насос агрегатининг инерция моменти

$$J_\Sigma = 1,2 * J_{дв} = 1,2 * 87,25 = 104,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

бу ерда 1,2 – насос ишчи ғилдирагининг момент инерцияси, двигателнинг момент инерциясидан 20% деб олинади.

1.12. Насос станцияси бошқарувининг экспертли баҳолашига кўра, кириш ва чиқиш деривация каналидаги сувнинг энг кичик сарфи $Q_{min} = 2800 \text{ м}^3/\text{соат}$ ни ташкил этади.

1.13. Минимал статик босим $H_{ст.мин}$ ни аниқланади. Бунинг учун НС нинг аванкамерасидаги (кириш канали) сув сатҳини белгилагади. Сатҳни автоматик барқарорлаштириш тизими ишламай қолганда ёки сарф ошиб кетганда захира насосини улаш вақтига эга бўлиш учун 2.5 м канал баландлигида максимал даражада $H_{ст.мах} = 2$ м ни 0,5 м захирада қабул қиламиз. Минимал статик босим, сув сатҳини барқарорлаштириш тизимида барқарорлашган қиймат бўлиб қолади.

1.17. Сув сатҳи бўйича тескари алоқа узатиш коэффициенти аниқланади

$$K_{опт} = \frac{U_{б.н}}{H_{ст.мин} * \frac{1}{2} * \frac{U_{б.н}}{H_{ст} - H_{ст.мах}}} = \frac{10}{21 * 0,5 * \frac{10}{24 - 26,5}} = -0,208 \text{ В/м}$$

1.18. Насоснинг узатиш коэффициенти сатҳига қараб аниқланади

$$K_{нас} = H_n / \omega_n = 32 / 76,5 = 0,418 \text{ мс}$$

1.19. ПИ - ростлагичнинг вақт доимийси аниқланади

$$T_p = \frac{2 * T_{чў} * K_{чў} * K_M * K_{нас} * K_{опт}}{J_{\Sigma}} =$$

$$= \frac{2 * 0,005 * 618,5 * 43,2 * 0,418 * 0,208}{104,7} = 0,2219 \text{ с}$$

1.20. Пропорционал қисминг узатиш коэффициенти

$$P = \frac{T_{эп}}{T_p} = \frac{0,035}{0,2219} = 0,158;$$

интеграл қисминг узатиш коэффициенти

$$I = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{0,2219} = 4,51 \text{ с}^{-1};$$

Хулоса. Юқорида ҳисобланган қийматлардан фойдаланиб, насос станцияси аванкамерасидаги сув сатҳи баландлиги камайганда частота билан ростланадиган электр юритмали насос агрегати энергия самарадор режимларида ишлашни таъминлаш учун аванкамерадаги сув сатҳи баландлиги пасайиши билан сув сатҳи баландлиқ датчигидан манфий тескари алоқа сигнали келиб, топшириқ сигналдан айрилиб, бошқарув сигналлини ортишига сабаб бўлади. Бу ўз навбатида частота ўзгартиргич чиқишидаги кучланиш ва частота қийматини камайиши натижасида насос агрегати айланиш тезлиги камайишига олиб келади. Натижада сув кўтаришга сарфланаётган энергия миқдори ҳам камаяди.

Аванкамерасидаги сув сатҳи баландлигини статик босими $H_{ст} = 24$ м бўлганда, насос агрегати валидаги қуввати, статик моменти, ФИК ва солиштирма электр энергияси сарфи оптимал қийматларга мос бўлади.

Аванкамерасидаги сув сатҳи баландлигини ўзгарганда, тизимга сув сатҳи баландлиги датчиги ёрдамида манфий тескари алоқа киритилиб, насос агрегати айланиш тезлигини частота билан ростланадиган электр юритма ёрдамида ростлаб, энергия самарадор иш режимларида насос агрегати ишлатиш тавсия этилади.

Адабиётлар

1. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. –Т.: «Fan va technology», 2009, 464 с.
2. Камалов Т.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. Т.: Фан, 2014, 354 с.
3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудувных установках. — М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с. ил.
4. Хашимов А.А., Мирисаев А.У, Кан Л.Т. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – Ташкент.: Фан ва технология, 2011. – 98 с.
5. Хамудханов М.М., Абдуллабеков И.А. Система частотно – управляемого электропривода водоподъемных насосных станций как основа обеспечения их энерго – ресурсосберегающих режимов функционирования // Вестник Туринского политехнического университета в городе Ташкенте. Выпуск 4/2018. С. 24-27.
6. Абдуллабеков И.А., Рахматов Д.Д. Оптимизация режимов работы насосной установки по критерию минимума удельного расхода электроэнергии «Рамадан» //

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

«Проблемы энерго- и ресурсосбережения». –Ташкент, 2022 - № 41 спец. выпуск - С. 174-183.

7. Абдуллабеков И.А., Дусматов Р.К., Бокижонов А.А. Разработка энергоэффективной системы управления водоподъемными агрегатами насосной станции «Рамадан» // «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». –Ташкент, 2021 - № 40 спец. выпуск - С. 389-396.

8. Хамудханов М.М., Абдуллабеков И.А., Дусматов Р.К. Разработка системы автоматического управления насосной установки на основе частотно – регулируемого электропривода // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2019. – № 2. С. 68-75.

9. Mirsaidov M.M., Abdullabekov I.A., Fayzullayev V.KH., Kupriyanova A.S., Kurbanbayeva D.I. and Boqijonov U. A. The mutual influence of electromagnetic and mechanical processes in dynamic modes of inertial vibrating electric drives // Web of Conferences, II International scientific conference. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062081IOP. Publishing <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/862/6/062081>

УДК 004.896, 621.31

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
ПРОЦЕССА ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ**

*Хуснутдинов Азат Назипович, к.т.н., доцент, Мамадалиев Аброрбек Одилбой
угли, Турсуналиев Санжарбек Мухаммаджон угли, Джалолов Шахзод
Фирузджонович*

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия*

Аннотация: Масштабное проникновение электромобилей на автомобильный транспорт ставит сложную задачу по обеспечению баланса между спросом и предложением со стороны городских округов. Электромобили, будучи перемещаемыми нагрузками, могут обеспечить гибкость системы. В этой работе исследуется потенциальная роль интеллектуальной зарядки электромобилей в смягчении воздействия интеграции жилой и общественной инфраструктуры зарядки электромобилей в энергосети. Также в статье рассмотрен метод моделирования интеллектуальной зарядки электромобилей, который способствует снижению нагрузки на электросеть в часы пик.

Ключевые слова: зарядные станции; электромобиль; интеллектуальная зарядка; распределительная электросеть; фотоэлектрические системы; аккумуляторные системы хранения.

**ENERGY SAVING DEPENDENT ON INTELLIGENT ELECTRIC VEHICLE
CHARGING PROCESS**

*Khusnutdinov Azat Nazipovich, Ph.D., Associate Professor, Mamadaliev
Abrorbek Odilboy ugli, Tursunaliyev Sanzharbek Mukhammadjon ugli, Jalolov
Shahzod Firuzjonovich*

KSPEU, Kazan, Russia

Abstract: The large-scale penetration of electric vehicles into road transport poses a difficult task in ensuring a balance between supply and demand on the part of urban districts. Electric vehicles, being moveable loads, can provide flexibility to the system. This work explores the potential role of smart EV charging in mitigating the impact of integrating residential and public EV charging infrastructure into the grid. The article also discusses a method for modeling intelligent charging of electric vehicles, which helps reduce the load on the power grid during peak hours.

Keywords: charging stations, electric car, smart charging, electrical distribution network, photovoltaic systems, battery storage systems.

AQLI ELEKTR AVTOMOBILNI ZARYADLASH JARAYONI ASOSIDA ENERGIYANI TEJASH

*Xusnutdinov Azat Nazipovich, K N, dotsent, Mamadaliyev Abrorbek Odilboy o'g'li,
Tursunaliyev Sanjarbek Muxamadjon o'g'li, Jalolov Shaxzod Firuzdjonovich.*

FDBT oliy ta'lim muassasasi «Qozon davlat energetika universiteti», Qozon, Rossiya

Annotatsiya: Elektr transport vositalarining avtomobil transportiga keng miqyosda kirib borishi shahar tumanlari tomonidan talab va taklif o'rtasidagi muvozanatni ta'minlashdek murakkab vazifani qo'yadi. Elektr transport vositalari harakatlanuvchi yuk bo'lib, tizimga moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Ushbu ish uy-joy va jamoat EV zaryadlash infratuzilmasini tarmoqqa integratsiyalash ta'sirini yumshatishda aqlli EV zaryadlashning potentsial rolini o'rganadi. Maqolada, shuningdek, elektr transport vositalarini aqlli zaryadlashni modellashtirish usuli muhokama qilinadi, bu esa eng yuqori soatlarda elektr tarmog'idagi yukni kamaytirishga yordam beradi.

Kalit so'zlar: zaryadlash stantsiyalari; elektr avtomobil; aqlli zaryadlash; elektr taqsimlash tarmog'i; fotovoltaiik tizimlar; batareyani saqlash tizimlari.

На города приходится более 70-80 % выбросов, и электрификация транспортного парка является одним из многообещающих решений по их сокращению. Ожидается, что к 2026 году продажи электромобилей превысят продажи автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, а к концу десятилетия доля продаж электромобилей приблизится к 90%. Такое распространение электромобилей, в свою очередь, приводит к увеличению электрических нагрузок, влияющих на стабильность сети из-за дисбаланса между спросом и предложением и необходимости надежного распределительного оборудования для поддержки увеличенных потоков электроэнергии [1]. Первые пользователи в основном использовали домашнюю зарядку. Однако по мере роста потребления будет возрастать спрос на общественные зарядные устройства, которыми пользуются те, у кого нет доступа к парковке во дворе, и те, кто живет в многоквартирных домах.

Работа зарядных устройств для электромобилей оказывает существенное влияние на качество электроэнергии, влияние зарядных устройств для электромобилей на систему тестирования шины «IEEE-13» с точки зрения стабильности напряжения, надежности, потерь мощности и экономических потерь. Выяснилось, что размещение новой зарядной станции привело к серьезному ухудшению стабильности напряжения, увеличению потерь и увеличению перебоев

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

в сети. Однако это ограничилось только влиянием размещения в сети станций быстрой зарядки.

Зарядные станции для электромобилей с различными характеристиками нагрузки могут значительно влиять на стабильность напряжения. Например, внедрение новых подключаемых гибридных электромобилей с неконтролируемой зарядкой может увеличить пиковую нагрузку в жилом районе в 1,5 раза, а уровень проникновения электромобилей в транспортную сеть на уровне 20% приводит к увеличению пиковой нагрузки на 35,8% при использовании неконтролируемой зарядки [1,2].

Проблемы, связанные с интеграцией электромобилей, можно уменьшить за счет усиления сети и модернизации конструкции. Спрос на зарядку электромобилей часто меняется в течение дня, и возникающие при этом потери можно компенсировать, перемещая нагрузку с помощью интеллектуальной зарядки. Чтобы снизить пиковый спрос и выровнять нагрузки, альтернативным решением является внедрение скоординированной зарядки электромобилей. Внедрение интеллектуальной зарядки адаптирующаяся к ценам на электроэнергию, привела к значительному снижению пикового спроса в вечерние часы пик, что привело к снижению стоимости зарядки на 15 %, в то время как потери были снижены до 5 % в смоделированных условиях [3]. Такие показатели ограничивались влиянием только медленных зарядных устройств для электромобилей мощностью 3,496 кВт, в то время как большинство зарядных устройств, устанавливаемых сегодня в коммерческом секторе, являются быстрыми зарядными устройствами, чтобы сократить время зарядки.

Интеграции электромобилей на надежность энергосистемы, значительное снижение инвестиций и эксплуатационных затрат возможно с помощью интеллектуальной зарядки с помощью внедрения интеллектуальной зарядки с распределенной инфраструктурой зарядки, поскольку она имеет больший потенциал для предоставления гибких услуг и генерирует меньший пиковый спрос по сравнению с «умной» зарядкой. Энергетическая гибкость электромобилей и бытовой техники имеет большой потенциал для участия в диспетчерском управлении энергосистемой. Модель DR (Demand Response) представляет собой инновационный подход к управлению потреблением энергии, основанный на возможности менять потребление энергии в зависимости от запросов системы или рыночных условий. Применение модели DR позволяет интегрировать гибкость потребителей, таких как электромобили и бытовая техника, в работу энергосистемы. Например, с помощью DR можно управлять временем зарядки электромобилей, чтобы снизить пиковую нагрузку на сеть или использовать резервные мощности в периоды пикового спроса. Также можно настраивать работу бытовой техники, чтобы оптимизировать потребление энергии в соответствии с целями энергосистемы. Используя потенциал гибкости сменных приборов, потребление можно выровнять до 25% на совокупном уровне жилых помещений.

Масштабное проникновение электромобилей на автомобильный рынок ставит сложную задачу по обеспечению энергетического баланса между спросом и предложением со стороны городских агломераций. Электромобили, являясь «перемещаемыми» нагрузками, могут обеспечить гибкость системы. Потенциальная роль интеллектуальной зарядки электромобилей в смягчении воздействия интеграции жилой и общественной инфраструктуры зарядки электромобилей в энергосети очень важна составляющая [4]. Солнечные фотоэлектрические и аккумуляторные системы хранения энергии (BESS) улучшают самопотребление фотоэлектрических систем и способствует снижению пиковых

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

нагрузок в часы пик. Ежегодные потери, перегруженность трансформаторов и оценка стоимости импорта электроэнергии - это основные проблемы, с которыми сталкиваются электросети по всему миру.

Рассмотрим методику расчета внедрения интеллектуальной зарядки, фотоэлектрических систем и BESS в электросеть [5].

Уравнение (1) представляет собой целевую функцию для оптимального решения с потерями, а уравнение (2) представляет собой целевую функцию для экономически оптимального решения.

$$\sum_{t_0=1}^t \left(\sum_{i_0=0}^i P_{i,t}^{EG} \right) \quad (1)$$

$$\sum_{t_0=1}^t \left(\sum_{i_0=0}^i P_{i,t}^{EG} \square C_0 \right) \quad (2)$$

где $P_{i,t}^{EG}$ - это мощность подаваемая из внешней сети, кВт; t – время работы, ч; C_0 - цена на электроэнергию, руб/кВт · ч. i - количество подстанций.

Ограничение сети с номинальной мощностью трансформатора, ограничивает предел сети, который определяется следующим уравнением:

$$P_{\text{быт}} + P_{EV} \leq P_{ТП} \quad (3)$$

где, $P_{\text{быт}}$ - потребность в бытовых нагрузках, кВт; P_{EV} - потребность в зарядке электромобилей, кВт; $P_{ТП}$ - номинальная мощность трансформатора, кВт.

Энергетический баланс системы представлен уравнением (4):

$$P_{EG} = P_{\text{быт}} + P_{EV}, \forall t \quad (4)$$

где P_{EG} - мощность поступающая из сети, кВт.

Чтобы рассчитать уровень энергии батареи на каждом временном этапе, предполагается, что процесс зарядки будет иметь некоторую неэффективность, поэтому для учета данного фактора: η^c (коэффициент эффективности зарядки), будем учитывать в уравнении (5):

$$E_t^{EV} = \eta^c \square P_{EV} + SOC_{t-1}^{EV} \square C_{\text{аккумулятор}} \quad (5)$$

где $C_{\text{аккумулятор}}$ - емкость аккумулятора электромобиля, кВт · ч; SOC_{t-1}^{EV} - состояние заряда аккумулятора электромобиля в момент времени « t »; E_t^{EV} - уровень энергии аккумулятора электромобиля в каждый час, кВт · ч;

Основная цель солнечной фотоэлектрической энергии - уменьшить зависимость от сети и снизить потребление электроэнергии из сети. Вся электроэнергия, вырабатываемая фотоэлектрическими батареями, будет использоваться для зарядки электромобилей и удовлетворения спроса на базовую нагрузку.

Уравнение ограничения мощности трансформатора включает в себя генерацию фотоэлектрических элементов, заданную уравнением [6-8].

$$P_{\text{быт}} + P_{EV} - P_{PV} \leq P_{\text{ТП}} \quad (6)$$

где P^{PV} - выработка электроэнергии фотоэлектрическими источниками, кВт · ч.
Уравнение баланса сети задается уравнениями:

$$P_{EG} + P_{PV} = P_{\text{быт}} + P_{EV}, \forall t \quad (7)$$

С добавлением BESS уравнение баланса сети примет следующий вид:

$$P_{EG} + P_{PV} = P_{\text{быт}} + P_{EV} + P_{BESS} - D_{BESS}, \forall t \quad (8)$$

где P_{BESS} - мощность зарядки, кВт; D_{BESS} - мощность разряда, кВт.

С добавлением BESS из сети будет импортироваться больше энергии, что отразится на ограничениях номинальной мощности трансформатора.

Источники

1. Fault Isolation in Digital Instruments and Devices Used in Power-Engineering Systems / P. Pavlov, V. Butakov, A. Khusnutdinov [et al.] // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2022.

2. Gogoi D., Bharatee A., Ray P. K. Implementation of battery storage system in a solar PV-based EV charging station // Electric Power Systems Research. – 2024. – V. 229. – P. 110113.

3. Диагностика трансформаторов электротехнических комплексов с использованием бесконтактных лазерных виброметров / М. Ф. Низамиев, В. Р. Басенко, И. В. Ившин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 97-109.

4. Хуснутдинов А.Н. и др. Повышение эффективности работы энергосистемы на основе развития зарядной инфраструктуры электромобилей // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2022. 2022. С. 319-323.

5. Khalid M. et al. Impact of public and residential smart EV charging on distribution power grid equipped with storage // Sustainable Cities and Society. – 2024. – P. 105272.

6. Стержанов М. В., Григорьев А. А., Гридасов А. И. Технологии децентрализованного управления реагированием на запросы для зарядки электромобилей P2P. – 2023.

7. Вильданов, И. И. Источник питания электромобилей / И. И. Вильданов, А. Н. Хуснутдинов // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26–28 апреля 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 444-446.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660200 РФ. Программа для мониторинга и прогнозирования состояния аккумуляторных батарей электромобилей с использованием двухслойной нейронной сети : № 2023618133 : заявл. 28.04.2023 : опубл. 18.05.2023 / П.П. Павлов, А.Н. Хуснутдинов, Р. С. Литвиненко [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

**О РАЗВИТИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ**

*Р.А. Ситдиков, О.В. Радионова
ТашГТУ им. И.Каримова*

Maqolada ko'p mezonli optimallashtirish apparati yordamida energiya tadqiqotlarini (auditlarini) modellashtirish asosida intellektuallashtirish masalalari muhokama qilinadi. Tegishli tenglamalar va modelni qo'llash va harakatlar ketma-ketligi taqdim etilgan, bu energiya auditining samaradorligini oshiradi.

Kalit so'zlar: energiya tadqiqotlari, matematik model, samaradorlik, ko'p mezonli, ekspert tizimi.

В статье рассматриваются вопросы интеллектуализации на основе моделирования энергетических исследований (аудитов) с помощью аппарата многокритериальной оптимизации. Представлены соответствующие уравнения и применение модели, а также последовательность действий, которые повысят эффективность энергоаудита.

Ключевые слова: энергетические исследования, математическая модель, эффективность, многокритериальность, экспертная система.

The article discusses issues of intellectualization based on the modeling of energy audits with the help of multi-criteria optimization apparatus. The relevant equations and model application and sequence of actions are presented, which will increase the efficiency of the energy audit.

Key words: energy research, mathematical model, efficiency, multi-criteria, expert system.

Введение. Энергетические обследования (ЭО), согласно правилам, должны проводиться периодически в обязательном порядке, в крупных энергопотребляющих предприятиях и организациях [1-4]. Небольшие производства и электропотребляющие организации могут проводить ЭО на добровольных началах, по мере необходимости. Процесс проведения ЭО различных объектов, в том числе электротехнологических и электромеханических систем, регламентируются соответствующими правилами и методами [2-6], а при обработке материалов проведённых ЭО чаще всего используются статистические модели и методы обработки данных, а при принятии решений по рекомендациям энергосберегающих мероприятий и разработке энергетических паспортов – опыт и знания энергоаудиторов.

Математическая модель обработки данных ЭС. Использование аппарата многокритериальной оптимизации позволяет учитывать множество факторов и создать эффективную математическую модель проведения ЭО и анализа его результатов. Предлагается следующая последовательность действий.

1. Разработка целевых функций. Для каждого ЭО можно сформировать некоторое множество целей. Каждую цель можно описать соответствующей целевой функцией φ_i , из их множества образуется глобальная целевая функция:

$$\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\}; i = (1, m).$$

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2. Формализация и описание необходимых связей. Обоснование и выбор уравнений связи, связывающих входные и выходные параметры различных типов обследуемых видов электрооборудования. Такие уравнения имеют следующий общий вид:

$$y_j = \psi_j(x_j); j = (1, n).$$

3. Описание необходимых ограничений вида равенств (балансовых) и неравенств, учитывающих удельные нормы, лимиты на энергию, тарифы, инструкции, правила и т.д.

Для решения такой задачи, основанной на многих критериях, необходимо провести процедуры их нормализации (приведение к единой норме, единой системе оценок) и скаляризации (приведение к скалярному критерию). Кроме этого, часто появляется необходимость ранжирования критериев по важности. Поэтому в процессе принятия окончательного решения необходимо участие энергоаудиторов - экспертов в качестве лица, принимающего решение (ЛПР).

Действия ЛПР зависят от вида вышеописанных уравнений математической модели проведения ЭО. Одним из способов решения многокритериальной модели является скаляризация задачи путем построения обобщенной целевой функции. Такая функция основывается на коэффициентах ранжирования критериев, значения которых зависят от электропотребляющих устройств объекта ЭО. Такие коэффициенты удобно представить в виде расчетной матрицы; её определение является достаточно объемной частью процесса решения и выбора эффективных энергосберегающих мероприятий. Построение матрицы осуществляется заранее на основе имитационного моделирования рассматриваемых вариантов решения и ретроспективных данных. Рассчитываются значения коэффициентов важности частных критериев для различных вариантов, которые можно проводить с помощью специальных программ обработки цифровых данных.

Расчеты по определению значений коэффициентов отдельных критериев производятся в зависимости от: потерь энергии в элементах технологических видов оборудования, надежности, отклонений качества электроэнергии от номинальных величин, расходов на энергосберегающие мероприятия, сроков окупаемости и т.д. В результате получается матрица весовых коэффициентов критериев, которая необходима для дальнейших вычислений значений глобальной функции при различных весах критериев. В результате получают «платежную» матрицу значений частных критериев $f_i = \{(f_i)_{jk}\}$, принадлежащих области оптимальных решений и характеризующих степень «выигрыша» по тому или иному критерию. Окончательный выбор решения осуществляет ЛПР, используя полученные значения матричных коэффициентов.

Предлагается ряд логически обоснованных приемов, позволяющих формализовать процесс выбора решения и сопоставить достоинства и недостатки различных вариантов. Оценочные функционалы получают итерациями на основе принципов справедливой абсолютной или относительной уступки. Принцип справедливой абсолютной уступки приводит к аддитивному способу свертки частных критериев в оценочный функционал:

$$F = \sum_{q=1}^n f_q ;$$

а использование принципа относительной уступки – к мультипликативному:

$$F = \prod_{q=1}^n f_q ,$$

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

где, n - число частных критериев; f_q - ранжированное значение q – го частного критерия для одного из рассматриваемых вариантов.

При использовании аддитивного способа свертки необходимо нормализовать частные критерии, если они имеют различную размерность. В результате такой операции все частные критерии приобретают единую размерность. Существует ряд методов нормирования. Наиболее часто для частных критериев используют относительное нормирование:

$$f'_q = f_q / f_{q_{\max}}.$$

Практика использования аддитивного способа свертки показала, что в некоторых случаях предпочтительнее использовать мультипликативный способ, так как в этом случае результаты не зависят от способа нормализации. При применении аддитивного способа оптимальное решение зависит от числа рассматриваемых вариантов и способа нормализации. В тех случаях, когда значение частного критерия в одном из вариантов решений обращается в ноль, приходится переходить к аддитивному способу свертки. Иначе вариант решения с нулевым значением частного критерия окажется заведомо самым лучшим (при минимизации частных критериев) или самым худшим (при максимизации частных критериев) [7,8].

Приведенный подход к построению математической модели позволяет определять оптимальное решение при планировании и проведении ЭО электроэнергетических объектов, при учете множества факторов и ограничений.

Развитие и совершенствование теории и практики решения многокритериальных задач в электроэнергетике показывает, что одновременный учет множества критериев позволяет принимать более эффективные решения по сравнению с методами, учитывающими отдельные критерии.

В ходе обследования предприятий, организаций и учреждений всех секторов экономики по генерации, передаче и потреблению электрической энергии должен проводиться анализ: отчетных данных по балансам и потерям энергии на предприятиях, распределительных сетях, используемых электротехнологиях; результатов расчетов технических и коммерческих потерь энергии, программного обеспечения этих расчетов; систем цифрового коммерческого и технического учета энергии; режимов генераторных установок, электросетей и качества энергии; технического состояния основного оборудования станций и энергетических сетей; мероприятий по снижению потерь и повышению качества энергии, эффективности энергопотребления и т.д.

Одним из перспективных способов решения этих проблем является создание цифровых измерительных и компьютерных комплексов, работающих на основе многокритериального подхода. Необходимость автоматизации процессов расчетов, принятия и планирования решений, предопределена возможностью возложить на компьютер роль консультанта и тем самым рационально распределить функции между экспертами - энергоаудиторами (ЛПР) и компьютером. Математическая модель решения подобных задач должна предоставлять собой симбиоз методов обработки знаний, цифровых данных и математических методов, т.е. экспертную систему (ЭкС). Структура подобной модели соответствует структуре (ЭкС) поддержки принятия решений [9,10].

Задача оптимизации процесса сводится к разработке такого плана проведения ЭО и энергосберегающих мероприятий, в результате которого максимально реализуются возможности повышения энергоэффективности при минимальных затратах, в том числе и на проведение энергетических обследований.

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В результате решения задачи оптимизации, как задачи принятия решения, определяется максимально возможный коэффициент энергоэффективности и формируется оптимальный план проведения ЭО и обработки его результатов

При разработке оптимального плана проведения ЭО одной из задач является снижение до минимума числа контрольных измерений, проводимых для проверки данных о потерях и расходах в различных видах оборудования и сравнения их с данными энергетических паспортов. Минимизация числа энергетических измерений является одним из критериев оптимизации плана проведения ЭО.

Имеющуюся информацию об электрических потерях в объектах можно представить в виде формирующейся таблицы наблюдений (табл.1), где y_1, y_2, \dots, y_m - показатели потерь электроэнергии объектами организации; x_1, x_2, \dots, x_n - факторы, определяющие потери в объектах.

Между факторами и показателем потерь существует некоторая регулярная зависимость, которая априори неизвестна:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Предполагается, что регулярные данные вычисляются зависимостью с заданной точностью $|f(x_1, x_2, \dots, x_n) - y| \leq \varepsilon$. или их можно получить в виде измерений.

Необходимо найти оптимальное разбиение множества данных на регулярные и нерегулярные данные по критерию максимизации числа регулярных данных (минимизации нерегулярных данных) для заданного класса зависимостей. Такая задача, являясь частью общей многокритериальной, может быть решена известными методами математического программирования.

Таблица 1

Наблюдения по объектам энергопотребления

№ объекта	показатели и факторы							
	y_1	y_2	...	y_m	x_1	x_2	...	x_n
1	y_1^1	y_2^1	...	y_m^1	x_1^1	x_2^1	...	x_n^1
2	y_1^2	y_2^2	...	y_m^2	x_1^2	x_2^2	...	x_n^2
...
N	y_1^N	y_2^N	...	y_m^N	x_1^N	x_2^N	...	x_n^N

Заключение. Вышеописанный многокритериальный, многопараметрический подход к математическому моделированию процессов ЭО позволит осуществить формализацию процедур проведения энергетических обследований и повысить их эффективность, используя возможности компьютерных технологий, экспертных систем и АСКУЭ.

Литература

1. Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии» 25.04.1997, № 412-1.

2. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7.08. 2006. № 164. Правила проведения энергетических обследований и экспертиз потребителей топливно-энергетических ресурсов.

3. Типовая программа проведения энергетических обследований гидроэлектростанций и электрических сетей. //Энергия ва ресурс тежаш

муаммолари. 2006. № 3, -С. 75-103.

4. Типовая программа проведения энергетических обследований систем транспортировки и распределения тепловой энергии (тепловых сетей), тепловых электрических станций и районных котельных. //Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. 2006. № 4, -С. 110-157.

5. Ситдиқов Р.А., Радионова О.В. Развитие нормативной и методической базы проведения энергетических обследований предприятий Узбекистана. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения, № 4, 2006. -С. 158-160.

6. Насиров Т.Х., Ситдиқов Р.А. Энергетические обследования предприятий энергетической отрасли Узбекистана. –Т.: Фан ва технология. 2014. -280 с.

7. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. -М.:Дрофа, 2006, -175 с.

8. Насиров Т.Х. Ситдиқов Р.А. Многокритериальные модели оптимизации энергосистем. –Т.: Фан ва технология. 2014. -228 с.

9. Геловани В.А., Башлыков А.А. и др. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. –М.:URSS. 2001. -304 с.

10. Насиров Т.Х, Ситдиқов Р.А. и др. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. –Т.:Иновация ривожланиш нашриёт матбаа уйи. 2020, -276 с.

STRONG PENETRATION OF RES AND DIGITALISATION IN THE ELECTRICITY SECTOR OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

*Ioannis Rampias, PhD, MSc, BSc in Electrical Engineering University of Wales, UK
Former Professor in the Department of Electrical and Electronic Engineering Dpt. –
Power Division at the University of West Attica (UNIWA) and the Dpt. Of Energy
Technology at the T.E.I of Athens, Greece*

*Klimenko Natalya Leonidovna, Energy Expert, Diploma in Electrical Engineering
TSTU, MSc Public Administration Management University of York, UK
VIS Economic & Energy Consultants S.A.*

Abstract

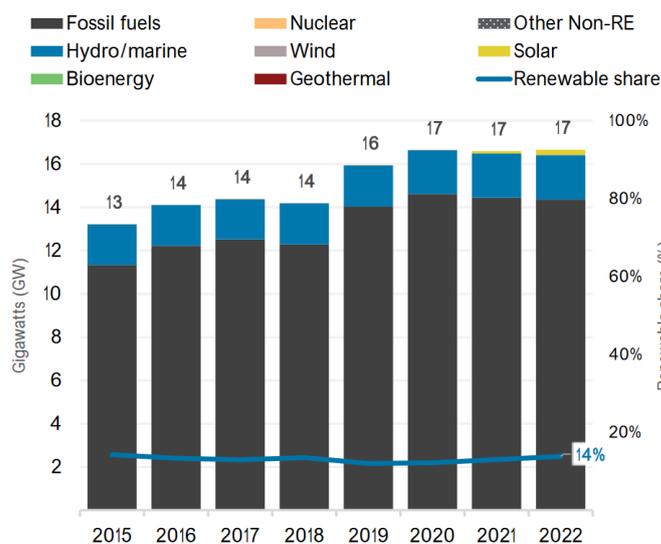
Digital technologies in electricity sector are not something new. They had been used for many decades in balancing supply and demand, ensuring secure and continuous electricity supply, and managing consumption from the demand side (Energy Management Systems, EMSs). The technological advancements and concerns about environment protection (along with the commercial interests of various industrial actors) created new challenges and, consequently digital solutions. In this article we discuss not so much the digital technology, but the technical problems and paradoxes that underline the today's trends in the electricity sector due to the policy of decarbonisation, i.e. reduction in use of fossil fuels and increase of use of electricity in industry, public sector and households. These issues are quite important for Uzbekistan as it progresses in implementation its strategy for wider use of the renewable energy sources.

1. Introduction

From 2015 till 2022 the increase in generating capacity in Uzbekistan was achieved mainly by building power plants operating on fossil fuels. The first large-scale solar power plant (100 MW) was commissioned in Uzbekistan in 2021. Until recently the introduction of generation based on renewable energy sources was slow as demonstrated by the Chart 1 and 2. In 2022 renewable capacity, including hydro made up about 14% of Uzbekistan's installed capacity with 2.3 GW (solar and wind accounted for just about 1 % with only 253 MW) (1).

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Chart 1 Installed capacity trend



Source <https://www.irena.org/>

[/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/Uzbekistan_Asia_RE_SP.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/Uzbekistan_Asia_RE_SP.pdf)

In terms of generated energy, renewables, including hydro accounted for 7% of the country's power generation in 2022 with 5.3 TWh (the share of wind and solar was practically negligible).

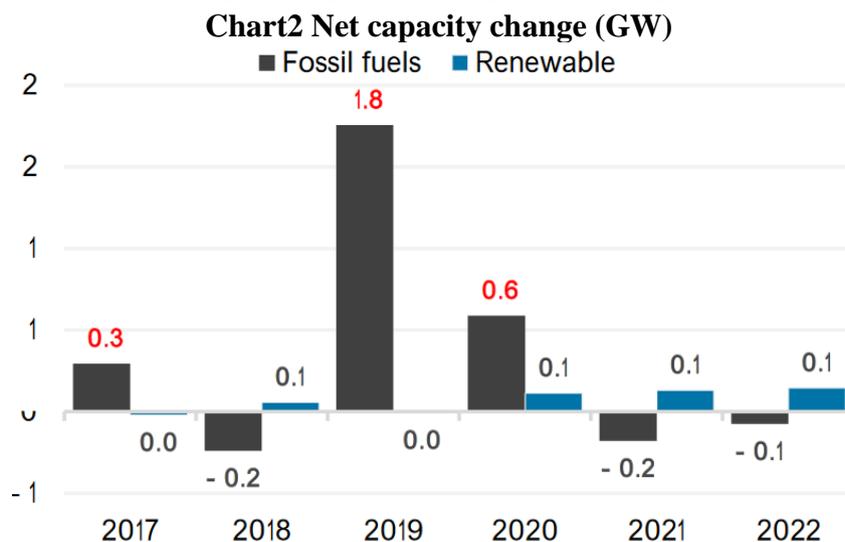
In January 2024 the Senate of the Republic of Uzbekistan had set a target to reach 27 GW of renewable energy capacity and 40% of electricity production from renewables by 2030. It is anticipated that achieving this objective will allow savings of natural gas amounting to 25 billion cm and a reduction of emissions of 34 Mt of CO₂(1).

Following this decision and in accordance with the Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan on the strategy for further development and reform of the electricity sector of the Republic of Uzbekistan, the Ministry of Energy of Uzbekistan is developing a programme for the expansion of generating facilities for the period up to 2030 providing for the implementation of major investment projects. The immediate plans include commissioning of above 4 GW of solar and wind Private Power Plants by 2026.

These plans require creation of an adequate legal framework and the on-going review of the Law on Use of Renewable Energy Sources proposes supporting measures, for example the issuance and circulation of "green energy" certificates. The upcoming amendment to the Tax Code will exempt from profit tax the income from the sale of "green energy" generated by facilities based on the use of renewable energy sources. It is expected that these measures will support use of renewable energy sources in the public buildings, housing, utilities and industry.

2. Issues pertinent to digitalisation as a driver of decarbonisation

The plans for renewable energy capacity development being quite ambitious, still may not be enough to meet the growing demand for electricity in Uzbekistan. The current trends in the new capacity introduction as well as ongoing decommissioning of the old fossil fuel based generating capacities (as demonstrated on the Chart 2) combined with the growing economy of Uzbekistan and increase of using new technological solutions like electrical vehicles and heat pumps, suggest that energy saving measures would be necessary in the short term (2).



Source [https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/Uzbekistan_Asia_RE_SP.pdf)

[/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/Uzbekistan_Asia_RE_SP.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/Uzbekistan_Asia_RE_SP.pdf)

Consequently, in order to ensure adequate energy supply in Uzbekistan in the short term, renewable energy development should be accompanied by energy saving, i.e. reducing the amount of energy required, and meeting the demand sustainably and in environmentally friendly way.

2.1. Energy saving and energy efficiency concepts

Saving energy allow industry, public sector and households to reduce their energy bills, leading to substantial cost savings over time (3). In turn, energy-efficient equipment, buildings and appliances play a vital role in alleviating strain on the power grid, enhancing overall reliability by reducing need for and, consequently costs of maintenance. Energy saving allows to increase energy security, since reduction of energy demand leads to reduction of dependence on foreign energy sources and enhancing energy flexibility (4). Finally, by curbing energy consumption, and consequent need in generation, we contribute to fewer greenhouse gas emissions, benefiting the environment. In parallel, the renewable energy development should be headed by serious scientifically based independent research of environmental implications from extensive use of all types of renewable energy.

The term energy saving is used as it is not equivalent to the term energy efficiency albeit the latter very often is used interchangeably with the former. The narrative about partnership between energy efficiency and renewable energy being a powerful strategy for a sustainable and environmentally friendly future (3) holds true only if real energy saving is achieved as a result of the energy efficiency measures.

Having said the above, we should bear in mind the paradox described by the nineteenth century English economist, William Stanley Jevons back in 1866. It says that with the increase of energy efficiency energy consumption actually increases. It happens because with efficiency increase energy becomes cheaper both to generate and consume. The industrial sector profits increase and allow to grow the production. At the same time individuals can afford consuming more energy to improve their comfort level. Thus, both business and households contribute directly to increase in energy demand (5). In turn, electricity companies are not happy with the reduction of electricity consumption because this means reduction of their income. As long as an electricity company's profitability is

tied to the amount of energy sold, we should not expect any significant decreases in energy use (6).

2.2. RES integration into power networks and the necessity of digitalisation

The new technological developments and political decisions with respect to decarbonisation (with the use of renewable energy sources) of the electricity production sector but also industry, households and public sector push the electricity companies to adjust their network in order to integrate generation based on renewable energy and provide for the two-ways interaction with the consumers, allowing not only supply electricity to them, but also receive electricity produced by a variety of renewable energy based generators belonging to consumers.

The intermittent nature of variable solar and wind generation and especially integrating them into the power grid in large quantities requires from the electricity companies more sophisticated technical solutions (i.e. to stability problems) and economic management of their network. Digital technologies and data become more vital to forecast and balancing electrical supply and demand. In addition, they can improve efficiency, resilience, and reduce emissions and costs.

Power generation from renewable sources demands more flexibility from the electricity network, and although in the short term the electricity grid of Uzbekistan seems to have adequate level of flexibility, with a foreseen growth of the renewable energy generation energy storage will become more and more important in order to ensure flexibility of the electricity network.

The energy storage technologies are still under development and there is no winning technology from both economic, technical and environmental point of view. In Europe the first guiding documents on a definition and principles for energy storage were published by the European Commission in June 2016, a staff working document on the role of electricity in energy storage was published in 2017. These principles were subsequently reflected in the Clean Energy for all Europeans package, adopted in 2019.

The main energy storage reservoir in the EU is by far pumped hydro storage, but batteries projects are rising, according to a study on energy storage published in May 2020. Batteries, a variety of new technologies to store electricity are developing at a fast pace and are increasingly becoming more market-competitive (7). They, however still have high cost, relatively small lifetime and are harmful for environment if not properly retired.

In the US, even when including large pumped hydro plants, energy storage accounts for only 24 GW of peak demand of nearly 840 GW. There is less than 1 GW of battery storage and 0.8 GW from thermal storage (8).

2.3. Decentralised and Decarbonised energy

In the medium term the EU Digital Strategy (9) creates framework to enable consumers to benefit from domestic energy sources such as solar panels and community-owned wind turbines. In practical terms it means participation of consumers in energy communities and collective self-consumption schemes, taking advantage of their own solar panel generation and benefit from lower cost electricity than buying from the grid. The provisions for Renewable Energy Communities (RECs) and Citizen Energy Communities (CECs) are set in the Renewable Energy Directive and the Electricity Market Directive. To our opinion, the reason for this strategy development is the declining interest from the individuals and/or small communities in using renewable energy sources for various reasons, but mainly due to need of high upfront investment.

The examples of the working RECs and CECs presented on the relevant website of the EC (10) so far include mainly various toolkits and guidelines on how to organize an energy community both in the terms of legal requirements and social interactions. The

technological solutions are represented for example by the bulk purchase of energy efficient appliances. Germany has achieved 57% share of the electricity generated with the renewable energy (11) and the small community-based generation constituted almost 25% of total electricity generated with the renewable energy. Nevertheless, the successful development of the renewable energy projects owned by small communities in Germany, which peaked in 2010 has declined with the withdrawal of the feed-in-tariffs starting from 1 January 2021. The development of the solar and wind-based electricity generation is continued mainly by utility scale installations. It is assumed that the old community projects will not be replaced with the end of their lifetime (12) as under the tariffs established without state support small scale renewable generation is not feasible.

Thus, promotion of small-scale renewable energy-based generators (RECs and CECs) require more additional supportive solutions, including technological, legal, economic and social framework.

3. General conclusions

Digital technologies and data become more vital to forecast and match electrical supply and demand, thereby cutting costs, improving efficiency and resilience, and reducing emissions. The issues pertinent to digitalisation of the electricity sector in Uzbekistan can be summarised as follows:

- Plans for renewable energy capacity development due to slower introduction of renewable energy-based generation than decommissioning of the old fossil fuel based generating capacities may not be enough in the short term for covering the growing electricity demand by economy of Uzbekistan.
- In order to ensure adequate energy supply in Uzbekistan in the short term, renewable energy development should be accompanied by energy saving measures, bearing in mind that electricity companies are not incentivised in the reduction of electricity consumption because this means reduction of their income
- New technological developments and political decisions with respect to decarbonisation (hence use of renewable energy sources) of the electricity sector but also industry, households and public sector push the electricity companies to adjust their network in order to integrate generation based on renewable energy and provide for the two-ways interaction with the consumers
- Power generation from renewable sources demands more flexibility from the electricity network, and in the short term the electricity grid of Uzbekistan seems to have adequate level of flexibility. The increase of renewable energy generation incorporation into the electricity grid should be planned with due consideration of the availability of technically, economically and environmentally feasible storage technologies.
- The idea of participation of consumers in energy and collective self-consumption schemes require expensive digital solutions and require economic, technological and legal supportive framework in order to have chances of success in the country.

References

1. Uzbekistan targets 27 GW of renewable capacity, 40% in power generation by 2030, Enerdata, 2024, <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/uzbekistan-targets-27-gw-renewable-capacity-40-power-generation-2030.html>
2. Uzbekistan sets goals for renewable energy aiming 27GW capacity and 40% electricity Production by 2030, 2024, <https://daryo.uz/en/2024/01/19/uzbekistan-sets-goals-for-renewable-energy-aiming-27gw-capacity-and-40-electricity-production-by-2030>
3. Dr. Roger Achkar, Harmonizing Energy Efficiency and Renewable Power: A Unified Strategy, 2024, <https://www.linkedin.com/pulse/harmonizing-energy-efficiency-renewable-power-unified-achkar-ag2yf/>

4. Riki Argyropoulou, The Role of Energy Efficiency in Renewable Energy Adoption, Wattcrop, 2023, <https://wattcrop.com/the-role-of-energy-efficiency-in-renewable-energy-adoption/>
5. Nuno Luis Madureira, Energy Paradoxes, , Front. Energy Res., 2021, Sec. Sustainable Energy Systems, Volume 9 – 2021, <https://www.frontiersin.org>
6. Gerard Reid, the Six Energy Paradoxes that slow the sector’s progress, January 21, 2020, <https://energypost.eu/the-six-energy-paradoxes-that-slow-the-sectors-progress/>
7. EU Guidance and Recommendations on Energy Storage, https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/energy-storage_en#guidance-and-recommendation-on-energy-storage
8. Derek Stenclik, Paul Denholm, and Babu R. Chalamala, The Role of Energy Storage for Renewable Integration, SAND2017-7835J, <https://www.osti.gov/biblio/1429811>
9. European Commission Digital Strategy Analysis, 2022, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-energy>
10. Energy Communities Repository https://energy-communities-repository.ec.europa.eu/energy-communities-repository-energy-communities/energy-communities-repository-general-information_en
11. Press Release, Public Net Electricity Generation 2023 in Germany: Renewables Cover the Majority of the Electricity Consumption for the First Time, 2024, <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2024/public-electricity-generation-2023-renewable-energies-cover-the-majority-of-german-electricity-consumption-for-the-first-time.html>
12. Isabel Sutton, Germany: will the end of feed-in tariffs mean the end of citizens-as-energy-producers, June 3, 2021, <https://energypost.eu/germany-will-the-end-of-feed-in-tariffs-mean-the-end-of-citizens-as-energy-producers/>

УДК 621-313.3

ИННОВАЦИОННЫЕ ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ: ТЕХНОЛОГИИ, ИНФРАСТРУКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Абдуллина Лилия Венеровна, студент

Казанский Государственный Университет, г.Казань, Россия

Аннотация. В этом тексте рассматривается проблема распространения электромобилей и необходимость создания инфраструктуры для их зарядки. Статья описывает ключевые аспекты функционирования зарядных устройств, предлагает архитектуру распределённой системы управления и мониторинга зарядных станций.

Ключевые слова. электромобили, электрические транспортные средства, экологические преимущества, экономическая эффективность, инновации в зарядных технологиях, интеграция с интеллектуальными сетями, безопасность и надёжность, международное сотрудничество, национальные стратегии развития, зарядная инфраструктура для электромобилей.

В современном мире наблюдается стремительный рост числа автомобилей, работающих на электрических двигателях. Широкое распространение электромобилей обуславливает необходимость создания обширной сети зарядных станций, способных обеспечить быструю зарядку. В этой статье рассматриваются ключевые аспекты функционирования таких зарядных устройств, а также

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

предлагается архитектура распределённой системы управления и мониторинга этих устройств.

В наше время электромобили становятся всё более популярными, вытесняя автомобили с двигателями внутреннего сгорания. Это обусловлено разными причинами, включая стремление к экологически чистым видам транспорта, низкую стоимость электроэнергии по сравнению с топливом и появление более эффективных электрических батарей, позволяющих электромобилям преодолевать большие расстояния. В результате возникает потребность в особой инфраструктуре для электромобилей, включающей разнообразные зарядные станции.

В отличие от заправки автомобиля с ДВС, зарядка электромобиля происходит медленнее и зависит от зарядного устройства и аккумулятора автомобиля, занимая от 7–8 часов до 60–30 минут. Поэтому необходимо создавать сеть зарядных станций разных типов. Разработка мощных зарядных модулей и специализированных систем контроля и мониторинга состояния зарядных модулей и процесса зарядки электромобилей становится важной научно-технической задачей.

В зависимости от расположения зарядного устройства зарядные устройства делятся на два типа: бортовые зарядные устройства (On-Board Chargers — OBC) и внешние зарядные станции.

Внешние зарядные станции используют источник переменного тока из электросети для преобразования в постоянный ток для зарядки аккумулятора. Однако ограниченная номинальная мощность зарядного устройства, размещаемого внутри электромобиля, замедляет процесс зарядки.

OVS (On-Vehicle-Charger) минимизирует затраты на создание зарядной инфраструктуры, но увеличивает стоимость и время зарядки аккумуляторов.

OVS обычно не обеспечивает быструю зарядку, что может вызвать сложности для транспортных средств, которые преодолевают большие расстояния или находятся в пути длительное время (например, грузовики и автобусы). Внешние зарядные станции требуют дополнительных затрат на установку, подвод линий электропередач и обслуживание, но сокращают время зарядки, что делает использование электромобилей более удобным. Внешние станции используют зарядку постоянным током, который подаёт регулируемую мощность непосредственно на аккумуляторы автомобиля.

Оборудование для зарядки постоянным током установлено в фиксированных местах с небольшими габаритами, поэтому его номинальная мощность может достигать нескольких сотен киловатт. Метод быстрой зарядки постоянным током сокращает время зарядки с нескольких часов до нескольких десятков минут. Рассмотрим устройство внешней зарядной станции, способной заряжать автомобиль постоянным током.

DC быстрая зарядная станция, как правило, включает следующие функциональные блоки: выпрямитель переменного тока; блок коррекции коэффициента мощности (PFC), преобразователь постоянного тока для контроля уровня напряжения, необходимого для зарядки батареи конкретного транспортного средства. Электропитание и связь между зарядным устройством и автомобилем осуществляются через интерфейс разъёма зарядного устройства. Рисунок 1 показывает упрощённую структуру DC зарядной станции.

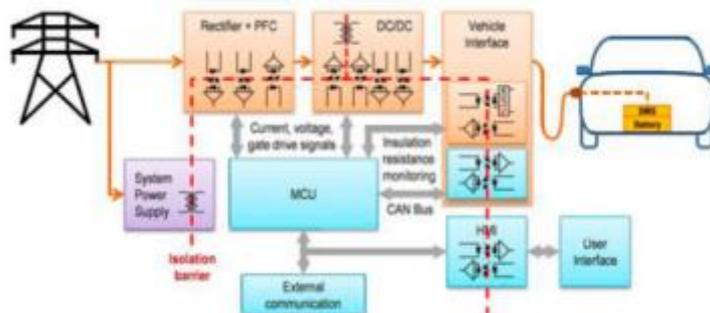


Рис. 1 . Структура зарядной станции для электромобилей

В состав зарядной станции входят следующие функциональные блоки: вторичный источник питания, выпрямитель, корректор коэффициента мощности, DC/DC преобразователь, интерфейс подключения автомобиля, микроконтроллер, человеко-машинный и пользовательский интерфейсы, а также блок внешнего подключения.

Зарядная станция работает следующим образом: электроэнергия из внешней электросети поступает на выпрямительный блок, корректор коэффициента мощности, где переменный ток преобразуется в постоянный, затем ток проходит через DC/DC преобразователь, формируя необходимое значение напряжения. Генерируемое напряжение подаётся на аккумулятор электромобиля через специализированный интерфейс. Работа всей системы контролируется микроконтроллером. Для обеспечения электроэнергией системы предусмотрен отдельный блок вторичного питания. Дополнительный микроконтроллер позволяет управлять MOSFET-транзисторами, на которых реализована схема преобразования напряжения.

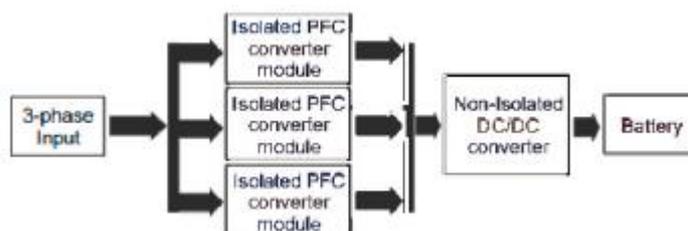


Рис.2 Схема работы зарядной станции

Из этой схемы следует, что необходимо встраивать корректор мощности для каждой фазы, что приводит к необходимости использования подходящего микроконтроллера для управления зарядным устройством. Кроме того, для контроля всех необходимых показателей электричества требуются различные датчики, подключённые к микроконтроллеру.

В настоящее время рекомендуется создавать распределённую сеть зарядных станций, работающих без постоянного присутствия оператора. Для обеспечения работоспособности такой системы потребуется использовать технологии удалённого доступа, управления и диагностики.

Развитие интернет-технологий и микроконтроллеров способствовало появлению Интернета вещей. Интернет вещей представляет собой сеть объединённых физических объектов, обменивающихся данными. Такой обмен информацией между устройствами без участия человека позволяет по-новому

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

использовать различные вещи, начиная с бытовых приборов и заканчивая промышленными датчиками. В ближайшем будущем развитие Интернета вещей может продолжиться, например, уже выпускаются автомобили разных типов с возможностью подключения к интернету. В настоящее время это обеспечивает водителям доступ к различным сервисам, таким как навигатор для построения оптимального маршрута с учётом дорожной обстановки или отслеживание движения грузового транспорта. Учитывая эту тенденцию, мы хотели бы обсудить преимущества подключения зарядных станций для электромобилей к интернету.

И владелец зарядной станции, и водитель электромобиля получают новые возможности. Вот некоторые из них:

Для владельца станции:

- получение данных об автомобиле (тип транспортного средства, ёмкость аккумулятора и т. д.);
- информация о владельце автомобиля;
- количество кВт, потраченных на зарядку;
- потребление электроэнергии зарядной станцией;
- мониторинг состояния зарядной станции для своевременного устранения неполадок.

Для водителя электромобиля:

- время зарядки;
- количество электроэнергии, необходимое для полной зарядки;
- состояние аккумулятора автомобиля;
- возможность отслеживать местоположение зарядных станций и строить маршрут с учётом запаса хода и расположения зарядных станций по пути.

Для подключения станции к интернету необходимо использовать специальные микроконтроллеры или модули, которые могут быть интегрированы в систему зарядной станции (рис. 3).

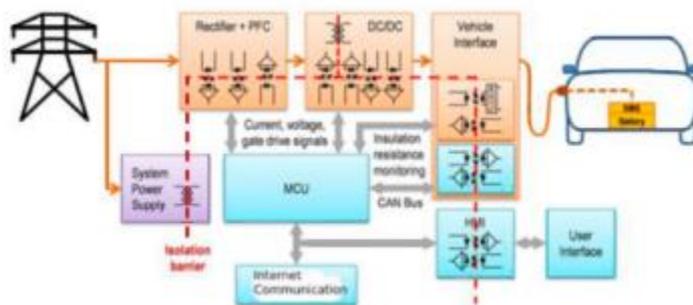


Рис.3 Схема подключения к сети

Таким образом, у нас есть возможность получать данные от микроконтроллера (основную информацию о процессе зарядки) и контролировать процесс зарядки и работы станции, прерывая его в случае возникновения аварийной ситуации. Благодаря этому можно следить за состоянием зарядной станции, что повышает её автономность. Такую систему можно усовершенствовать, если подключить к микроконтроллеру, подключённому к Интернету, отдельные датчики для мониторинга состояния внешней среды. Например, если зарядная станция получает электроэнергию от солнечных панелей, а погода ухудшается, датчики освещения передадут сигнал микроконтроллеру, и станция временно закроется, оповестив всех желающих заправиться, чтобы они успели выбрать

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

другой маршрут. Если будет создана сеть таких «умных» электрических заправок, они смогут своевременно и скоординированно реагировать на различные ситуации, а также предоставлять полную информацию о своей работе, что позволит принимать различные решения, связанные с их дальнейшей эксплуатацией.

Инфраструктура автомобильных электростанций играет ключевую роль в широком распространении электромобилей. Зарядные станции для электромобилей, особенно те, которые оснащены быстрой зарядкой постоянного тока, используют сложные системы электропитания для передачи большого количества энергии аккумулятору автомобиля за короткий промежуток времени. Эта система может быть подключена к интернету благодаря специальным микроконтроллерам. На основе данных о работе нашей системы, полученных от микроконтроллера и подключения различных периферийных устройств, мы можем получать новые данные о работе зарядной станции. Используя специальное программное обеспечение, можно связать работу зарядной станции с различными сервисами. Таким образом, использование технологии «Интернета вещей» в области зарядных станций предоставляет ряд описанных выше преимуществ.

Источники литературы

1. Г. Вальтрих, М. А. М. Хендрикс и Д. Л. Дуарте, «Трехфазный двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный с шестью параллельными ножками инвертора для приложений EV», IEEE Trans. Ind. Electron., том 63, No 3, стр. 1372-1384, март 2016 г.

2. Цзун-Ю Хоу, Панг-Йен Лоу и Чуа-Чин Ван, «Состояние заряда, состояние здоровья и мониторинг состояния функций для EV BMS», Национальный университет Сунь Ятсена, Тайвань, 2017 г.

3. Охрименко И. В., Руденко Н. В. Донской «Анализ известных структурных схем бортовых зарядных устройств электромобилей» Государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация.

УДК 338.2

**ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА «ЗЕЛЁНОГО» ВОДОРОДА В ТУРКМЕНИСТАНЕ**

Б. А. Ханчаев, специалист

*Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары,
Туркменистан*

Izoh. Ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot Turkmaniston energetikasini rivojlantirishda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan (RES) foydalanish va "yashil" vodorod ishlab chiqarish samaradorligini o'rganish uchun kompleks vosita hisoblanadi. To'g'ri matematik modellar, intuitiv foydalanuvchi interfeysi va stsenariy tahlilini taqdim etish orqali dasturiy ta'minot energiya tizimini optimallashtirish, vodorod ishlab chiqarish xarajatlarini hisoblash va foyda-foydani baholashni o'z ichiga olgan energiya bo'yicha qarorlar qabul qilishni qo'llab-quvvatlaydi. Rivojlanish texnologik ishonchlilik va amaliy qo'llashni muvaffaqiyatli birlashtirib, mintaqaning barqaror va innovatsion energetikasini rivojlantirish vositasini taqdim etadi.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Разработанное программное обеспечение представляет собой комплексный инструмент для исследования эффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и производства "зеленого" водорода в энергетическом развитии Туркменистана. Обеспечивая точные математические модели, интуитивный интерфейс пользователя и анализ различных сценариев, ПО способствует принятию обоснованных решений в области энергетики, включая оптимизацию энергетических систем, расчет стоимости производства водорода и оценку экономической эффективности. Разработка успешно сочетает в себе технологическую надежность и практическое применение, предоставляя инструмент для устойчивого и инновационного энергетического развития региона.

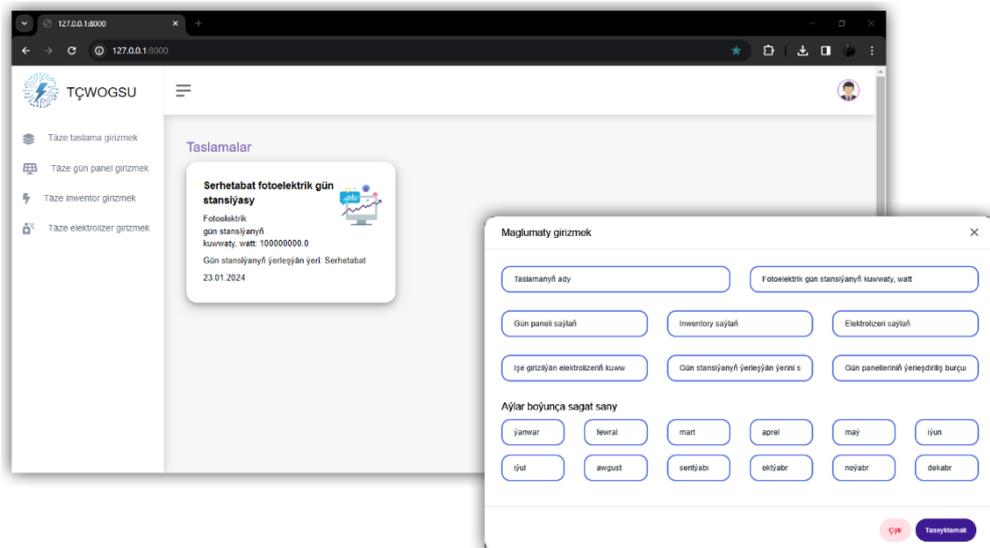
Abstract. The developed software is a comprehensive tool for studying the efficiency of using renewable energy sources (RES) and the production of "green" hydrogen in the energy development of Turkmenistan. By providing accurate mathematical models, an intuitive user interface and scenario analysis, the software supports informed energy decision-making, including energy system optimization, hydrogen production cost calculations and cost-benefit assessments. The development successfully combines technological reliability and practical application, providing a tool for sustainable and innovative energy development of the region.

Ключевые слова: Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), производство "зеленого" водорода, энергетическое развитие, программное обеспечение, Туркменистан, математическое моделирование, технико-экономический анализ, оптимизация энергетических систем, эффективность энергопотребления, устойчивость энергетики, инновации в энергетике, электролизер, системный анализ, технические характеристики, экономическая эффективность, экологическая устойчивость, энергоснабжение.

Введение. Современный мир сталкивается с двойным вызовом в области энергетики: необходимостью снижения зависимости от традиционных источников энергии и сокращения воздействия на окружающую среду. В этом контексте ВИЭ и производство "зеленого" водорода представляют собой перспективные пути для достижения устойчивости в энергетике. Туркменистан, обладая значительным потенциалом ВИЭ, становится объектом внимания в разработке и внедрении инновационных подходов к энергетическому развитию [1].

Методология проекта включает в себя расчет объема производимой электроэнергии, определение стоимости реализации проекта и его окупаемости. В рамках исследования моделировался объект, состоящий из фотоэлектрической солнечной станции мощностью 100 МВт, электролизера мощностью 50 МВт и установки обратного осмоса с производительностью 80 тонн воды в сутки [2].

Результаты и выводы: Для оценки перспективы совместной работы источников солнечной энергии и электролизера для производства водорода на территории Туркменистана в качестве источника электрической энергии были выбраны ФСС установленными мощностями 100 МВт каждый в Марыйском и Лебапском велаятах в населенных пунктах Серхетабат и Керки. Принято, что потребителями ФСС являются только электролизер и опреснительная установка. В расчетах использовали технические данные электролизера с мощностью 1 МВт. Был выполнен расчет объема электрической энергии, вырабатываемой такой ФСС в течении года:



1-й рисунок. Главная: Создание новых проектов по использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и производству "зеленого" водорода

На главной странице можно создать новые технические данные, проектов и контролировать список созданных проектов (Рис. 1).

$$E = E_{udel,\beta} \cdot S = \sum_{i=1}^{12} E_{i,\beta} \cdot \eta_p \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_m \cdot S \quad (1)$$

где E – выработка ФСС в год; $E_{udel,\beta}$ – удельная выработка ФСС с учетом наклона β в течении года; S – площадь ФСС; $E_{i,\beta}$ – приход солнечной энергии на оптимально ориентированную площадку с углом наклона $\beta = 36^\circ$ на широтах расположения ФСС в i -том месяце. Потери η_p на ФСС составляет до 25%, а КПД η_{inv} преобразования из постоянного в переменный ток составляет 98,8%, принятый КПД η_m солнечного модуля 19,2 %.

Количество суммарной солнечной энергии поступающая на поверхность солнечной панели, расположенной на населенном пункте под углом наклона $\beta=36^\circ$ южной ориентации: Серхетабат (Кушки), Марыйский велаят: 1892,972 кВт·ч/м² год.

Мощность электролизера была выбрана исходя из того, что ФСС будет покрывать его потребности в электроэнергии, следовательно, производство водорода будет зависеть от выработки и режима работы ФСС. Исходя из этого, было решено выбрать электролизер мощностью 50 МВт [3].

Используя данные, приведенные в рисунке 4 была рассчитана масса водорода, получаемая выбранным электролизером соответствующей мощностью:

$$m = \sum_{i=1}^{12} m_i = \sum_{i=1}^{12} \eta_{el} \cdot t_i \cdot N_i \quad (2)$$

Где m – масса полученного водорода в течении года; m_i – масса водорода, получаемая электролизером в i -том месяце; η_{el} – эффективность работы электролизера; t_i – количество часов работы электролизера с установленной максимальной производительностью в день; N_i – количество дней в месяц.

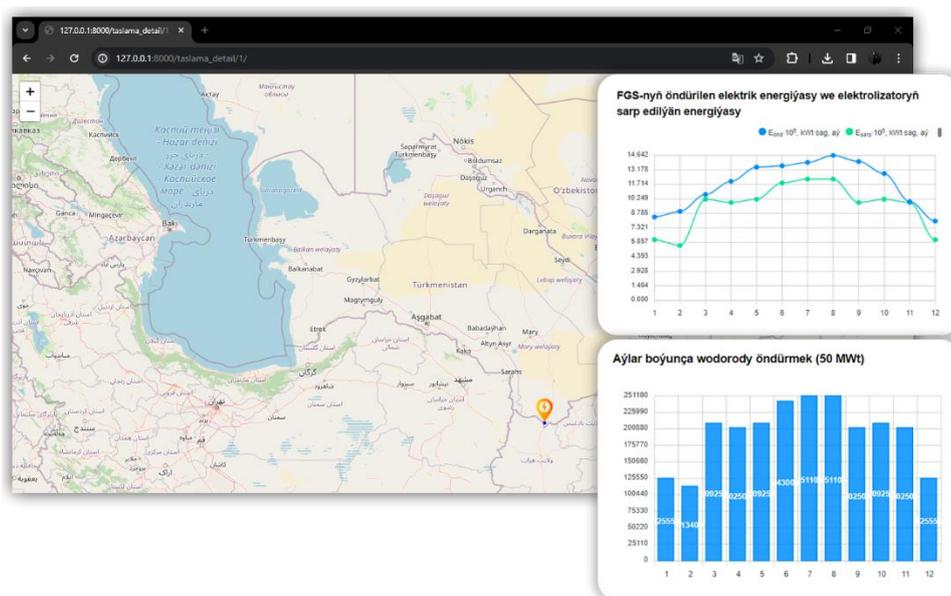
Определены баланс энергии, вырабатываемой и потребляемой элементами системы получения водорода (таб. 1).

Таблица 1: Основные результаты проекта

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Серхетабат (Кушки)								
Географические координаты: с. ш 35,20 ⁰ , в. д 62,40 ⁰								
месяцы	дни	количество часов	H ₂ , объем, кг, в день	H ₂ , объем, кг, в месяц	Потребляемая энергия электролизера, кВт-ч (1 МВт)	H ₂ , объем, кг, в месяц (50 МВт)	Потребляемая энергия электролизера, кВт-ч (50 МВт)	E _{1,месяц} , кВт-ч · 10 ⁶
1	31	3	81	2511	122537	125550	6,127	8,422
2	28	3	81	2268	110678	113400	5,534	8,989
3	31	5	135	4185	204228	209250	10,211	10,697
4	30	5	135	4050	197640	202500	9,882	12,019
5	31	5	135	4185	204228	209250	10,211	13,456
6	30	6	162	4860	237168	243000	11,858	13,586
7	31	6	162	5022	245074	251100	12,254	13,929
8	31	6	162	5022	245074	251100	12,254	14,642
9	30	5	135	4050	197640	202500	9,882	14,023
10	31	5	135	4185	204228	209250	10,211	12,810
11	30	5	135	4050	197640	202500	9,882	9,973
12	31	3	81	2511	122537	125550	6,127	8,006
год				46899	2288672	2344950	114,433	140,552

В данном проекте рассматривается строительство фотоэлектрических солнечных станций (ФСС) установленными мощностями 100 МВт в Марыйском и Лебапском велаятах в населенных пунктах Серхетабат и Керки, основные полученные результаты приведены в таблице 1. Реализация данного проекта позволяет производить в течении года 2344,95 т «зеленого» водорода.



2-й рисунок. Карта: Вырабатываемая электрическая энергия ФСС и потребляемая энергия электролизера (синий. выруб. энерг. ФСС, зеленый. потребл. энерг. электролизера) и производство водорода в течении месяца

Созданном проекте интегрировано с геоинформационными системами для визуализации данных на картах. Реализовали алгоритмы для расчета эффективности и оптимизации параметров (Рис. 2).

Внедрение программного обеспечения, представленного в исследовании, способно значительно повысить прозрачность и оперативность в управлении энергетическими ресурсами. Путем анализа данных и разработки оптимальных стратегий использования ВИЭ, создаются условия для сокращения зависимости от традиционных источников энергии, снижения выбросов углерода и улучшения экологического следа.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Важным аспектом в проекте устойчивости является не только технологическое решение, но и роль исследования в формировании стратегий устойчивого энергетического будущего. Программное обеспечение, предоставленное в рамках данного исследования, несомненно, служит инструментом для принятия информированных решений, способствуя устойчивому развитию энергетического комплекса и создавая благоприятные условия для перехода к "зеленой" энергетике в регионе.

Вывод

Представленное исследование не только предлагает технологическое решение в виде комплексного программного обеспечения, но также является важным вкладом в стратегическое формирование устойчивого энергетического будущего для региона. Акцентирование на анализе энергетических систем, оптимизации использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и эффективности производства "зеленого" водорода открывает перспективы для устойчивого энергетического развития.

Программному обеспечению для исследования данных по проекту ВИЭ и производству "зеленого" водорода:

• Эффективность и результаты:

– Программное обеспечение успешно достигло поставленных целей, обеспечив эффективный анализ энергетических данных и оптимизацию проектов с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

• Точность и надежность расчетов:

– Реализованные математические модели обеспечивают точные и надежные расчеты, что является критическим для принятия обоснованных решений в области энергетики.

• Безопасность Данных:

– Меры безопасности данных гарантируют конфиденциальность и целостность, что критично для защиты чувствительных данных о проектах.

• Способствование дальнейшим исследованиям:

– Разработанное программное обеспечение представляет собой базу для дальнейших исследований и разработок в области энергетики, особенно в использовании ВИЭ и водорода.

• Успех в поставленных задачах:

– Программное обеспечение успешно решает задачи, поставленные перед проектом, и предоставляет инструменты для комплексного анализа и оптимизации энергетических систем.

Список литературы

1. Экономический и социальный совет. ООН. ECE/Energy/2022/8. Distr.: General 13 July 2022, Russian Original: English.
2. “Türkmenistanyň wodorod energiýasy babatda halkara hyzmatdaşlygy ösdürmek boýunça 2022-2023-nji ýyllar üçin ÝOL KARTASY”. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2022-nji ýulyň 28-nji ýanwarynda çykaran 2581-nji Karary bilen tassyklanyldy.
3. Пути развития водородной энергетики в Туркменистане. А. Я. Джумаев. // Сборник научных трудов «Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем» Гомель. Республика Беларусь. 2023. С. 105-108.

УДК 621.311.1

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЙ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ С СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ СТАНЦИЯМИ

Т.Ш. Гайибов, Т.У. Тошев, Э. Нигматова

ТашГТУ, Узбекистан

Аннотация: В современных условиях интенсивного развития энергетики особо важным является разработка и внедрение высокоэффективных методов проектирования и эксплуатации электростанций, работающих на возобновляемые энергоресурсы, в первую очередь, на энергию солнца и ветра. Несмотря на существование в настоящее время ряда методов решения таких задач, вопросы их усовершенствования в направлении повышения надежности и точности расчетов остаются актуальными.

В данной работе предлагается эффективная математическая модель и алгоритм оптимизации состава оборудования в автономных системах с солнечными фотоэлектрическими и ветровыми станциями. Приведены результаты исследования эффективности описанной модели и алгоритма расчета.

Ключевые слова: математическая модель, оптимизация, алгоритм, автономная система, солнечный модуль, ветровой агрегат, фотоэлектрическая станция, ветровая электростанция, капиталовложение, эксплуатационные затраты.

QUYOSH VA SHAMOL STANSIYALARIGA EGA BO'LGAN AVTONOM TIZIM JIHOZLARINING TARKIBINI OPTIMALLASHTIRISH

T.Sh. Gayibov, T.U. Tosh'yev, E. Nigmatova

ToshDTU, Uzbekiston

Annotatsiya: Hozirgi energetikaning yuqori suratlarda rivojlanib borish sharoitida qayta tiklanuvchan energiya manbalari, xususan quyosh va shamol energiyasidan foydalanuvchi elektr stansiyalariga ega bo'lgan avtonom tizimlarni loyihalash va ishlatishning samarali usullarini ishlab chiqish va joriy etish alohida muhim masala hisoblanadi. Hozirgi davrda ushbu masalani yechishning bir qator usullari mavjud bo'lishiga karamasdan, ularni barcha ta'sir etuvchi faktorlarni e'tiborga olib ishonchli va aniq hisoblash yunalishida takomillashtirish dolzarb sanaladi.

Ushbu ishda tarkibida quyosh va shamol stansiyalari mavjud bo'lgan avtonom tizimlarda jihozlarning tarkibini optimallashtirish masalasining samarali matematik modeli va uni yechish algoritmi taklif etilgan. Taklif etilgan model va optimallashtirish algoritmining samaradorligini tadqiqi natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: matematik model, optimallashtirish, algoritmi, avtonom tizim, quyosh moduli, shamol agregati, fotoelektr stansiyasi, shamol elektr stansiyasi, kapital xarajat, ishlatish xarajatlari.

OPTIMIZATION OF EQUIPMENT COMPOSITION IN AN AUTONOMOUS
SYSTEM WITH SOLAR AND WIND STATIONS

T.Sh. Gayibov, T.U. Toshev, E. Nigmatova
TSTU, Uzbekistan

Abstract: *In modern conditions of intensive energy development, the development and implementation of highly efficient methods for the design and operation of power plants operating on renewable energy resources, primarily solar and wind energy, is especially important. Despite the current existence of a number of methods for solving such problems, the issues of their improvement in the direction of increasing the reliability and accuracy of calculations remain as a urgent task.*

This paper proposes an effective mathematical model and algorithm for optimizing the composition of equipment in autonomous systems with solar photovoltaic and wind stations. The results of a study of effectiveness of the described model and calculation algorithm are presented.

Key words: *mathematical model, optimization, algorithm, autonomous system, solar module, wind unit, photovoltaic station, wind power plant, capital investment, operating costs..*

1. Введение

В условиях интенсивного развития энергетики во всем мире, а также острота проблемы охраны окружающей среды, особо важным становится увеличение доли возобновляемых источников энергии в общем энергетическом балансе. Решение этой задачи требует, в частности, определения эффективных методов проектирования электростанций, использующих такие виды энергоресурсов, за счет оптимального выбора состава оборудования.

В настоящее время существует ряд разработок, как [1-7], посвященные к решению этой проблемы, которые внесли большой вклад в развитии теории и методов выбора оптимальной конфигурации оборудования в электростанциях, работающих на возобновляемые энергоресурсы. Однако, модели и алгоритмы, описанные в некоторых из этих публикациях нельзя непосредственно использовать для решения рассматриваемой в данной работе проблемы. Кроме того, для ряда из методов, предложенных в этих работах характерны недостатки, связанные с неучетом факторов, использованием оценочной модели оптимизации, что приводит к снижению точности результатов расчетов. В связи с этим проблема разработки и внедрения эффективных моделей и алгоритмов оптимизации состава оборудования электростанций работающих на возобновляемые энергоресурсы с учетом всех ограничивающих и влияющих факторов остается актуальной задачей.

2. Математическая модель и алгоритм оптимизации

Математическую модель задачи оптимизации состава оборудования автономной системы, имеющей в своем составе СФЭС, ВЭС и АБ, можно сформулировать в следующем виде:

- минимизировать целевую функцию, представляющую собой общих затрат, связанных с сооружением и эксплуатацией системы в течении расчетного периода T

$$Z = Z_{PV} + Z_W + Z_{BS} + Z_{BOS} = (1 + k_{PV.OM}) \cdot C_{PV} \cdot N_{PV} + (1 + k_{W.OM}) \cdot C_W \cdot N_W + (C_{BS} + C_{BS.rep}) \cdot N_{BS} + Z_{BOS} \rightarrow \min \quad (1)$$

с учетом ограничений:

- по балансу мощности в каждом временном интервале рассматриваемого периода T

$$P_{PV}^{(t)} + P_W^{(t)} + P_{BS}^{dch(t)} = P_L^{(t)} + P_{BS}^{ch(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (2)$$

- по допустимой минимальной и максимальной мощностям солнечных модулей и ветровых агрегатов

$$P_{PV}^{min} \leq P_{PV}^{(t)} \leq P_{PV}^{max}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (3)$$

$$P_W^{min} \leq P_W^{(t)} \leq P_W^{max}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (3a)$$

- по допустимой минимальной и максимальной зарядной мощностям аккумуляторной батареи

$$0 \leq P_{BS}^{ch(t)} \leq P_{BS}^{ch.max}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (4)$$

$$0 \leq P_{BS}^{dch(t)} \leq P_{BS}^{dch.max}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (4a)$$

(4a)

- по допустимой минимальной и максимальной энергиям (ёмкости) заряда аккумуляторной батареи

$$W_{BS}^{(t)min} \leq W_{BS}^{(t)} \leq W_{BS}^{(t)max}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (5)$$

где T - число временных интервалов в течении рассматриваемого периода; Z_{PV} , Z_W , Z_{BS} , Z_{BOS} – суммы капиталовложений и эксплуатационных расходов на солнечные модули, ветровых агрегатов, аккумуляторные батареи и другие установки преобразования, управления и регистрации, соответственно; C_{PV} , C_W , C_{BS} - удельные капиталовложения для солнечных модулей, ветровых агрегатов и аккумуляторных батарей; $C_{BS.rep.}$ - удельные капиталовложения, связанные с заменой аккумуляторной батареи; $k_{PV.OM}$, $k_{W.OM}$ – удельные эксплуатационные затраты для солнечной модули и ветрового агрегата, соответственно; N_{PV} , N_W , N_{BS} - числа солнечных модулей, ветровых агрегатов и аккумуляторных батарей; $P_{PV}^{(t)}$, $P_W^{(t)}$, $P_{BS}^{ch(t)}$, $P_{BS}^{dch(t)}$ - суммарная мощность солнечных модулей, ветровых агрегатов и мощности заряда и разряда аккумуляторных батарей в t - м временном интервале рассматриваемого периода, соответственно; $P_{BS}^{ch.max}$, $P_{BS}^{dch.max}$ - допустимые максимальные мощности заряда и разряда аккумуляторной батареи; $W_{BS}^{(t)}$, $W_{BS}^{(t)min}$, $W_{BS}^{(t)max}$ - количество энергии в аккумуляторной батареи в t - м временном интервале, а также её допустимые минимальное и максимальное значения; $W_{BS.отд.}^{(t)}$, $W_{BS.пол.}^{(t)}$ - количество отданной за счет разряжения и полученной за счет заряжения аккумуляторной батарией электроэнергии к t – му временному интервалу.

После несложных преобразований, выполненных в соответствии с условиями, приведенными в работах [6, 9-11], математическую модель задачи представляем в следующем виде:

Целевая функция

$$Z = 1,847 \cdot C_{PV} \cdot N_{PV} + 1,778 \cdot C_W \cdot N_W + 1,9 \cdot C_{BS} \cdot N_{BS.ser.} \cdot N_{BS.par.} \rightarrow \min; \quad (6)$$

ограничения

$$R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV} \cdot \eta_{El} + (av^{(t)3} + bv^{(t)2} + cv^{(t)} + d) \cdot \eta_W^{(t)} \cdot \eta_{El} \cdot N_W - ; \quad (7)$$

$$- P_{BS}^{ch(t)} + P_{BS}^{dch(t)} = P_L^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$0 \leq P_{BS}^{ch(t)} \leq P_{1BS}^{ch.max} \cdot N_{BS.ser.} \cdot N_{BS.par.}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (8)$$

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

$$0 \leq P_{BS}^{dch(t)} \leq P_{1BS}^{dch.max} \cdot N_{BS.ser} \cdot N_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (8a)$$

$$W_{1BS}^{min} \cdot N_{BS.ser} \cdot N_{BS.par} \leq W_b + \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \leq \\ \leq W_{1BS}^{max} \cdot N_{BS.ser} \cdot N_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^T P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^T \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} = 0, \quad (10)$$

где $R_{sol}^{(t)}$ - удельная мощность падающей солнечной радиации; A - площадь поверхности одной солнечной панели; $\eta_{PV}^{(t)}$, $\eta_W^{(t)}$ - КПД солнечной модули и ветрового агрегата в t - м временном интервале; $\eta_{BS}^{(i)}=0,85$ - КПД аккумуляторной батареи в t - м временном интервале.

η_{El} - КПД системы электроники, которая служит для обеспечения надежной работы СФЭС и ВЭС, по [8] $\eta_{El}=0,98$; $v^{(t)}$ - скорость ветра в t - м временном интервале; a , b , c , d - постоянные коэффициенты кубического полинома, получаемого в результате аппроксимации зависимости $P_W(v)$, задаваемого производителем, в табличном виде.

При заданных графиках солнечной радиации $R_{sol}^{(t)}$ и скорости ветра $v^{(t)}$ задача (6)-(10) представляет собой задачу линейного программирования. Поэтому её можно решить симплексным методом. В результате её решения находятся оптимальные значения параметров N_{PV} , N_W , $N_{BS.par}$ и $P_{BS}^{ch(1)}$, $P_{BS}^{ch(2)}$, ..., $P_{BS}^{ch(T)}$, $P_{BS}^{dch(1)}$, $P_{BS}^{dch(2)}$, ..., $P_{BS}^{dch(T)}$. При этом число солнечных модулей, ветровых агрегатов и параллельных ветвей с аккумуляторами определяются округлением соответствующих N_{PV} , N_W , $N_{BS.par}$ до ближайших целых чисел.

3. Результаты

Эффективность предложенной математической модели и алгоритма исследованы на примере оптимизации состава солнечных модулей, ветровых агрегатов и аккумуляторных батарей в автономной системе, работающей с заданным суточным графиком нагрузок.

Графики нагрузок потребителя, удельной мощности падающей солнечной радиации, скорости ветра и соответствующей мощности ветрового агрегата, определённой по данным производителя, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Графики нагрузок потребителя, удельной мощности падающей солнечной радиации и скорости ветра.

t , ч.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_L , кВт	7,6	5,8	4,7	5,6	6,3	9,2	12,6	17,5	22,4	27,3	30,4	26,7
	23,2	20,3	24,5	25,2	28,7	31,2	35,0	36,0	32,3	26,5	18,6	12,5
$R_{sol}^{(t)}$, кВт/м ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,08	0,35	0,40	0,45	0,52	0,65	0,76
	0,85	0,86	0,80	0,65	0,54	0,25	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$v^{(t)}$, м/с	5,6	5,3	5,4	4,6	4,8	4,7	4,9	5,0	5,6	3,6	3,5	2,5
	2,9	3,9	4,8	4,1	3,9	4,4	5,3	5,0	6,3	6,0	5,2	6,2

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В качестве примера выбраны следующие типы солнечной модули, ветрового агрегата и аккумуляторной батареи.

Параметры солнечной модули: Место производства: Anhui, China; Номер модели: SUN410-430 DE21M; Тип: PERC, Shingled Solar Panel, монокристаллический кремний; срок службы: 25 лет; максимальная мощность: $P_{IPV}=415$ Вт; размер поверхности панели: 1723x1134 мм; эффективность: 20%; удельная стоимость: $C_{IPV}=0,19$ \$/Вт.

Параметры ветрового агрегата: Модель: SWG EW-1000; номинальная мощность: 1 кВт; скорость начала генерации энергии: 3,5 м/с; расчетная рабочая скорость: 12 м/с; частота вращения: 450 об/мин, по часовой стрелке; удельная стоимость: 1000 \$/шт; кривая мощности (зависимость выдаваемой мощности от скорости ветра) задана в таблице 1.

Параметры аккумуляторной батареи: Место производства: Guangdong, China; Номер модели: GE100AH/ 12V(100); тип: Gel Lead Battery; срок службы: 10 лет; Размер аккумулятора: 12V, 100AH; максимальный ток зарядки: $I_1^{ch.max} = 10$ А; стоимость одного аккумулятора: 91 \$/шт.

Оптимальное число солнечных модулей, полученное в результате решения задачи на основе использования предложенной математической модели и алгоритма расчета: $N_{PV}= 152$ шт. $N_W= 44$ шт. Оптимальное число параллельно соединенных ветвей с 20 аккумуляторами в каждом: $N_{BS.par}= 13$ шт. Соответственно, общее число аккумуляторов в батарее: $N_{BS} = 20 \times 13 = 260$ шт. Минимальное значение целевой функции: $Z_{min} = 146,06$ тыс. \$.

В таблице 2 и на рис. 1 приведены результаты решения задачи на основе использования предложенной математической модели и алгоритма оптимизации – оптимальные графики нагрузок СФЭС, ВЭС и зарядки-разрядки аккумуляторной батареи по временным интервалам суток.

Таблица 2. Оптимальные графики нагрузок потребителя, ФЭМ, ВЭУ и зарядки-разрядки АБ.

t , ч.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_L , кВт	7,6	5,8	4,7	5,6	6,3	9,2	12,6	17,5	22,4	27,3	30,4	26,7
	23,2	20,3	24,5	25,2	28,7	31,2	35,0	36,0	32,3	26,5	18,6	12,5
$P_{PV}^{(t)}$, кВт	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	4,66	20,3	23,2	26,1	30,2	37,8	44,2
	49,4	50,0	46,5	37,8	31,4	14,5	2,91	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
$P_W^{(t)}$, кВт	5,56	4,92	5,13	3,59	3,94	3,76	4,11	4,28	5,56	1,88	1,71	0,00
	0,00	2,40	3,94	2,74	2,40	3,25	4,92	4,28	7,70	6,42	4,71	7,27
$P_{BS}^{ch.(t)}$, кВт	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	11,8	10,0	9,36	4,85	9,15	17,5
	26,2	32,1	26,0	15,3	5,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$P_{BS}^{dch.(t)}$, кВт	2,04	0,88	0,00	2,01	1,20	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,4	27,1	31,7	24,6	20,0	13,8	5,23

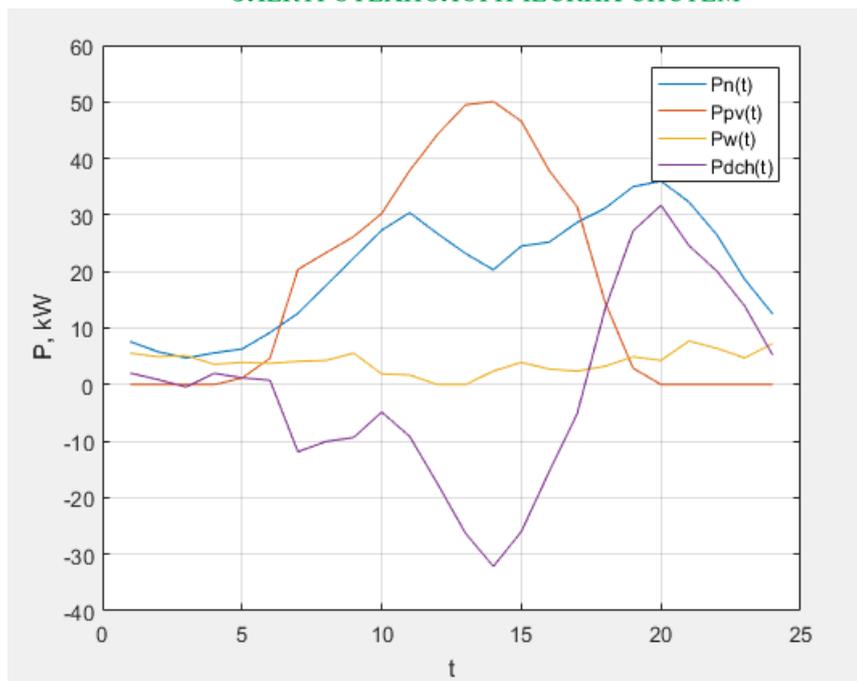


Рис.1. Оптимальные графики нагрузок потребителя, ФЭМ, ВЭУ и зарядки-разрядки АБ.

4. Заключение

1) Предложена математическая модель задачи оптимизации состава оборудования в системе с солнечной фотоэлектрической, ветровой станциями и аккумуляторной батареей, которая позволяет учитывать ограничивающие и влияющие факторы.

2) Предложен новый алгоритм решения задачи оптимизации состава оборудования в автономной системе, основанный на использовании методов линейного программирования.

3) На основе выполненных экспериментальных расчетов на конкретном примере выявлено, что предложенная модель и алгоритм оптимизации обладают хорошими вычислительными способностями и высокой точностью.

Литература

1. Wang, Zekun & Jia, Yan & Yang, Yingjian & Cai, Chang & Chen, Yinpeng. (2021). Optimal Configuration of an Off-Grid Hybrid Wind-Hydrogen Energy System: Comparison of Two Systems. *Energy Engineering*. 118. 1641-1658. 10.32604/EE.2021.017464.

2. Sun, Qian et al. Optimal Configuration of Standalone Wind-Solar-Storage Complementary Generation System Based on the GA-PSO Algorithm. *Journal of Power Technologies*, [S.l.], v. 99, n. 4, p. 231–236, dec. 2019. ISSN 2083-4195.

3. Zhang, Junli & Wei, Huashuai. (2022). A review on configuration optimization of hybrid energy system based on renewable energy. *Frontiers in Energy Research*. 10. 10.3389/fenrg.2022.977925.

4. Lanre Olatomiwa. Optimal configuration assessments of hybrid renewable power supply for rural healthcare facilities. *Energy Reports*, Volume 2, 2016. Pages 141-146. ISSN 2352-4847. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.06.001>.

5. Mas'ud AA, Al-Garni HZ. Optimum Configuration of a Renewable Energy System Using Multi-Year Parameters and Advanced Battery Storage Modules: A Case Study in Northern Saudi Arabia. *Sustainability*. 2021; 13(9):5123. <https://doi.org/10.3390/su13095123> .

6. Freire-Gormaly, M, & Bilton, AM. "Optimization of Renewable Energy Power Systems for Remote Communities." *Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Volume 2A: 41st Design Automation Conference. Boston, Massachusetts, USA. August 2–5, 2015. V02AT03A030. ASME. <https://doi.org/10.1115/DETC2015-47509>.

7. Ghayoor, Farzad; Swanson, Andrew G.; Sibanda, Hudson. Optimal sizing for a grid-connected hybrid renewable energy system: A case study of the residential sector in Durban, South Africa. *J. energy South. Afr.*, Cape Town , v. 32, n. 4, p. 11-27, Nov. 2021 .

8. Tristar, "TriStar MPPT Maximum Power Point Tracker," 2014.

9. Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Fluri, Dominik Peper, Aschkhan Davoodi Memar, Thomas Schelegl. "Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies," 2021.

10. Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Julch, Huyen-Tran Nguyen, Thomas Schelegl. "Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies," 2018.

11. J. White, K. Case, and D. Pratt, *Principles of Engineering Economic Analysis*. Hoboken, NJ: Wiley Higher Education, 2010.

УДК 620.10

THE PERSPECTIVE OF WIND ENERGY IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Associate Professor Pulatova Dilnoza Mannonovna, student Suyunov
Kamron Baxtiyor ugli

*Tashkent State Technical University, the Republic of Uzbekistan, of the
Department of Alternative Energy Sources.*

Аннотация: В статье проанализированы целеой стратегий по расширению масштаба использования ветроэнергетики в в Узбекистана. резкие превышения скоростей ветров в отдельных регионах предельно-допустимого значения, могут приводит к выходу из строя ветроэнергетических установок, упомянуты мероприятия по установке ветрогенераторов.

Ключевые слова: энергетика, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, солнечная энергетика, станции, солнечная энергия, мощность.

Annotation. The article analyzes the target strategies for expanding the scale of use of wind energy in Uzbekistan. sharp excesses of wind speeds in certain regions of the maximum permissible value can lead to failure of wind power plants and measures for the installation of wind generators were mentioned.

Keywords. energy, renewable energy sources, wind energy, solar energy, stations, solar energy, power

Анотасија. Мақоллада О‘zbekistonda shamol energiyasidan foydalanish ko‘lamini kengaytirish bo‘yicha maqsadli strategiyalar tahlil qilingan. Maksimal ruxsat etilgan qiymatning ayrim hududlarida shamol tezligining keskin oshib ketishi shamol

elektr stantsiyalarining ishdan chiqishiga va shamol generatorlarining o'rnatish bo'yicha chora tadbirlagi aytib o'tilgan.

Kalit so'zlar. energiya, qayta tiklanadigan energiya manbalari, shamol energiyasi, quyosh energiyasi, stantsiyalar, quyosh energiyasi, energiya

The Republic of Uzbekistan is one of the largest states in the Central Asian region, which has a large reserve of natural resources. The high level of exploration of mineral deposits in Uzbekistan is associated with the extraction of fuel resources, precious, non-ferrous and rare metals, uranium ores, oil shales, raw materials for construction materials. It should be noted that only 20% of the country's mineral resources have been studied. At more than 900 deposits, proven reserves are estimated at almost \$1 trillion. The total mineral resource potential of the republic is estimated at about 5.7 trillion dollars.

At the beginning of the XXI century, national and foreign experts conducted observations in order to assess the local and regional environmental situation, the risks associated with the movement of air masses, while the global gross potential of wind energy was estimated at 2.6 million tons per year. [2.4].

Scientists have created an interesting interactive world map of the atlas of winds, which allows you to monitor the winds online and can be used by interested parties in future research.

At the time of completion of my last update in January 2022, I cannot provide specific information about the current state of wind energy in Uzbekistan. However, in the general context, I can share some general considerations about the prospects of wind energy [1].

Wind energy is a promising source of renewable energy that can help diversify the energy mix and reduce dependence on traditional energy sources. In Uzbekistan, as in other countries with a suitable climate, wind energy can be an effective source of electricity.

Some factors that may affect the prospects of wind energy in Uzbekistan include:

According to the data, the areas where the wind speed exceeds 10 m/s and are located in foothills, mountainous, and desert areas where the population density is relatively low. In the geographical structure of wind energy potential, the main share falls on the territory of the Republic of Karakalpakstan.

The first wind power plant in Uzbekistan was built in 2010 next to the Charvak reservoir, with a capacity of 170 kW. The next one was in 2012, one of the largest in Central Asia with a capacity of 750 kW in the village of Yubileyny in the Bostanlyk district of the Tashkent region [2].

On measures to accelerate the introduction of renewable energy sources and energy-saving technologies in 2023



Fig.1 General view of a 0.75 MW wind turbine in Tashkent region

Of the Republic of Uzbekistan "On the use of renewable energy sources", Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 16, 2023, No. PP-57 "On measures to accelerate the introduction of renewable energy sources and energy-saving technologies in 2023" dated December 2, 2022, No. PP-436 "On measures to improve the effectiveness of reforms aimed at transition The Republic of Uzbekistan for a "Green" economy until 2030."

- The share of alternative energy is gradually growing in the country. Last year, the Ministry of Energy announced the construction of several renewable energy stations:
- - two photovoltaic plants with a capacity of 100 MW in Navoi and Samarkand regions;
- - photovoltaic at 500 MW in Navoi region;
- - two wind farms with a total capacity of 1000 MW in the Bukhara region;
- - photovoltaic at 200 MW in Navoi region;
- - photovoltaic plant with a capacity of 457 MW in Surkhandarya region;
- - two photovoltaic plants of 220 MW each in the Samarkand and Jizzakh regions.

The total volume of foreign investments in projects for the construction of solar and wind power plants in Uzbekistan is estimated at \$3 billion. The total capacity is estimated to be 2,900 MW.

By 2025, the share of renewable sources in the country's energy system should reach 19.7% (for comparison: in 2016 — 12.7%).

In recent years, Uzbekistan has been paying close attention to the construction of wind farms. This area is currently the fastest-growing in the global energy sector.

The indicators of wind potential in the territories designated for the construction of wind farms in Uzbekistan are higher than the average for existing wind farms in the world. In other words, when comparing the power utilization coefficients, it was found that the indicators of our country are 1.5 times higher than the global average. For example, out of a total of 8,760 hours per year, wind farms in Uzbekistan can operate at full capacity for about 3,900 hours.



Fig.2 A 500 MW wind power plant in the Navoi region

Table 1

The average hourly wind vector (speed and direction) over a wide area at an altitude of 10 meters above the ground (mph).

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

№	Region	January	February	March	April	MAY	June	July	August	September	October	November	December
1	Navoi	8,3	8,7	9,0	9,1	9,7	11,4	12,8	12,1	10,1	8,6	8,3	8,4
2	Bukhara	8,6	9,2	9,5	9,6	10,1	11,6	12,7	11,9	9,9	8,4	8,3	8,5
3	Karakalpakistan	9,5	10,5	11,1	11,1	10,4	9,9	9,4	9,3	9	8,8	8,1	9,3

Nowadays, several WPP construction projects have been launched in Uzbekistan. When implementing wind farm projects, measures are being taken to ensure their safe integration into a single energy system.

As a result, Uzbekistan will be able to manage and store energy from renewable energy sources and ensure the stability of the unified energy system.

Literature.

1. Pulatova D.M. Wind energy study guide.-Т.: “Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi”, 2023. p176
2. Sobirov Yu.B., Pulatova D.M., Maxmudov S.Sh. Wind energy study guide.-Т.: “Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi”, 2023. p256
3. Zaxidov, N., Shoyusupov, S., Pulatova, D., Rahmatillayev, S., Gafurov, D. Photoelectric recorder for measuring deformations of buildings and hydraulic facilities *E3S Web of Conferences*, 2021, 264, 03066 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85108190911&origin=resultslist>
4. Xaritonov V.P. Basics of wind energy. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010.-p340
5. <https://anhor.uz/society/uzbekistane-do-2020-goda-postroyat-6-vetrovih-elektrostanciy>

УДК 621.311.24:621.438.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ**

*Дюндина Валерия Павловна, студент 3 курс, Казанский государственный
энергетический университет, Казань, Россия*

*Хуснутдинов Азат Назипович, кандидат технических наук, доцент, Казанский
государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Xulosa: ushbu maqolada elektr transport vositalarida noan'anaviy energiya manbalaridan foydalanish muammosi ko'rib chiqiladi, chunki zamonaviy dunyoda bu zaryadlovchilarning tobora dolzarb va zarur funktsiyasiga aylanib bormoqda.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Kalit so'zlar: energiya manbai, eletromobil, zaryadlash, stantsiya.

Аннотация: в данной статье рассмотрена проблема использования нетрадиционных источников энергии в электромобилях, так как в современном мире это становится все более насущной и необходимой функцией зарядных устройств.

Ключевые слова: источник энергии, элетромобиль, зарядка, станция.

Abstract: this article examines the problem of using non-traditional energy sources in electric vehicles, as in the modern world it is becoming an increasingly urgent and necessary function of chargers.

Keywords: energy source, electric car, charging, station.

Использование нетрадиционных источников энергии в электромобилях становится все более популярным, так как это способствует снижению зависимости от ископаемых видов топлива и уменьшению выбросов парниковых газов. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии могут быть использованы в электромобилях для увеличения эффективности. [1]

Некоторые примеры нетрадиционных источников энергии, которые могут использоваться в электромобилях:

1. Солнечная энергия: Установка солнечных панелей на кузов электромобиля позволяет заряжать аккумуляторы от солнечного света. Это особенно полезно для увеличения дальности поездок.

2. Кинетическая энергия: Тормозная энергия, выделяемая при торможении, может быть преобразована в электричество и использована для зарядки аккумуляторов.

3. Ветряная энергия: Установка маленького ветряного генератора на электромобиль может помочь в генерации дополнительной энергии, особенно при движении на высоких скоростях.

4. Тепловая энергия: Тепловые насосы могут использоваться для преобразования тепла окружающей среды или тепла двигателя в электричество для зарядки аккумуляторов.

5. Гидроэнергия: Возможно использование гидродинамических устройств, установленных на электромобиле, для преобразования потока воды или дождевой воды в электричество.

Далее рассмотрены несколько способов, где можно использовать выше приведенные источники энергии в электромобилях:

1. Зарядка от солнечных панелей:

- Установка солнечных панелей на крыше: Один из наиболее распространенных способов использования солнечной энергии в электромобилях – установка солнечных панелей на крыше автомобиля. Эти панели могут преобразовывать солнечный свет в электричество, которое затем используется для зарядки аккумуляторов автомобиля.

- Использование солнечной энергии для вспомогательных систем: Солнечная энергия также может быть использована для питания вспомогательных систем в электромобиле, таких как кондиционер, обогреватель или система освещения. Это может снизить потребление энергии из основного аккумулятора и увеличить дальность поездок.

- Зарядные станции на солнечных батареях: Создание зарядных станций для электромобилей, оснащенных солнечными батареями, может обеспечить возможность быстрой зарядки автомобилей за счет солнечной энергии. Это может быть особенно полезно в удаленных районах или на местах, где нет доступа к сети электропитания. [2]

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Использование солнечной энергии для обогрева автомобиля: Солнечная энергия может быть использована для предварительного обогрева автомобиля в холодные дни, что поможет сэкономить энергию из основного аккумулятора.

2. Рекуперация энергии при торможении в электромобилях – это процесс, при котором кинетическая энергия, создаваемая при торможении автомобиля, преобразуется в электрическую энергию и затем используется для зарядки аккумулятора автомобиля. Этот процесс позволяет увеличить эффективность использования энергии и увеличить дальность поездок на одном заряде.

Принцип работы:

- Работа системы рекуперации: При торможении или снижении скорости электромобиля электрический двигатель автомобиля начинает действовать как генератор, преобразуя кинетическую энергию движения автомобиля в электрическую энергию. Эта электрическая энергия затем направляется обратно в аккумулятор для последующего использования.

- Увеличение дальности поездок: Благодаря рекуперации энергии при торможении можно увеличить дальность поездок на одном заряде аккумулятора. Это особенно полезно в городском движении, где частые остановки и старты способствуют частому использованию рекуперации.

- Снижение износа тормозных систем: Поскольку рекуперация позволяет снизить нагрузку на обычные механические тормоза автомобиля, это может уменьшить износ тормозных систем и увеличить их срок службы.

- Эффективное использование энергии: Рекуперация позволяет эффективно использовать энергию, которая в других случаях была бы потеряна в виде тепла при использовании тормозов.

- Настройка уровня рекуперации: Некоторые электромобили позволяют водителям выбирать уровень рекуперации в зависимости от их предпочтений и условий движения. Например, можно выбрать более агрессивный режим рекуперации для более интенсивного замедления автомобиля при отпуске педали акселератора.

Рекуперация энергии при торможении – это важная функция, которая помогает сделать электромобили более эффективными и экономичными в использовании.

3. Использование ветряной энергии для зарядки электромобилей – это интересная идея, хотя она может быть сложной в реализации из-за нескольких факторов, таких как доступность ветра и технические особенности. Вот несколько способов, как можно использовать ветряную энергию в электромобилях [3]:

- Встроенные ветряные турбины: Можно рассмотреть возможность установки небольших ветряных турбин на кузов или крышу электромобиля. Эти турбины могут генерировать электричество при движении автомобиля или при стоянке на месте. Однако эффективность таких систем может быть ограничена из-за низкой скорости движения автомобиля.

- Использование ветроэнергии для зарядки: Электромобиль можно подключить к стационарной ветряной установке для зарядки аккумулятора. Это может быть особенно полезно для домашних зарядных станций, если у вас есть доступ к ветряной энергии.

- Использование ветроэнергии для зарядки станций быстрой зарядки: Ветряная энергия также может быть использована для питания станций быстрой зарядки электромобилей на общественных станциях зарядки. Это может способствовать развитию более экологически чистых методов зарядки.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Гибридные системы: Возможно создание гибридных систем, которые объединяют ветряную энергию с другими источниками энергии, такими как солнечные панели. Такие системы могут обеспечить более стабильное и постоянное питание для зарядки электромобилей.

4. Использование тепловой энергии:

- Регенеративное торможение: Регенеративная система торможения позволяет преобразовывать кинетическую энергию, которая обычно теряется при торможении, в электрическую энергию. Это позволяет заряжать аккумулятор электромобиля во время движения и повышает общую энергоэффективность автомобиля.

- Тепловой насос: Установка теплового насоса в электромобиле позволяет использовать тепло от окружающей среды или от системы охлаждения для обогрева салона или предварительного прогрева аккумулятора. Это помогает уменьшить потребление электроэнергии из аккумулятора для обогрева и повышает дальность поездок.

- Тепловое хранение: Тепловое хранение может быть использовано для сохранения избыточного тепла, например, полученного от зарядки или других процессов, и использоваться для обогрева салона или аккумулятора в более поздний период времени.

- Термоэлектрические генераторы: Термоэлектрические генераторы могут использоваться для преобразования разницы в температуре между различными частями автомобиля (например, между двигателем и окружающей средой) в электрическую энергию.

5. Использование гидроэнергии [4,5]:

- Гидродинамическое торможение: При движении автомобиля вниз по склону или при торможении можно использовать гидродинамическое торможение для преобразования кинетической энергии движения в энергию жидкости (например, воды или другой жидкости). Эта энергия может быть затем использована для зарядки аккумуляторов электромобиля.

- Гидравлические аккумуляторы: Гидравлические аккумуляторы могут использоваться для хранения энергии, полученной из гидроэнергии. Во время замедления или торможения автомобиля энергия может быть преобразована в давление в жидкости, которое затем может быть использовано для привода двигателя или для зарядки аккумуляторов.

- Гидравлический привод: Гидравлические системы могут использоваться в качестве дополнительного источника энергии для привода автомобиля. Это может помочь уменьшить нагрузку на электрическую систему и увеличить общую энергоэффективность.

- Использование гидроэнергии на станциях зарядки: Возможно использование гидроэнергии для питания станций быстрой зарядки электромобилей. Это позволит снизить зависимость от сети и использовать возобновляемые источники энергии для зарядки автомобилей.

Эти методы помогают сделать электромобили более эффективными и экологически чистыми. С их помощью появляется возможность увеличить дальность поездок на электромобиле. Однако, необходимо учитывать технические особенности и экономическую целесообразность внедрения таких решений.

Литература

1. Р. Г. Идиятуллин, А. Э. Аухадеев, С. В. Колесников, В. Н. Водолазов. Методика статистической оценки эксплуатационных параметров энергосбережения

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

тяговых электродвигателей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2005. – №. 3-4. – С. 14-20.

2. Р. С. Литвиненко, А.Э. Аухадеев, А.Н. Хуснутдинов, И.С. Антипанова, Л.Н. Киснеева. Подход к определению интегрального показателя надежности технических систем на этапе разработки // Вопросы электротехнологии. – 2021. – №. 1. – С. 52.

3. Д.В. Трякин, А.Р. Кудрявцев, С.Э. Монгуш, П.С. Шуркалов. Зарядные станции для электромобилей на основе возобновляемых источников энергии // Энерго-и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения-2020-Екатеринбург, 2020. – 2021. – С. 402-405.

4. О.А. Филина, А.А. Сидорова, А.Х. Мукимов, В.С. Спургис. Техническая диагностика и методы технического диагностирования // ЭКСПЕРТ ГОДА 2019. – 2019. – С. 48-52.

5. A.N. Khusnutdinov, E.M. Khusnutdinova, B.M. Butakov. Operation of brushes with increased service life on traction machines of electric vehicles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 570. – №. 1. – С. 012053.

УДК 620.9:621.314

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Р.А. Ситдинов, О.В. Радионова, ТашГТУ им. И.Каримова

Maqola sanoatning barcha tarmoqlarida va ijtimoiy sohada keng qo'llaniladigan elektr ta'minot (ETT) va elektromexanik tizimlarni (EMT) o'rganishga bag'ishlangan. Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalangan holda bunday tizimlarning samaradorligini aniqlashning tizimli, ko'p omilli yondashuvi tavsiflanadi; ko'p mezonli jarayon modeli taqdim etilgan.

Kalit so'zlar: elektr ta'minoti tizimi, qayta tiklanadigan energiya manbalari, elektromexanik tizimlarni, tizimli yondashuv, ko'p mezonli jarayon.

Статья посвящена изучению систем электроснабжения (СЭС) электромеханических систем (ЭМС), широко используемых во всех отраслях промышленности и социальной сфере. Описываются системный, многофакторный подход к определению эффективности таких систем, использующих ВИЭ; приводится многокритериальная модель процесса.

Ключевые слова: система электроснабжения, ВИЭ, электромеханические системы, системный подход, многокритериальность процесса.

The article is devoted to the study of power supply systems (PSS) and electro-mechanical systems (EMS), widely used in all sectors of industry and the social sphere. The system, multifactorial approach to determining the efficiency of such systems using renewable energy sources is described; a multi-criteria process model is presented.

Key words: power supply system, renewable energy sources, electr-mechanical systems, systems approach, multi-criteria process.

Введение. В настоящее время в промышленности все более широкое применение находят системы энергоснабжения (СЭС) с использованием солнечной энергии, энергии ветра и др. Использование таких возобновляемых источников энергии (ВИЭ) отвечает социальным и экологическим требованиям, способствует развитию науки и технологий [1,2].

Основным объектом исследования является СЭС с ВИЭ для питания электромеханических систем (ЭМС), представляющих сложный комплекс, широко используемый во всех сферах экономики, а также во многих областях науки и техники, таких как энергетика, электромеханика, электротехника, автоматика, электроника и др.

Целью статьи является системный анализ аспектов использования ВИЭ (энергии ветра и солнца) в системах электропитания ЭМС для повышения эффективности их функционирования. В данном случае системный подход означает системную инженерию, т.е. интегративный подход, обеспечивающий успешное создание и эксплуатацию систем электроснабжения ЭМС с использованием ВИЭ.

Внедрение ВИЭ является одним из важнейших приоритетов перехода экономики Республики Узбекистан на инновационные рельсы и экологически чистые технологии. Важность данного направления была подчеркнута «Законом РУз об использовании ВИЭ» и многими другими документами [3,4]. Эти документы направлены на развитие научно-практических исследований и разработок мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, а также на практическое использование энергии солнца и ветра с учетом климатических и экономических особенностей Узбекистана.

В связи с этим актуальной является задача разработки методов их эффективного использования на основе системного подхода к комплексам ЭМС с ВИЭ.

Электромеханические системы и их классификация. Электромеханические системы – это системы, осуществляющие преобразование электрической энергии в механическую энергию и наоборот [5].

ЭМС принято подразделять на **промышленные системы**, с помощью которых решаются задачи производства, повышения качества продукции и эффективности технологического оборудования, и на **системы автоматизации**. Различие между ними - в выполняемых функциях и решаемых задачах; многие ЭМС имеют приводы с электродвигателями, используют вращающиеся и движущиеся элементы и устройства.

Классификацию всей совокупности ЭМС можно произвести на основе определённых признаков. Например, по функциональному признаку ЭМС можно разделить на такие группы:

- электроэнергетические установки — источники электроэнергии;
- системы электропривода;
- двигатель-генераторные системы;
- автоматические устройства и др.

ЭМС можно классифицировать также по другим признакам:

- по току питания – постоянный, переменный или комбинированный;
- по наличию обратных связей (разомкнутые или замкнутые системы);

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- по основной управляемой координате (позиционные, скоростные и моментные системы);
- по типу используемых двигателей электропривода (постоянного тока, асинхронные, синхронные и др.);
- по типу преобразовательного устройства (тиристорные или транзисторные, система «управляемый выпрямитель – двигатель», система «преобразователь частоты – двигатель», система «генератор – двигатель», система «магнитный усилитель – двигатель» и др.);
- по возможности регулирования – регулируемые и нерегулируемые;
- по способу управления двигателем;
- по принципу построения; и др.

На рис.1 представлена структурная классификация ЭМС с вращающимися и двигающимися элементами.

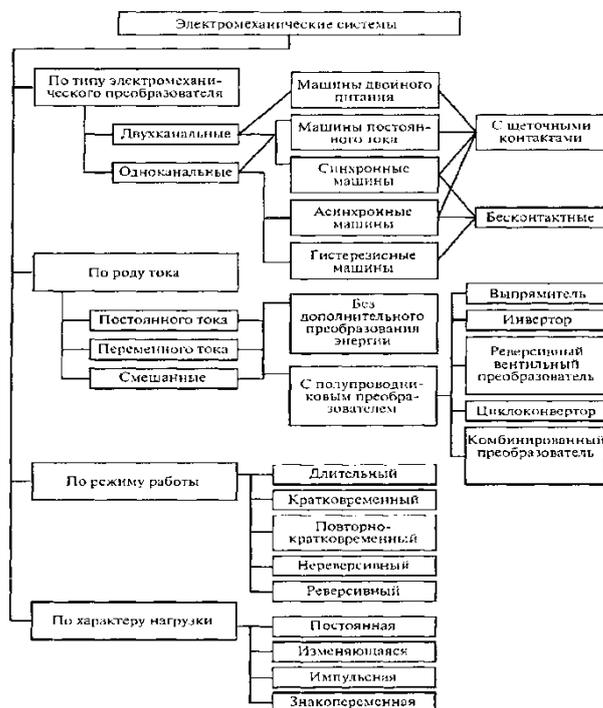


Рис.1. Классификация ЭМС, использующих электроприводы

Анализируя обширную классификацию ЭМС можно сделать вывод о том, что электроснабжение ЭМС с использованием ВИЭ зависит от класса, вида, назначения и мощности конкретных устройств, а также местных метеоусловий. Необходимо учитывать мощность и характер нагрузки, особенности её взаимодействия в ЭМС, что важно при создании иерархических электрохимических или электроэнергетических комплексов.

Вышесказанное показывает, что область использования ВИЭ для питания сложных комплексов СЭС с ВИЭ для ЭМС требует дальнейших исследований, что открывает перед наукой возможности для новых разработок.

Выбор схемы СЭС для ЭМС с ВИЭ. Анализ известных схем СЭС с использованием ВИЭ показывает [2], что на данный момент не существует широко используемых универсальных и эталонных схем СЭС с ВИЭ, следовательно, необходим индивидуальный подход к решению использования конкретных ВИЭ в таких СЭС.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При выборе схемы электроснабжения для конкретной ЭМС необходимо одну из известных схем принять за основу, и в дальнейшем её модернизировать, согласовать с нагрузками, режимами работы элементов комплекса между собой. Такая схема легко корректируема: допускается изменение количества и номиналов тех или иных устройств, без особого влияния на основную схему. Далее необходимо подобрать оптимальную конфигурацию оборудования ВИЭ. Это связано с тем, что в связи с хаотичной генерацией ВИЭ (ветровых - ВЭУ и солнечных - ФЭУ), рассчитать заранее эффективный режим ЭМС с ВИЭ возможно с использованием современных методов прогнозирования (многокритериальные модели, нейронные сети, нечёткие множества и др.).

Многокритериальный подход к задаче расчета оптимизации ЭМС с использованием ВИЭ. Реализация системного подхода заключается в учете множества факторов, обеспечивающих эффективное функционирование комплекса СЭС с ВИЭ ЭМС. Соответствующая математическая модель создаётся на основе векторного, многокритериального моделирования в соответствии с принципом системного подхода [6].

Многокритериальную модель оптимизации опишем в следующем виде: имеются частные локальные критерии:

$$Z_i = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n); x \in X, \quad (1)$$

составляющие векторный критерий. Общая целевая функция формируется на основе этих критериев в виде:

$$\Phi = G(Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_k) \rightarrow \min; \quad (2)$$

где Z_i – значения критериев на векторе решения $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}; i = (\overline{1, k})$;

X – ограниченное множество допустимых решений;

G – глобальная (общая) функция эффективности.

При ограничениях: $\varphi_r(x_1, x_2, \dots, x_p) = 0; r = (\overline{1, p}), \quad (3)$

$$\psi_q(x_1, x_2, \dots, x_m) \geq 0; q = (\overline{1, m}), \quad (4)$$

$$x_j \geq 0; j = (\overline{1, n}); n \leq p + m. \quad (5)$$

При этом функции Z_i и множество X задаются в явном виде, а целевые функции (1) в простейшем случае дифференцируемы и выпуклы на множестве X . Требуется найти набор переменных x_j , который в определенном смысле минимизирует все критерии Z_i . Изменением знака функций задачу минимизации всегда можно свести к задаче максимизации и наоборот.

В случае использования в схеме ветровых (ВЭУ) и солнечных (СЭУ) установок совместно с дизель-генератором (ДГ), за основу можно взять общую функцию затрат СЭС на гарантированное обеспечение электроэнергией ЭМС. Минимизируемая целевая функция затрат в аддитивном виде:

$$\Phi = C_1 \mathcal{E}_1 + C_2 \mathcal{E}_2 + C_3 \mathcal{E}_3 \rightarrow \min; \quad (6)$$

где $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ – выработка электроэнергии ВЭУ, СЭУ, ДГ, за определённый период времени; C_1, C_2, C_3 – удельные затраты на выработку электроэнергии каждым источником за тот же период (месяц, год).

Главным условием работы модели является выполнение баланса мощности, в качестве уравнений связи используются паспортные данные оборудования СЭС, ВИЭ, ДГ, а также реальные значения инсоляции и скорости ветра в заданном регионе. Преобразованием исходных данных и расчетом определяется реальная выработка ЭЭ единицей ФЭУ и ВЭУ. Затем производится вычисление удельных

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

затрат на выработку каждой единицы при определенной выработке. Минимизацией целевой функции определяется оптимальное количество солнечных модулей и ветротурбин для заданного периода, а также предполагаемое использование ДГ. Так как зависимости стоимости единиц ВИЭ от их номинальных мощностей близки к линейным, по результатам оптимизации принимается пропорциональное количество элементов генерации.

Расчеты, проведенные на модели для схемы постоянного тока с использованием ВИЭ, и выполнением основного условия - баланса мощности, показали адекватность и корректность модели. Использование схемы с постоянным током позволило не вводить в модель параметры свойств силовой электроники (контроллеров, инверторов), избежать расчетов реактивной мощности, что упростило модель.

В качестве входных параметров могут выступать паспортные, измеренные и расчётные значения, с возможностью их быстрой замены при необходимости. В многокритериальную модель с ВИЭ могут быть введены другие критерии (надежность, потери энергии, качество напряжения и др.), использованы реальные метеорологические данные в виде соответствующих ограничений вида равенств и неравенств. При решении задачи использовался метод скаляризации, далее задача решалась методом неопределённых множителей Лагранжа. Ограничения-неравенства учитывались методами штрафных функций и «барьеров».

Заключение. В работе, на основе системного подхода рассмотрены задачи определения и повышения эффективности систем электроснабжения ЭМС с использованием ВИЭ. Описаны виды и типы ЭМС, приведена их классификация.

Приводится многокритериальная модель оптимизации системы электроснабжения ЭМС, использующая ВИЭ. На основе модели реализован алгоритм оптимизации выбора оборудования. В качестве критерия оптимизации был принят минимум затрат аддитивной (суммарной) целевой функции. Модель позволяет определить необходимый и достаточный набор оборудования для бесперебойного обеспечения потребителей энергией, при этом выбранная конфигурация определяется минимумом затрат на ее режимы. Входными параметрами в модели являются паспортные данные о ВИЭ и других устройствах ЭМС, а также метеоданные о солнечной инсоляции и скорости ветра в заданном регионе.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития. –Т.:Fan va texnologiyalar nashriyot matbaa uyı. 2021. -903 с
2. Ситдилов Р.А. Новые технологии производства и распределения электрической энергии.–Т.:Fan va texnologiyalar nashriyot matbaa uyı. 2023. -216 с.
3. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии». 21 мая 2019 г.,№ ЗРУ-539.
4. www.gov.uz – Портал Правительства Республики Узбекистан.
5. Липай Б.Р., Соломин А.Н., Тыричев П.А. Электромеханические системы. 2-е изд. –М: МЭИ. 2021. – 203 с.
6. Ситдилов Р.А., Радионова О.В., Рустамова Ш.Ш. Многокритериальная модель выбора оптимальной структуры фотоэлектрической станции./ Сборник материалов Международной научной конференции «Современные тенденции развития физики полупроводников: достижения, проблемы и перспективы». – Ташкент, 2020. – С. 257-261.

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ТУРКМЕНИСТАНА: ПОВЫШЕНИЕ РОЛИ
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Старший преподаватель Гелдыев Ахмет Аманмырадович, преподаватель
Халмырадов Перман Тангрыбердиевич*

*Государственный энергетический институт Туркменистана, кафедра
общественных наук, г. Мары*

Аннотация: Переход Туркменистана к рыночной экономике сопровождался резким повышением электропотребления. В статье анализируется исторический опыт и развитие электроэнергетики Туркменистана. В настоящее время новая концепция электроэнергетики позволил преодолеть накопившиеся проблемы. Обращается внимания на необходимость усиления роли государства в подготовке и выполнении оптимальных стратегических решений по научно-технологическому развитию туркменской электроэнергетики и воссозданию в ней инновационной системы.

Ключевые слова: энергетическая стратегия, инновационная система, научно-технологическое развитие.

**TURKMANISTON ELEKTRENERGASIYA SEKTORI: MUQTARIB
ENERGIYA MANBALARINI OSHIRISH ROLI**

Annotatsiya: Turkmanistonning bozor iqtisodiyotiga otishi elektr energiyasi istemolining keskin ortishi bilan birga kechdi. Maqolada Turkmaniston elektroenergetikasining tarixiy tajribasi va rivojlanishi tahlil qilinadi. Hozirgi vaqtda elektr energetikasining yangi kontseptsiyasi toplangan muammolarni bartaraf etish imkonini berdi. Turkmaniston elektroenergetika sanoatini ilmiy-tehnikaviy rivojlantirish va undagi innovatsion tizimni tiklash boyicha maqbul strategik qarorlarni tayyorlash va amalga oshirishda davlat rolini kuchaytirish zarurligiga etibor qaratildi.

Kalit sozlar: energetika strategiyasi, innovatsion tizim, ilmiy-tehnik taraqqiyot.

**ELECTRIC POWER SECTOR OF TURKMENISTAN: A ROLE OF
INCREASING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES**

Annotation: Turkmenistan transition to a market economy was accompanied by a sharp increase in electricity consumption. The article analyzes the historical experience and development of the electric power industry of Turkmenistan. Currently, the new concept of the electric power industry allows us to solve the accumulated problems. Attention is drawn to the need to strengthen the role of the state in the preparation and implementation of optimal strategic decisions on the scientific and technological development of the Turkmen electric power industry and cooperation in its innovation system.

Keywords: energy strategy, innovation system, scientific and technological development

Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережает темпы развития других отраслей. Представить себе жизнь без электрической энергии уже невозможно. Электроэнергетика вторглась во все сферы деятельности человека промышленность, сельское хозяйство, науку, космос и наш быт.

Если потребление энергии в мире увеличивается в два раза примерно за 25 лет, то увеличение потребления электроэнергии два раза происходит в среднем за

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

10 лет. Это доказывает, что больше процессов, связанных с расходом энергоресурсов, переводится на электроэнергию.

Возрастающий интерес к возобновляемым ресурсам объясняется глобальным потеплением на планете, что является результатом действия парникового эффекта от промышленной деятельности людей: эмиссия диоксида углерода приводит к глобальному потеплению, а диоксид серы (SO₂) является причиной кислотных дождей. Выбросы CO₂ в странах СНГ достигают 16 тонн/год на одного жителя; в Европе – 12 тонн/год. Киотский протокол (декабрь 1997 г., конференция ООН по изменению (климата), в котором впервые были прописаны квоты на выброс парниковых газов для каждого государства, был ратифицирован 191 государством, однако запланированного положительного эффекта получено не было.

Если продолжать загрязнять атмосферу Земли прежними темпами, то это может привести к резкому изменению климата, к таянию ледников и, как следствие, к повышению уровня океана, разрушению среды обитания животных и угрозе самого существования человечества. В этой ситуации необходимо использование ВИЭ, так как они не нарушают естественного баланса энергии, получаемого нашей планетой.

Связи с этим благодаря ускоренной модернизации и диверсификации производства в Туркменистане создаются все условия для мощного рывка стратегических отраслей, в том числе энергетической промышленности. *Наша страна встала на путь декарбонизации, то есть перехода к низко углеродной экономике, что предполагает апробацию и внедрение в национальную энергетическую систему элементов возобновляемых источников энергии (ВИЭ).*

Принятие Государственной программы по энергосбережению на 2018-2024 годы и вступление в Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (ИРЕНА) свидетельствует о приверженности нашей страны обязательствам по развитию возобновляемой энергии и повышению энергоэффективности в соответствии с Целями устойчивого развития. Очередным шагом на этом пути стало принятие Национальной стратегии по развитию возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года, которая была утверждена Постановлением Президента Туркменистана в декабре 2020 года. Цель Национальной стратегии — развитие и эффективное использование возобновляемых источников энергии, что обусловит сокращение количества выбросов парниковых газов в окружающую среду. Также, направлена на совершенствование структуры электроэнергетической отрасли и диверсификацию энергетических ресурсов Туркменистана, обеспечение энергетической безопасности Туркменистана и создание возможности увеличения экспорта энергоносителей и увеличения экономического потенциала страны. Социально значимыми целями Стратегии являются повышение уровня жизни населения и развитие промышленного потенциала; обеспечение удалённых регионов недорогостоящей и чистой энергией; охрана окружающей среды и достижение устойчивого развития экономики.

Реализация Государственной программы Туркменистана по энергосбережению на 2018–2024 годы, предусматривает повышение роли альтернативных источников энергии. Туркменистан, благодаря своим климатическим условиям, обладает колоссальным запасом альтернативных, возобновляемых источников энергии, и прежде всего — энергией солнца.

Солнечная энергия является практически неисчерпаемым видом энергии, которым располагает человечество. Энергия Солнца, поступающая на поверхность Земли за год, эквивалентна $1,2 \times 10^{14}$ т.у.т.[3]. Туркменистан расположен в таком

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

регионе земного шара, куда с достаточным обилием выпадает солнечная радиация. Расчетом установлено, что среднесуточная плотность солнечной радиации на территории Туркменистана равняется $23760 \text{ кДж/м}^2\text{сут}$. Тогда за год на каждый кв. метр поверхности поступает $8,672 \times 10^6$ энергии, а на всю территорию Туркмении за год поступающая солнечная энергия будет равна $4,233 \times 10^{15}$ кДж. Многолетние данные погодных условий нашей страны показывают, что более 300 из 365 дней в году являются солнечными, а продолжительность дневного цикла составляет 12–14 часов. Это доказывает, что потенциал солнечной энергетики в нашей стране огромен, практически неисчерпаем.

Принятый Закон Туркменистана от 13 марта 2021 года «О возобновляемых источниках энергии» определяет правовую, организационную, экономическую и социальную основы деятельности в области возобновляемых источников энергии и регулирует возникающие отношения, связанные с использованием ВИЭ.

Производство электроэнергии с помощью ВИЭ считается экологически чистым и экономически обусловленным для южных солнечных территорий, альтернативой и дополнением к традиционному производству электроэнергии. В этом контексте приоритетным аспектом является внедрение передовых технологий по развитию альтернативной и, в частности, низко углеродной энергетики, практическому задействованию её источников и потенциала, что имеет огромное значение в свете актуальных проблем современности, связанных с экологией и климатическими изменениями.

И здесь открываются широкие перспективы по использованию водорода – топлива будущего, что обусловлено его высокими эксплуатационными и, что особенно важно, экологическими характеристиками. В возможном будущем автономные солнечные и ветряные электростанции поддержат вместе с традиционным электроснабжением бытовые и производственные нужды населённых пунктов, удалённых от промышленных центров.

Солнечные электростанции и солнечные коллекторы используют энергию светового потока, которая естественным путём попадает на фотоэлементы и преобразовывается в электрическую или тепловую энергию для нагревания жидкости. Главный плюс — экологичность и полное отсутствие вредных выбросов в атмосферу. Таким образом, увеличение использования солнечной энергии благоприятно скажется на экологической обстановке, что станет одним из ключевых шагов по выполнению подписанного Туркменистаном в сентябре 2016 года Парижского соглашения по климату.

Также энергия ветра на земном шаре оценивается в $(175-219) \times 10^{12}$ кВт.ч в год, при этом развиваемая им мощность достигает $(20-25) \times 10^9$ кВт. Это примерно в 2,5 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Однако из этой мощности реально можно использовать только 5% т.е. $(1-1,25) \times 10^9$ кВт.[3]

В результате многолетнего наблюдения гидрометеорологической службой в 70% районов СНГ зарегистрирована скорость ветра 6 м/с и определено в среднем около 40% территории зоной скоростью ветра 3,5-10 м/с. На открытых равнинных местностях Туркменистана среднегодовая скорость ветра составляет 2-4,2 м/с, а максимальные среднемесячные скорости 5-10 м/с наблюдаются на побережье Каспийского моря и в горах Копетдага. Это позволяет районировать и создавать ветроэнергетические установки и ежегодно экономить традиционное органическое топливо за счет интенсивного использования энергии ветра. В практике доказано, что работающие ветроэнергетические установки с диаметром лопастного агрегата 6-24 м при скорости ветра 6 м/с могут ежегодно давать экономию 2,8-54 т условного топлива. Открываются широкие возможности использования ветровой

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

установки небольшой мощности для производства электроэнергии и подъема воды из колодцев в пустынных отгонных пастбищах, где скорость ветра достигает 4 м/с и выше.

Использование ВИЭ понадобится в теплицах и коровниках, отдалённых кошарах и населённых пунктах, труднодоступных местах, где работают железнодорожные строители, учёные-биологи и геологи. Среди ожидаемых результатов – решение задач водо-, тепло- и электроснабжения человеческого жилья и социально-экономических объектов в горных и пустынных природных районах, которые охватывают 80 процентов территории страны. Подобные возможности будут содействовать реализации грандиозного проекта по инициативе главы государства – возведения социально-экономического комплекса зданий и сооружений вблизи искусственного водоёма в Каракумах – Туркменского озера «Алтын асыр».

Сейчас рассматриваются пилотные проекты по внедрению в стране использования ВИЭ. В частности, солнечная электростанция мощностью 250 кВт в Балканском велаяте, три возможных проекта электростанций (две солнечные мощностями 1,2 МВт и 2,2 МВт и одна солнечная совмещенная с ветровой мощностью 10 МВт) на озере “Алтын Асыр”.

Безусловно, для надёжного и бесперебойного обеспечения электроэнергией возводимых современных сёл, новых производств перспективными являются проекты производства электроэнергии, связанные с альтернативными источниками – использованием энергии солнца и ветра. На это было направлено и принятие Закона Туркменистана «О возобновляемых источниках энергии».

Созданный в Государственном энергетическом институте Туркменистана Научно-производственный центр по возобновляемым источникам энергии позволяет профессорско-преподавательскому составу проводить изыскания по таким научным аспектам, как технология фотоэлектрических преобразователей, концентрация солнечной энергии и гелиотехника, биоэнергетика и разработка технологий производства биомассы, технология аккумулирования электрической и тепловой энергии. Также в отрасли разрабатываются конкретные проекты по обеспечению населённых пунктов, находящихся вдали от центральной системы энергоснабжения, электрической энергией за счёт солнечных фотоэлектрических станций. Так, в этрапе Сердар Балканского велаята скоро появится электростанция, которая будет вырабатывать энергию за счёт солнца и ветра, и будет управляться с помощью цифровых технологий.

Резюмируя вышесказанное, можно констатировать, что новая комбинированная электростанция служит очередным свидетельством того, что в нашей стране повсеместно внедряются экологически чистые производства, базирующиеся на последних достижениях науки и техники, что является приоритетом природоохранной политики уважаемого Президента. Кроме того, энергетическая политика Туркменистана определяет приоритеты развития национальной электроэнергетической отрасли на ближайшие десятилетия и конкретные шаги по интеграции страны в мировую энергосистему.

Список литературы

1. Гурбангулы Бердымухамедов. Туркменистан на пути достижения Целей устойчивого развития – А.: ТГИС, 2018.
2. «Программа Президента Туркменистана по социально - экономическому развитию страны на 2019-2025 годы». – А.:ТГИС, 2019.
3. Козлов В. Б. Энергетика и природа. – Москва: Мысль, 1982.

**СОЗДАТЬ ТЕХНОЛОГИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА В
ЖИВОТНОВОДСКОЙ ФЕРМЕ**

*Гурбанова Гульширин Джумадурдыевна, Ширлиева Огулгозель Сапаровна,
Нурсахедов Мердан Какамуратович*

Государственный энергетический институт Туркменистана

Аннотация: В данной научной статье рассматриваются пути использования энергии биотоплива в стране, которое является одним из наиболее эффективных источников возобновляемой энергии. Повышение значимости переработки отходов крупного рогатого скота в сельскохозяйственных районах и внедрение новых методов дополнительного производства биотоплива. В результате появляется возможность экономить топливо за счет биогаза.

Annotation: This scientific article examines ways to use biofuel energy in the country, which is one of the most efficient sources of renewable energy. Increasing the importance of processing cattle waste in livestock farming and introducing new methods for additional biofuel production. As a result, it becomes possible to save fuel using biogas.

Научно-технический анализ производства биогаза в животноводской ферме с использованием возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: метод использования биотопливной энергии в мировой практике.

Президент Туркменистана Сердар Бердымухамедов определил развитие энергетической отрасли одним из важных направлений экономической стратегии Родины. Большие усилия прилагаются для модернизации топливно-энергетического комплекса страны путем повышения эффективности использования электроэнергии, внедрения в отрасль инновационных технологий и современных методов управления, защиты окружающей среды и использования возобновляемых источников энергии.

Исходя из задач Национальной стратегии развития возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года, информирование всех слоев населения о преимуществах производства энергии на основе возобновляемых источников энергии и сокращения выбросов парниковых газов, а также защита планеты от неблагоприятных событий, связанных с изменением климата, определены основные направления работы по повышению уровня осведомленности населения о необходимости развития возобновляемой энергетики [1]. В связи с этим в стране проводится ряд мероприятий с целью расширения спектра эффективного и регулярного использования природного топлива за счет продвижения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

В данной научной статье рассматриваются методы использования энергии биотоплива, одного из наиболее эффективных видов возобновляемых источников энергии, в мировой практике.

Одной из безотходных автономных технологий с использованием возобновляемых источников энергии является получение биогаза путем переработки органических отходов, то есть отходов сельскохозяйственных животных и птиц, растительных отходов, выбросов сельскохозяйственных предприятий.

Биогаз – это газ, получаемый путем метанирования биомассы. Распределение биомассы на компоненты происходит под влиянием 3-го аспекта

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

бактерий. В пищевой цепи более поздние бактерии служат продуктами размножения предыдущих бактерий. Первый тип – гидролизные бактерии. Второй тип – формирующие бактерии. Третий тип — бактерии, вырабатывающие метан.

В производстве биогаза участвуют не только метаногенные бактерии, но и все три вида. Биогаз представляет собой смесь газов, в составе которой преобладают метан (55-65%) и углекислый газ (35-45%).

Биогаз производится путем анаэробного разложения соломы и других органических отходов. Биогаз получают в качестве источника энергии из оборудования в специализированных метантенках.

То есть в них к биомассе добавляются продукты растительного происхождения, животные, отходы животноводства, выбросы и она служит индикатором [2].

При переработке 1 т удобрения крупного рогатого скота и свиней (влажность 85 %) можно получить от 45 до 60 м³ биогаза, а из 1 т куриного помета (влажность 75 %) — до 100 м³. 1 м³ биогаза, 0,8 м³ природного газа, 0,7 кг мазута и 1,5 кг сухих дров эквивалентны годовой мощности отбора тепла.



Рисунок 1.

Этот газ можно использовать для технологических целей, отопления, производства электроэнергии, как и обычный природный газ.

Биогаз – это чистое топливо, как и природный газ.

Технологическая схема производства биогаза

Технологическая схема и конструктивно-технологические параметры биогазовой установки зависят от объема переработки и природы сырья, тепловлажностного режима, способов загрузки и регенерации субстрата и ряда других факторов.

Существуют различные типы строительства биогазовых установок. Они разделены на группы по загрузке сырья, способу сбора биогаза, материалам используемым для их сооружений, горизонтальному или вертикальному расположению реакторов, подземному и наземному устройству, а также использованию дополнительных сооружений.

По способу загрузки сырья подразделяются агрегаты периодической и непрерывной загрузки, они различаются сроками и частотой загрузки сырья. Наиболее эффективной для производства биогаза и утилизации биоотходов считается установка непрерывного действия.

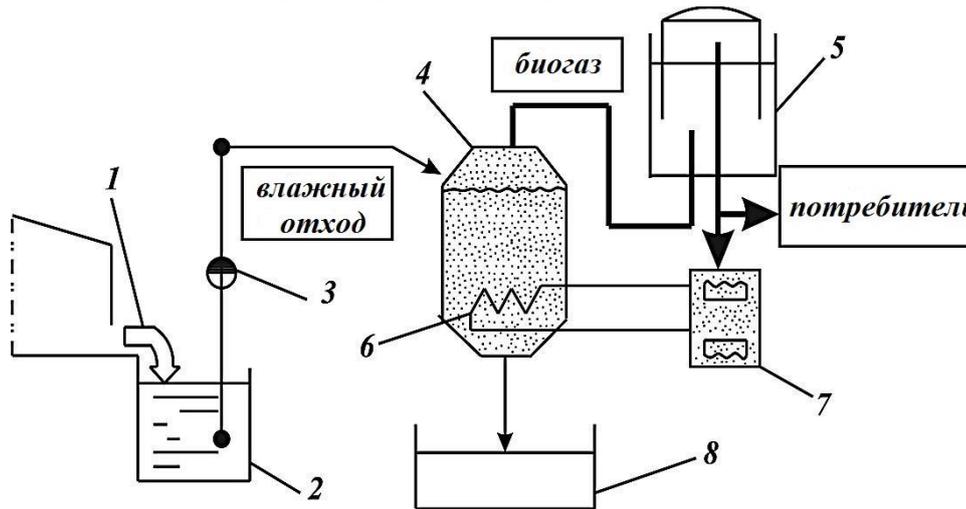


Схема 1.

На схеме биогазовой установки показано:

1-ферма, 2-накопительный объем, 3-насос; 4-биореактор, 5-газосборник, 6-теплообменник, 7-котел, 8-сборник отходов.

Принцип работы биогазовой установки.

Биомасса (отходы или зеленая масса) непрерывно подается в реактор с помощью насосной станции или погрузчика. Реактор представляет собой нагретый герметично закрытый сосуд, содержащий смесь. Конструкционным материалом производственного судна в основном является железобетон или сталь с покрытием.

В небольших постройках используются смешанные материалы. В реакторе обитают полезные бактерии, питающиеся биомассой. Биогаз – продукт жизнедеятельности бактерий. Для поддержания роста бактерий необходимы непрерывная подача, поддержание температуры 35-380°С и постоянное перемешивание. Произведенный биогаз собирается в газосборнике, затем проходит через системы очистки и подается потребителям (котел или электрогенератор). Реактор работает в герметичном состоянии, герметичен и безопасен.

Небольшая биогазовая установка предназначена для переработки выбросов животных, сельскохозяйственных и органических отходов. Реакторы периодического действия характеризуются непрерывными процессами, протекающими не менее чем в двух реакторах одинакового размера и формы. Каждый раз, когда загружается новый субстрат, реакторы наполняются свежим субстратом, когда образуется определенное количество ила (называемого илом горячего старта), и через определенный период времени он высвобождается до тех пор, пока не останется только первоначальный ил. При постоянном количестве подаваемого в реактор материала степень заполнения рабочей полости в процессе заполнения постепенно снижается по сравнению с оптимальным уровнем по количеству исходной пульпы.

В этой научной статье представлены новые способы производства дополнительного биотоплива из в среднем 500 голов крупного рогатого скота на животноводческой ферме.

В результате анализа объем изначально спроектированного биореактора определен равным 150м³. Первоначально 120м³ биореактора были заполнены сжиженным удобрением и непрерывно нагревались в биореакторе при температуре

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

350°C, и было обнаружено, что за 2-3 недели вырабатывалось 130м³/день биогаза. Для получения 130м³ биогаза в сутки 30м³ биореактора заполняется сжиженным удобрением. В биореакторе газифицированный (сгоревший) материал автоматически перекачивается в бак для удобрений. Этот остаток также можно использовать в качестве удобрения на полях.

В будущем производимый биогаз можно будет использовать не только в бытовых целях, но и для производства малой электроэнергии.

Ожидаемые результаты:

1. На животноводческой ферме из отходов 500 голов крупного рогатого скота можно получить 130м³/сутки биогаза.
2. Биогаз, полученный методом анаэробного сбраживания, в течение 20 дней будет использоваться в качестве топлива в небольшой газотурбинной установке, производя дополнительную электроэнергию и обеспечивая энергию, используемую для частных нужд животноводческих ферм.

Литература

1. Гурбангулы Бердымухамедов. Туркменистан находится на пути к достижению целей устойчивого развития. - Ашхабадская туркменская государственная издательская служба 2018.
2. Данатарова М., Сарыев М., Аллакулыев Ш. «Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики» учебник для вузов. Ашхабадское издательство «Наука» в 2020 году.

УДК. 621.311

ОСОБЕННОСТИ ПЛАВУЧИХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Замонов Х.Р., Шарипов Ф.К., Султонзода Ш.М.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, город Душанбе, Республика Таджикистан

Аннотация: В данной статье приведены особенности использования плавучих солнечных фотоэлектрических установок (ПСФУ) в водохранилищах ГЭС. Приведены основные преимущества и недостатки при создании таких комплексных энергоустановок.

Ключевые слова: Возобновляемые источники энергии, плавучая солнечная фотоэлектрическая установка (ПСФУ).

Annotation: This article describes the features of the use of floating solar photovoltaic installations in hydroelectric power station reservoirs. The main advantages and disadvantages of creating such complex power plants are given.

Keywords: Renewable energy, floating solar photovoltaic plant.

Тенденция развития энергетики в мировом масштабе характеризуется необходимостью реструктуризации генерации мощностей с более расширенным использованием экологически чистых источников возобновляющихся энергии.

Ограниченность запасов ископаемого топлива в том числе угля, природного газа и нефтепродуктов, на основе которых вырабатывается примерно 75% мировой доли электроэнергии, требует необходимость исследований направленных на поиск

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

устойчивых и возобновляемых альтернативных источников. В последние годы широко изучены источники солнечной, ветровой, гидроэнергетической, геотермальной энергии и биомассы. Ресурсы солнечной энергии обладает самым большим потенциалом среди всех видов возобновляемых источников энергии. Солнце является одной из самой незаменимой источником энергии в мире. Энергия, которая поступает от солнца на поверхность Земли за неделю, количественно превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана.

По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) доля выработки солнечной энергии в мире в целом остается низким и составляет около 3,6%. По установленной мощности в 2022 году солнечная энергетика составляя почти 31% от общей установленной мощности возобновляемых источников энергии. С установленной мощностью 1053 ГВт в 2022 году солнечная энергия является второй по величине технологией возобновляемых источников энергии после гидроэнергетики с 1392 ГВт.

Необходимо отметить, что природные графики прихода энергии солнца, ветра и речного стока не совпадают с графиками потребления электроэнергии, и поэтому электростанции, основанные на использовании этих источников энергии, не в состоянии полностью удовлетворить требования потребителей. Разрабатываются идеи по применению гидроаккумулирования для трансформации выработки электроэнергии солнечных, ветровых, гидроэлектростанций к графикам энергопотребления системы. Одним из недостатков солнечной энергетике является то, что для сооружения таких установок требуется большие площади земельных участков (поверхности), которое является проблемой в большинстве регионов. Энергия речных потоков, солнца, ветра, приливов может быть преобразована преимущественно в электрическую энергию, поэтому возникает проблема приспособления формируемых природой графиков поступления возобновляющихся источников энергии к формируемому человеческой деятельностью графику потребления электроэнергии энергосистемой или изолированным потребителем. Данную проблему с потребностью в земле можно избежать путём установки солнечных фотоэлектрических систем на большие водные объекты (водохранилища, озёра, водоёмы), то есть использование плавучих СФУ, которые могут снизить стоимость земли и эксплуатационные расходы на выработку электроэнергии. Проблему аккумулирования и регулирования энергии, вырабатываемой солнечными, ветровыми, приливными электростанциями, можно решить, используя ГЭС с водохранилищами. Использование фотоэлектрических модулей является наиболее эффективным и экологически чистым продуктом в области возобновляемых источников энергии.

Таким образом, солнечные фотоэлектрические установки могут стать альтернативой использованию солнечной энергии за счет использования доступных водных объектов.

Плавучие солнечные фотоэлектрические установки обладают некоторыми преимуществами по сравнению с солнечными панелями, установленных на суше, в том числе освобождение земельных участков, снижение испарения воды из водохранилища и роста водорослей за счет затенения поверхности воды, более высокую эффективность выработки электроэнергии за счет благодаря охлаждающему эффекту воды. Солнечная электростанция эффективно работает при низких температурах, но их эффективность заметно снижается, если панель нагревается выше определенной температуры за счет тепла, поднимающегося от земли.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

По данным Всемирного банка, в 2018 г. общая установленная мощность плавающих фотоэлектрических установок составляла 1,1 ГВт, а по прогнозам, к 2024 г. она увеличится до 2,5 ГВт. Однако плавающие СФУ дороже наземных примерно на 18% ввиду необходимости сооружать платформы с креплениями и более высоких требований к обеспечению электробезопасности на воде.

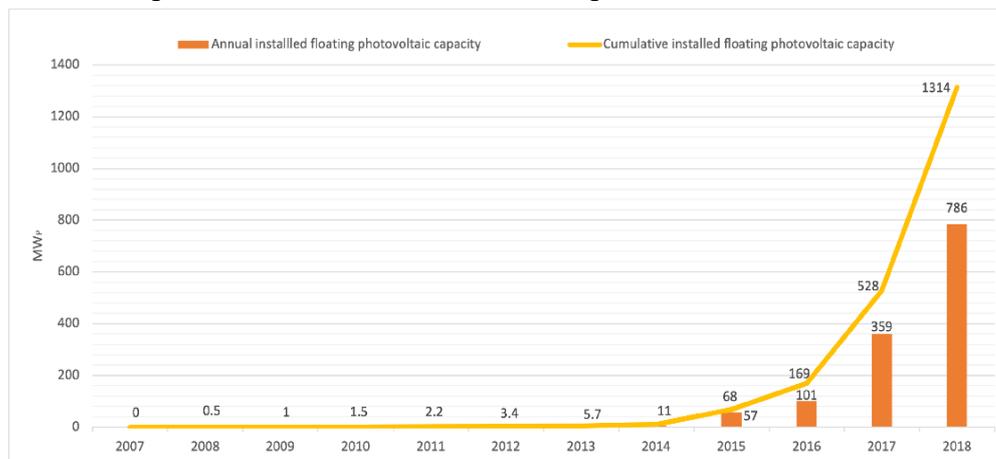


Рис. 1 – Рост установленных мощностей плавающих СФУ

Мощность выдаваемая солнечными панелями может изменяться в зависимости от изменения температуры. В среднем эффективность солнечных панелей плавающего типа примерно на 11% выше по сравнению с наземными солнечными панелями. В связи с этим эффективность фотоэлектрического модуля зависит от температуры, поэтому если установить солнечные фотоэлектрические установки на поверхности воды, то можно получить выгоду от значительно более низкой температуры окружающей среды за счет охлаждающего эффекта воды. Плавающая фотоэлектрическая установка состоит из понтона или отдельных поплавков, швартовочной системы, солнечных панелей и кабелей.

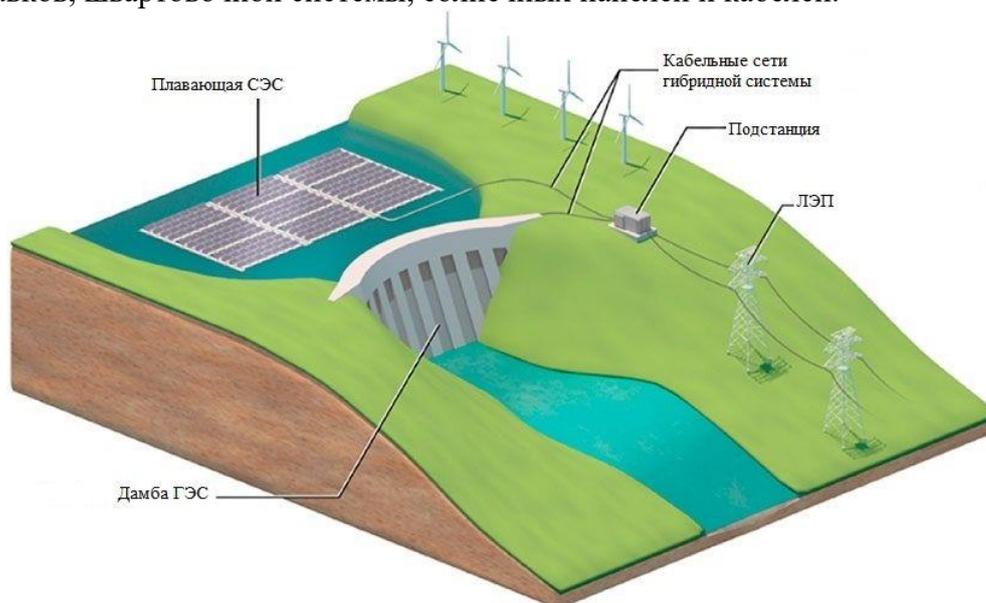


Рис. 2 – Установка плавающих СФУ в водохранилищах

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Плавающие СФУ имеют удобство и энергоэффективность в эксплуатации по сравнению с обычными солнечными панелями. Они имеют более эффективные по выработке электроэнергии за счет более низкой температуры под панелями по сравнению с солнечными панелями, установленными на суше. Уменьшается испарения воды из водохранилища, сохранение воды за счет снижения температуры воды и уменьшения размера водной площади. За счет затенения уменьшается рост водорослей, снижение проникновения солнечного света; более низкая температура воды положительно влияет на производительность фотоэлектрических панелей. Сокращается время установки и сопутствующие расходы благодаря очень ограниченной необходимости подготовки площадки.

Выводы

В данной статье освещается концепция плавучих фотоэлектрических установок, устанавливаемых на водохранилищах ГЭС. По результатам исследования сделаны следующие выводы.

1. Солнечные панели установленные на поверхности воды (водохранилища) останутся холодными и, следовательно, будут генерировать больше энергии, чем те, которые установлены на суше.

2. Необходимо продолжить исследования по разработке якорной системы для плавучей фотоэлектрической системы, чтобы полностью зафиксировать систему плавучести.

3. Необходимо разработать систему слежения за солнцем, которая может изменять угол наклона и азимута плавающей фотоэлектрической системы.

4. Для определения потенциала плавучих солнечных фотоэлектрических проектов можно использовать методы дистанционного зондирования и ГИС.

Литература:

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика: пособие / В. А. Волчок, В. Н. Комар. – Гродно: ГрГУ, 2017. – 55 с
2. Alok Sahu, Neha Yadav, K. Sudhakar/ Floating photovoltaic power plant: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews 66 (2016) 815–824.
3. Essak Laura, and Aritra Ghosh. 2022. "Floating Photovoltaics: A Review" Clean Technologies 4, no. 3: 752-769. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4030046>.
4. IRENA, 2023. Renewable capacity statistics 2023.
5. Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Волшаник В.В., Хаманджода У. Оценка совместной работы гидравлических и солнечных станций комплексных гидроузлов // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 67-74. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-67-74.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА СП АО УЗЭЛЕКТРОАППАРАТ-ЭЛЕКТРОЩИТ

¹*Кодиров Д.Б.,* ²*Муслимов А.М.*

¹*Национальный исследовательский университет “Ташкентский институт
инженеров ирригации и механизации”*

²*Ташкентский государственный технический университет*

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы энергетического аудита литейного цеха СП АО Узэлектроаппарат-электрощит.

Производственные процессы литейного цеха (далее – ЛЦ) отличает их высокая электроемкость (электропотребление). В этом цехе на индукционной электрической печи осуществляется плавка (переплавка) чугуна. Для осуществления плавки чугуна, на эксплуатации имеется индукционная тигельная плавильная печь.

Данная печь по классификации, относится к индукционно тигельным плавильным печам, которые предназначены для открытой плавки черных и цветных металлов в тигле плавильного узла индукционными токами средней и промышленной частоты.

Плавка в индукционных тигельных печах имеет ряд преимуществ перед другими способами плавки:

1. Выделение энергии непосредственно в загрузке, без промежуточных нагревательных элементов;
2. Интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле, обеспечивающая быстрое плавление мелкой шихты и отходов, быстрое выравнивание температуры по объему ванны и отсутствие местных перегревов, что гарантирует получение многокомпонентных сплавов, однородных по химическому составу;
3. Высокая производительность, достигаемая благодаря высоким значениям удельной мощности;
4. Возможность полного слива металла из тигля и относительно малая масса футеровки печи, что создает условия для снижения тепловой инерции печи благодаря уменьшению тепла, аккумулированного футеровкой. Печи этого типа весьма удобны для периодической работы с перерывами между плавками и обеспечивают возможность для быстрого перехода с одной марки сплава на другую;
5. Простота и удобство обслуживания печи, управления и регулирования процесса плавки.

Конструкция индукционной плавильной печи состоит из следующих частей:

- плавильного узла;
- электрической системы;
- системы охлаждения.

Плавильный узел состоит:

- корпуса;
- индуктора;
- тигля;
- системы наклона.

В зависимости от конкретного исполнения может использоваться механическая система наклона (работающая посредством мотор-редуктора или вручную) или гидравлическая. Также плавильный узел может комплектоваться крышкой, снабженной гидравлическим устройством подъема, для снижения тепло потерь. Крышками рекомендуется комплектовать печи с объемом плавки от 3т.

Электрическая схема включает в себя:

- тиристорный преобразователь частоты (ТПЧ);
- блок конденсаторов;
- соединительные кабели;
- панель контроля и управления.

Система охлаждения состоит из:

- градирни;
- расширительного бака;

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- циркуляционных насосов;
- соединительной и запорной арматуры.

Преимущества печи со стальным корпусом:

- За счет применения в конструкции магнитопровода, увеличивается КПД комплекса на 5-8%;
- Применение гидравлического привода позволяет, более плавно и точно производить слив расплава;
- За счет меньшей температурной деформации футеровки увеличивается межремонтный период работы плавильного узла на 20-30%.

Система охлаждения частей комплекса для плавления металла:

Дистиллированная вода циркулирует по замкнутому контуру, проходя через соединительные кабели, индуктор печи, конденсаторы, тиристоры преобразователя и забирает выделяемое тепло и отдает его при прохождении через радиатор градирной установки. В градирной установке имеется свой контур циркуляции воды, которая разбрызгивается насосом на радиатор первого контура и охлаждается потоком воздуха, создаваемым осевыми вентиляторами, расположенными на верху градирни. Подпитка второго контура происходит автоматически с помощью поплавкового клапана. Таким образом, излишнее тепло отводится в атмосферу и сохраняется тепловой баланс плавильного комплекса.

Электроснабжение индукционной печи осуществляется от трансформатора типа «ЭТМБ-2000/ 10-72УХЛ4», с встроенным устройством (РПН) переключения ответвлений обмотки типа «РНТА-3/630». Устройства переключения ответвлений обмоток силовых трансформаторов (переключающие устройства) предназначены для регулирования напряжения в данной точке электрической цепи, в которой установлен силовой трансформатор. Регулирование напряжения достигается путем изменения числа витков обмоток силового трансформатора и может применяться на любой стороне: высшего, среднего и низшего напряжения трансформатора. Устройства РПН предназначены для регулирования под нагрузкой напряжение силового трансформатора. Для защиты устройства РПН, в схеме привода предусмотрена электрическая блокировка, не допускающая переключения при токах, больше допустимых. Охлаждение трансформатора с естественной циркуляцией воздуха и масла.

Поскольку, индукционная плавильная печь является одной из наиболее энергоемких потребителей индуктивной нагрузки (реактивной мощности и энергии), в составе основного штатного оборудования, предусмотрена комплектация реактором и конденсаторными батареями (конденсаторные установки УКРМ), для «генерирования» необходимой компенсации реактивной мощности в сеть потребителя.

Реактор представляет собой статистическое электромагнитное устройство, предназначенное для использования его индуктивности в электрической цепи.

Устройства КРМ представляют собой, конденсаторные батареи (конденсаторы), предназначенные для накопления и использования их индуктивности для компенсации реактивной мощности в сеть потребителя. Конденсаторные батареи комплектуются в группы, в зависимости от требуемой установленной мощности УКРМ.

Для печи предусмотрена установка пяти комплектующих конденсаторных устройств. На первой и второй установках КРМ, сгруппированы по четыре конденсаторные батареи типа «КС2-1,05-75-2У3», емкость каждой батарей составляет от 212 до 231 МкФ, установленной мощностью от 76,1 кВар до 78,8 кВар каждая. На третьей установке КРМ, сгруппированы восемь конденсаторных

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

батарей, емкость каждой из которых, составляет от 200 до 232 МкФ, аналогичной установленной мощности. Четвертая, пятая и шестая установки КРМ, сгруппированы по шестнадцать единиц конденсаторных батарей, аналогичных типов и технических характеристик.

В зависимости от требуемой величины компенсируемой реактивной мощности, предусмотрено по ступенчатое включение в работу конденсаторов, в зависимости от роста выдаваемой реактивной мощности. Управление включением в работу групп конденсаторов в сеть, осуществляется ручным способом (управлением).

Режим работы (подключаемой нагрузки) конденсаторных установок регулируется в зависимости от изменения величины подаваемого напряжения и тока на тиристорный преобразователь частоты.

Для выполнения оперативного управления по перемещению тяжелых грузов на рабочей площадке (платформе) плавильной печи, а также: для выполнения работ по загрузке металлолома в тигель печи, для слива расплавленного металла с помощью ковша, для очистки оставшихся шлаков из тигеля печи, используется грузоподъемная кран-балка (моно-рельс).

Результаты визуального обследования показали, крайне изношенное техническое состояние электрооборудования и сетей индукционной печи, выработку рабочего ресурса, неудовлетворительное техническое состояние коммутационного, кабельно-проводникового оборудования. При осмотре, зафиксированы открытые (оголенные) токоведущие части и участки в непосредственной близости от рабочих зон (мест). Отсутствуют ограждения потенциально опасных зон, предупреждающие знаки и плакаты безопасности. На токоведущих частях потребителей электроэнергии и на проводниках зафиксированы случаи: последствий возникновения коротких замыканий, термического нагрева проводников (оплавленная изоляция проводников, места с сажей, копотью и пр.), высокой степени изношенности, зачастую, нарушения конструктивной целостности коммутационной аппаратуры, разлаженное (не рабочее) состояние аппаратуры системы защиты, автоматики и сигнализации.

Основной вывод: требуется модернизация (поэтапная) всего состава электрооборудования и сетей плавильной печи литейного цеха.

**Пирометрическое обследование токопроводящих поверхностей
электроустановок, сетей и анализ их результатов.**

Обследованию была подвергнута плавильная печь и все открытые и изолированные токоведущие части электроустановок, сети и контактных электрических соединений в составе электрооборудования плавильной печи. Особое внимание было уделено, выявлению мест с повышенным нагревом на электрических соединениях (болтовые, винтовые), на контактах (подвижные, неподвижные), на гнездах предохранителей, в местах электрических соединений кабелей, проводов, в цепях коммутации системы управления, защиты, автоматики и сигнализации.

В процессе проведения инструментального обследования, при помощи инфракрасного термометра были осуществлены соответствующие замеры, по определению мест (точек), с недопустимо завышенными температурами нагрева токопроводящих поверхностей. Результаты замеров показали, наличие завышенных температур (более чем 50÷70 °С) преимущественно на соединениях кабелей, проводов, на губках гнезд предохранителей.

**Расчет потерь электроэнергии в трансформаторе. Коэффициент загрузки
трансформатора при различных режимах его работы.**

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В период проведения инструментального обследования, в результате произведенных приборных замеров, были зафиксированы следующие режимы загрузки трансформатора индукционной плавильной печи.

Таблица расчета коэффициентов загрузки трансформатора плавильной печи, и расчета потерь мощности и энергии, в зависимости от режима регулирования РПН (процессом плавки), на момент проведения замера.

Положение указателя переключателя устройства (РПН)	Величина регулируемого (РПН) напряжения	Номинальный ток (сторона НН)	Потери хол. хода	Потери к.з.	Рабочий ток	Коэффициент загрузки	Потери электроэнергии (в час)	Потери электроэнергии в смену (8 часов)
№	вольт	ампер	кВт	кВт	ампер	%	кВт*ч	кВт*ч
6	552	970	4,8	29,7	519	0,535	13,3	106,407
7	441	970	4,7	33,5	454	0,468	12,04	96,3
8	330	970	4,7	37,3	335	0,345	9,14	73,12
9	219	970	4,7	41,1	273	0,281	7,94	63,56
6	549	970	4,8	29,7	533	0,549	13,75	110,013

Основной вывод: Изменение величины потерь мощности и энергии в трансформаторе зависит от степени загрузки трансформатора (от величины токов нагрузки).

Проведен анализ результатов инструментального обследования индукционной плавильной печи, на основе которого выявлены определенные замечания в работе потребителей электроэнергии индукционной печи, недостатки (дефекты) отдельных частей оборудования. В следующей таблице изложены сути имеющих проблем в эксплуатации оборудования, причины, вследствие которых они возникают и, даны некоторые рекомендации по их устранению.

Субъект инструментального (приборного) обследования технологического оборудования литейного цеха	Выявленные дефекты, недостатки и замечания	Негативное влияние выявленных дефектов, недостатков и замечаний на увеличение потерь
1	2	3
Индукционная плавильная печь	Морально и технически устаревшее технологическое оборудование индукционной печи	Низкая степень энергетической эффективности при эксплуатации оборудования, негативное влияние на качество электроэнергии в сети электроснабжения
Электротехническое оборудование печи	Неудовлетворительное техническое состояние электротехнического, компенсационного оборудования, электрических контактов (соединений)	Нарушения при эксплуатации оборудования техники безопасности. Высокая степень пожароопасности, высокий риск

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

		<i>возникновения К.З. и пр.</i>
<i>Электрические сети, кабельно-проводниковое оборудование, коммутационная аппаратура, цепи коммутации</i>	<i>Выявлены места и рабочие зоны в непосредственной близости с открытыми токоведущими частями, неизолированные участки проводов и кабелей, оплавленная изоляция, отсутствие качества электрического монтажа</i>	<i>Высокая степень риска получения травм для работающего персонала цеха. Высокая степень пожаро опасности. Потери энергии на нагрев в токоведущих частях. Риски возникновения случаев К.З.</i>
	<i>Выявлены зоны (точки), с необоснованно высоким термическим нагревом на токоведущих частях (места контактных соединений)</i>	<i>Технические потери на нагрев в проводниках электрического тока, опасность возникновения неполно фазных режимов электроснабжения. Риск возникновения случаев К.З., перегорание коммутационной аппаратуры и прочих элементов электрической сборки</i>
<i>Панель (металлический щит) управления процессами плавки</i>	<i>Неудовлетворительное техническое состояние шкафа управления процессами осуществления плавки металла. Неисправность измерительных приборов, сигнализации и т.п.</i>	<i>Несоответствие требованиям правил технической эксплуатации технологического оборудования</i>
<i>Сеть электроснабжения (инструментальное обследование)</i>	<i>Зафиксировано недопустимо низкое значение коэффициента мощности в сети электроснабжения потребителей</i>	<i>Чрезмерное потребление реактивной мощности и энергии из внешнего источника электроснабжения, дополнительные потери активной мощности в сети, потери на нагрев в проводниках, в ряде случаев, нежелательное (необоснованное) повышение величины напряжения в сети</i>

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

	<i>Зафиксированы сильные гармонические составляющие в сети рабочего тока и напряжения потребителей электроэнергии индукционной плавильной печи</i>	<i>Негативное влияние на общезаводскую сеть электроснабжения и на качество потребляемой электроэнергии соседними потребителями. Влияние на нагрев и выход из строя электротехнического оборудования. (Трансформаторы, ЭД, конденсаторы, предохранители, люминесцентные лампы и т.п.) Ложные срабатывания коммутационной аппаратуры, систем защиты и автоматики.</i>
<i>Моно-рельс (грузоподъемная кран балка на плавильном участке)</i>	<i>Неудовлетворительное техническое состояние цепей коммутации: кабелей, проводов, электрических контактных соединений. Существенный эксплуатационный износ оборудования</i>	<i>Возникновение зон нагрева, опасность возникновения мест К.З., нестабильная работа установки в виду нарушения цепей коммутации</i>
<i>Освещение плавильного участка</i>	<i>Недостаточная степень освещенности рабочей зоны</i>	<i>Нарушение правил техники безопасности и регламентированных норм по охране труда</i>

Литература

1. Энергоаудит. Энергоресурсосбережение, серия Энергосбережение. - М.: 1999.
2. Хашимов А.А., Ситдиқов Р.А. Аудит энергоэффективных электротехнических систем и комплексов. - Ташкент: ТашГТУ, 2001.
3. Sadullaev N.N. Energia tejankor elektr texnik, elektr mexanik va elektr texnologik qurilmalar auditi. Toshkent., 2018
4. Anarbayev A.I., Qodirov D.B.. Energia auditi. Energia audit. Toshkent, 2021

Благодарность!



Руководство Ташкентского государственного технического университета, деканат Электроэнергетического факультета и коллектив кафедры «Электромеханика и электротехнологии» выражают свою глубокую признательность семье покойного профессора Арипджана Адилевича

Хашимова дочери Гульнаре Арипджановне, Ёкубжану Анваровичу за огромную помощь при работе по организации Международной конференции посвященной светлой памяти основателя Школы электропривода в Республике Узбекистан профессора Хашимова Арипджана Адилевича и Танвире Насибуллаевной Хабибуллаевой.



Жизнь Арипджана Адилевича Хашимова и Танвире Насибуллаевной Хабибуллаевой – это пример научного долголетия, любви к профессии, патриотизма и преданности своему делу и интересам своей Республики и энергетики страны.

Память о профессоре Хашимове Арипжане Адилевиче и Танвире Насибуллаевной Хабибуллаевой – выдающемся ученых, прекрасных педагогов навсегда сохранится в наших сердцах.

СОДЕРЖАНИЕ

№	Наименование	Стр.
1.	Организационный комитет конференции	5
2.	О профессоре Арипджане Адиловиче Хашимове. Жизнь, отданная служению людям. Краткая биографическая справка	7
3.	Кафедра «Электромеханика и электротехнологии»-вчера, сегодня, завтра	17
4.	МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ	19
5.	Секция 1. Актуальные вопросы цифровизации, применяемые в области повышения энергоэффективности электромеханических и электротехнологических систем	19
6.	М.К. Бобожанов, Р.А.Мустаев. Қайта тикланувчи энергия манбалари интеграцияланган тармоқларда реактив қувватни компенсациялаш	19
7.	A.Ledovskikh, A.Ionov, A.Zhukov, K.Fedorova, A.Zolotov, A.Anuchin Разработка цифрового драйвера igbt	25
8.	I.X.Siddiqov, M.T.Maxsudov, D.D.Karimjonov. Asinxron motorlarning uch fazali tok o'zgartkichlarini fizik-texnik effektlari	33
9.	E.X Abduraimov. Energiya tejankor kontaktsiz kommutatsion qurilmalarini elektrmexanika tizimlarida qo'llash	37
10.	Э.Х.Абдураимов. Эффективное управление и защита электродвигателей переменного тока с использованием явления триггерного эффекта диодно тиристорных цепей	41
11.	А.Д. Таслимов, А.Н. Султанов, Б.Б. Майнусов. Таксимловчи электр тармоқларида электр энергия исрофларига таъсир этувчи омиллар	46
12.	О.А. Ворон, В.В. Сироткин. Использование вентильно-индукторных электрических машин для повышения энергоэффективности рекуперативного торможения электрического подвижного состава	51
13.	Ш.Э. Бегматов. Способ создания вторичных источников электропитания с высокими электротехническими показателями	56
14.	А.О. Пулатов, А.У. Мирисаев, М.Ф. Шамиев. Повышение энергоэффективности асинхронного электропривода в пусковых и установившихся режимах	61
15.	А.А. Алимов, Ф.А. Акбаров, Д.А. Носирова. Анализ базовой схемы феррорезонансно-транзисторных параметрических стабилизаторов постоянного напряжения с встроенным функциональным преобразователем	68
16.	М.И.Ибадуллаев, А.Ж.Есенбеков. Анализ колебательных процессов в двухконтурных электромеханических системах	79
17.	М.М.Мирхайдаров. Повышение качества процесса фугования рейсмусовых станков применением частотно-управляемого асинхронного электропривода	86
18.	М.М.Мирхайдаров. Модернизация электропривода системы водяного охлаждения дисковой пилы в камнеобрабатывающих станках	93
19.	И.А. Абдуллабеков, М.М. Мирсаидов, Ж.Ш. Ботиров. Аванкамерадаги сув сатҳининг ўзгариши насос агрегатининг электр энергияси истеъмолига таъсири	100

20.	М.М.Мирхайдаров, М.М. Туляганов. Повышение энергоэффективности камнегравировального станка применением частотно-управляемого асинхронного электропривода со скалярной <i>ir</i> -компенсацией	103
21.	Пулатов А.О, Туляганов М.М., Махмудов Н.З. Тиристорный преобразователь как средство модернизации печей	109
22.	Пулатов А.О, Туляганов М.М., Махмудов Н.З. Автоматизация управления электрической печью	114
23.	И.А. Абдуллабеков, М.М. Мирсаидов, О.О. Зарипов, Ж.Ш. Ботиров. Насос станцияларини энергия истеъмолини тахлили	117
24.	Z. U. Voixanov, A. I. Ortiqov. Asinxron motor reaktiv quvvatini nazorat va boshqarishda qo'llaniladigan tok o'zgartkichning dinamik tavsiflari	121
25.	Х.Б. Сапаев., Х.А. Муминов. Использование генетических алгоритмов (га) при оптимизации режимов асинхронного электропривода	125
26.	Х.Б. Сапаев., Х.А. Муминов. Методика исследование параметров тягового привода электромобиля	129
27.	Б.Р. Нормуратов, М.Ф. Амриллаев. Электр энергетика тизимини рақамлаштириш борасида facts технологиясининг ўрни	132
28.	Б.Р. Нормуратов, М.Р. Турсунбекова. Facts курилмалари оиласи рақамлашган технология сифатида	135
29.	В.Р. Иванова. Применение <i>iot</i> технологии для оценки уровня качественных показателей освещения	138
30.	U.N. Mirzayev, X.O.Majidov, O.K. Istamov. Basic ways to improve efficiency operations of asynchronous electric drives	141
31.	Х.В. Sapayev, Sh.V.Umarov, U.A. Boqijonov. Kabel ishlab chiqarish qurilmasining elektr yuritmasini samaradorligini oshirish	144
32.	M.V.Sagatov, S.M. Khamdamova, U.R. Shukurillayev. Modeling of nonlinear electromechanical objects	148
33.	А.Н. Жуков. Разработка стенда для испытаний цифровых драйверов <i>igbt</i>	154
34.	Д.Р. Маслеников. Влияние метода широтно-импульсной модуляции на коэффициент искажений тока электродвигателя при малых значениях отношения частоты модуляции к первой гармонике	154
35.	S.A. Pauliukavets, A.A. Radkevich. Increasing the construction mechanical strength of ac converter-fed electric motors with an axial magnetic flux using digital models	156
36.	Секция №2. Технология цифровизации и энергоаудит, обеспечивающие энергоэффективность и ресурсосбережение в электромеханике и электротехнологии, тепловой и атомной энергетике	160
37.	K.G. Abidov. Optimizing pumping station operation modes	160
38.	К.Г. Абидов, М.М. Туляганов. К расчёту переходных процессов с помощью графов переменных состояния	166

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

39.	З.Н. Мухиддинов, М.З. Атаджанова. Экономическая эффективность затрат электроэнергии металлорежущего оборудования	173
40.	А.А. Бобоев. К вопросу оценки производства возобновляемой энергии и их энергоэффективности в республике Таджикистан	178
41.	Пулатов А.А., Сапаев Х.Б., Маткурбанов П.С. Методика теплового расчета индукционных канальных печей ёмкостью 3 тонны АО Узметкомбинат	181
42.	У.Т. Бердиев, С. Сайдуллаев. Технология ремонта вакуумного выключателя электровозов серии «Ўзбекистон»	186
43.	У.Т. Бердиев, У.Б. Сулаймонов. Разработка электродвигателей на основе композиционных материалов	189
44.	С.Х. Орипов, И.А. Нелюбин. Исследование устойчивости динамических систем с использованием метода d-разбиения и анализ с применением критерия найквиста в matlab	195
45.	М.М. Туляганов, Х.А. Мўминов, Ш.М. Атажиев. Создание прототипов автоматизированных систем управления с использованием arduino	199
46.	Ф.А. Акбаров, Ш.М. Атажиев, У.А. Бокижонов. Development of a device for remote control of pumps in agriculture	201
47.	М. Мўминова. Решения задачи оптимизации режима ЭС	204
48.	А.О. Pulatov, Sh.B. Umarov, Q.A. Boboniyozov. Navoiy issiqlik elektr stansiyasida energiya samaradorligini oshirish uchun transformator tanlash	207
49.	А.А. Мукольянц, Ж.М. Низомов. Сравнение эффективности работы энергогенерирующего агрегата при разных схемах узла подогрева газа	211
50.	Х.В. Sapayev, Sh.B.Umarov, U.A. Boqijonov. Ohista ishga tushurish qurilmasni qo'llab kabel cho'zish jarayonini takomillashtirish	217
51.	В.П.Иванова, В.В.Цыпкина, М.Н.Козлитин, Р.Д.Аминов. Обобщенные требования для модернизированного электропривода кабельного оборудования	221
52.	Исамухамедов Д.Н., Атамухамедова Р.Ф., Ортикова М.Ж., Ёкубжонов Д. У. Новые технологии в кабельной промышленности	224
53.	В.В. Цыпкина, В.П. Иванова, Ф.Ф. Ганиева, У.А. Мамадалиева. Математическое моделирование производственного процесса волочения в кабельном производстве	226
54.	Цыпкина В.В., Иванова В.П., Исамухамедов Д.Н., Турабеков А.У. Цифровая трансформация в решении вопросы повышения эффективности производственно-технологического процесса изготовления кабельно-проводниковой продукции	229
55.	М.М. Мирсаидов, У.А. Бокижонов, Ж.Ш. Ботиров. Насос станциясининг аванкамерасидаги сув сатҳи баландлиги ўзгарганда энергия самарадор режимларини тадқиқотлаш	231
56.	А.Н. Хуснутдинов, А.О. Мамадалиев, С.М. Турсуналиев, Ш.Ф. Джалолов. Энергосбережение на основе интеллектуального процесса зарядки электромобиля	237

57.	Р.А. Ситдиков, О.В. Радионова. О развитии математических моделей проведения энергетических обследований	242
58.	Секция №3. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии в электромеханических и электротехнологических системах	247
59.	Ioannis Rampias, N.L. Klimenko. Strong penetration of res and digitalisation in the electricity sector of the republic of Uzbekistan	247
60.	Л.В. Абдуллина. Инновационные зарядные станции для электромобилей: технологии, инфраструктура и перспективы развития	252
61.	Б. А. Ханчаев. Интеграция цифровых технологий для организации производства «зелёного» водорода в Туркменистане	256
62.	Т.Ш. Гайибов, Т.У. Тошев, Э. Нигматова. Оптимизация состава оборудования в автономной системе с солнечной и ветровой станциями	261
63.	D.M. Pulatova, K.B. Suyunov. The perspective of wind energy in the republic of Uzbekistan	267
64.	В.П. Дюндина, А.Н. Хуснутдинов. Использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в электромобилях	270
65.	Р.А. Ситдиков, О.В. Радионова. Системный подход к использованию возобновляемых источников энергии для электроснабжения электромеханических систем	274
66.	А.А. Гелдыев, П.Т. Халмырадов. Электроэнергетика Туркменистана: повышение роли альтернативных источников энергии	279
67.	Г.Д. Гурбанова, О. С. Ширлиева, М.К. Нурсахедов. Создать технологию использование биогаза в животноводской ферме	283
68.	Замонов Х.Р., Шарипов Ф.К., Султонзода Ш.М. Особенности плавучих фотоэлектрических установок	286
69.	Кодиров Д.Б., Муслимов А.М. Энергетическое обследование литейного цеха Сп Ао Узэлектроаппарат-электроцит	289
70.	СОДЕРЖАНИЕ	297

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

