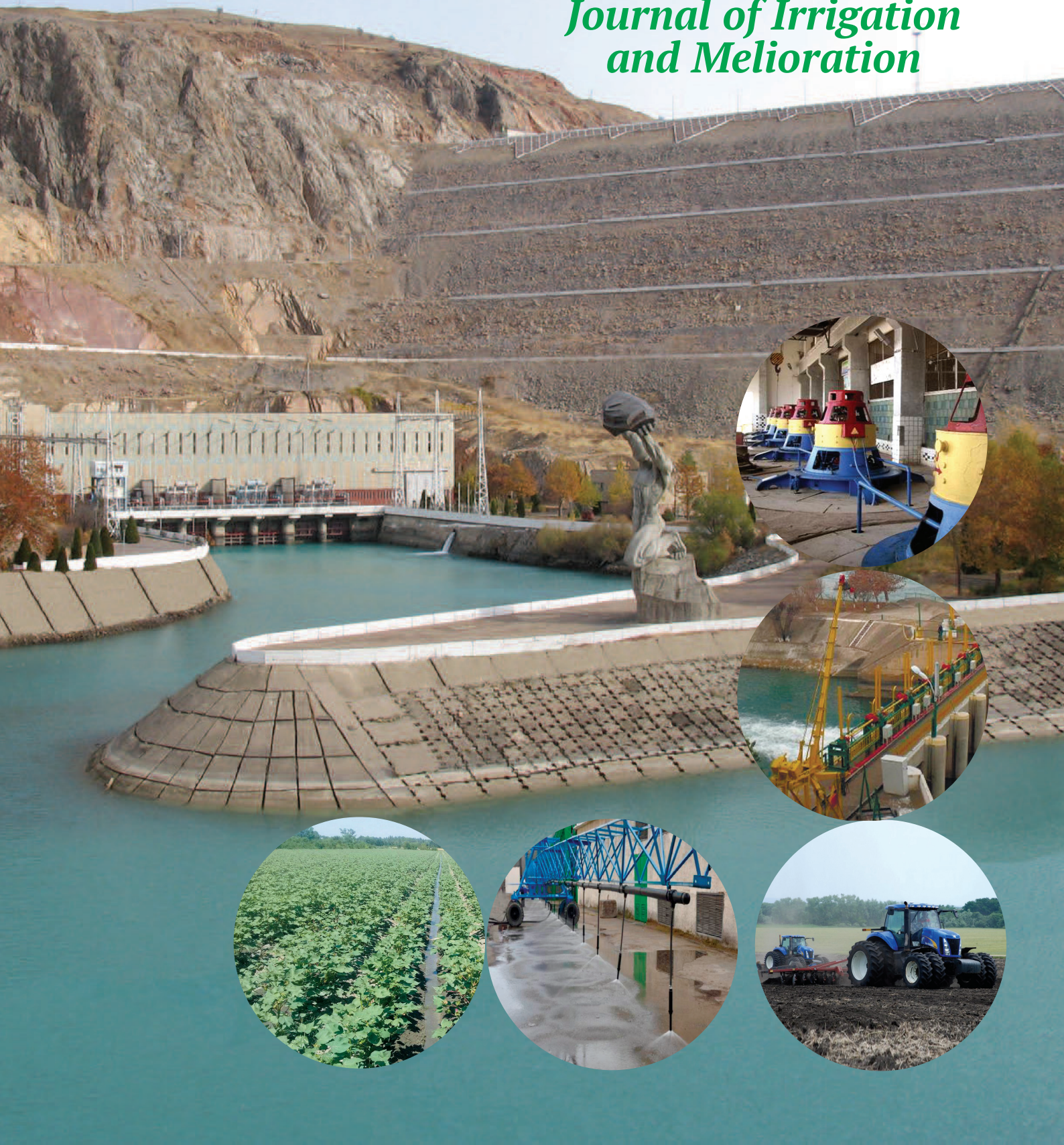


IRRIGATSIYA va MELIORATSIYA

Maxsus son.2022

*Journal of Irrigation
and Melioration*



А.А.Турдибоев, Н.Б.Пирматов, А.Е.Бекишев, Н.А.Курбанов, Т.Ю.Тошев, О.Е.Зайниева
Математическое моделирование синхронных генераторов с двухосным возбуждением254

Я.Э.Чўллийев
Насос станцияларда электр энергия истеъмолини самарадорлигини яхшилаш.....258

Н.М.Эшпулатов, С.С.Абдурайимов, А.И.Хуррамов
Харбий хизматчилар рационали учун куруқ мевалардан ўсимлик мойи ажратиб олишнинг физик-кимёвий тавсифи, технологик усуллари261

СУВ ХЎЖАЛИГИ ИҚТИСОДИ ВА ЕР РЕСУРСЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИШ

А.Ш.Дурманов
Иссиқхона хўжаликлари фаолиятини ривожлантиришнинг ташкилий-иқтисодий механизмлари.....267

Б.М.Юнусов
Аҳоли пункти ерлари ҳисобини олиб боришда замонавий технологияларни қўллаш.....274

Х. Назаров
Тоғлардаги қор, музликлар ва сув танқислиги хавфининг олдини олишнинг ҳуқуқий чоралари.....282

С.Қ.Хамиджонов, А.С.Пулатов, Ж.Чи
Геоинформацион фанлари бўйича Марказий Осиёда 1995–2021 йилларда тадқиқотлар ривожланиши.....288

Х.Р.Пирматов, А.С.Пулатов, Х.С.Дониёрова
Угом-Чотқол давлат миллий табиат боғи ҳудудларида экологик ҳолатини баҳолаш....292

ИРРИГАЦИЯ ВА МЕЛИОРАЦИЯ СОҶАСИ УЧУН КАДРЛАР ТАЙЁРЛАШ

Ж. А.Қосимов
Замонавий график дастурлар орқали график таълим тизимини такомиллаштириш...296

Д.Т.Мухаммадиева, Э.К.Самандаров
Мактаб ўқувчиларининг билиминини баҳолашда сунъий нейрон тўридан фойдаланиш...301

Ф.Б.Киличева
Применение метода проектов на занятиях русского языка.....305

М.Жўраева, Г.Эшчанова
Ёшлар тарбиясида мулоқот маданиятини шакллантиришнинг афзалликлари.....311

G.Eshchanova
The formation of ict competencies in teaching readiness language skills at different levels.....314

U.Nullaev
Development of cultural awareness by means of teaching foreign language.....319

Ф.Б.Киличева
Организация учебного процесса с использованием интерактивных методов обучения.....322

А.Рамазанов, Н.Хашимова
О реформе высшего образования.....326

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ДВУХОСНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

А.А.Турдибоев – Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

Н.Б.Пирматов, А.Е. Бекисhev – Ташкентский государственный технический университет

Н.А.Курбанов, Т.Ю.Тошев, О.Е.Зайниева – Каршинский инженерно-экономический институт

Аннотация

В статье представлены математические модели процессы самораскачивани синхронного генератора с традиционным и двухосным возбуждением. Как известно, самораскачивание - это вид электромеханической неустойчивости генератора, когда у его ротора, вращающегося с основной эксплуатационной скоростью при некотором значении угла, появляются колебательные изменения скорости и угла с увеличивающейся амплитудой вплоть до выпадения из синхронизма.

Дифференциальные уравнения синхронного генератора решались с помощью программы Mathcad с использованием метода Коши, а результаты сравнивались графическим путём. Полученные результаты показывают, что двухосный синхронный генератор отличается от традиционного синхронного генератора тем, что переходные процессы самораскачивания затухают и имеют тенденцию быстро входить в синхронизм.

IKKI O'QLI QO'ZG'ATISHLI SINXRON GENERATORLARNI MATEMATIK MODELLASHTIRISH

A.A.Turdiboyev – “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti,

N.B.Pirmatov, A.E. Bekishev – Toshkent davlat texnika universiteti,

N.A.Qurbonov, T.Yu.Toshev, O.E.Zayniyeva – Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti.

Annotatsiya

Maqolada an'anaviy va ikki o'qi bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron generatorning o'z-o'zidan tebranish jarayonlarining matematik modellari keltirilgan. O'z-o'zidan tebranish sinxron generatorning noturg'un elektromexanik o'tkinchi jarayoni bo'lib, uning rotori shunday ekspluatatsion tezlik bilan aylanganda ayrim burchak ostida rotorni sinxronizmdan chiqib ketish tebranishini hosil qiladi.

Sinxron generatorning differensial tenglamalari Mathcad dasturi yordamida Koshi usulida yechildi va natijalar grafik jihatdan solishtirildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, ikki o'qli sinxron generator an'anaviy sinxron generatoridan farq qiladi, chunki o'z-o'zidan tebranish o'tish jarayonlari tezda so'nadi va tez sinxronizmga kirishadi.

MATHEMATICAL MODELING OF SYNCHRONOUS GENERATORS WITH BIAxIAL EXCITATION

A.A.Turdiboev – National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers",

N.B. Pirmatov, A.E. Bekishev – Tashkent State Technical University,

ON. Kurbanov, T.Yu.Toshev, O.E. Zainieva - Karshi Engineering and Economic Institute.

Abstract

The article presents mathematical models of the self-oscillation processes of a synchronous generator with traditional and biaxial excitation. As you know, self-swinging is a type of electromechanical instability of the generator, when its rotor, rotating at the main operating speed at a certain angle, has oscillatory changes in speed and angle with increasing amplitude up to falling out of synchronism.

The differential equations of the synchronous generator were solved using the Mathcad program using the Cauchy method, and the results were compared graphically. The results obtained show that the biaxial synchronous generator differs from the traditional synchronous generator in that the self-swinging transients decay and tend to quickly enter into synchronism.

Введение. Актуальность темы заключается в том, что определение статической и динамической устойчивости синхронных генераторов средней и большой мощности в лабораторных условиях требует больших денежных средств и времени. Для экономии необходимых денег и времени целесообразно проводить исследования на математических моделях синхронных генераторов средней и большой мощности. Кроме того, ведутся работы по усовершенствованию двухосных синхронных генераторов, управляемых осью намагничивания.

Статическая и динамическая устойчивость синхронных генераторов, с продольно-поперечным возбуждением, является малоизученной областью, и изучение этой области следует использовать для разработки дифференциальных уравнений синхронных генераторов с двухосным возбуждением, и для изучения устойчивости генераторов.

Для улучшения эксплуатационных характеристик и энергоэффективности синхронных машин, две обмотки возбуждения размещены на роторе на расстоянии 90 градусов друг от друга. Когда мы используем синхронную машину с двухосным возбуждением, у нас есть возможность контролировать направление вектора магнитного потока, повышать статическую и динамическую стабильность машины и более эффективно гасить вибрацию ротора при переменных и ударных нагрузках.

В настоящее время возможности вычислительной техники совместно с методом математического моделирования, как метода научного познания, позволяют осуществлять исследования, разработку, проектирование и определять требования по эксплуатации и управлению любой технической системы. Владение же комплексом знаний и умений в области математического моделирования стало необходимым элементом технической культуры и востребованности специалистов на рынке труда,

важной частью их профессиональной подготовки и переподготовки.

Основным элементом электромеханической системы является в большинстве случаев электромеханический преобразователь. Электромеханический преобразователь (ЭМП) - обратимая электрическая машина. ЭМП в соответствии с основными законами, которые положены в основу принцип его работы, может работать в двигательном и генераторном режиме. Если подводимой к ЭМП является механическая энергия, то электромеханическая система и ЭМП работают в генераторном режиме, а в том случае когда подведена электрическая энергия двигательный режим. В последнем случае предусмотрен источник электрической энергии (ИЭЭ). В генераторном режиме для ЭМП требуется механическая энергия. Ее можно получить от любого источника энергии. В зависимости от типа ЭМП, условий работы и требований, подводимая энергия (механическая или электрическая), как правило, не совпадает с требуемой (по качеству). Это учитывается введением двух преобразователей - преобразователь электрической энергии (ПЭЭ) и преобразователь движения, скорости и момента (ПДСМ). В независимости от сложности ЭМС в ней всегда имеется система контроля, управления и защиты. Назначение последней состоит в том, чтобы собрать необходимую информацию о работе системы и параметрах, определяющих среду, на основе которой формируется сигнал управления, реализуется контроль и защита.

Методы. При исследовании переходных процессов в электрических машинах применяют различные ортогональные системы координат, отличающиеся угловой скоростью вращения координатных осей. Система координатных осей с произвольной угловой скоростью вращения ω_k является основополагающей. Обозначается она, как система $(u, v, 0)$, а все остальные координатные системы являются её частным случаем.

В настоящее время широко используют следующие ортогональные системы координат: $(d, q, 0)$, $(\alpha, \beta, 0)$, $(x, y, 0)$.

В системе координатных осей $d, q, 0$ угловая частота вращения осей ω_k равна частоте вращения ротора, т. е. $\omega_k = \omega$. Её называют системой координатных осей, неподвижной относительно ротора. Она применяется при исследования синхронных и асинхронных электрических машинах с магнитной асимметрией магнитопровода.

Вторая система координатных осей $\alpha, \beta, 0$ неподвижна относительно статора, т. е. $\omega_k = 0$. Она имеет одно преимущество, а именно: ток в фазе, совпадающей с осью, всегда соответствует реальному фазному току.

Третья система координатных осей $x, y, 0$ вращается относительно статора с синхронной скоростью, т. е. $\omega_k = \omega_s$, т. е. система координат неподвижна по отношению к магнитному полю машины. Она используется при анализе переходных процессов в симметричных машинах.

Особенность электромеханического преобразования энергии в синхронных машинах (частности в синхронном генераторе) состоит в том, что на вращающейся части двухполюсном роторе располагается обмотка возбуждения, которая создает направленный по предельной оси ротора поток возбуждения Φ_0 . При вращении ротора в обмотках статора возникает переменная ЭДС синусоидальной формы и частоты $\omega_s = 2\pi f_1$. При подключении обмоток якоря (статора) к нагрузке в них под действием ЭДС возникает переменный ток якоря i_s , который создает переменный магнитный поток реакции якоря Φ_a . Поле реакции якоря искажает поле возбуждения и в нагруженной машине возникает сложная картина вращающегося

магнитного поля.

Математическое моделирование синхронных генераторов переменного тока осуществляют, пользуясь одно-периодной расчетной моделью, схема которой показана на рис. 1.1.

Однопериодная модель машины удобна тем, что в ней временные и пространственные углы между векторами совпадают, что дает возможность наложить временную векторную диаграмму токов и напряжений на пространственную картину полей в машине.

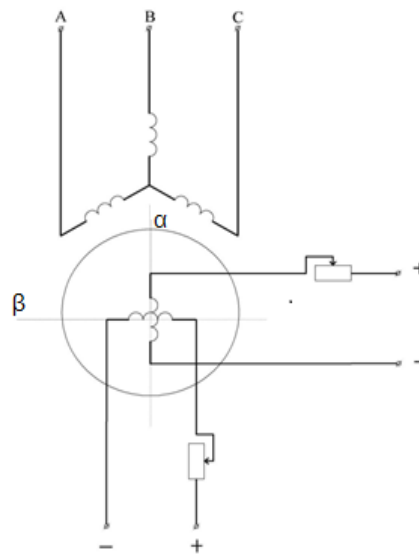


Рис. 1.1 Схема синхронного генератора с двухосным возбуждением в системе координат $\alpha, \beta, 0$

Результаты и обсуждение. Математическое моделирование синхронного генератора осуществляется с использованием системы взаимно перемещающихся координат $\alpha, \beta, 0$.

Общие уравнения электрического равновесия для обмоток традиционной синхронной машины в координатах α, β [4-14] имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} U_{\alpha s} &= i_{\alpha s} R_{\alpha s} + \frac{d\psi_{\alpha s}}{dt} \\ U_{\beta s} &= i_{\beta s} R_{\beta s} + \frac{d\psi_{\beta s}}{dt} \\ U_{ar} &= i_{ar} R_{ar} + \frac{d\psi_{ar}}{dt} \end{aligned} \right\} (1)$$

Потокоцепления обмоток определяются из выражений:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{\alpha s} &= L_{\alpha s} \cdot i_{\alpha s} + M \cdot i_{ar} \cdot \cos\theta \\ \psi_{\beta s} &= L_{\beta s} \cdot i_{\beta s} + M \cdot i_{ar} \cdot \sin\theta \\ \psi_{ar} &= L_{ar} \cdot i_{ar} + M \cdot i_{\alpha s} \cdot \cos\theta + M \cdot i_{\beta s} \cdot \sin\theta \end{aligned} \right\}$$

Уравнения электрического равновесия для обмоток синхронной машины с двух осным возбуждением в координатах α, β [4] имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} U_{\alpha s} &= i_{\alpha s} R_{\alpha s} + \frac{d\psi_{\alpha s}}{dt} \\ U_{\beta s} &= i_{\beta s} R_{\beta s} + \frac{d\psi_{\beta s}}{dt} \\ U_{ar} &= i_{ar} R_{ar} + \frac{d\psi_{ar}}{dt} \\ U_{\beta r} &= i_{\beta r} R_{\beta r} + \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} \end{aligned} \right\} (3)$$

Потокоцепления обмоток в соответствии с приведенной схемой определяются из выражений:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{\alpha s} &= L_{\alpha s} \cdot i_{\alpha s} + M \cdot i_{\alpha r} \cdot \cos\theta + M \cdot i_{\beta r} \cdot \sin\theta \\ \Psi_{\beta s} &= L_{\beta s} \cdot i_{\beta s} + M \cdot i_{\alpha r} \cdot \sin\theta + M \cdot i_{\beta r} \cdot \cos\theta \\ \Psi_{\alpha r} &= L_{\alpha r} \cdot i_{\alpha r} + M \cdot i_{\alpha s} \cdot \cos\theta + M \cdot i_{\beta s} \cdot \sin\theta \\ \Psi_{\beta r} &= L_{\beta r} \cdot i_{\beta r} + M \cdot i_{\beta s} \cdot \sin\theta + M \cdot i_{\alpha s} \cdot \sin\theta \end{aligned} \right\}$$

Как видно из приведенных выражений для потокоцеплений, магнитные связи обмоток статора и ротора изменяются по гармоническому закону. Подставив (2) в уравнения электрического равновесия и взяв производные потокоцеплений по времени при условии, что частота вращения ротора остается неизменной в течение переходных электромагнитных процессов, получают:

$$\left. \begin{aligned} U_{\alpha s} &= i_{\alpha s} R_{\alpha s} + L_{\alpha s} \frac{di_{\alpha s}}{dt} + M \cdot \cos\theta \cdot \frac{di_{\alpha r}}{dt} - M \cdot i_{\alpha r} \cdot \omega_r \cdot \sin\theta \\ U_{\beta s} &= i_{\beta s} R_{\beta s} + L_{\beta s} \frac{di_{\beta s}}{dt} + M \cdot \sin\theta \cdot \frac{di_{\alpha r}}{dt} - M \cdot i_{\alpha r} \cdot \omega_r \cdot \cos\theta \\ U_{\alpha r} &= i_{\alpha r} R_{\alpha r} + L_{\alpha r} \frac{di_{\alpha r}}{dt} + M \cdot \cos\theta \cdot \frac{di_{\alpha s}}{dt} - M \cdot i_{\alpha s} \cdot \omega_r \cdot \sin\theta + M \cdot \cos\theta \frac{di_{\beta s}}{dt} + M \cdot i_{\beta s} \cdot \omega_r \cdot \cos\theta \end{aligned} \right\}$$

Представленная система уравнений позволяет исследовать синхронные ЭМ в переходных и установившихся режимах работы. При анализе процессов в синхронных двигателях она дополняется выражением для электромагнитного момента и уравнением движения ротора.

В большинстве реальных задач, которые сводятся к решению дифференциальных уравнений, существуют так называемые начальные условия. В теории дифференциальных уравнений эта задача называется задачей Коши. Данный метод решения дифференциальных уравнений в системе Mathcad называется методом непосредственного интегрирования [3-11]. Этот метод хорош тем, что пользователь может непосредственно отслеживать любой этап решения уравнения и исправлять возможные ошибки. Однако к его недостаткам относится достаточно большая громоздкость в вычислениях – необходимо вводить много переменных, вычислять большое количество интегралов. Преобразовав систему уравнений (5) к виду удобному для решения (к виду Коши), составляют расчетную модель синхронного генератора. Система уравнений, описывающая электромагнитные процессы в синхронном генераторе при условии, что постоянно включена нагрузка генератора из последовательно соединенных $R = 2 \text{ Ом}$ и $L = 2 \text{ мГн}$, имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{\alpha s}}{dt} &= \frac{R}{L_l} \cdot i_{\alpha s} - \frac{R_{\beta s}}{L_l} \cdot i_{\alpha s} + i_{\alpha r} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \sin(\omega_r t)}{L_l} \\ \frac{di_{\beta s}}{dt} &= \frac{R}{L_l} \cdot i_{\beta s} - \frac{R_{\beta s}}{L_l} \cdot i_{\beta s} - i_{\beta s} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \cos(\omega_r t)}{L_l} \\ \frac{di_{\alpha r}}{dt} &= \frac{U_{\alpha r}}{L_l} \cdot i_{\alpha r} - \frac{R_{\alpha r}}{L_l} \cdot i_{\alpha r} + i_{\alpha s} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \sin(\omega_r t)}{L_l} - i_{\beta s} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \cos(\omega_r t)}{L_l} \end{aligned} \right\}$$

где $R_{\alpha s}$, $R_{\beta s}$ активные сопротивления обмоток якоря (Ом), $L_{\alpha s} = L_{\beta s}$ собственные (полные) индуктивности обмоток якоря (мГн), M взаимная индуктивность (мГн), $R_{\alpha r}$ активное сопротивление обмотки возбуждения (Ом), $L_{\alpha r}$ собственная (полная) индуктивность обмотки возбуждения (мГн), ω_r - частота вращения ротора (рад/с), $U_{\alpha r}$ напряжение питания обмотки возбуждения (В).

Расчетные формулы для численного интегрирования системы уравнений (6) методом Эйлера с использованием программы MathCAD имеет вид:

$$\begin{pmatrix} t_{i+1} \\ i_{\alpha s i+1} \\ i_{\beta s i+1} \\ i_{\alpha r i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_i + dt \\ i_{\alpha s i} + dt \cdot \left(\frac{R}{L_l} \cdot i_{\alpha s i} - \frac{R_{\beta s}}{L_l} \cdot i_{\alpha s i} + i_{\alpha r i} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \sin(\omega_r t_i)}{L_l} \right) \\ i_{\beta s i} + dt \cdot \left(\frac{R}{L_l} \cdot i_{\beta s i} - \frac{R_{\beta s}}{L_l} \cdot i_{\beta s i} + i_{\alpha r i} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \sin(\omega_r t_i - \frac{\pi}{2})}{L_l} \right) \\ i_{\alpha r i} + dt \cdot \left(\frac{U_{\alpha r}}{L_l} - \frac{R_{\alpha r}}{L_l} \cdot i_{\alpha r i} + i_{\alpha s i} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \sin(\omega_r t_i)}{L_l} - i_{\beta s i} \cdot \omega_r \cdot \frac{M \cdot \cos(\omega_r t_i)}{L_l} \right) \end{pmatrix}$$

Геометрический смысл метода Эйлера заключается в

аппроксимации искомого решения (интегральной кривой $y(x)$) на отрезке $[x_k, x_{k+1}]$ отрезком касательной, проведенной к графику решения в точке x_k . На рисунке 1.2 приведено графическое представление метода Эйлера.

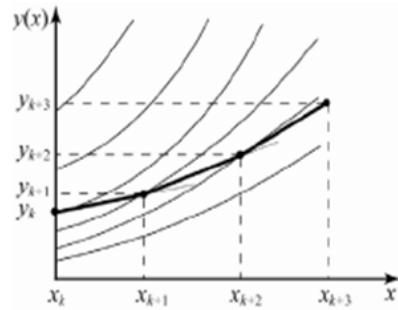


Рис. 1.2. Геометрическая интерпретация метода Эйлера. Результатом численного решения является ломаная линия, представляющая собой набор касательных к интегральным кривым

Некоторые результаты моделирования приведены на рисунках 1.3-1.5. На них представлены ток в обмотке возбуждения токи в обмотке якоря и выходное напряжение генератора во время самораскачивания.

Моделирование синхронного генератора проведено при нулевых начальных условиях для токов и постоянной частоте вращения ротора $\omega_r = 100 \text{ рад/с}$ при следующих исходных данных. $R_{\alpha s} = 0.165$, $R_{\alpha r} = 0.440$, $L_{\alpha s} = 2.1$, $L_{\alpha r} = 5.6$, $M = 1.6$, $U_{\alpha r} = 127$.

$$\begin{pmatrix} t_0 \\ i_{\alpha s 0} \\ i_{\beta s 0} \\ i_{\alpha r 0} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, dt := 0.0001, i := 0..10000$$

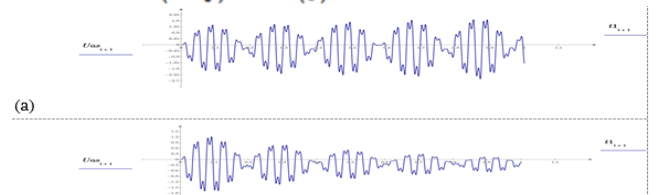


Рис. 1.3. Напряжения статора по оси α при самораскачивании: а) на выходе синхронного генератора традиционным возбуждением б) на выходе синхронного генератора с двухосным возбуждением



Рис. 1.4. Ток статора по оси α при самораскачивании: а) в синхронном генераторе традиционным возбуждением б) в синхронном генераторе с двухосным возбуждением

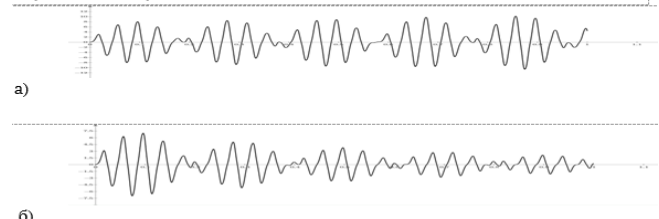


Рис. 1.4. Ток в обмотке возбуждения по оси α при самораскачивании: а) в синхронном генераторе традиционным возбуждением б) в синхронном генераторе с двухосным возбуждением

Выводы. 1) Согласно полученным результатам (рис. 1.4), в обычном синхронном генераторе при неправильной настройке устройства автоматической регулировки возбуждения произойдет процесс самораскачивания и ток статора превысит в 4,5 раза от номинальной и отклонения угла ротора увеличится затем синхронный генератор может выйти из синхронизации.

2) При неправильной настройке устройство автоматической регулировки возбуждения ток статора синхронных генераторов с продольно-поперечным возбуждением из-

начально превышает в 4,5 раза от номинальной через 1 секунды уменьшается, кроме того, из-за уменьшения угла отклонения ротора самораскачивания в синхронном генераторе исчезает и переходит в синхронизм.

3) Статическая и динамическая устойчивость намного выше, чем у обычных синхронных генераторов традиционной возбуждения, за счет того, что синхронные генераторы с продольно-поперечным возбуждением, имеют хорошую электромагнитную связь статора и ротора и возможность изменения в них угла намагничивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akhmatov M.G. Synchronous machines. Special course: Textbook. manual for technical colleges - M.: Higher school, 1984. - 135 p.
2. Pirmatov N.B., Akhmatov M.G. Abnormal operating modes of synchronous machines with biaxial excitation. Tashkent: Publishing house of Tashkent State Technical University, 2003. - 158 p.
3. Osin L.G., Shakaryan Yu.G. Electric cars. Synchronous machines. Moscow. Higher school, 1990.-303 p.
4. А.В. Аристов, Л. К. Бурулько, Л.А. Паюк. Математическое моделирование в электромеханике. Учебное пособие. Томск 2005.-155 п.
5. Berkovich M.A. "Automation of power systems", M.: "Energoatom-Izdat", Moscow, 1991.
6. Soloviev I.N. "Automatic regulators of synchronous generators", M., "Energoatomizdat", 1981.
7. N. Pirmatov, Sh. Toshev. Overvoltage in the free phase of the stator winding in case of asymmetric short circuit implicit pole synchronous generator biaxial excitation. E3S Web of Conferences 139, 010 (2019).
8. Pirmatov, N., Bekishev, A., Shernazarov, S., Kurbanov, N., E3S Web of Conferences, 2021, 264, 04028, Regulation of mains voltage and reactive power with the help of a synchronous compensator by two-axis excitation, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404028>
9. Olimjon Toirov, Kamoliddin Alimkhodjaev, Nurali Pirmatov and Aziza Kholbutaeva E3S Web of Conferences 216, 01119 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601119>
10. Kamoliddin Alimkhodjaev, Olimjon Toirov, Mirzohid Taniev, Sharofiddin Alimkhodjaev Addressing Issues and Possibility of Introducing Renewable Energy Sources in the Conditions of Uzbekistan. JCR. 7(15), 1721-1728 (2020), doi:10.31838/jcr.07.15.231
11. Fayziyev, M. M., Kurbanov, N. A., Imomnazarov, A. B., Bobonazarov, B. S., & Bekishev, A. E. (2017). Simulation run asynchronous motor in MatLab. Moscow. Bulletin of Science and Education, 29(5), 42-47.
12. Dmitriy Bystrov, Toirov Olimjon, Giyasov Sanjar, Taniev Mirzokhid, Urokov Sardor NISS2020: Proceedings of the 3rd International Conference on Networking, Information Systems & Security, 49, P. 1-4 (2020), <https://doi.org/10.1145/3386723.3387868>
13. Kopylov, I.P. Mathematical modeling of electrical machines: ucheb. for universities / I.P. Kopylov. - M., 2001. - 327 p.
14. Fayziev, M.M., Kurbanov, N.A., Imomnazarov, A.B., Bobonazarov, B.S. and Bekishev, A.E., 2017. Modelirovanie neyavnopol'yusnogo sinxronnogo generatora v Matlab. Moskva. Vestnik nauki i obrazovaniya, 5(29), pp.10-14.
15. German-Galkin, S.G. Matlab & Simulink. Design of mexatron systems on PK / S.G. German-Galkin. - SPb. : KORONA-Vek, 2008. - 368 p.
16. Petrushin, M. Tchavychalov, E. Miroshnichenko. The Switched Reluctance Electric Machine with Constructive Asymetry. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). ISSN: 2088-8694. Vol. 6, No. 1, March 2015, pp. 86-91.
17. Petrushin, M. Tchavychalov. Influence Of Sensorless Control On The Noise Of Switched Reluctance Motor Drive. . International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). ISSN: 2088-8694. Vol. 6, No. 3, September 2015, pp. 433-438.
18. Petrushin, A. Improving the Accuracy of Switched Reluctance Motor Sensorless Rotor Position Estimation. / A. Petrushin, M. Tchavychalov // Journal of Engineering and Applied Sciences. - Vol.10. - №4. 2015. - pp. 80-84. (<http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2015.80.84>)
19. Petrushin, A. Increasing the Field Reliability of Traction Switched Reluctance Motor Drive of Railway Rolling Stock. / A. Petrushin, E. Miroshnichenko, M. Tchavychalov // Journal of Engineering and Applied Sciences. - Vol.10. - №5.2015 - pp. 102-106.
20. M M Khamudkhanov, KH B Sapaev, Sh. B. Umarov. Multi-motor drive with common inverter for pumping unites. Web of Conferences, II International scientific conference. MIP: Engineering-2020: modernization, innovations, progress: advanced technologies in material science, mechanical and automation engineering. MIP: Engineering-2020.IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062035 IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/862/6/062035
21. Sh. B. Umarov, D. D. Rakhmatov. Calculation of transition processes in stabilized power sources on the basis of a single-phase serial current inverter. Web of Conferences , II International scientific conference. MIP: Engineering-2020: modernization, innovations, progress: advanced technologies in material science, mechanical and automation engineering. MIP: Engineering-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062032 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/862/6/062032