

Рижаев В.Д. (Озлик)

621.3/07

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

Ўзбекистон Олий ва махсус ўрта таълим вазирлиги  
техника олий ўқув юрталарининг талабалари  
учун дарслик сифатида тавсия этган

2023643

Тошкент „Ўқитувчи“ 1995

621.3 (075)

621.3 + 621.38 (075)

Э-45

А. С. Каримов, М. М. Мирҳайдаров, Ғ. Р. Шоёкубов,  
Б. А. Абдуллаев, С. Ғ. Блейхман, О. М. Бурхонхўжаев,  
А. А. Қашқаров, Н. У. Турсунхўжаева, С. А. Каримова

Ушбу дарслик техника олий ўқув юртларининг электротехника асосий бўлмаган ихтисослик бўйича ўқитиладиган талабаларига мўлжалланган. Унда ўзгармас ва ўзгарувчан ток электр занжирлари, электромагнит қурилмалар ва трансформаторлар, электр ўлчов асбоблари, электр юритма асослари баён қилинган; электроника асослари ҳақида тушунчалар берилган.

Тақризчи — доцент У. Иброҳимов

31.21  
Э 45

Электротехника ва электроника асослари:  
Олий ўқув юрт. талаблари учун дарслик. —  
Т.: Уқитувчи, 1995.—464 б.

31.21+32.85

№ 29-95

Алишер Навоий номидаги Ўзбекистон  
Республикаси Давлат кутубхонаси  
Тираж 1500  
Қарт. тиражи 3000

ОНБСАКС 622052

Научная библиотека  
ТИИ ИМСХ  
ул. Қари-Ниязова, 80

К 2202010000 — 159  
353 (04) — 94

98 — 95

© „Уқитувчи“ нашриёти, 1995

ISBN 5 — 645 — 01921

4А серияда двигатель турининг янгича белгилаш схемаси қабул қилинган: эски сериядагига ўхшаш статор ўзагининг шартли диаметрининг ўлчами ўрнига валнинг айланиш баландлиги (роторнинг айланиш ўқидан таянч юзасига бўлган масофа) киритилган бўлиб, у 50 мм дан 380 мм гачадир.

Саноатда 4А серияда айланиш ўқининг баландлиги 50 мм дан 350 мм гача бўлган барча двигателлар, 4АН серияда эса айланиш ўқининг баландлиги 160 мм дан юқори бўлган двигателлар ишлаб чиқарилади.

4А ягона сериядаги асинхрон двигателларнинг хили ва ўлчамларини билдирувчи ҳарфли ва рақамли белгилар қуйидагиларни англатади: 4 — двигатель сериясининг номери; А — двигательнинг хили (асинхрон); Н — двигатель ташқи муҳит таъсиридан ҳимояланган (бу ҳарфнинг бўлмаслиги двигатель ёпиқ ҳолда совитилишини билдиради); А ёки Х — двигательнинг станина ва қалқони қандай материалдан ясалганлигини (биринчи ҳарф станина ва қалқоннинг алюминийдан ясалганлигини, иккинчи ҳарф станинанинг алюминийдан, қалқоннинг эса чўяндан ясалганлигини, агар ҳарф бўлмаса станина ва қалқоннинг чўян ёки пўлатдан ясалганлигини) билдиради; иккита ёки учта рақам — двигатель айланиш ўқининг баландлиги; S, M, L — станинанинг узунлиги бўйича ўлчами (ушбу ҳарфлар иккита ёки учта рақамдан кейин туради); А ёки В — статор ўзагининг узунлиги; 2, 4, 6, 8, 10 ёки 12 — қутблар сони, V — қандай иқлимда ишлатишга мўлжалланган; 3 — ўрнатилиш категорияси.

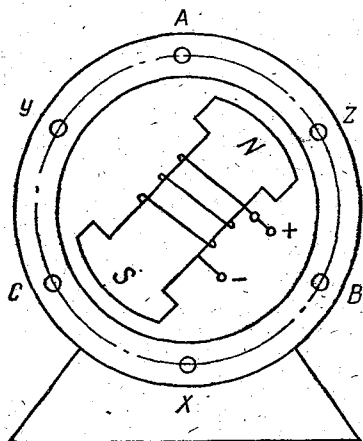
4А сериядаги двигателларнинг хили ва ўлчамларини белгилашнинг янги системаси қабул қилинган. Масалан, 4АН200М4У3 қуйидагини англатади: уч фазали қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигатель, ҳимояланган IV серия, станина ва қалқони чўяндан ясалган, айланиш ўқининг баландлиги 200 мм, станина узунлиги бўйича ўрнатилган ўлчами M, тўрт қутбли, иқлим шароитига мослаб ясалган V (мўътадил иқлим), учинчи категория.

Сирпаниши оширилган двигателларда серия белгисидан кейин қўшимча „С“ белгиси қўйилади (4АС200 6У3). Кўп тезликли двигателларнинг белгиланишида қутблар сони келтирилган бўлади (4А200М12/8/2/6/4У3). Фаза роторли двигателларда 4А ёки 4АН, кейин „К“ белгиси қўйилади (4АНК280М4У3). Кам шовқинли двигателнинг белгиланишида қутблар сонидан кейин „Н“ белгиси қўйилади (4А160М6НУ3).

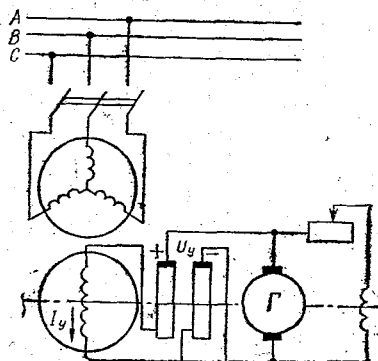
## 10-606. СИНХРОН МАШИНАЛАР

### 10.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР. СИНХРОН МАШИНАЛАРНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Айланиш тезлиги ( $n$ ) ўзгармас бўлиб, статор тоқининг частотаси  $f = \frac{pn}{60}$  нисбат орқали боғлиқ бўлган ўзгарувчан ток машинаси *синхрон машина* деб аталади.



10.1- расм.



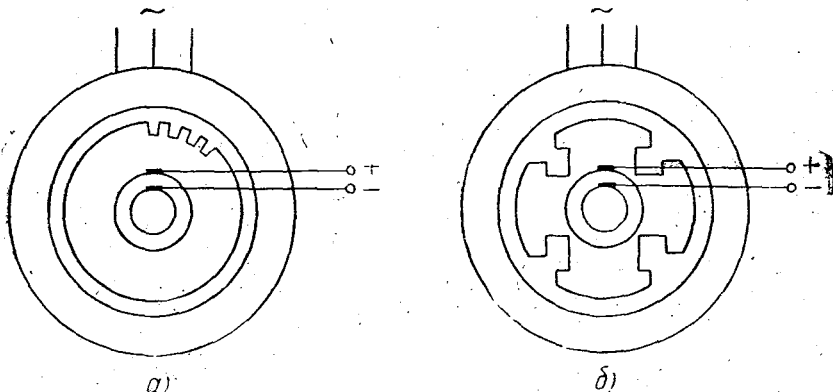
10.2- расм.

Синхрон машиналар электр генераторлари, двигателлари ва реактив қувват компенсаторлари сифатида ишлатилади. Барча электр машиналари каби улар ҳам қайтувчанлик хусусиятига эга. Синхрон машиналар, асосан, барча электр станцияларда уч фазали электр генераторлари сифатида ишлатилмоқда. Замонавий иссиқлик электр станцияларида қуввати 800 кВа ва ундан ортиқ бўлган генераторлар ўрнатилган. Гидравлик электр станциялардаги генераторларнинг қуввати бирмунча кам бўлиб, 500 — 600 кВА ни ташкил этади. Атом электр станцияларида эса битта блокнинг қуввати 1,5 минг МВА га этади.

Статор ва ротор синхрон машинанинг асосий қисмлари ҳисобланади. Статорнинг ўзаги ўзаро изоляцияланган электро-техник пўлат япроқчалардан йиғилган бўлиб, цилиндрсимон яхлит корпуснинг ички сиртига маҳкамланади. Статор ўзагининг ички қисмидаги пазларга уч фазали ўзгарувчан ток чулғамлари жойлаштирилади (10.1-расм).

Машина ўқиға маҳкамланган контакт ҳалқаларига ротор чулғамининг икки учи маҳкамланган бўлиб, ҳалқалар сиртида кўзгалмас ток уловчи чўткалар сирпанади. Ротор учун доимий ток манбаи сифатида қуввати унча катта бўлмаган ўзгармас ток генератори — уйғотгич ишлатилади. Одатда, уйғотгичнинг қуввати синхрон машина қувватининг (1 — 3)% ини ташкил этади. Айрим ҳолларда синхрон генератор ҳосил қилган токни тўғрилаш йўли билан доимий ток ҳосил қилинади. 10.2-расмда синхрон машинанинг электр схемаси тасвирланган 10.3-расмда эса синхрон машинанинг асосий турлари кўрсатилган.

Яққол кўринадиган қутбли синхрон машиналарни тайёрлаш технологиясини ҳамда конструкциясининг механик мустаҳкам-



10.3-расм

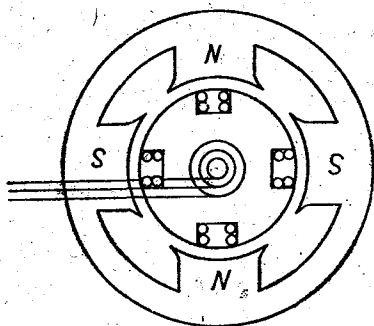
лигини таъминлаш учун уларни айланиш тезлиги 1000 айл/мин дан кам бўлган ҳолларда ишлатиш учун тавсия этилади. Аниқ намоён қутбли генераторнинг бирламчи двигатели сифатида, кўпинча, гидравлик турбина ишлатилади. Шунинг учун бундай генераторлар *гидрогенераторлар* деб аталиб, уларнинг айланиш тезлиги 60 дан 750 айл/мин оралиғида бўлади. Тезликнинг бундай катта оралиқда ўзгариши гидростанцияларда сув босими ва исрофининг турлича бўлиши билан боғлиқдир. Гидрогенератор қутбларининг сони гидротурбинанинг тезлигига боғлиқ ҳолда бир неча ўнтагача бўлиши мумкин (10.3-расм, б). Масалан, турбинанинг айланиш тезлиги 75 айл/мин ва стандарт частота 50 Гц бўлганда  $P = 60 f / n_2 = (60 \cdot 50) / 75 = 40$  жуфт қутб ёки 80 та қутб бўлади.

Яққол кўринмайдиган қутбли машиналар, асосан, роторнинг айланиш тезлиги катта 1500, 3000 айл/мин бўлганда қўлланилади. Бундай машина роторининг конструкцияси бўртиб чиқмаган қутб сифатида, яъни уйғотиш чулғами жойлаштирилган пазли цилиндрсимон шаклда ясалади (10.3-расм, а). Яққол кўринмайдиган қутбли генераторларнинг бирламчи двигатели сифатида буғ турбинаси қўлланилгани учун бундай генераторлар *турбогенераторлар* деб аталади.

Синхрон двигателлар қуввати бир неча ўн минг киловаттгача ва яққол кўринадиган қутбли қилиб чиқарилади.

Синхрон машиналарнинг ишлаш принципи ротор чулғамига ўзгармас ток берилганда, ўзгармас магнит майдони ҳосил бўлиши ва ротор билан бирга айланиб статор чулғамларини кесиб ўтиб, уларда частотаси  $f$  га тенг бўлган ЭЮК индукциялашига асосланган.

Агар статор чулғамларига нагрузка қаршилиги  $Z_n$  ни уласак, генераторнинг фаза чулғамларида ҳосил бўлган  $i_A$ ,  $i_B$  ва



10.4-расм.

$i_c$  тоқлар тезлиги ( $n_1 = \frac{e0f}{p}$ ) ротор тезлигига тенг бўлган айланувчан магнит майдони ҳосил қилади. Шунинг учун бундай электр машиналар, роторнинг айланиш тезлиги статор магнит майдонининг айланиш тезлигига тенг бўлгани учун, синхрон машиналар деб юритилади. Қуввати нисбатан катта бўлмаган (100 кВА гача) машиналарнинг ўзгармас ва ўзгарувчан ток чулғамлари, кўпинча ўзаро ўрин алмашган бўлади (10.4-расм). Истеъ-

молчи уланадиган чулғам роторга, уйғотиш чулғами эса статорга жойлаштирилади.

**10.2. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ САЛТ ИШЛАШИ, НАГРУЗКАЛИ ИШ РЕЖИМИ, ЯКОРЬ РЕАКЦИЯСИ.**

Аввалги параграфда кўриб ўтилганидек, синхрон машинанинг магнит майдони оқими, уйғотиш чулғамининг ( $\bar{F}_y$ ) ва статор чулғамининг МЮК ларининг биргаликда таъсири натижасида ҳосил қилинади. Генератор салт ишлаганда магнит майдони оқими фақат уйғотиш токи ёрдамида ҳосил қилинади, яъни  $\Phi_{\text{нат}} = \Phi_y$  бўлиб, статор фаза чулғамларида роторнинг қутб ўқи бўйича йўналган ЭЮК ни индукциялайди, яъни

$$E_0 = 4,44 f K^0 \omega_1 \Phi_y.$$

Асосий магнит майдон оқими уйғотиш токига пропорционал бўлгани учун ЭЮК қийматини уйғотиш токи қийматини катта диапазонда ўзгартириб, ростлаш мумкин.

Статор чулғамларида индукцияланувчи ЭЮК нинг частотаси  $f = \frac{p \cdot n}{60}$  эканлигини билган ҳолда

$$E_0 = 4,44 \frac{K_{01} \cdot \omega_1 \cdot p}{60} \Phi_y \cdot n = c_E n \Phi_y,$$

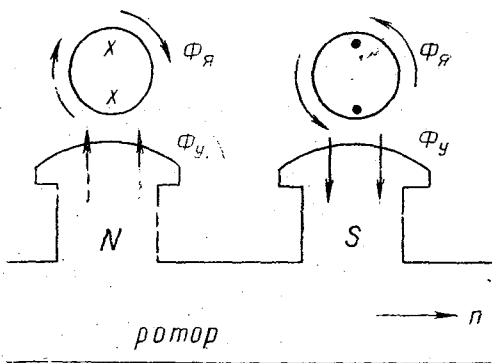
деб ёзиш мумкин, яъни синхрон машинанинг ЭЮК магнит майдони оқимига ҳамда айланиш тезлигига пропорционалдир.

Генератор юкланиш билан ишлаганда статор чулғамларидан оқиб ўтаётган ток роторнинг асосий магнит майдони оқимига тесқари йўналган магнит оқимини ҳосил қилиши натижасида якорь реакцияси ҳосил бўлади.

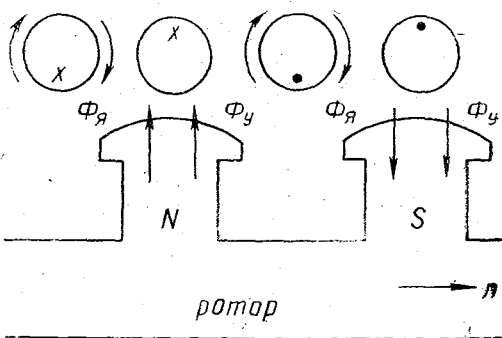
Турли юкланишлар учун якорь реакцияси таъсирини акс таъсирини кўриб чиқамиз.

**Актив истеъмолчи** ( $\varphi=0$ ). 10.5- расмда роторнинг икки қутби ва статор чулғами кўрсатилган. Роторнинг расмда кўрсатилган стрелка йўналиши бўйича ҳаракатланиши натижасида статор чулғамларида ўтказгични юқори қисмида кўрсатилган изланишда индукцияланган ЭЮК ҳосил бўлади. Кўрилатган ҳолда статор токнинг йўналиши ЭЮК йўналиши билан мос тушгани учун унинг йўналишини ҳам ЭЮК йўналишини кўрсатгандек, ўтказгичнинг пастки қисмида кўрсатамиз. Қарама-қарши йўналган  $\Phi_{\text{я}}$  (иккиламчи статорнинг магнит оқими) таъсирида ҳам бир қутбнинг ярми магнитсизланади, иккинчи ярми эса магнитланади. Бу ҳолда статорнинг магнит майдони кўндаланг майдон, деб ҳисобланади. Якорь реакцияси умумий магнит майдони ўқининг айланиш йўналиши бўйлаб силжишига сабаб бўлади. Тўйинишнинг таъсири тўфайли умумий магнит майдони бироз сусаяди: қутбларнинг яқинлашаётган қисмида кўпроқ сусайиб, узоқлашаётган қисмида кучаяди.

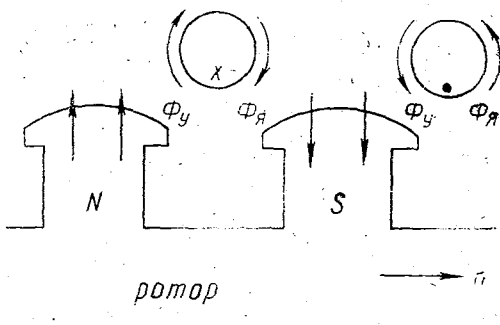
**Индуктив истеъмолчи** ( $\varphi = \pi/2$ ). Статордаги фаза токи ро-



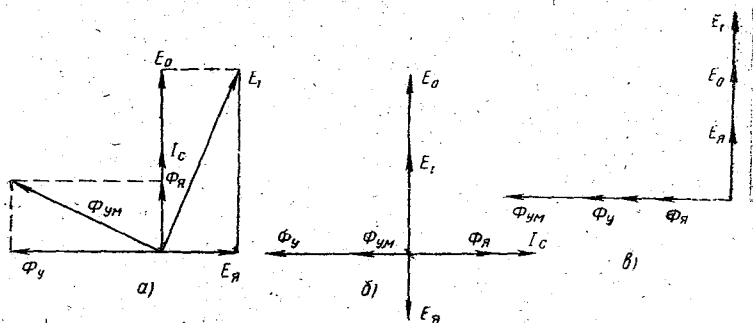
10.5- расм.



10.6- расм.



10.7- расм.



10.8-расм.

тор қутби  $\pi/2$  ёки  $90^\circ$  градусга илгарилаб кетгандагина ўзининг максимал қийматига эришади, чунки токнинг мусбат максимум қийматига ЭЮК нинг мусбат максимум қиймати мөс келади. 10.6-расмдан кўришиб турибдики, статор ма нит майдонининг оқими ротор қутби бўйича йўналган бўлиб, ротор майдони оқимига қарама-қарши йўналгандир. Бундай якорь реакцияси кўндаланг магнитсизловчи якорь реакцияси деб аталади.

**Сигимли истеъмолчи ( $\varphi = -\pi/2$ ).** Статор токи ўзининг максимум қийматига ротор қутби фаза чулғами ўртасидан  $\pi/2$  масофада бўлганда эришади, яъни ЭЮК ўзининг мусбат энг катта қийматига токнинг мусбат энг катта қийматидан сўнг эришади. Бундай ҳолда якорь реакцияси бўйлама магнитловчи бўлади.

Келтирилган ҳоллар учун якорь реакциясининг таъсири 10.8-расмда келтирилган ЭЮК, магнит оқими ва тоklarнинг вектор диаграммаси орқали намоиш қилинган. 10.8-расм, а да кўрсатилгандек, актив истеъмолчи учун якорь реакцияси кўндалангдир.

10.8-расм, б ва в да кўрсатилгандек, якорь реакцияси бўйлама бўлиб, индуктив истеъмолчи ҳолида натижавий магнит оқими, бинобарин ЭЮК ни ҳам камайтиради. Сигимли истеъмолчи ҳолида эса натижавий магнит оқими, яъни ЭЮК ҳам ошади. Юқорида айтилган хулосаларни умумий ҳолда  $-\frac{\pi}{2} <$

$< \varphi < \frac{\pi}{2}$  бўлганда ҳам қўллаш мумкин. Бунда индуктив ток (актив-индуктив истеъмолчи) ЭЮК ни камайтириб, машинани магнитсизлайди, сигим токи (актив-сигимли истеъмолчи) машинани магнитлаб, ЭЮК ни оширади.

### 10.3. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ЭЛЕКТР ҲОЛАТИ ТЕНГЛАМАСИ ВА СОДДАЛАШТИРИЛГАН ВЕКТОР ДИАГРАММАСИ

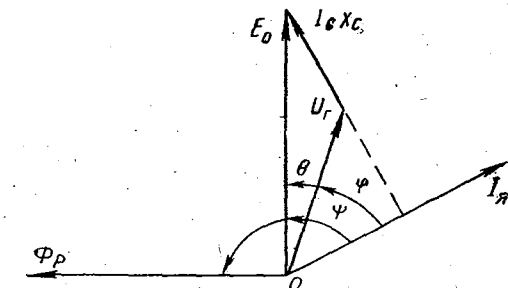
Синхрон машинадаги магнит оқимларини алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик. Роторнинг магнит оқими статор чулғамида салт ишлаш ЭЮК  $E_0$  ни ҳосил қилса, ротор орқали ва ҳаво



бўшлиғи орқали бири-кадиган статор сочилиш оқими сочилиш ЭЮК  $E_c$  ни ҳосил қилади. Якорь реакцияси туфайли ҳосил бўлган магнит оқими эса статор чулғамида якорь реакцияси ЭЮК  $E_a$  ни ҳосил қилади.

Статор магнит оқими туфайли пўлат ўзакнинг тўйиниш

таъсирини ҳисобга олмасак ва статор магнит майдон оқими статор токига пропорционал эканлигини ҳисобга олган ҳолда сочилиш ЭЮК ини қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:



10.9- расм.

$$\bar{E}_c = -j\bar{I}_1 X_c, \quad (1)$$

бу ерда  $X_c$  — статор чулғамининг сочилиш оқими туфайли ҳосил бўлган индуктив қаршилиги.

Якорь реакциясининг ЭЮК ини эса статор чулғамида индукцияланган ўзиндукция ЭЮК деб қараш мумкин:

$$\bar{E}_a = -j\bar{I}_1 X_a, \quad (2)$$

бу ерда  $X_a$  — статор чулғамининг индуктив қаршилиги.

Синхрон генераторнинг электр ҳолати тенгламасини чулғамнинг актив қаршилигини ҳамда (1) ва (2) ларни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 + \bar{E}_c + \bar{E}_a - \bar{I}_1 r_c$$

ёки

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_1 X_c - j\bar{I}_1 X_a - \bar{I}_1 r_c.$$

Сочилиш ЭЮК  $\bar{E}_c$  ва якорь реакцияси ЭЮК  $\bar{E}_a$  ток  $\bar{I}_c$  га нисбатан  $\pi/2$  радианга силжиганлигини ҳисобга олиб, ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_c (X_p + X_c) - \bar{I}_c r_c.$$

Сочилиш оқими ва якорь реакциясини ҳисобга оладиган  $X_p + X_c = X$  катталиқ *синхрон индуктив қаршиллик* деб аталади. Бинобарин,

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_c X - \bar{I}_c r_c.$$

Генератор номинал юкланганда индуктив кучланишнинг пасаювчи ( $I_c X_c$ ) фаза кучланиши номинал қийматининг  $10 \div 15\%$  ини ташкил этади. Статор чулғамининг актив қаршилиги нисбатан кичик бўлиб, ундаги кучланишнинг пасаюви  $I_c r_c$  генератор номинал юкланганда  $(1 \div 2)\%$  ни ташкил эа-

ди. Шунинг учун актив қаршиликдаги кучланиш пасайишини ҳисобга олмаган ҳолда

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_c X,$$

деб ҳисоблаш мумкин.

Синхрон генераторнинг содалашгирилган вектор диаграммасини қуриш учун роторнинг магнит оқими вектори  $\bar{\Phi}_p$  ни бошланғич вектор сифатида қабул қилишимиз мумкин. Салт ишлаш ЭЮК ининг вектори  $\bar{E}_0$  эса  $\bar{\Phi}_p$  дан  $\pi/2$  га кечикади.

Статор токи вектори  $\bar{I}_c$  салт ишлаш ЭЮК ининг вектори  $\bar{E}_0$  дан

$$\varphi = \arctg \frac{X + X_n}{r_c + r_n}$$

ифода билан аниқланувчи  $\varphi$  бурчакка кечикади. Бу ерда  $X_n$  ва  $r_n$  генератор юкланишининг индуктив ва актив қаршилиги.

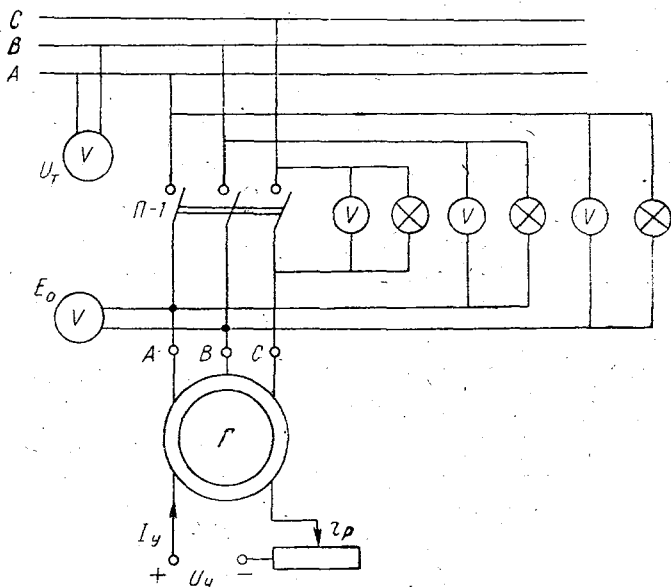
Реактив кучланишнинг пасаювчи ( $j\bar{I}_c X$ ) ток векторидан  $\pi/2$  бурчакка илгарилаб келади.  $\bar{U}_r$  векторнинг ҳолатини аниқлаш учун  $\bar{E}_0$  охиридан  $\bar{I}_c$  га перпендикуляр туширамиз ва унда реактив кучланиш пасаюви векторини белгилаймиз. Ҳосил бўлган нуқтани координаталар боши билан бириктириб,  $\bar{U}_r$  кучланиш векторини аниқлаймиз.

Вектор диаграммадаги  $\varphi$  бурчакнинг қиймати юкланиш хусусиятини белгилайди:

$$\varphi = \arctg \frac{X_n}{r_n}$$

#### 10.4. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ТАРМОҚ БИЛАН ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Катта қувватга эга бўлган замонавий электр станцияларида параллел уланадиган бир нечта синхрон генераторлар ўрнатилади. Масалан, Тошкент ГРЭС ида ҳар бирининг қуввати 160 МВт бўлган 12 та турбогенератор ўрнатилган. Асосий sanoat районларида бир нечта электр станциялари ўзаро бирлаштирилиб, йирик электроэнергетик системалар ташкил этилади. Чунончи, Ўрта Осиё энргосистемаси Ўзбекистон, Туркманистон, Тожикистон, Қирғизистон ва Жанубий Қозоғистондаги барча электр станцияларини бирлаштиргандир. Шунинг учун синхрон генераторларнинг ягона (умумий) электр система (ёки тармоқ) учун ишлаши оддий иш режими ҳисобланади. Генераторнинг алоҳида битта ёки алоҳида бир гуруҳ истеъмолчилар учун ишлаши эса кам қўлланилади. Синхрон генераторлар параллел уланганда уларнинг авариясиз ҳамда барқарор ишлашини таъминлаш учун баъзи махсус шартларни бажариш талаб этилади. Биринчидан, генератор тармоққа



10.10- расм.

уланганда токнинг кескин ўзгаришига йўл қўймаслик керак. Акс ҳолда система ҳимоясининг (ёлғондан) ишга тушишига генератор ёки бирламчи двигателнинг тўхтатиб қолишига сабаб бўлади.

Бошқа генераторлар электр энергияси билан таъминлаётган уч фазали тармоққа генераторни улашни энг оддий схема 10.10- расмда кўрсатилган.

Тармоқ билан параллел ишлашга уланаётган генератор ЭЮКнинг оний қиймати уланаётган вақтда манба кучланишининг оний қийматига тенг бўлиши керак, яъни:

$$U_m \sin(\omega_1 t - \alpha_1) = E_{cm} \sin(\omega_r t - \alpha_r).$$

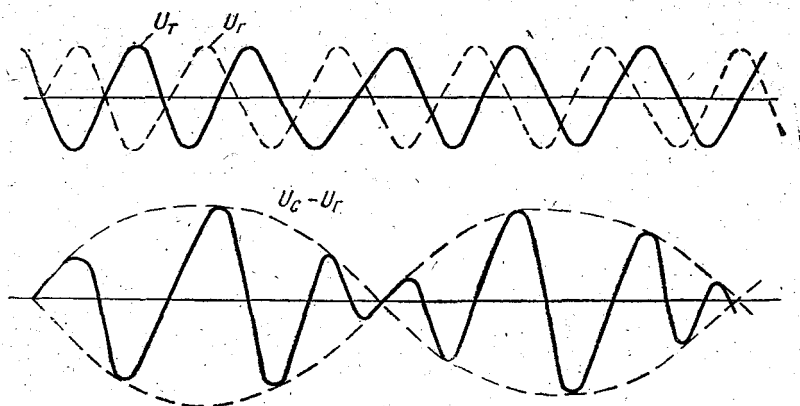
Бу эса қуйидаги уч шарт бажарилганда амалга ошиши мумкин:

— манба кучланиши ва генератор ЭЮК ининг амплитуда ёки эффектив қийматлари ўзаро тенг ( $U_{TM} = E_{rM}$  ёки  $U_T = U_r$ ) бўлиши;

— уларнинг частоталари тенг ( $\omega_T = \omega_r$  ёки  $f_T = f_r$ ) бўлиши;

—  $\vec{U}_T$  ва  $\vec{E}_r$  векторлар фаза жиҳатдан мос тушганда бошланғич фазаларнинг тенг ( $\alpha_T = \alpha_r$ ) бўлиши.

Бундан ташқари, уч фазали генераторларда тармоқ билан генератор учун фазалар алмашиши тартибини мослаштириш керак. Мазкур барча талабларни бажариш *синхронлаш* деб аталади.



10 11- расм.

Уланаётган генераторни синхронлаштириш қуйидагича амалга оширилади. Бирламчи двигатель ёрдамида генератор тахминан синхрон тезликкача айлантрилади, ростлаш реста-ти ёрдамида унинг (генераторининг) ЭЮК шундай ўзгартири-ладики, бунда генератор қисмларига уланган вольтметр манба кучланишига тенг қийматни кўрсатсин. Бунда генераторнинг фазалар кетма-кетлиги тармоқ фазалари кетма-кетлиги билан мос тушиши керак. Рубильник П-1 улашдан олдин генера-торнинг частотасини ва ЭЮК ини янада аниқроқ қилиб рост-лаш керак. Бундай ростлашда (ростланганликни кўрсатишда) П-1 рубильник қисмаларига уландиган учта чўғланма лампа ёки учта „нолинчи“ вольтметрлар ишлатилади („сўнишга улаш“ схемаси). Синхрон генератор билан тармоқ синхрон ишлаган-дагина генератор электр юритувчи кучи билан манба кучла-нишининг ўзаро тенглигини узоқ муддат таъминлаш мумкин.

Агар  $\bar{E}_0$  билан  $\bar{U}_r$  ўзаро тенг бўлса, рубильникнинг бир-номдаги қисмалари орасида потенциаллар айирмаси нолга тенг бўлиб, лампалар ёнмайди. Лекин бундай ҳолда частота-лар ўртасида озгина фарқ бўлса, у ҳолда лампалар даврий равишда ўчиб-ёниб туради. Ушбу ҳол учун 10.11-расмда ман-ба кучланишининг оний қиймати (1) ва генератор ЭЮК (2) ҳамда натижавий кучланиш (3) эгри чизиқлари келтирилган.

Генератор частотаси манба частотасига қанча яқин бўлса, лампанинг ёруғлик нури шунча секин тебранади ва ( $a$ ,  $v$ ,  $c$  нуқталарда) нисбатан узоқ муддат ёниб-ўчади. Айрим ёниб-ўчиш оралиғи нисбатан узоқ (3—5 секунд) бўлганда, лампа тўла ўчган вақтда рубильникни улаш мумкин. Вақтнинг ушбу лаҳзасини аниқ белгилаш учун ноль соҳаси кенгайтирилган „нолинчи“ вольтметрлардан фойдаланилади. Генератор манба-га улангандан кейин эса унинг айланишини синхронлаш авто-матик тарзда давом этади.

## 10.5. СИНХРОН МАШИНАНИНГ ЭЛЕКТР ТАРМОҒИ БИЛАН ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Синхронлаштириш жараёни тугагандан сўнг, рубильник уланганда электр тармоғига уланган генератор салт ишлаш ҳолатида ишлай бошлайди. Синхрон машинанинг параллел ишлашини тадқиқ қилишда (10.5-расм) генератор қисмаларидаги кучланиш  $\bar{U}_r$  ва манба кучланиши доимо ўзаро тенг бўлган соддалаштирилган вектор диаграммадан фойдаланамиз. Бунда

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 = \bar{U}_r.$$

Бу ҳолда статор токи ( $I_c = 0$ ) нолга тенгдир. Бунга мос келувчи вектор диаграмма 10.12-расмда кўрсатилган.

Тармоққа уланган генератор тармоққа энергия узатиб, тармоқ юкланишининг бир қисмини ўзига қабул қилиши учун уни қандай бошқариш лозимлигини кўриб чиқамиз. Энергиянинг бир занжирдан бошқасига ўтиши учун кучланиш қийматини ўзлаштириш лозим. Бизнинг ҳолда эса генераторнинг қўзғатиш оқимини ва унинг валдаги механик қувватини бошқариш лозим.

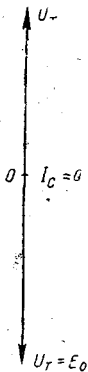
Қўзғатиш занжиридаги реостат ёрдамида қўзғатиш токининг оширилиши асосий магнит майдонининг ва у билан боғлиқ бўлган  $\bar{E}'_0$  нинг ортишига олиб келади. Натижада тенглик  $\bar{U}_r = \bar{E}_0 = \bar{U}_r$  бузилади, яъни

$$\bar{U}_r = \bar{U}_r = \bar{E}'_0 - jI_c X$$

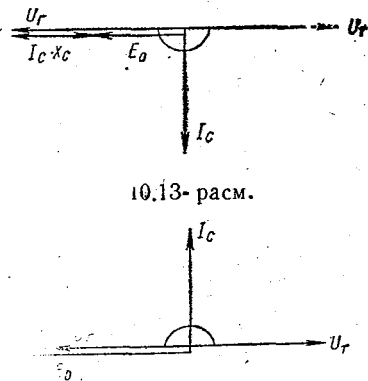
ёки

$$I_c = \frac{\bar{E}'_0 - U_r}{jX}.$$

Бундай режим учун хос бўлган вектор диаграмма 10.13-расмда кўрсатилган. Вектор диаграммадан кўриниб турибдики,  $I_c$



10.12-расм.



10.13-расм.

10.14-расм.

ток вектори генератор кучланиши  $\bar{U}_r$  дан  $\pi/2$  бурчакка кечикади ва индуктив характерга эга бўлиб, синхрон машина электр тармоғига реактив қувват беради:

$$Q = 3\bar{U}_r \bar{I}_c \cdot \sin \pi/2 = 3\bar{U}_r \bar{I}_c.$$

Натижада генератор ўта қўзғатилиб, генераторга нисбатан индуктив тенглаштирувчи (электр тармоғига нисбатан соф сифим характеридаги) ток пайдо бўлади. Бу ток индуктив истеъмолчиларни магнитлаш учун сарф бўлади, яъни генератор электр тармоғи реактив юкланишининг бир қисмини ўзига қарул қилади.

Кўрилаётган ҳолдаги (яъни  $\varphi = \pi/2$  учун) актив қувват:

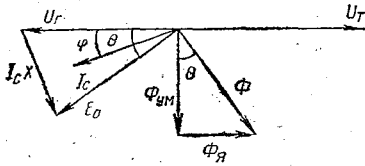
$$P = 3U_r I_c \cos \varphi = 0.$$

Агар қўзғатиш токини камайтирсак,  $\bar{E}_0$  электр тармоғи кучланишидан кичик бўлиб, вектор диаграмма 10.14-расмда кўрсатилгандек бўлади.

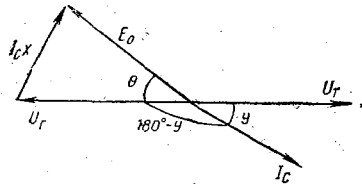
Вектор диаграммада кўрсатилгандек, энди  $\bar{I}_c$  ток вектори ўз йўналишини ўзгартириб, генератор кучланишида  $\pi/2$  бурчакка илгарилаб кетади ёки электр тармоғи кучланишидан  $\pi/2$  га кечикади. Шунинг учун генератор етарлича қўзғатилмаганда генератор кучланишига нисбатан сифим характерга, электр тармоғига нисбатан эса индуктив характерга эга бўладиган тенглаштирувчи ток юзага келади. Реактив қувват ўз ишорасини ўзгартиради ва машина электр тармоғидан ўзини магнитлаш учун реактив қувват истеъмол қила бошлайди, яъни электр тармоғи учун реактив нағрузка бўлиб қолади. Бунда ҳам, биринчи ҳолда кўриб ўтилгандек, актив қувват нолга тенгдир.

Шундай қилиб, генераторнинг қўзғатиш токини ўзгартириш билан унинг реактив қувватини ўзгартириш мумкин, актив қувватни эса қайта тақсимлаш мумкин эмас. Актив қувватни ўзгартириш учун генератор валидаги механик қувватни бошқариш лозим. Бунга, буғ турбинада буғнинг келишини, гидравлик турбинада эса сувнинг келишини бошқарадиган ростлагич (бошқариш қўрилмаси) нинг ҳолатини ўзгартириш орқали эришиш мумкин.

Бирламчи двигателнинг қуввати оширилганда роторнинг айлантирувчи моменти ортиб ротор, айланувчи магнит майдондан  $\theta$  бурчакка илгарилаб кетишга ҳаракат қилади.  $\theta$  бурчакни ротор майдони ўқи билан статор умумий магнит майдони ўқи орасидаги бурчак эканлигини кўриб ўтамиз. Бинобарин, роторнинг магнит майдони оқими ҳосил қилган  $\bar{E}_0$  ЭЮК оқим  $\bar{\Phi}_0$  дан  $\pi/2$  бурчакка, генератор кучланиши  $\bar{U}_r$  эса умумий оқим ҳосил қилиб, ундан  $\pi/2$  бурчакка кечиккани учун ротор ва статор магнит майдон ўқлари орасидаги фарқ ( $\theta$  бурчак) электр юритувчи куч ва кучланиш векторлари орасидаги



10.15- расм.



10.16- расм.

бурчакка тенгдир. Механик қувват оширилган ҳол учун (10.15-расм) ток вектори кучланиш векторидан  $\varphi$  бурчакка силжиганлигини кўрамиз. Бунда  $I_c$  токнинг актив ташкил этувчиси нисбатан катта бўлиб, генератор электр тармоғига актив қувват ( $P = 3U_T I_c \cos \varphi$ ) бера бошлайди. Натижада унинг валидаги айлантирувчи момент билан мувозанатлашувчи электромагнит тормоз momenti таъсир эта бошлайди ва роторнинг айланиш тезлиги ўзгармай қолади.

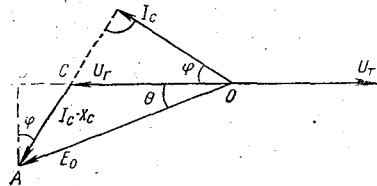
Агар ротор ўқига ташқи тормозловчи момент таъсир этса, роторнинг магнит майдони ўқи, статор майдони ўқидан  $\theta$  бурчакка кечикади. Натижада  $E_0$  вектори  $U_T$  вектордан мазкур бурчакка кечика бошлайди. Вектор диаграммада кўреатилгандек, (10.16-расм)  $I_c$  ток вектори  $U_T$  кучланиш векторига нисбатан  $(\pi - \varphi)$  бурчакка силжийди. Натижада электр тармоғидан  $P = 3U_T I_c \cos (180 - \varphi) = -3U_T I_c \cos \varphi$  актив қувват истеъмол қила бошлайди, машина эса двигатель режимида ишлаб, тормозловчи момент билан мувозанатлашувчи айлантирувчи момент ҳосил қилади.

Шунинг учун электр тармоғига уланган генераторлар актив қувватининг бир қисмини қабул қилиши учун сарф қилинадиган механик қувватни ошириш ло зимдир. Агар сунъий равишда машина роторни тормозласак, у автоматик равишда генератор режимидан двигатель режимига ўтади.

## 10.6. СИНХРОН МАШИНАНИНГ АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТИ

Синхрон машинанинг соддалаштирилган вектор диаграммасидан фойдаланиб, унинг айлантирувчи моментини аниқлаймиз. Қулайлик учун машинанинг генератор режимида ишлашини кўриб чиқамиз (10.17-расм).

Генераторнинг статоридаги исрофларни ҳисобга олмаган ҳолда генераторнинг роторидан статорига узатиладиган электромагнит қувват генераторнинг электр тармоққа бераётган фойдали қувватига тенг, деб ҳисоблаш мумкин,



10.17- расм.

яъни

$$P = 3U_r I_c \cos \varphi. \quad (3)$$

$\triangle OAB$  ва  $\triangle ABC$  учбурчаклардан

$$AB = I_c X \cos \varphi = E_0 \sin \theta$$

ёки

$$I_c \cos \varphi = \frac{E_0 \sin \theta}{X} \quad (4)$$

(4) ифодани (3) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$P = 3 \frac{U_r E_0}{X} \sin \theta \quad (5)$$

Бирламчи двигателъ ёрдамида генераторга берилаётган қувват:

$$P_{\text{мех}} = \omega_p M. \quad (6)$$

(5) ва (6) ифодаларни ўзаро тенглаштириб, қуйидагига эга бўламиз:

$$M = \frac{P_{\text{мех}}}{\omega_p} = 3 \frac{U_r E_0}{X \omega_p} \sin \theta. \quad (7)$$

Роторнинг бурчак тезлиги эса қуйидагига тенг:

$$\omega_p = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi f}{p} = \frac{\omega}{p}, \quad (8)$$

бу ерда  $\omega = 2\pi f$  — ўзгарувчан токнинг бурчак частотаси (8) ни (7) га қўйсак,

$$M = \frac{3p}{\omega} \cdot \frac{E_0 U_r}{X_c} \sin \theta \text{ Н} \cdot \text{м}$$

га эга бўламиз.

Шундай қилиб, синхрон машинанинг айлантирувчи моменти электр тармоғи кучланишига, статор ЭЮК ига ҳамда статор ва ротор магнит майдони ўқлари орасидаги  $\theta$  бурчак синусига тўғри пропорционал экан.

Машина  $\theta = 90^\circ$  да максимал моментга эришади:

$$M_{\text{max}} = \frac{3P E_0 U_r}{\omega X_c}.$$

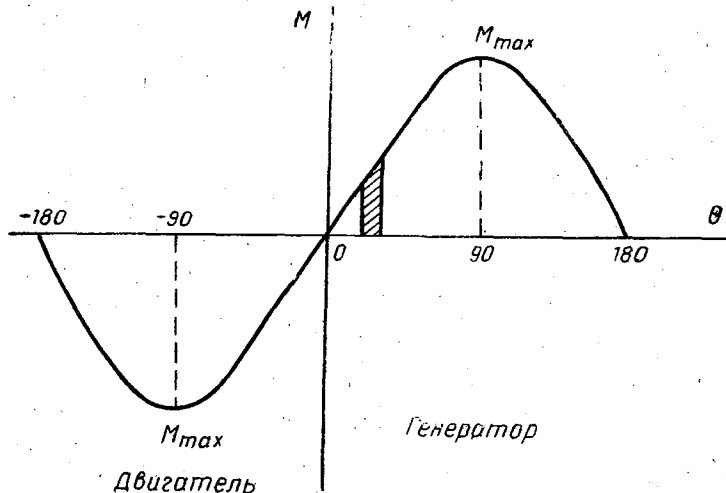
Умумий ҳолда

$$M = M_{\text{max}} \sin \theta.$$

Синхрон машинанинг параметрлари ва электр тармоғининг кучланиши ўзгармас бўлганда максимал момент қиймати ЭЮК га, яъни қўзғатиш токига боғлиқ бўлади.

$M(\theta)$  боғлиқлик синусоидал кўринишга эга бўлиб, синхрон машинанинг бурчак *характеристикаси* деб аталади (10.18-расм). Агар  $\theta > 0$  бўлса,  $M > 0$  бўлиб, синхрон машина





Ю.18- расм.

генератор режимида ишлайди, тармоққа электр қуввати уза-  
тади ва бирламчи двигатель учун тормозловчи момент ҳосил  
қила бошлайди.

Генератор режимида  $\theta$  бурчак  $0^\circ$  дан  $\pi/2$  оралиғида ўзгар-  
ганда машина барқарор ишлай бошлайди.  $\theta = \pi/2$  дан кейин  
эса бирламчи двигательнинг айлантирувчи моменти генератор-  
нинг қаршилиқ моментида катта бўлиб, генератор беқарор  
режимда ишлайди, яъни генератор синхронизмдан чиққунча  
ротор айланиши тезлаша бошлайди ( $\theta$  ортиб боради). Бунда  
стагор токи генераторни авария ҳолатига келтирадиган дара-  
жада ошиб кетади. Генератор номинал юкланганда барқарор  
ишлаши учун  $\theta < \pi/6$  бўлиши керак, бунда момент бўйича  
иккиланган кафолатга эга бўлади.

Агар  $\theta < 0$  бўлса, электр қувват ва электромагнит момент  
манфий бўлиб, синхрон машина электр тармоғидан энергия  
истеъмол қилади ва двигатель режимида ишлай бошлайди.  
Электромагнит момент машина валига қўйилган тормозловчи  
moment билан мувозанатловчи момент билан мувозанатлашиб,  
айлантирувчи моментга айланади.

Двигатель режимида  $\theta$  бурчак  $0$  дан  $-\pi/2$  гача ўзгарганда  
тезлик барқарор бўлиб,  $\theta$  нинг ортиши айлантирувчи момент-  
нинг камайишига олиб келади, аксинча  $\theta > 90^\circ$  да, тезлик бе-  
қарордир.

Тормозловчи момент айлантирувчи максимал моментдан  
катта бўлганда машина синхронизмдан чиқади, роторнинг  
айланиши секинлаша бошлайди, стагор токи (истеъмол қили-  
наётган ток) ошиб кетади, авария ҳолати вужудга келади.

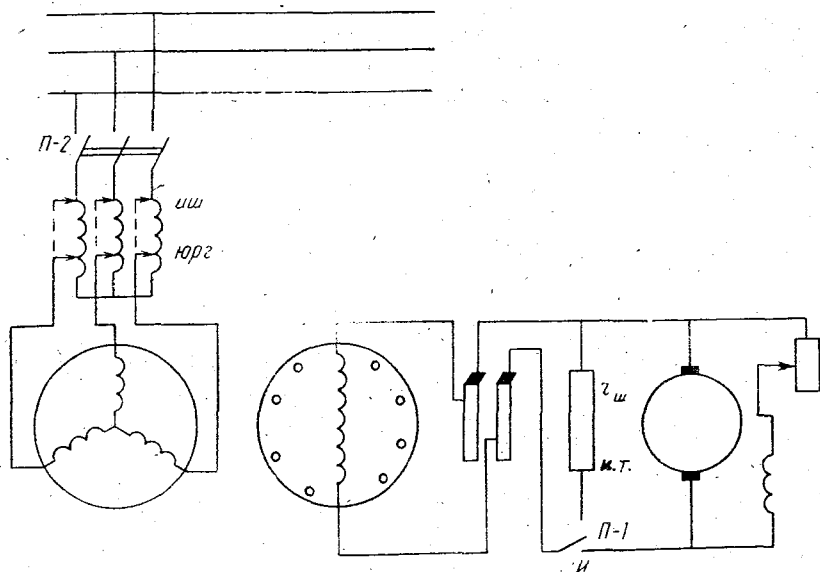
ҳимоя воситаси ишга тушади ва ҳоказо. Агар  $\theta$  бурчак  $\pi/6$  дан ошмаса, синхрон двигателъ номинал юкланиш билан барқарор ишлай бошлайди.

### 10.7. СИНХРОН МАШИНАНИНГ ДВИГАТЕЛЪ РЕЖИМДА ИШЛАШИ. ДВИГАТЕЛНИ АСИНХРОН ҚИЛИБ ИШГА ТУШИРИШ

Тармоқ билан параллел ишлаётган генераторни двигателъ режимига ўтказиш 10.5-§ да кўриб чиқилган эди. Аммо амалда электр станцияларда генераторни двигателъ режимига бундай ўтказиш жуда кам учрайди. Шунинг учун бу ерда фақат двигателъ режимида ишловчи синхрон машинани ишга тушириш масалалари кўрилади.

Жуда катта қувватли синхрон двигателни электр тармоғига тўғридан-тўғри улаб ишга тушириш мўмкин эмас. Чунки, агар двигателни тармоқда уланган лаҳзада роторнинг уйғотиш токи нолга тенг бўлмаса, у ҳолда статорнинг айланувчи магнит майдони ва роторнинг қўзғалмас магнит майдони орасида момент вужудга келади ва у роторни маълум томонга буришга ҳаракат қилади. Тармоқ ўзгарувчан токнинг ярим даврдан кейин статор майдони битта қутб бўлагига бурилади ва статор майдонининг қутблари ўзаро ўрнини алмаштиради. Шунинг вақт давомида эса, ротор механик инерция кучи туфайли ҳатто жойидан қўзғалолмайди ҳам, чунки токнинг ярим даври 0,01 с ни ташкил қилади. Яна ярим даврдан кейин эса статор ва ротор орасида роторни тескари томонга буришга ҳаракат қилувчи момент вужудга келади ва натижада ротор яна жойидан қўзғалмайди. Двигателъ эса бошланғич юргизиш ишга тушириш моментига эга бўлмайди. Демак, синхрон двигателни ишга тушириш учун унинг роторини синхрон тезликка яқин ёки унга тенг тезликкача айлантириш керак. Буни қуввати унча катта бўлмаган махсус айлантирувчи двигателъ ёрдамида амалга ошириш мўмкин. Ҳозирги вақтда бундай ёрдамчи двигателлар ишлатилмайди, чунки улар қурилманинг нархини қимматлаштиради ва синхрон двигателларнинг қўлланилишини чеклайди. Ҳозир кўп ҳолларда синхрон двигателни асинхрон двигателъ каби ишга тушириш усули қўлланади. Бунинг учун роторнинг қутб учликларига ўтказгичли стерженлар жойлаштирилади ва уларнинг учлари ҳалқалар билан туташтирилади. Натижада худди асинхрон двигателълардаги каби қисқа туташтирилган чулғам вужудга келади. Баъзи синхрон двигателларда махсус қисқа туташтирилган чулғам бўлмайди, унинг вазифасини эса улкан ротор ўзаги ўтайди.

Синхрон двигателни асинхрон тарзда ишга тушириш 10.19-расмда кўрсатилган. Статорни манбага улашдан олдин роторнинг уйғотиш чулғами қайта улагич II-н орақали  $r_m$  қаршиликка оланади (II-1 ни И. т. ҳолатга қўямиз). Шунт қаршилиги



10.19- расм.

$r_{ш}$  ротор чулғамининг актив қаршилигидан  $10 \div 15$  марта катта бўлади. Сўнгра статор чулғами уч фазали ўзгарувчан ток манбаига уланади ва унда айланувчан магнит майдони юзага келади. Мазкур майдоннинг магнит куч чизиқлари роторнинг қисқа туташган чулғамини кесиб ўтади ва унда ЭЮК индукциялайди. Ротор токнинг статор магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида айлантириш моменти вужудга келади ва у двигателни синхрон тезлик  $n_1$  дан бироз кичик тезлик  $n_2$  гача айлантиради. Сўнгра роторнинг уйғотувчи чулғами қайта улагич П-1 ёрдамида қаршилик  $r_{ш}$  дан ўзиб, уйғотгичга уланади (П-1 ни „И“ ҳолатга қўямиз). Бунда роторнинг ўзгармас магнит майдони статорнинг айланувчи магнит майдони билан ўзаро таъсир этиши натижасида вужудга келган момент двигателни синхронлашга интилади. Натижада двигатель ротори статор магнит майдони билан синхрон айлана бошлайди ( $n_2 = n_1$ ).

Ишга тушириш вақтида ротор уйғотиш чулғамининг қаршилик  $r_{ш}$  га уланиши чулғам изоляциясини шикастланишдан сақлайди, чунки уланмаган чулғамда айланувчи майдон жуда катта ЭЮК индукциялаши мумкин. Иккинчи томондан, чулғамни қисқа туташтириш ҳам мақсадга мувофиқ эмас, чунки бунда роторни секинлатувчи жуда катта бир фазали ток вужудга келади.

Синхрон двигателни ишга туширишда ишга тушириш токни камайтириш учун уч фазали автотрансформатордан фой-

даланилади (10.19-расм). Мазкур трансформатор орқали статорга камайтирилган кучланиш берилади (ишга тушириш ҳолати). Кучланишни аста-секин ошира бориб, двигателнинг сирпаниши энг кичик қийматгача камайтирилади. Сўнгра автотрансформатор дастагини „Иш“ ҳолатига ўтказиб, статор чулғамига тармоқ кучланишининг тўлиқ берилиши таъминланади. Ишга тушириш жараёни тугаши (ротор синхрон тезликда айланиши) билан қисқа туташган ишга тушириш чулғами машинанинг ишлашида қатнашмайди, чунки унда ток индукцияланмайди.

### 10.8. СИНХРОН ДВИГАТЕЛДАГИ УЙҒОТУВЧИ ТОКНИНГ ТАРМОҚ ТОКИГА ТАЪСИРИ. ДВИГАТЕЛНИНГ $U$ -СИМОН ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Синхрон машиналарнинг иш режимларидан бизга шу нарса маълумки, электр тармоқ билан параллел ишловчи синхрон генератор роторининг уйғотувчи токини ўзгартириш билан реактив токни, бинобарин, генераторнинг реактив нагрузкасини ростлаш мумкин.

Уйғотувчи токнинг ўзгариши синхрон двигателнинг иш режимига қандай таъсир қилишини кўриб чиқамиз. Жараёнларни яхшироқ тушуниш учун двигателни ўзгармас юкланиш билан ишлайди, яъни двигател валидаги қаршилик momenti ўзгармас деб ҳисоблаймиз. Вунда электромагнит қувват валдаги қувватга тенг (иерофларни ҳисобга олмаганда) ва ўзгармас бўлади:

$$P = 3U_T I_T \cos \varphi = \text{const.}$$

Агар тармоқ кучланиши  $U_T = \text{const}$  бўлса, у ҳолда  $I_T \cos \varphi = I_a = \text{const}$  бўлади.

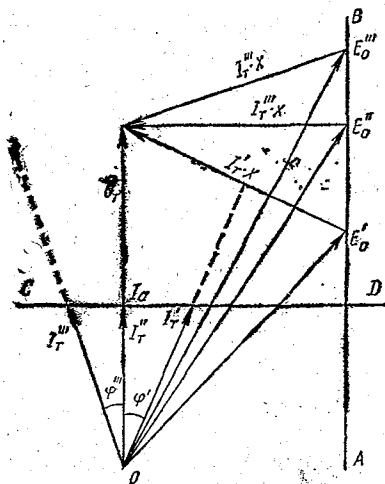
10.20-расмдан

$$I_T X \cos \varphi = E_0 \sin \theta.$$

Синхрон индуктив қаршилик  $X$  ўзгармас, деб ҳисобланса, у ҳолда

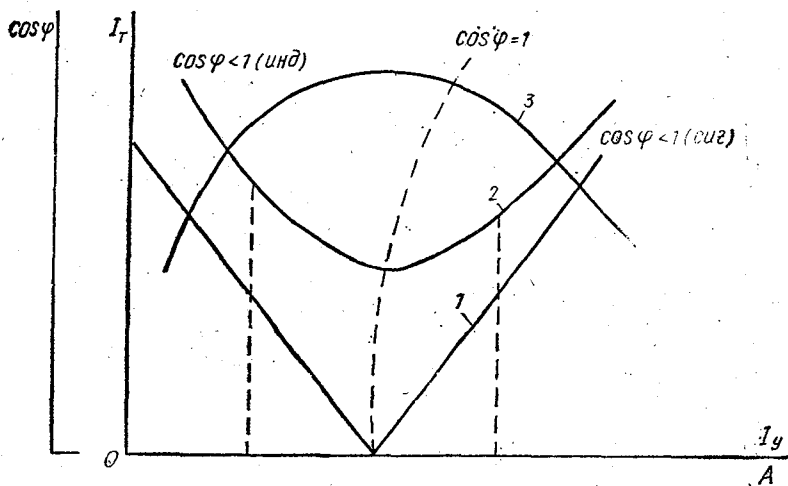
$$I_T \cdot X \cos \varphi = E_0 \sin \theta.$$

Уйғотиш токининг, демак ЭЮК  $E_0$  нинг турли хил қийматлари учун синхрон двигателнинг ток ва кучланишлар вектор диаграммаларини қурамиз (10.20-расм). Ишни тармоқ кучланиши  $U$  нинг векторини қуришдан бошлаймиз



10.20-расм.

Унча катта бўлмаган уйғо-



10.21- расм.

тиш токи  $I'_y$  дан, бинобарин  $E'_0$  да тармоқдан қабул қилинаётган ток  $I'_T$  тармоқ кучланиши  $U_T$  дан  $\varphi'$  бурчакка кечикади ( $\varphi' > 0$ ,  $\cos \varphi' < 1$  — индуктив характерда бўлади). Юқорида келтирилган тенгламалардан маълумки уйғотувчи токнинг ҳар қандай қийматларида ЭЮК векторининг охири кучланиш  $U_T$  векторига параллел равишда АВ тўғри чизик бўйича сурилади. Ток векторининг охири ДС тўғри чизик бўйича сурилади. ДС тўғри чизик эса кучланиш векторига перпендикуляр бўлади.

Кўрилган ҳолда двигатель тўйинмаган уйғотиш режимида ишлайди ва тармоққа нисбатан актив-индуктив нағрузка ва-зифасини ўтайди. Чунки бунда двигатель ўзини магнитланиши учун тармоқдан реактив қувват биргаликда ишласа, ундан ўта уйғонган режимда фойдаланиш керак. Бунда тармоқни реактив ток билан камроқ юклаш ва умумий қурилмаларнинг қувват коэффициентини яхшилаш мумкин бўлади. Двигателнинг тўйинмаган уйғотиш режимида ишлаши тежамлилик жиҳатдан фойдали эмас.

Тармоқ токи билан уйғотиш токи орасидаги  $I_T = f(I_y)$  график боғланиш  $U$ -симон характеристика деб аталади. Синхрон двигательнинг икки хил нағрузка қийматларидаги  $U$ -симон характеристикалари 10.21-расмда кўрсатилган. Характеристикаларнинг чап қисми двигательнинг тўйинмаган уйғотиш режимида, ўнг қисми эса ўта тўйинган уйғотиш режимида ишлашига мос келади. Токнинг энг кичик қийматида  $I_T = I_a$ ,  $\cos \varphi = 1$  да эришилади. 1-характеристика машинанинг салт ишлаш режими учун (исрофлар ҳисобга олинмаган) 2-харак-

теристика эса двигатель валида маълум миқдордаги механик *нагрузка*  $P$  бўлгандаги режим учун қурилган. Ушбу координаталар системасидаги эгри чизиқ  $2$  га тўғри келувчи ўзгармас *нагрузка*да қувват коэффициентининг уйғотиш токига боғлиқлиги  $\cos \varphi = f(I_y)$  ҳам акс эттирилган (эгри чизиқ  $3$ ).

### 10.9. СИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ВА АСОСИЙ СОЛИШТИРМА КЎРСАТКИЧЛАРИ

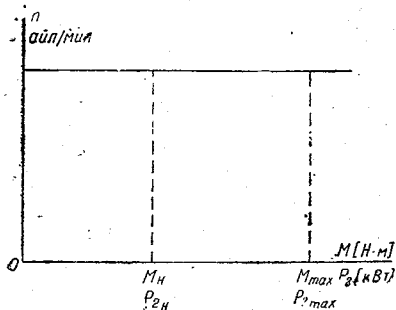
Синхрон двигательнинг ишини баҳолашда унинг иш характеристикаларидан фойдаланилади. Улар мос равишда тезлик  $n$ , айлантирувчи момент қабул қилади.

Уйғотиш токини  $I_y''$  қийматгача оширамиз. Бу қийматга ЭЮК нинг  $E_0''$  миқдори тўғри келади. Вектор диаграммадан кўринадики, двигатель қабул қилаётган ток  $I_T''$  энг кичик қиймат  $I_a$  гача камаяди ва фазаси бўйича тармоқ кучланишининг фазаси билан бир хил ( $\varphi'' = 0$ ,  $\cos \varphi'' = 1$ ) бўлади. Бу режимда двигатель актив *нагрузка* каби ишлайди, чунки тармоқдан фақат актив қувват қабул қилади.

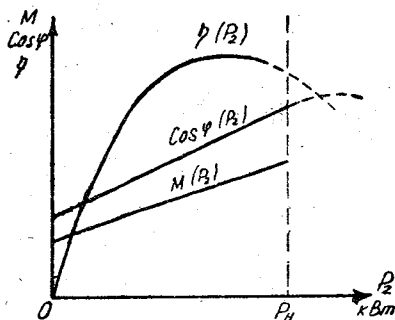
Уйғотиш токини  $I_y'''$  қийматгача оширамиз. Бунда ЭЮК  $E_0'$  га тенг бўлади. Тармоқдан қабул қилинаётган ток  $I_T'$  янада кўпаяди, шу билан бирга тармоқ кучланишидан  $\varphi'''$  бурчакка илгарилаб кетади ( $\cos \varphi''' < 1$  — сиғим характерда). Бунда двигатель ўта уйғонган режимда ишлаб, тармоқ учун актив-сиғим *нагрузка* вазифасини ўтайди ва ортиқча реактив қувватни тармоққа беради. Бу режимда двигательни ташқи қаршилик туфайли зарядланаётган конденсатор, деб қараш мумкин.

Синхрон двигательнинг мазкур учта иш режимидан кўринадики, уйғотиш токини ўзгартириш билан фақатгина қабул қилаётган ток эмас, балки двигательнинг қувват коэффициенти ҳам ўзгаради. Бундан шундай хулоса келиб чиқади: агар двигатель алоҳида электр тармоғига уланган бўлса у ҳолда уйғотиш токини  $\cos \varphi = 1$  дагидек қилиш мақсадга мувофиқдир. Агар у умумий электр тармоғига уланган бўлса ва асинхрон двигателлар билан  $M$ , қувват коэффициенти  $\cos \varphi$  ва ФИК  $\eta$  нинг двигатель валидаги қувват  $P_2$  га боғлиқ бўлган эгри чизиқлардир. Бунда тармоқ кучланиши  $U$  унинг частотаси  $f$  ва уйғотиш токи  $I_y$  ларнинг қийматлари ўзгармасдир.

Двигатель роторининг айланиш тезлиги  $n = \frac{60f}{P}$  машинанинг ҳамма иш режимларида мутлақо ўзгармас қолади. Двигательнинг механик характеристикаси, яъни тезликнинг юкланиш моментига боғлиқлиги  $n_2 = f(M)$  [ёки  $n_2 = f(P_2)$ ] абсцисса ўқиға параллел тўғри чизиқ билан ифодаланади (10.22-расм). Бундай характеристика асинхрон двигательнинг қаттиқ характеристикасидан фарқли ўлароқ мутлоқ қаттиқ деб аталади.



10.22- расм.



10.2 - расм.

Салт ишлашда момент ўзгармаслигини ҳисобга олганда двигателнинг айланиш momenti валдаги фойдали қувватга пропорционал бўлади ( $M = \frac{60P_2}{2\pi n}$ ). Шунинг учун  $M = f(P_2)$  характеристика координаталар ўқининг салт ишлаш momenti  $M$  қийматидан ўтказилган тўғри чизикни ифодалайди (10.23-расм).  $\cos \varphi = f(P_2)$  нинг ўзгариши машинани уйғотиш усули ва хусусиятига боғлиқ: номинал нагрузкада синхрон двигателлар, одатда, ўзувчи ток билан ишлашга мўлжалланади ва бунда  $\cos \varphi = 0,8 \div 0,9$  бўлади. Демак, машина ўта тўйинган уйғотиш режимида ишлаганда ( $P_2 > P_{\text{ном}}$  бўлганда)  $\cos \varphi$  максимумга эришади. Юкланиш камайганда  $\cos \varphi$  камаяди (10.23-расм).

Синхрон машиналардаги асосий қувват исрофлари статор ва ротор чулғамларидаги ўзақлардаги исрофлардан ҳамда механик исрофлардан иборат:

Статор чулғамидаги исрофлар қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P_{\text{мс}} = m I_{\tau}^2 r_c,$$

бунда  $m = 3$  — статор чулғамининг фазалар сони;  $r_c$  — битта фазасининг актив қаршилиги.

Роторнинг уйғотиш чулғамидаги исрофлар:

$$P_{\text{мр}} = I_y^2 r_y = U_y I_y,$$

бунда  $r_y$  — ротор уйғотиш занжирининг актив қаршилиги;  $U_y$  — уйғотгичнинг кучланиши.

Уйғотгичнинг ФИК  $\eta_y$  ни киритиб, уйғотгичдаги исрофларни ҳисобга олиш мумкин:

$$\Delta P_{\text{мy}} = (U_y I_y) / \eta_y.$$

Магнит исрофлар (гистерезис ва уярма тоқлар туфайли ҳосил бўлган исрофлар)  $\Delta P_y$  статор ўзагида статорнинг айланивчи магнит майдони таъсири остида юзага келади. Роторда

магнит исрофлари бўлмайди, чунки у айланма магнит майдон билан синхрон тарзда айланади.

Механик исрофлар ( $\Delta P_{\text{мех}}$ ) двигателнинг подшипниклар, сурилувчи контактлари ва айланувчи қисмларидаги ишқалавиш, шунингдек, ҳаво қаршиликларини енгиш туфайли вужудга келади.

Барча қувват исрофларини  $\Delta P$  орқали белгилаб, уч фазали синхрон двигателнинг ФИК қуйидаги ифода билан аниқлаш мумкин

$$\eta = \frac{3UI \cos \varphi - \Delta P}{3UI \cos \varphi},$$

бунда  $U$  ва  $I$  — фаза кучланиши ва токнинг таъсир этувчи қийматлари.

$\eta = f(P_2)$  — эгри чизиқ двигатель номинал юкланганда максимумга эга бўлади (10.23-расм). Катта қувватли машиналар учун  $\eta_{\text{max}} = 96 \div 99\%$ , кичик ва ўртача қувватли машиналар учун  $\eta_{\text{max}} = 88 \div 92\%$  бўлади.

Синхрон двигателлар асинхрон двигателларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга:

1. Қувват коэффициенти  $\cos \varphi = 1$  ҳамда силжиш бурчаги  $\varphi < 0$  (сигим режими) бўлган ҳолда ишлай олиши. Агар двигатель  $\cos \varphi = 0,8 \div 0,9$  ( $\varphi < 0$ ) билан ишлашга мўлжалланган бўлса, у актив қувватни қабул қилиш билан бир вақтда тармоққа реактив қувват беради (генерациялайди). Бу актив-индуктив нагрузка билан параллел ишлаганда жуда муҳимдир.

2. Двигатель валидаги механик юкланиш салт ишлашдаги максимал чегарасигача ўзгарганида айланишлар сонининг мутлақо ўзгармаслиги.

3. Двигателнинг максимал моменти тармоқ кучланишининг тебранишига кам сезгирлиги, чунки айлантирувчи момент кучланишининг биринчи даражасига пропорционалдир.

Синхрон двигателларнинг камчиликлари қуйидагилардан иборат:

1. Айланиш тезлигини фақат манба кучланишининг частотасини ўзгартириш билан ростлаш мумкинлиги,

2. Ишга туширишнинг нисбатан мураккаблиги.

3. Иккита (ўзгармас ва ўзгарувчан) таъминлаш манбаларининг талаб қилиниши.

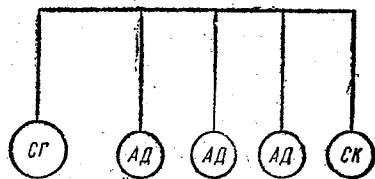
Синхрон двигателларнинг мазкур камчиликлари туфайли улар асосан, катта қувватли юритмаларда камроқ фойдаланилади. Амалда қуввати 100 кВт дан катта бўлган компрессорлар, насослар, эзиш дастгоҳлари ва бошқа юритмаларда синхрон двигателлардан фойдаланилади.

#### 10.10. СИНХРОН КОМПЕНСАТОР

Ўқида юкланиш бўлмаган, яъни режимида ўта тўйинган уйғотиш режимида фақат салт ишловчи синхрон двигатель



синхрон компенсатор деб аталади. У қувват коэффициентини яхшилаш ҳамда тармоқ кучлинишни барқарорлаш учун хизмат қилади. Электр тармоқларида индуктив характердаги нагрзука кўп бўлганида бу айниқса муҳим аҳамиятга эга бўлади. Бундай индуктив нагрзукаи асинхрон двигателлар, трансформаторлар, реакторлар, реле ва шу кабиларнинг магнитловчи индуктив токлари ҳосил қилади.



10.24-расм.

Агар тармоқда ток  $I$  бўлса, у актив реактив ташкил этувчилар ( $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$ ) дан иборат бўлади. Агар реактив ташкил этувчи оширилса,  $\cos \varphi$  камаяди. Демак, таъминловчи генераторларнинг актив қуввати ва узатиш тармоқларининг ҳамда трансформаторларнинг ўтказиш қобилияти камаяди. Шунинг учун узатиш тармоқларининг индуктив токларини компенсация қилиш мақсадида синхрон компенсаторларни қўллаш мақсадга мувофиқ бўлиб, улар генераторларни реактив токлардан қисман ҳоли қилади (10.24-расм) ва  $\cos \varphi$  ни яхшилайди:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_r - Q_{ск})^2}}$$

Одатда  $\cos \varphi$  ни  $0,92 \div 0,95$  гача оширишга ҳаракат қилинади, чунки уни бирга етказиш компенсатор қувватини жуда кўп оширишни талаб қилади. Бу эса иқтисодий жиҳатдан фойдали бўлмайди. Синхрон компенсатор ёрдамида кучлинишни барқарор қилиш токнинг реактив ташкил қилувчисини камайтириш ҳисобига узатиш тармоқларида кучланиш пасаяувини камайтириш билан амалга оширилади.

Синхрон компенсаторларни 100 МВА қувватгача ротори яққол намоён қутбли қилиб ва асинхрон ишлатишга мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Компенсаторларнинг механик иш бажариш учун хизмат қилмаслигини ҳисобга олиб, уларнинг ротор ўқлари механик жиҳатдан енгил конструкцияда, герметик қилиб ясалади. Бу эса уларни очик жойларга ўрнатиш имкониятини беради.

1-масала. Уч фазали синхрон турбогенератор номинал қувват ( $S_{ном} = 10$  МВА,  $\cos \varphi = 0,8$ ) билан  $U_n = 10$  кВ кучлинишда ишлайди. Генератор чулғамлари юлдузсимон бириктирилган. Статор фазасининг актив қаршилиги  $r_c = 0,03$  Ом, индуктив қаршилиги  $X = 1,5$  Ом. Жуфт қутблар сони  $p = 1$ . Роторнинг уйғотиш занжиридаги қувват исрофи генератор номинал қувватининг 1% ини, магнит ва механик қувват исрофлари 1,2% ини ташкил қилади. Ток частотаси  $f = 50$  Гц.

Роторнинг айланиш тезлиги  $n$ , генератор ЭЮК  $E_0$  (вектор диаграммадан график ва аналитик усулда), генератор ФИК ва генераторни айлантирувчи турбинанинг номинал қуввати топилсин.

Ечилиши: Генератор роторининг айланиш тезлиги

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ айл/мин.}$$

Генераторнинг номинал токи

$$I_{\text{с ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{л ном}}} = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} \cong 600 \text{ А.}$$

Реактив кучланишнинг пасаюви

$$U_p = I_{\text{ном}} \cdot X = 600 \cdot 1,5 = 900 \text{ В.}$$

Бу номинал фаза кучланишининг

$$U_p \% = \frac{U_p}{U_{\phi}} \cdot 100 = \frac{900 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{10000} = 15\%$$

ини ташкил қилади.

Вектор диаграммани қурамыз, бунинг учун  $0^\circ$  нуқтадан масштабга риоя қилган ҳолда фаза кучланиши  $U_{\phi}$  нинг векторини қўямиз (10.25-расм).

Ток  $I_r$  нинг векторини кечикувчи  $\varphi = 37^\circ$  бурчак билан қўямиз. Вектор  $\bar{U}_{\phi}$  нинг охиридан ток векторига перпендикуляр чизиқ ўтказамиз ва унга индуктив қаршилиқдаги кучланиш пасаювини қўямиз (актив кучланиш пасаювини ҳисобга олмаймиз). Координаталар бошини  $\bar{U}_p$  нинг охири билан тугаштирамыз ва ЭЮК вектори  $\bar{E}_{0\phi} = 6550 \text{ В}$  ни ҳосил қиламыз. Бинобарин,  $E_0 = \sqrt{3} E_{0\phi} = 1,73 \cdot 6550 = 11330 \text{ В}$ .

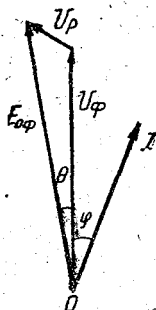
Генератор ЭЮК ини аналитик усулда аниқлаймиз.

Генераторда йўқотилган кучланиш

$$\Delta U \% = U_a \% \cos \varphi + U_p \% \sin \varphi \cong 15 \cdot 0,6 = 9\%.$$

Актив кучланишнинг пасаювини ҳисобга олмасак,

$$E_{0\phi} = U_{\phi} + \Delta U = \frac{10000}{\sqrt{3}} + \frac{9 \cdot 10000}{100 \sqrt{3}} = 6545 \text{ В.}$$



Бу эса вектор диаграммадан олинган миқдор билан бир хилдир. Генераторнинг ФИК ини ушбу ифодадан аниқлаймиз:

$$\eta \% = \frac{P_{2 \text{ ном}}}{P_{2 \text{ ном}} + \sum \Delta P} \cdot 100.$$

Генератор қисмларидаги Фойдали қувват:

$$P_{2 \text{ ном}} = S_{\text{ном}} \cos \varphi = 10000 \cdot 0,8 = 8000 \text{ кВт.}$$

10.2.-расм.

Генератордаги умумий қувват исрофи:

$$\begin{aligned}\sum \Delta P &= \Delta P_c + \Delta P_y + P_{\text{мех+маг}} = \\ &= 3I_c^2 r_c + \frac{1\%}{100} S_{\text{ном}} + \frac{1,2\%}{100} S_{\text{ном}} = \\ &= 32,4 + \frac{2,2}{100} \cdot 10000 = 252,4 \text{ кВт.}\end{aligned}$$

Бундан

$$\eta\% = \frac{8000}{8000 + 252,4} \cdot 100\% = 97\%.$$

Генераторни айлантирувчи турбинанинг қуввати:

$$P_{1 \text{ ном}} = P_{2 \text{ ном}} + \sum \Delta P = 8000 + 252,4 = 8252,4 \text{ кВт.}$$

2-масала. Параллел уланган иккита синхрон генератор  $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = 0,6$  бўлганда бир хил нагрузка  $I_1 = I_2 = 400 \text{ А}$  га эга. Уйғотиш токини ва биринчи генератор турбинасининг айлантириш моментини ўзгартириш билан нагрузкаларни қайта тақсимлаш амалга оширилдики, натижада биринчи генераторнинг токи  $I'_1 = 440 \text{ А}$ , унинг қувват коэффициенти  $\cos \varphi'_1 = 1$  бўлди. Иккинчи генераторнинг уйғотиш токини ва бирламчи двигателнинг бераётган қувватини шундай ўзгартириш керакки, натижада улар учун умумий бўлган тармоқ кучланиши  $U = 10 \text{ кВ}$  нинг ўзгармаслиги таъминлансин. Биринчи ва иккинчи ҳолларда ҳар бир генератор орқали тармоққа берилаётган актив қувватлар  $P_1$  ва  $P_2$  аниқлансин. Ҳар бир ҳол учун вектор диаграмма қурилсин.

*Ечилиши.* Умумий токнинг актив ташкил этувчиси

$$I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 = I \cos \varphi = 400 \cdot 0,6 + 400 \cdot 0,6 = 480 \text{ А.}$$

Биринчи генераторнинг режими ўзгаргандан кейин ундаги токнинг актив ташкил этувчиси:

$$I'_1 \cos \varphi'_1 = 440 \cdot 1 = 440 \text{ А.}$$

Иккинчи генераторнинг режими ўзгаргандан кейин, ундаги токнинг актив ташкил этувчиси:

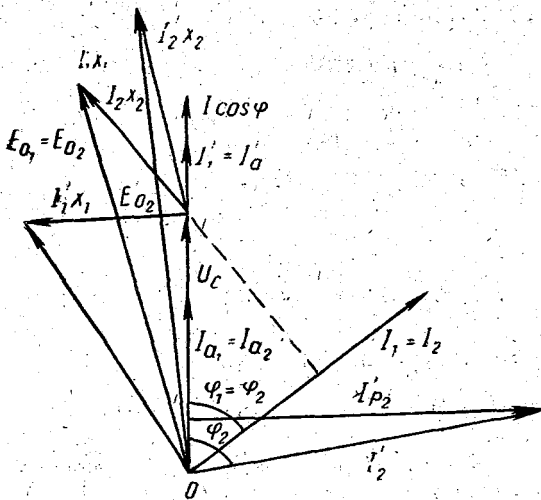
$$I'_2 \cos \varphi'_2 = I \cos \varphi - I'_1 \cos \varphi'_1 = 480 - 440 = 40 \text{ А.}$$

Ўзгарган режимда иккинчи генератор токнинг реактив ташкил этувчиси:

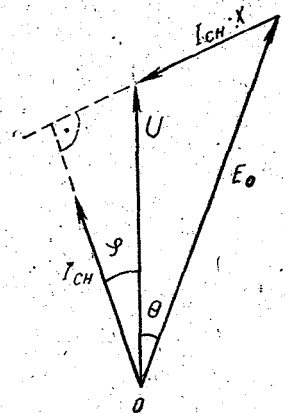
$$I'_2 \sin \varphi'_2 = I \sin \varphi - I'_1 \sin \varphi'_1 = 800 \cdot 0,8 = 640 \text{ А.}$$

Иккинчи генераторнинг ток кучи:

$$I'_2 = \sqrt{(I'_2 \cos \varphi'_2)^2 + (I'_2 \sin \varphi'_2)^2} = 645 \text{ А.}$$



10.26- расм.



10.27- расм.

Иккинчи генераторнинг қувват коэффициенти:

$$\cos \varphi'_2 = \frac{I'_2 \cos \varphi'_2}{I'_2} = \frac{40}{645} = 0,06.$$

Генераторларнинг актив қувватлари:

$$P_1 = P_2 = \sqrt{3} U I_2 \cos \varphi_2 = \sqrt{3} U I_1 \cos \varphi_1 = 1,73 \cdot 10000 \cdot 400 \cdot 0,6 = 4142 \text{ кВт};$$

$$P'_1 = \sqrt{3} U I'_1 \cos \varphi'_1 = 1,73 \cdot 10000 \cdot 400 = 7612 \text{ кВт};$$

$$P'_2 = \sqrt{3} U I'_2 \cos \varphi'_2 = 1,73 \cdot 10000 \cdot 40 = 692 \text{ кВт}.$$

Текшириш:

$$P = P_1 + P_2 = 4152 + 4152 = 8304 \text{ кВт};$$

$$P' = P'_1 + P'_2 = 7612 + 692 = 8304 \text{ кВт}.$$

Вектор диаграммани қурамиз (10.26- расм).

3- масала. Уч фазали синхрон двигателъ қуйидаги номинал параметрларга эга:  $P_{\text{ном}} = 800 \text{ кВт}$ ;  $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ айл/мин}$ ;  $\eta_{\text{ном}} = 93\%$ ;  $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,9$  ( $\varphi < 0$ ) тармоқнинг линия кучланиши  $U_{\text{л}} = 10000 \text{ В}$ . Статор чулғамлари „юлдуз“ схемада уланган. Уйғотиш токи номинал режимда  $E_0 = 1,3U_{\text{ф}}$  ни ҳосил қилади. Тармоқ частотаси  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Қуйидагилар: статорнинг номинал токи; жуфт қутблар сони; двигателнинг берилган иш режими учун вектор диаграммаси қурилсин ва ундан статор чулғамининг реактив қаршилиги аниқлансин.  $E_0$  қийматлари  $0,8U_{\text{ф}}$ ;  $0,9U_{\text{ф}}$ ;  $1,2U_{\text{ф}}$ ;  $1,5U_{\text{ф}}$

га тенг бўлганда (ўзгармас нагруккада) векторлар диаграммаси қурилсин ва қабул қилинаётган ток қийматлари ва фаза силжиш бурчаклари  $\varphi$  топилсин;  $U$ -симон характеристика  $I_c = f(I_y)$  ва бурчак боғланиши  $\varphi = f(I_y)$  лар қурилсин. Уйғош токнинг айрим қийматлари қуйида келтирилган.

$E_0\%$	58	87	100	120	132
$I_y\%$	50	80	100	150	200

Ечилиши. Статорнинг номинал токи

$$I_{c \text{ ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{н}} \eta_{\text{ном}}} = \frac{800 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,93} = 55 \text{ А.}$$

Жуфт қутблар сони:

$$p = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Двигателнинг берилган иш режими учун векторлар диаграммасини қурамиз (10.27-расм). Бунинг учун қуйидагиларни аниқлаймиз:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5800 \text{ В;}$$

$$E_0 = 1,3U_{\phi} = 1,3 \cdot 5800 = 7550 \text{ В;}$$

$$\varphi = \arccos 0,9 = -25^{\circ}.$$

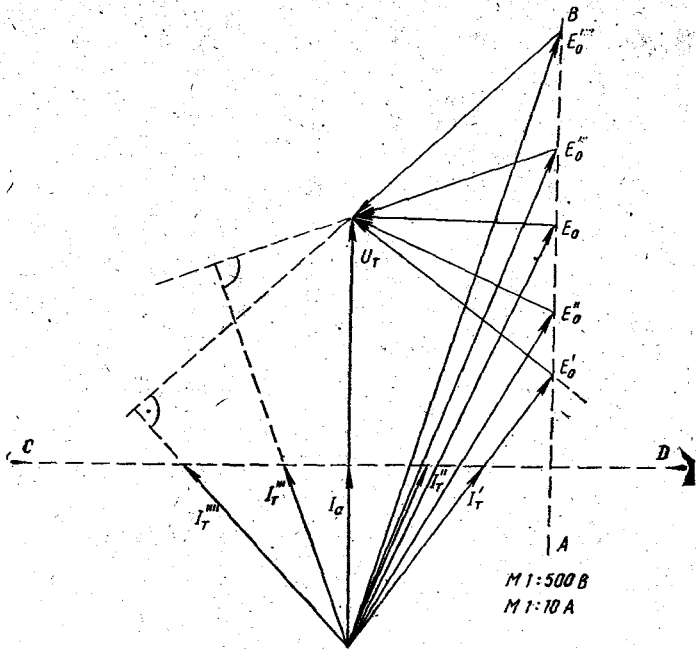
Кучланиш масштабини 1:1000 В, ток масштабини 1:10 А қилиб оламиз.

Ҳосил қилинган миқдор  $I_{c \text{ ном}} - X = 2,75$  см га тенг ёки 2750 В. Бундан

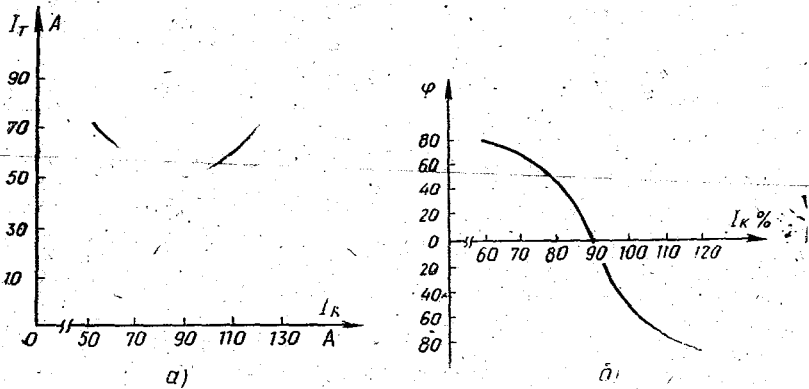
$$X = \frac{2750}{I_{c \text{ ном}}} = \frac{2750}{55} = 50 \text{ Ом.}$$

Берилган қийматлар:  $E_0 = 4650 \text{ В; } 5220 \text{ В; } 6400 \text{ В; } 6960 \text{ В; } 7550 \text{ В; } 8700 \text{ В}$  учун векторлар диаграммасини қурамиз (10.28-расм). Диаграмма бўйича  $U$ -симон характеристикаларни қуриш учун қуйидаги жадвални тузамиз ва ундан фойдаланган ҳолда  $I_c = f(I_y)$  ва  $\varphi = f(I_y\%)$  характеристикаларни қурамиз (10.29-расм).

$E_0$	В	4650	5220	6400	6960	7550	8700
$I_y$	%	61,5	69	85	92	100	115
$I_c$	А	70	58	51	54	55	70
$\varphi$	град	70	50	0	-35	-45	-66



10.28- расм.



10.29- расм.

4- масала. Корхонада умумий қуввати 1000 кВт бўлган асинхрон двигателлар ўрнатилган. Корхонанинг ўртача қувва коэффициентини  $\cos \varphi_{\text{ўр}} = 0,77$ . Электр жиҳозлар подстанцияда линия кучланиши ( $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ ) билан таъминланади. Энерги келувчи симлардаги қувват исрофи  $\Delta P_{\text{л}} = 60 \text{ кВт}$  ни, фаза синининг қаршилиги  $r_{\text{л}} = 0,005 \text{ Ом}$  ни ташкил этади. Қувва коэффициентини  $\cos \varphi' = 0,95$  қиймагача ошириш учун синх

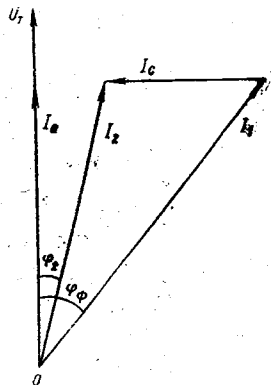
рон компенсатор ўрнатиш мўлжалланган. Агар компенсатордаги актив исрофлар унинг реактив қувватининг 3% ини ташкил қилса унинг тўла қувватини ҳамда компенсатор улангандан кейин энергия келувчи симлардаги қувват исрофини аниқланг.

*Ечилиши.* Компенсаторнинг реактив қуввати

$$Q_{ск} = P_{ал} (\operatorname{tg} \varphi_{ур} - \operatorname{tg} \varphi') = 1000 (0,84 - 0,33) = 510 \text{ кВАр.}$$

Компенсатордаги актив қувват исрофи:

$$\Delta P_{ск} = 0,03 Q_{ск} = 0,03 \cdot 510 = 15,3 \text{ кВт.}$$



10.30-расм.

Компенсацияга қадар линиялардаги ток кучи:

$$I_1 = \frac{P_{ал}}{\sqrt{3} U_{л} \cos \varphi_{ур}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,77} = 1990 \text{ А.}$$

Компенсаторнинг тўла қуввати:

$$S_{ск} = \sqrt{\Delta P_{ск}^2 + \Delta Q_{ск}^2} = \sqrt{15,3^2 + 510^2} = 512 \text{ ВА.}$$

Компенсатор ўрнатилгандан кейин линиялардаги ток кучи

$$I'_1 = \frac{P_{ал}}{\sqrt{3} U_{л} \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,95} = 1600 \text{ А.}$$

Ўтказувчи симлардаги компенсация қилинмасдан ва қилингандан кейинги қувват исрофлари:

$$\Delta P_{л} = 3 I_{л}^2 r_{л} = 3 \cdot 1990^2 \cdot 0,05 = 60 \text{ кВт;}$$

$$\Delta P'_{л} = 3 (I'_{л})^2 r_{л} = 3 \cdot 1600^2 \cdot 0,05 = 38,5 \text{ кВт.}$$

Подстанциянинг қувват бўйича тежамлилиги

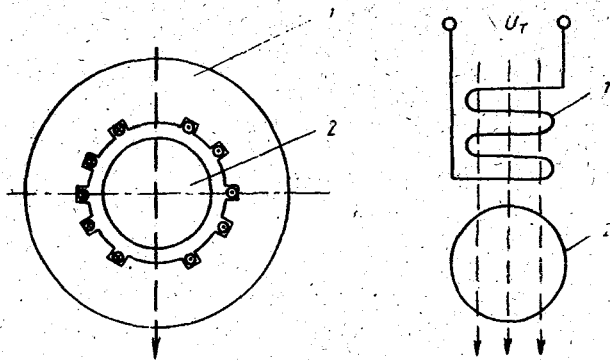
$$P = \Delta P_{л} - \Delta P'_{л} - \Delta P_{ск} = 60 - 38,5 - 15,3 = 6,2 \text{ кВт.}$$

Векторлар диаграммасини қурамиз (10.30-расм).

## 11-б о б. КИЧИК ҚУВВАТЛИ ЭЛЕКТР МАШИНАЛАР

### 11.1. БИР ФАЗАЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

9-бобда кўриб чиқилган уч фазали асинхрон двигателлар конструкциясининг содда ва мукамаллиги, механик характеристикаларининг яхшилиги, айланувчи магнит майдони осонликча ҳосил қилиниши мумкинлиги уларни турли саноат қурилмаларида двигатель тарзида ишлатишга сабаб бўлди.



11.1-расм.

Уч фазали асинхрон двигателлар билан бир қаторда саногта бир фазали асинхрон двигателлар ҳам кўп ишлатилади. Бир фазали асинхрон двигателларнинг қуввати  $15 \div 600$  Вт бўлиб, уларнинг энергетик кўрсаткичлари, ишлаш хусусиятлари нисбатан пастдир. Шунга қарамай, бир фазали двигателлар автоматик бошқариш қурилмаларида, уй-рўзғор электр асбобларида, вентиляторларнинг электр юритмаларида, насос, компрессор, овоз ёзиш аппаратларида кенг қўлланилади. 11.1-расмда бир фазали асинхрон двигателнинг тузилиши кўрсатилган. Бир фазали двигатель қўзғалмас статор (1) ва қўзғалувчи (айланувчи) қисқа туташтирилган чулғамли ротордан (2) иборат. Статорда кўп секцияли чулғам жойлаштирилган бўлиб, иш фазаси статор пазаларининг учдан икки қисmini эгаллайди. Статор чулғамини бир фазали манбага улаганимизда ўзгарувчан ток пульсацияланувчи магнит майдонини ҳосил қилади. Магнит майдон вектори фазода статорнинг фаза чулғамлари текислигига перпендикуляр йўналган ва қўзғалмас бўлиб, қиймаг ва йўналиши жиҳатдан ўзгарувчан бўлади, яъни двигателда айланувчи магнит майдони ҳосил бўлмайди. Бир фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципини тушуниб олиш учун пульсацияланувчи магнит майдон векторини турли томонга айланувчи иккита бир хил магнит майдон векторларига ажратамиз. Ҳосил бўлган магнит майдонининг амплитуда қийматлари пульсацияланувчи магнит майдони оқимининг ярмига тенг бўлади, яъни бир фазали статор чулғамини фазалар кетма-кетлиги турлича бўлган ва умумий уч фазали манбага уланган иккита уч фазали чулғам билан алмаштирамиз.

11.2-расм, в да фазаларни алмаштириш тартиби кўрсатилган: бирида  $A-B-C$ , иккинчисида  $A-C-B$  статор чулғамларида ҳосил бўлган тўғри ва тесқари кетма-кетликда айланувчи магнит майдонлар роторда  $i_{\text{тўғри}}$  ва  $i_{\text{тесқари}}$  тоқларни индукциялайди. Бинобарин, бир фазали двигателнинг ишлашини



тадқиқ қилишни иккита умумий роторли бир хилдаги уч фазали двигателнинг тадқиқи билан алмаштириш мумкин. Тўғри ва тескари кетма-кетликдаги магнит майдонлари ўзлари ҳосил қилган тоқлар билан ўзаро таъсирлашиш натижасида қиймати тенг бўлган ва қарама-қарши йўналган айлантирувчи момент ҳосил қилади. Натижада двигателда ишга тушириш momenti нолга тенг бўлади. Шунинг учун бир фазали асинхрон двигателни манбага улаганимизда унинг қўзғалмас ротори мустақил равишда айлана олмайди. Бу эса бир фазали асинхрон двигателнинг асосий камчиликларидан ҳисобланади. Бунда двигателни ишга тушириш учун қўшимча қурилма талаб қилинади.

Бир фазали асинхрон двигателнинг механик харақтеристикасини қуришда, кўрилатган иккита „уч фазали“ двигателларнинг механик харақтеристикаларидан фойдаланилади.

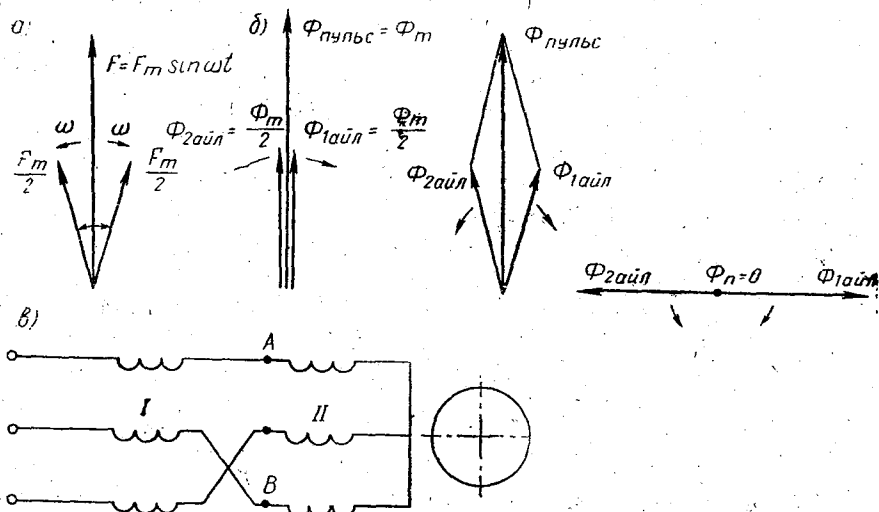
Айланиш йўналиши роторнинг тахмин қилинаётган айланиш йўналиши билан мос тушган магнит майдонни „тўғри“, қарама-қарши йўналганини эса „тескари“ деб ҳисоблаймиз. У ҳолда  $\Phi$  тўғри магнит оқимиға нисбатан роторнинг сирпаниши

$$S_{\text{тўғри}} = \frac{n_0 \text{ тўғри} - n}{n_0 \text{ тўғри}} = \frac{n_0 - n}{n_0} = 1 - \frac{n}{n_0}. \quad (11.1)$$

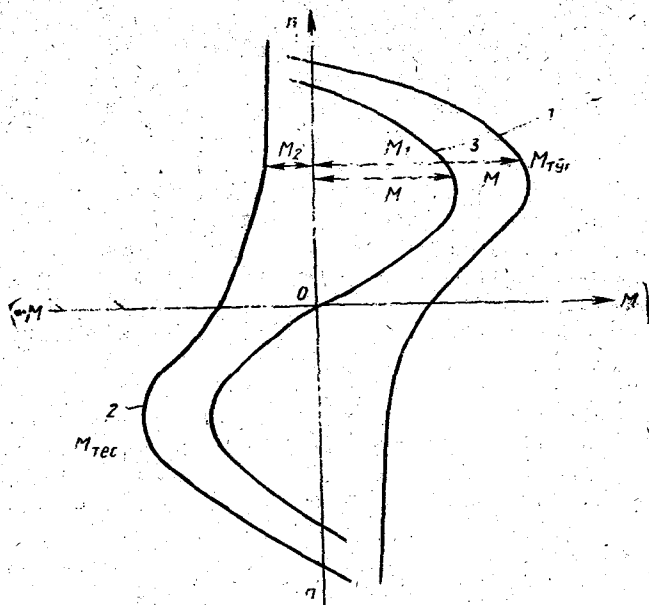
Демак, двигатель тезлашган сари сирпаниш камаяди, момент  $M$  эса маълум қийматгача ошади.

Тескари магнит оқимиға нисбатан роторнинг сирпаниши эса

$$S_{\text{тескари}} = \frac{n_0 \text{ тескари} + n}{n_0 \text{ тескари}} = \frac{n_0 + n}{n_0} = 1 + \frac{n}{n_0}. \quad (11.2)$$



11.2- расм.



11.3- расм.

(11.1) ни эътиборга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз.

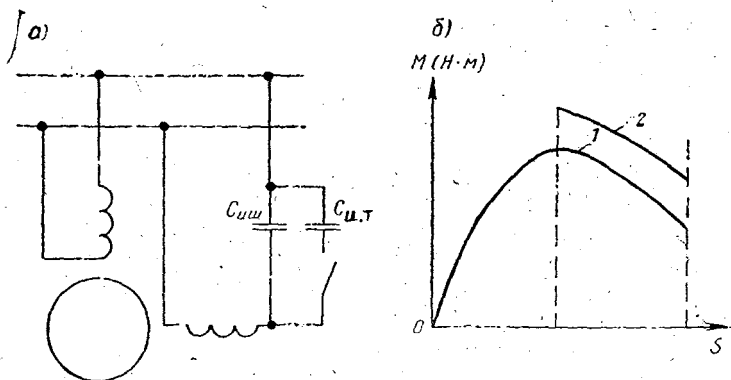
$$S_{\text{теск}} = 2 - S_{\text{тўғри}} \quad (11.3)$$

$S_{\text{теск}}$  нинг ортиши ротор токининг частотаси ҳамда ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ортишига сабаб бўлади! натижада  $M_2$  момент камаяди.

„Тўғри“ ва „тескари“ майдонлар таъсири натижасида ҳосил бўлган умумий айлантирувчи моментнинг қиймати  $M_1$  ва  $M_2$  моментларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлиб, йўналиши қиймати катта момент йўналиши бўйича бўлади. 11.3-расмда „тўғри“ майдон (2- эгри чизик) ва бир фазали двигателнинг (3- эгри чизик) механик характеристикалари кўрсатилган. Бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикаси (3- эгри чизик)дан кўринадики, ротор ташқи куч таъсирида (қўл билан айлантирганда) бирламчи тезланиш олиб, шу куч йўналиши бўйича маълум катталиқдаги момент ҳосил қилиб айлана бошлайди, яъни роторнинг айланиш йўналиши ташқи куч йўналиши билан аниқланади.

Бир фазали двигателнинг механик характеристикаси бўйича қуйидаги хулосаларни айтиш мумкин:

- бир фазали двигатель ишга тушириш моментига эга эмас;
- „тескари“ майдоннинг тормозловчи momenti туфайли двигателнинг салт ишлаш тезлиги уч фазали двигателнинг салт ишлаш тезлигидан кичик;

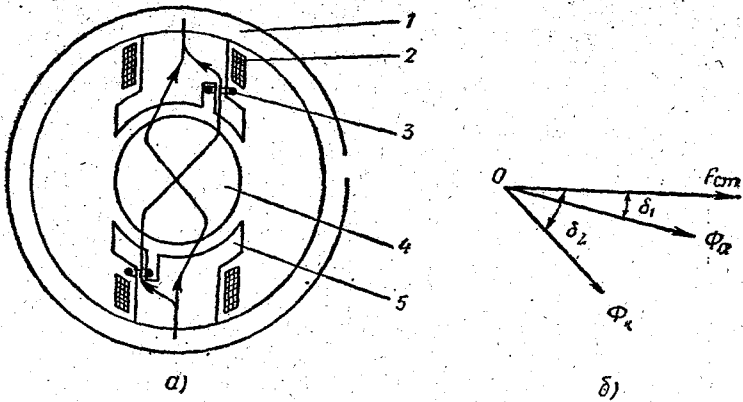


11.4-расм.

— бир фазали двигателнинг юкланиш қобилияти ва ФИК нисбатан кичик.

Статорнинг ички сиртидан тўлиқ фойдаланилмагани учун бир фазали двигателнинг қуввати бир хил ўлчамли уч фазали двигател қувватининг тахминан  $2/3$  қисмига тенг бўлади. Чунки бир фазали двигател ишга тушириш моментига эга эмас, яъни уни ишга тушириш учун махсус қурилма керак бўлади. Бир фазали двигателлар статор пазларининг  $1/3$  қисмига жойлаштирилган ва иш чулғами билан  $90^\circ$  бурчак ҳосил қилган ишга тушириш чулғами билан жиҳозланади. Двигателда айлантирувчи момент ҳосил қилиш учун чулғамлар фазода ўзаро  $90^\circ$  га силжиган бўлиши билан бирга, чулғамлардан ўтайдиган тоқлар ҳам вақт бўйича шу бурчакка силжиган бўлиши керак. Бундай силжишни таъминлаш учун ишга тушириш чулғамига кетма-кет тарзда фаза силжитувчи элементлар улаш тавсия этилади. Масалан, сиғим  $C$  уланади. 11.4-расмда ишга тушириш чулғами бир фазали двигател схемаси ва тоқларнинг вектор диаграммаси кўрсатилган. Иш ва ишга тушириш чулғамлари манбага уланганда двигателда айланувчи магнит майдони ҳосил бўлади ва двигателнинг ишга тушишини таъминлайдиган айлантирувчи момент роторга таъсир эта бошлайди. Ротор маълум тезланишга эришгандан сўнг ишга тушириш чулғами узиб қўйилади ва двигател бир фазали двигател каби ишлайди.

Ҳозирги пайтда саноатда ишлаб чиқарилаётган бир фазали двигателларда „ишга тушириш“ чулғами ва конденсаторни иш жараёнида ҳам манбадан узмаслик мумкин. Бундай двигателлар конденсаторли двигателлар деб аталади (11.5-расм). Бундай двигателларда ҳар бир чулғам статорнинг ички сиртидаги пазларнинг ярмисини эгаллайди ва иш чулғами ҳисобланади. Чулғам ўқлари фазода  $90^\circ$  га силжиган бўлади. Иш сиғими



11.5- расм.

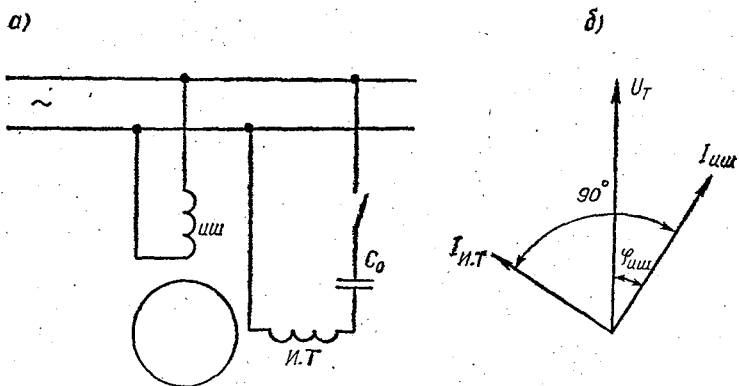
$C_{иш}$  нинг қиймати шундай танланадикки, бузда чулғамлардаги тоқлар ўзаро 1/4 даврга силжиган бўлади. Бунда двигателнинг иш жараёнида айланувчи магнит майдони ҳосил бўлиши ҳамда унинг энергетик кўрсаткичлари яхшиланиши таъминланади. Ишга тушириш моментини ошириш, айланувчи майдон ҳосил қилиш учун двигателни ишга тушириш жараёнида  $C_{иш}$  конденсаторга параллел  $C_{и,т}$  конденсатори ҳам уланади. Двигател ишга тушгандан сўнг айлантурувчи магнит майдон шаклини бузмаслик, қийшайтирмаслик учун конденсатор  $C_{и,т}$  узиб қуйилади. Двигател номинал тезликнинг 80% ига эришганда ҳамда  $C_{и,т}$  узилгандан сўнг двигателнинг ҳаракати 1 эгри чизиқ бўйлаб давом этади. Бу эгри чизиқ катта юкланиш қобилияти ва қувват коэффициентига эга бўлган бир фазали двигателнинг механик ҳарактеристикасига мос келади.

Статори аниқ намоён қутбли бўлган бир фазали асинхрон двигателларнинг ҳам конструкцияси мавжуд (11.6- расм). Статор чулғамлари (2) қутбларга маҳкамланган бўлади. Қутб бошмққларида (4) чуқур пазлар ажратилган бўлиб, унга мисдан ясалган, қисқа туташтирилган ҳалқа (3) ўрнатилади. Двигател оддий қисқа туташтирилган роторли (5) бўлади. Бунда статор чулғамлари ҳосил қилган магнит майдони оқимини иккита магнит майдони оқимларининг йиғиндиси сифатида кўрсатиш мумкин:

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_0 + \bar{\Phi}_к,$$

бу ерда:  $\Phi_0$  — қутбнинг қисқа туташтирувчи ҳалқа эгалламаган қисмидан ўтувчи магнит оқими;  $\Phi_к$  — қисқа туташтирувчи ҳалқага илакишувчи магнит оқими.

Бу оқимлар фазода статор фаза чулғамининг магнитловчи кучига нисбатан фаза жихатдан ўзаро  $\alpha$  бурчакка силжиган



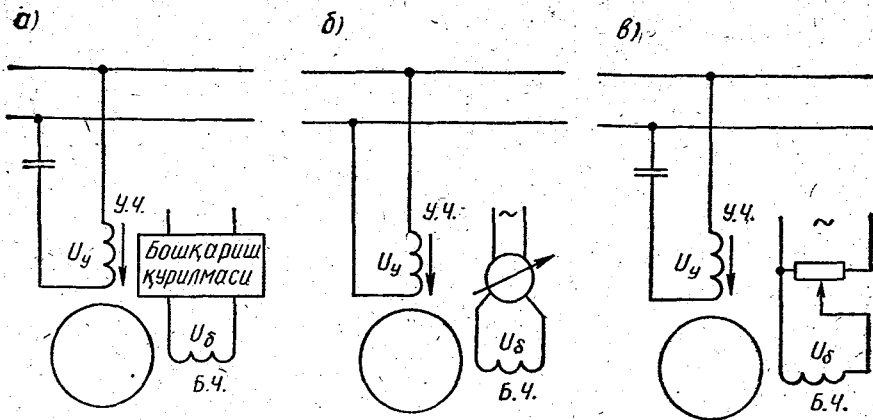
11.6- расм.

бўлади. Чунки  $\Phi_0$  оқим магнитловчи кучдан унча катта бўлмаган бурчакка кечикади,  $\Phi_k$  оқим эса катта иссиқлик ва магнит исрофлари туфайли каттароқ бурчакка ( $45^\circ$  гача) кечикади. Магнит оқимлари ( $\Phi_0$  ва  $\Phi_k$ ) нинг фазода ва фазалари ўзаро силжиган бўлиши роторнинг бир қисқа туташтирилган ҳалқадан иккинчи ҳалқага, томон ҳаракатини таъминлайдиган айлантурувчи магнит майдони ҳосил қилади. Бундай двигателлар конструктив тузилиши жиҳатдан содда ва уларни ишлаштириш қулай бўлади. Аммо кувват коэффиценти, ФИК ва ишга тушириш моментининг кичик бўлиши уларнинг камчилиги ҳисобланади.

## 11.2. ИККИ ФАЗАЛИ ИЖРОЧИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

Кузатиш системаларда, ҳисоблаш техникасида ва автоматика қурилмаларида электр сигналларни механик ҳаракатга айлантиришга хизмат қиладиган икки фазали асинхрон двигателлар кенг тарқалган. Бундай ижрочи двигателларга барча иш режимларида бошқариш мумкинлиги, механик ва ростлаш характеристикаларининг чизиқли бўлиши, шовқин чиқармаслик, тез ҳаракатланувчанлик каби талаблар қўйилади.

Кичик қувватли икки фазали асинхрон двигателлар (куватти ваттнинг бир неча улушларидан бир неча юз ваттгача) статор ички сиртининг ярмини эгаллаган ва ўзаро  $90^\circ$  бурчакка силжиган иккита чулғамга эга бўлади. Чулғамлардан бири доимо бир фазали тармоққа уланган бўлиб, пульсацияланувчи магнит майдони ҳосил қилади ва *уйғотиш чулғами* деб аталади. Бошқа чулғамга эса бошқариш қурилмасидан бошқарувчи сигнал берилиб, айлантурувчи майдон ҳосил қилинади. Бу чулғам *бошқариш чулғами* дейилади. Бошқариш чулғамидagi кучланишни уч хил: амплитудали, фазали ва амплитудали



11.7-расм.

фазали усулда ўзгартириш мумкин (11.7-расм). Амплитудали бошқаришда уйғотиш кучланиши  $U_y$  ўзгартирилмайди, бошқариш кучланиши  $U_6$  эса ростланади. Кучланишлар орасидаги фаза силжиши эса  $90^\circ$  бўлиб қолаверади. Ижрочи двигателнинг режимларини тадқиқ қилишни осонлаштириш учун бошқарувчи сигнал коэффициенти тушунчасини киритамиз:

$$\text{амплитудали бошқаришда } K = \frac{U_6}{U_y} \quad (11.4)$$

$$\text{фазали бошқаришда } K = \sin \beta. \quad (11.5)$$

Сигнал коэффициенти машинанинг магнит майдонини характерлайди. Чунончи,  $K = 0$  бўлганда пульсацияланувчи майдон,  $K < 1$  бўлганда эллиптик шаклда айланувчи,  $K = 1$  бўлганда эса айланма магнит майдони ҳосил бўлади.

11.1-§ да кўрилган конденсаторли бир фазали асинхрон двигателни ижрочи двигатель сифатида ишлатиш мумкин эмас, чунки юргизиш чулғамидаги бошқариш кучланиши узилгандан кейин ҳам ротор пульсацияланувчи магнит майдони туфайли айланишини давом эттириши мумкин, яъни двигатель ўз-ўзидан ишлаши мумкин. Натижада уни бошқариш мумкин бўлмай қолади. Бинобарин, двигателни бошқариш имконияти бўлиши ва бир фазали режимда қолиш учун  $M_{\text{теск}} > M_{\text{тўр}}$  бўлиши керак. Ўз-ўзидан ишлаб кетиш шarti қуйидагича

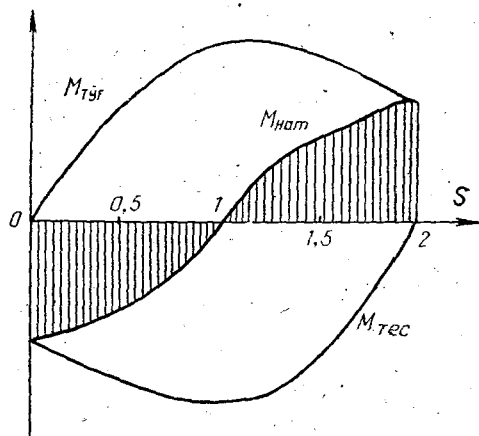
$$M_{\text{нат}} = M_{\text{тўр}} - M_{\text{теск}} \leq 0. \quad (11.6)$$

Механик характеристикалари бўйича ўз-ўзидан ишламаслик шarti (11.3) ни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$M_{\text{тўр}}(S) \leq M_{\text{теск}}(2 - S). \quad (11.7)$$

Агар  $S_{кр} \geq 1$  бўлса, (11.7) шарт бажарилади.

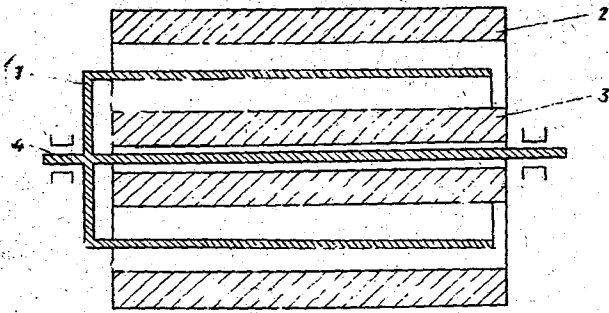
Ижрочи двигателларда  $S_{кр} = 1,1 - 1,2$  бўлганда ўз-ўзидан ишлашнинг олдини олиш мумкин. Бундай шарт ротор стерженларининг актив қаршилиги катта бўлган қисқа туташган роторли асинхрон двигателларда бажарилиши мумкин. Бундай „олма-хон ҳалқали“ ротор стерженлари солиштирма қаршилиги катта бўлган металлар (жез, бронза) дан кўндаланг кесим юзаси кичик қилиб ясалади.



11.8- расм.

Ротор чулғамининг актив қаршилиги катта бўлган бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикаси 11.8-расмда кўрсатилган. Сирпаниш  $0 < S < 1$  оралиқда ўзгарганда „тескари“ майдон momenti „тўғри“ майдон momentидан катта бўлади, натижада двигатель бир фазали иш режимида тўхтайди ва ўз-ўзидан ишламайди. Икки фазали режимда эса, бошқарувчи кучланиш таъсир этганда машинада айланма магнит майдони ҳосил бўлади ва тормоз режимида, яъни  $S_{кр} \geq 1$  бўлганда машина максимал моментга эришади. Бундай двигатель айланиш тезлигининг барча оралиғида барқарор ишлайди, аммо роторнинг массаси туфайли катта инерция momenti юзага келади ва ижрочи двигателнинг тезкорлиги камаяди.

Ротори номагнит юмшоқ металл (алюминий қотишмаси) дан ковак цилиндр шаклда ясалган двигателлар яхши хусусиятга эга бўлади. Бундай двигателнинг статори икки қисмдан иборат бўлади; ташқи қисми пўлатдан ковак цилиндр 2 шаклда, ички қисми эса оғир пўлатдан цилиндр 3 шаклда ясалади. Статорнинг иккала қисми ҳам пермалой япроқчалардан йиғилган бўлиб, статор чулғами ташқи ёки ички ўзакда, ёки ҳам ташқи, ҳам ички ўзакда жойлаштирилади. Кичик инерцияли номагнит ротор 1 вал 4 га ўрнатилган бўлади. Статор чулғамларидан ток ўтганда айланма магнит майдони ҳосил бўлиб, роторда ЭЮК индукцияланади. Бу ЭЮК роторда айланма магнит майдони билан ўзаро таъсирлашувчи уярма ток ҳосил қилади. Натижада айлантирувчи момент ҳосил бўлади. Уярма тоқлар роторнинг юқори сиртидан ўтгани учун унинг актив қаршилиги анча кўпаяди.



11.9- расм.

Ижрочи асинхрон двигатель роторининг айланиш йўналишини ўзгартириш (р-верслаш) учун амплитудали бошқаришда сигнал фазасини  $180^\circ$  га ўзгартириш, фазали бошқаришда эса уйғотиш кучланиши  $U_y$  нинг фазасидан бошқариш кучланиши  $U_6$  нинг фаза жиҳатдан илгарилаб кетишини таъминлаш керак (агар реверслашдан олдин бошқариш кучланиши фаза жиҳатдан  $U_y$  дан кечиккан бўлса).

### 11.3. АСИНХРОН ТАХОГЕНЕРАТОРЛАР

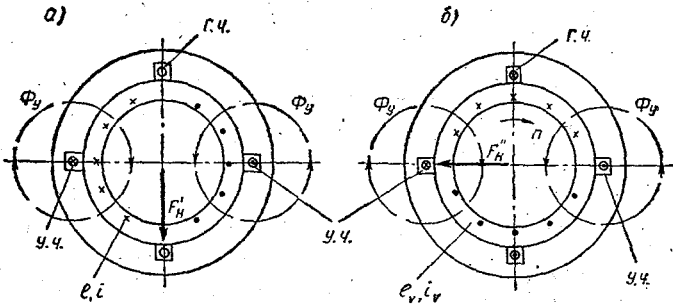
Автоматика қурилмаларида икки фазали асинхрон двигателлардан айланма ҳаракатдаги механик энергияни электр энергиясига айлантирувчи асбоб, яъни механизмлар ўқининг айланиш тезлигини ўлчаш учун ишлатиладиган *тахогенератор* сифатида фойдаланиш мумкин.

Тахогенераторнинг характеристикаси чизиқли бўлиб, ундаги чиқиш кучланиши билан айланиш тезлиги орасидаги боғлиқликни ифода этади, яъни

$$U = K \cdot n. \quad (11.8)$$

Асинхрон тахогенераторнинг тузилиши ковак роторли ижрочи двигателнинг тузилиши билан бир хилдир. Статордаги битта чулғам уйғотиш чулғами ҳисобланиб, манбага уланади. Иккинчиси генератор ёки чиқиш чулғами ҳисобланиб, нагрузкага ёки индикаторга уланади. Частотаси  $f$  бўлган тармоқ токи уйғотиш чулғамидан оқиб ўтиб, пульсацияланувчи магнит майдонини ҳосил қилади. Пульсацияланувчи майдоннинг ўқи уйғотиш чулғамининг ўқи билан мос тушади. Қўзғалмас роторда ушбу магнит майдони трансформатор ЭЮК ва токи деб аталувчи  $e_i$  ва  $i_i$  ни индукциялайди. Роторнинг актив қаршилиги катта бўлгани туфайли фаза жиҳатдан  $e_i$  билан мос тушади ва роторни магнитловчи куч  $F_p$  трансформатордаги каби пульсацияланувчи магнит оқими йўналиши бўйича таъсир эта-





11.10- расм.

ди. Уйғотиш чулғамига нисбатан  $90^\circ$  силжитиб жойлаштирилган генератор (чиқиш) чулғамида  $\Phi_y$  оқимни ЭЮК индукцияламайди ва чиқиш кучланиши нолга тенг бўлади (11.10- расм, а). Ротор  $p$  тезлик билан айлантирилганда (11.10- расм, б) унда трансформатор ЭЮК идан ташқари, айланиш ЭЮК  $e_v$  ҳам индукцияланади ва айланиш токи  $i_v$  ҳосил бўлади.

Ротордаги тоқлар кўндаланг ўқ бўйича йўналган магнитловчи куч  $F_p''$  ва оқим  $\Phi_p$  ҳосил қилади. Генератор (чиқиш) чулғамида бу оқим ЭЮК индукциялайди:

$$E_r = 4,44 f_1 \omega_r K_r \Phi_{pm}, \quad (11.9)$$

бу ерда  $\omega_r$  — генератор чулғамидаги ўрамлар сони,  $K_r$  — генератор чулғамининг коэффициенти.

(11.9) ифодадаги  $f_1$  (генератор чулғамининг ЭЮК частотаси) роторнинг айланиши тезлигига боғлиқ бўлмайди.

Чиқиш кучланишининг механизм (ротор) айланиш тезлигига боғлиқ ифодасини йўл қўйилиши мумкин бўлган хатоликлар (магнит занжирида тўйиниш йўқлиги, ҳаво бўшлиғи магнит қаршилигининг қиймати ва ҳ.) ни ҳисобга олган ҳолда келтириб чиқариш мумкин:

$$U_{\text{чик}} \approx E = C \Phi_{pm} = C_1 F_p'' = C_2 e_v = C_3 V_2 = K n, \quad (11.10)$$

бу ерда  $V_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$  — роторнинг айланиш тезлиги;  $C$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $K$  — доимий пропорционаллик коэффициентлари.

Мавжуд тахогенераторларда (11.10) ифода айрим хатоликлар туфайли ноқизиқлидир.

Тахогенераторларга қуйидаги талаблар қўйилади:

— айланиш тезлиги билан чиқиш кучланиши ўртасида аниқ пропорционалликни таъминлаш;

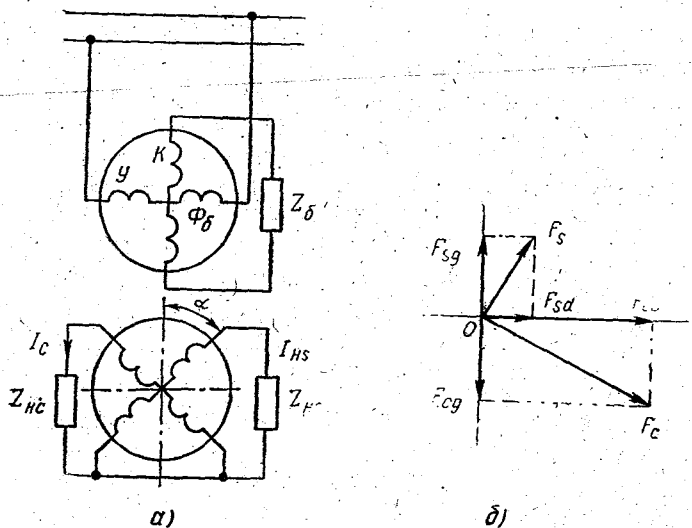
- температура ва намлик ўзгарганда ҳам ишлашининг ишончли бўлиши;
- юқори даражада тезкорликни таъминлаш;
- тузилиши содда, оғирлиги ва ўлчамлари кичик бўлиши.

#### 11.4. БУРИЛИШ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИ

Бурилиш трансформаторлари роторнинг бурилиш бурчаги  $\alpha$  ни кучланишга айлантириб берувчи, қуввати бир неча ваттдан иборат бўлган микромашиналардир. Статик трансформаторларда иккиламчи кучланиш амплитудаси қийматини ўзгартириш учун бирламчи кучланиш амплитудасини ўзгартириш керак бўлса, бурилиш трансформаторларида иккиламчи кучланиш амплитудаси роторнинг бурилиш бурчагига пропорционал бўлади. Бурилувчи трансформаторлар автоматик кузатиш системаларида, ҳисоблаш қурилмаларида алгебраик, геометрик ва тригонометрик масалаларни ечишда ишлатилади.

Тузилиши жиҳатдан бурилувчи трансформаторлар контакт ҳалқали асинхрон машиналарга ўхшайди. Статори электротехник пўлат япроқчалардан ковак цилиндр шаклда йиғилган бўлиб, ўзаро перпендикуляр жойлаштирилган иккита чулғамга эга бўлади. Ротори ҳам электротехник пўлат япроқчалардан барабан шаклда йиғилган бўлиб, ташқи занжир билан контакт ҳалқалар ва чўтка ёрдамида уланган иккита чулғамдан иборат.

Статор ва ротор чулғамларининг уланиш схемаларига кўра, чиқиш кучланиши ротор бурилиш бурчагининг синусига, косинусига ёки бурилиш бурчаги  $\alpha$  га пропорционал (чизиқли



11.11- расм.

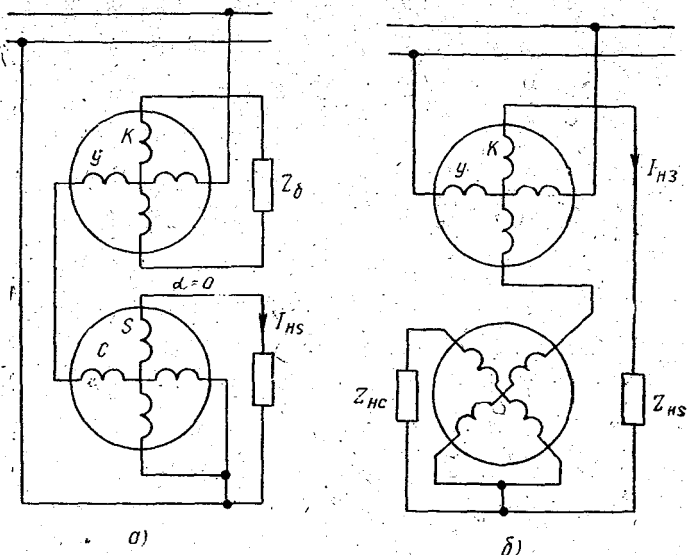
трансформатор) бўлади. Синус-косинусли бурилувчи трансформаторнинг (СКБТ) ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз. Бундай трансформаторнинг электр схемаси 11.11-расмда кўрсатилган. Статорнинг уйғотиш чулғами  $U$  ни ўзгарувчан ток манбаига уласак, трансформаторда пульсацияланувчи бўйлама магнит оқими  $\Phi_6$  ҳосил бўлади. Бу оқим чулғам  $s$  (синусли) ва  $c$  (косинусли) ларда ЭЮК ни индукциялайди:

$$\left. \begin{aligned} E_s &= KU_T \sin \alpha, \\ E_c &= KU_T \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (11.11)$$

бу ерда  $K = \frac{\omega_p}{\omega_{ст}}$  — статордан роторга трансформация коэффициенти;  $\omega_p$  ва  $\omega_{ст}$  — ротор ва статор чулғамларининг ўрамлар сони;  $U_T$  — тармоқ кучланиши.

(11.11) га асосан чулғамлардаги  $I_c$  ва  $I_s$  тоқлар ҳамда  $Z_{нс}$  ва  $Z_{нс}$  нағрузка қаршилиқлардаги кучланишлар ҳам  $\cos \alpha$  ва  $\sin \alpha$  га пропорционал бўлади. Ротор тоқлари пульсацияланувчи МЮК  $F_s$  ва  $F_c$  ларни ҳосил қилади. Бу МЮК ларни ташкил этувчиларга ажратиш мумкин:  $F_{cd}$  ва  $F_{sd}$  — бўйлама ўқ бўйича ва  $F_{cq}$  ва  $F_{sq}$  — кўндаланг ўқ бўйича (11.11-расм, б). Бўйлама ўқ бўйича пульсацияланувчи МЮК оддий трансформатордаги каби уйғотиш чулғамининг МЮК билан мувозанатлашади. Ротор МЮК ининг кўндаланг ташкил этувчиси эса мувозанатлашмайди ва ротор чулғамларида ЭЮК индукцияловчи пульсацияланувчи магнит оқими ҳосил қилади. Натижада  $\sin \alpha$  ва  $\cos \alpha$  билан чиқиш кучланиши орасидаги пропорционал боғланиш бузилади. Чиқиш кучланиши билан бурилиш бурчаги орасидаги мувофиқ боғлиқликни ҳосил қилиш учун ротор МЮК ининг кўндаланг ташкил этувчисини компенсациялаш керак. Компенсациялашнинг икки хил: бирламчи (статор томонидан) ва иккиламчи (ротор томонидан) усули мавжуд. Компенсациялашнинг бирламчи усулида статор чулғами  $k$  унча қатта бўлмаган балласт қаршилигига  $Z_6$  га тўғридан-тўғри уланади. Иккиламчи компенсациялашда эса ротор чулғамларига бир хил нағрузка қаршилиги уланади  $Z_{нс} = Z_{нс}$ . Бунда роторнинг кўндаланг магнит оқими нолга тенг бўлиб, хатолик бўлмайди. Одатда, компенсациялашнинг иккала усули ҳам қўлланилади, чунки иш вақтида нағрузка қаршилигининг тенглигини таъминлаш қийин бўлади. СКБТ дан фарқли ўлароқ, чизиқли бурилувчи трансформатор (ЧБТ) ларда чиқиш кучланиши роторнинг бурилиш бурчаги  $\alpha$  билан чизиқли боғланган  $U_{чик} = f(\alpha)$ . ЧБТ ни ҳосил қилиш учун машина чулғамлари бирламчи компенсациялаш схемаси бўйича (11.12-расм, а) ёки иккиламчи компенсациялаш схемаси бўйича (11.12-расм, б) уланади. 11.12-расмда кўрсатилгандек,  $k$ ,  $c$ ,  $s$  чулғамлардаги кучланиш пасажуви ҳисобга олинган ҳолда, чиқиш кучланишини синус чулғамидан олиш мумкин:

$$U_{чик} = KU_T \frac{\sin \alpha}{1 + K \cos \alpha}.$$



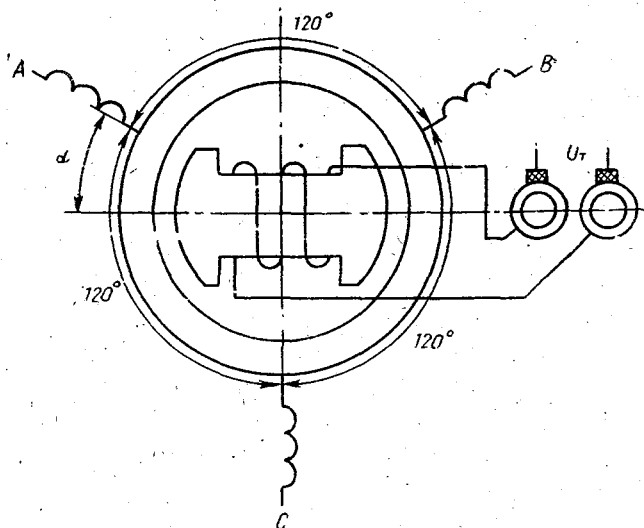
11.12- расм.

Агар  $K = \frac{w_p}{w_{ст}} = 0,52 \div 0,56$  ва  $\alpha = \pm 55^\circ$  бўлса, чиқиш кучланиши бурилиш бурчагига пропорционал бўлади ( $U_{чик} = KU_T \cdot \alpha$ ). Юқори аниқликдаги пропорционаллик  $\alpha = \pm 30^\circ$  да таъминланади.

### 11.5. СИНХРОН БОҒЛАНГАН ИНДУКЦИОН МАШИНАЛАР. СЕЛЬСИНЛАР

Дистанцион (масофадан туриб бошқариш) ва кузатиш системаларида механик равишда ўзаро боғланмаган иккита ўқнинг синхрон ёки синфаза бурилишини ёки айланишини таъминлаш талаб қилинади. Бурилиш бурчагини синхрон равишда узатишда *сельсин* деб аталувчи индукцион машиналардан фойдаланилади. Машиналардан бири етакчи ўқ билан механик боғланган бўлиб, датчик деб аталади, иккинчиси эса етакланувчи ўқ билан боғланган бўлиб қабул қилгич дейилади. Сельсинларнинг қуввати кичик бўлиб, асинхрон машиналар каби ясалади.

Датчикнинг бирламчи чулғами, яъни уйғотиш чулғами роторда жойлашган бўлиб, ўзгарувчан ток манбаига уланади. Иккиламчи чулғам, яъни синхронлаш чулғами эса статор пазларига жойлаштирилади. Сельсинлар бир фазали ва уч фазали, контакт ҳалқали ёки контакт ҳалқасиз бўлади. Уйғотиш чулғами статорда, синхронлаш чулғами эса роторда ҳам жой-



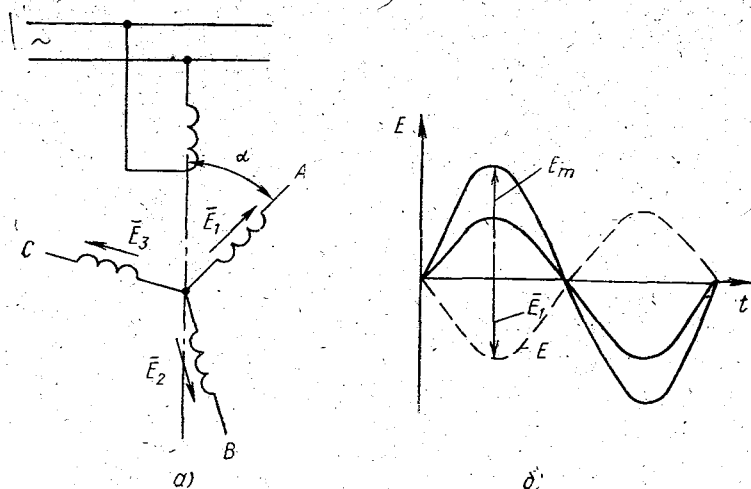
11.13- расм.

лашиши мумкин. Ротор чулғами бир фазали бўлган сельсиннинг схемаси 11.13- расмда кўрсатилган. Агар уйғотиш чулғами ўзгарувчан ток тармоғига уланса, undan ўтаётган ток ҳосил қилган пульсацияланувчи магнит майдон куч чизиқлари ротор ва статорнинг магнит ўзаклари орқали бирикади. Бунда синхронлаш чулғамида роторнинг бурилиш бурчагига пропорционал бўлган ЭЮК индукцияланади. Роторнинг бурилиши натижасида уйғотиш чулғами билан синхронлаш чулғамининг ҳар бир фазаси орасидаги ўзаро индуктивлик косинус қонуни бўйича текис ўзгаради. Агар биринчи фазадаги ЭЮК нинг амплитуда қийматини кўрадиган бўлсак, унда А чулғамнинг ўқи уйғотиш чулғамининг ўқи билан устма-уст тушганда ЭЮК энг катта қийматга эришади. Ротор  $\alpha = 90^\circ$  га бурилганда, яъни чулғамларнинг ўқлари ўзаро перпендикуляр бўлганда А фазадаги ЭЮК нолга тенг бўлади (11.14- расм). Синхронловчи фаза чулғамлари ўзаро  $120^\circ$  бурчак остида жойлашган эканлигини ҳисобга олиб, ЭЮК ларнинг эффектив қиймат ифодаларини ёзишимиз мумкин:

$$\left. \begin{aligned} E_A &= E_m \cos \alpha; \\ E_B &= E_m \cos (\alpha - 120^\circ); \\ E_C &= E_m \cos (\alpha - 240^\circ). \end{aligned} \right\} \quad (11.13)$$

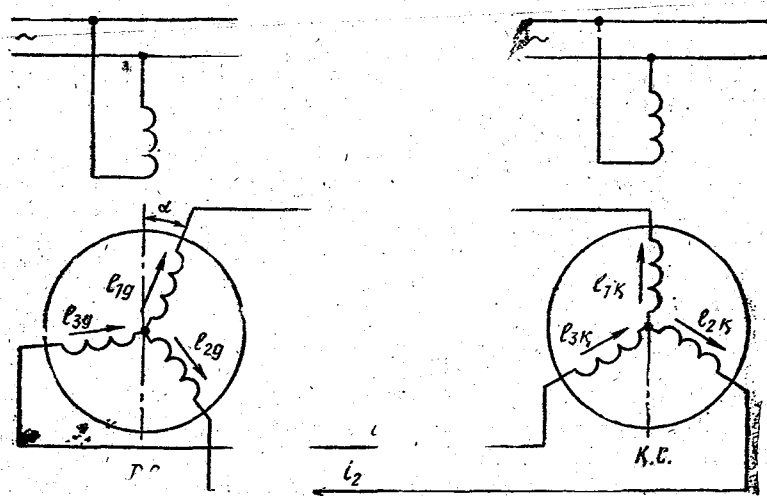
Сельсинларнинг асосан икки хил: индикаторли ва трансформаторли иш режимлари бор.

**Индикаторли иш режими.** Бу режим сельсин-қабул қилгичнинг ўқи кичик қаршилик моменти ҳосил қилувчи (ўлчов



11.14- расм.

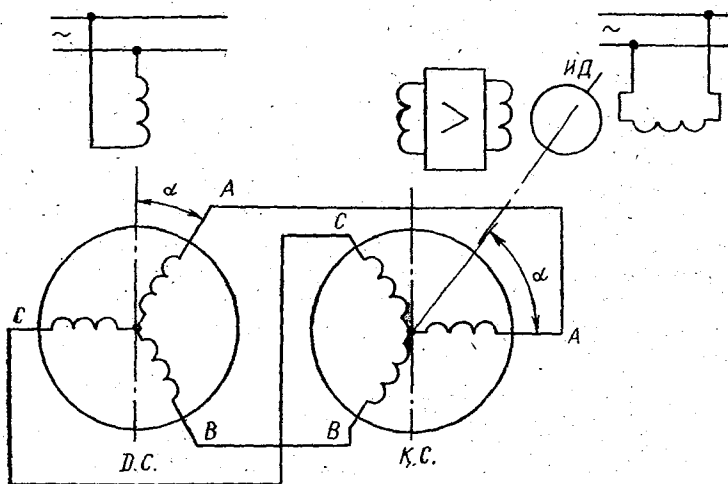
асбоб стрелкаси) механизм билан юкланганда бурчак силжишларни узоқ масофаларга узатишда қўлланилади. Индикаторли режимда иккита бир хил сельсин танланади, уларнинг уйғо-тиш чулғамлари бир хил частотали ва кучланишли манбага уланади. Сельсин-датчик ва сельсин-қабул қилгичнинг синхронлаш чулғамлари ўзаро алоқа линияси орқали уланади (11.15-расм). Синхронлаш чулғами қарама-қарши уланади. Агар син-



11.15- расм.

хронлаш чулгамининг фазаси уйғотиш чулғамига нисбатан бир хил жойлашган бўлса, уларда ўзаро тенг, аммо қарама-қарши йўналган ЭЮК индукцияланади. Алоқа линияларидаги ток волга тенг бўлади. Сельсин-датчик ротори  $\alpha$  бурчакка бурилганда синхронлаш чулғамида индукцияланувчи ЭЮК қиймаги ўзгаради, натижада алоқа линиясида ток пайдо бўлади. Синхронлаш чулғамидаги ток билан уйғотиш чулғамидаги пульсацияланувчи майдоннинг ўзаро таъсири натижасида айлантирувчи момент ҳосил бўлади. Мазкур момент сельсин-қабул қилгич роторини сельсин-датчик ротори бурилган томон бўйлаб ўша бурчакка буради (сельсин-датчик ротори маҳкамланган бўлади). Бунда сельсин-датчик ва сельсин-қабул қилгич ўртасида ассиметриянинг мавжудлиги, манба кучланишининг ўзгариши, истеъмолчининг тормозловчи моменти таъсири ҳамда подшипниклардаги ишқаланиш туфайли хатолик вужудга келади. Жоиз хатоликнинг қийматига қараб, сельсинлар аниқлик бўйича учта синфга бўлинади. Биринчи синфдаги сельсинлар учун бурилиш ҳаџолиги  $\pm 0,75^\circ$  дан ошмаслиги керак.

**Трансформатор режими.** Нисбатан катта қаршилик моменти ҳосил қилувчи механизмларни буриш керак бўлганда трансформатор режимдан фойдаланилади. Бунда сельсин-датчининг берилган бурилиш бурчаги сельсин-қабул қилгичнинг чиқиш қисмида ҳаракат қилувчи механизм билан механик равишда боғланган ижрочи двигателга таъсир этувчи ЭЮК ҳосил қилади. Трансформатор режимида ишлаганда сельсин-датчининг уйғотиш чулғами ўзгарувчан ток тармоғига уланади, сельсин-қабул қилгичнинг уйғотиш чулғами эса ижрочи двигателнинг бошқариш чулғами уланадиган кучайтиргичга уланади. Иккала сельсиннинг синхронлаш чулғамлари алоқа симлари орқали ўзаро уланади (11.16-расм).



11.16 расм.

Дастлабки ҳолатда сельсинларнинг тегишли синхронлаш фаза чулғамлари ўзаро  $90^\circ$  га силжиган бўлади, қабул қилгични синхронловчи А фаза чулғамининг ўқи уйғотиш чулғамига перпендикуляр, датчикнинг А фаза ўқи эса уйғотиш чулғами билан мос тушади. Датчикнинг уйғотиш чулғами орқали ўтувчи ўзгарувчан ток ҳосил қилган пульсацияланувчи магнит майдони синхронловчи учта чулғамда ЭЮК индукциялайди. Бу ЭЮК лар синхронлаш чулғамида ва алоқа симларида ток ҳосил қилади. Бошланғич шароитда сельсин-қабул қилгичда чулғам ўқиға перпендикуляр бўлган пульсацияланувчи магнит майдони ҳосил бўлади. Натижада уйғотиш чулғамида магнит майдони юзага келмайди.

Агар сельсин-датчик роторини  $\alpha_d$  бурчакка бурсак, сельсин-қабул қилгични синхронлаш чулғамидаги ток ўзгаради, пульсацияланувчи майдон ўқи  $\alpha_m = \alpha_d$  бурчакка бурилади ва сельсин-қабул қилгични уйғотиш чулғамида ЭЮК индукцияланиб, кучайтиргич орқали ижрочи двигателнинг бошқариш чулғамига узатилади. Ижрочи двигатель ишга тушади ва етакланувчи механизмнинг ўқини буради. Бу вақтнинг ўзида ижрочи двигатель сельсин-қабул қилгич ўқини ҳам буради. Натижада уч фазали синхронлаш чулғамининг бурилиши уйғотиш чулғами ЭЮК ининг камайишига сабаб бўлади. Ижрочи двигателни, сельсин-қабул қилгич роторини, сельсин-датчикнинг бурилиш бурчагига тенг бурчакка бурганда уйғотиш чулғамидаги ЭЮК нолга тенг бўлиб, двигатель тўхтайтиди.

Сельсинларнинг турли иш ҳолатлари учун кўриб ўтилган назарияларни роторида уйғотиш чулғами бўлган контактли ва контактсиз сельсинларга ҳам татбиқ этиш мумкин.

## 11.6. СИНХРОН МИКРОМАШИНАЛАР

Автоматика қурилмаларида асинхрон микромашиналар билан бир қаторда синхрон микромашиналар ҳам кенг қўлланилади. Электр соатлар, лента айлантурувчи механизмлар, ўзи-ўзар асбоблар, магнитофон, радиоаппаратлар каби турли механизмларда синхрон микромашиналарга хос бўлган айланиш тезлигининг ўзгармаслик хусусиятидан фойдаланилади. Синхрон микромашиналарнинг айланиш тезлиги ( $n = n_0$ ) манба частотаси билан мустақкам боғлангандир. Синхрон микромашиналарнинг қуввати ваттнинг бир неча улушидан то бир неча юз ваттгача бўлади. Улар қуйидаги турларга бўлинади: реактив двигателлар; гистерезисли двигателлар; қадамли ёки импульсли двигателлар.

Ҳар бир двигателнинг хусусиятини алоҳида кўриб ўтаемиз.

**Реактив синхрон двигателлар.** Статорида уч фазали ёки бир фазали чулғам бўлиб, аниқ намоён кутбли роторида эса уйғотиш чулғами бўлмаган электр машинаси реактив синхрон двигатель дейилади. Аввал кўриб ўтилган синхрон двигателлардан фарқли равишда реактив микромашиналарни уйғотиш

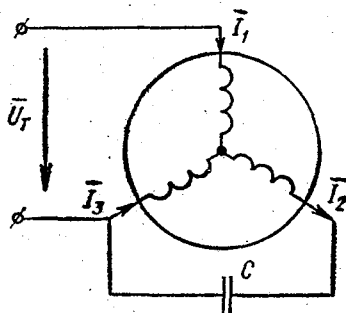


ротор чулғами орқали эмас, балки статор чулғами орқали ўтувчи токнинг реактив ташкил этувчиси ёрдамида амалга оширилади. Токнинг реактив ташкил этувчиси двигателни уйғотувчи бўйлама магнит оқимини ҳосил қилади. Бундай двигателларда айлантирувчи момент бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича магнит ўтказувчанликнинг турлича бўлиши ҳисобига ҳосил бўлади.

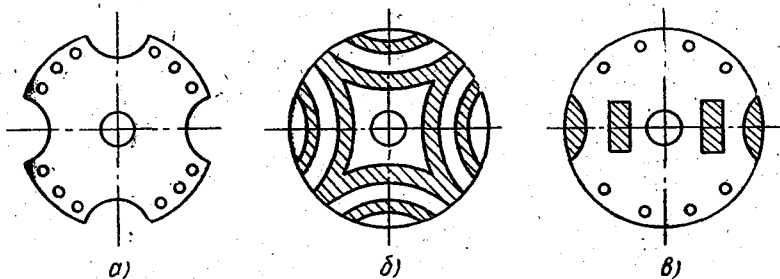
Двигателнинг статори айланивчи магнит майдони ҳосил қилиши учун конденсаторни бир фазали чулғамга улаш мумкин (11.17-расм). Сигимнинг қийматини тўғри танлаб, симметрик уч фазали токлар системасини ҳосил қилиш мумкин.

Синхрон микродвигателларнинг ротори турли конструктив ижрога эга бўлиши мумкин. Махсус шаклга эга бўлган ва пўлат яроқчалардан йиғилган ротор энг кўп тарқалган (11.19-расм, а). Двигателни ишга тушириш учун роторга „олмахон ҳалқали“ қисқа туташтирилган чулғам жойлаштирилган бўлади. Бўлимларга (секцияларга) бўлинган ротор алюминий ёки бошқа номагнит материаллардан ясалган бўлиб, пўлат тасмалар ўрнатилган бўлади. Кўндаланг ва бўйлама ўқлар бўйича магнит қаршиликлар орасидаги фарқни кўпайтириш учун ротор овалсимон пазли қилиб тайёрланади (11.18-расм, б). Двигателнинг иш жараёнини икки қутбли уч фазали статор чулғами мисолида кўриб чиқиш мумкин (11.19-расм, а). Статор токи бўйлама ўқ бўйлаб йўналган МЮК ( $F$ ) ҳосил қилади. Статорнинг айланма магнит майдони эса роторда уюрма токларни индукциялайди.

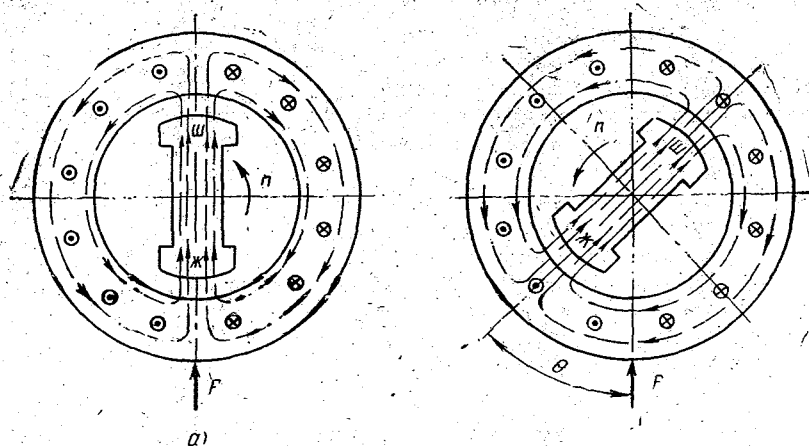
Двигатель асинхрон тарзда ишга туширилгандан сўнг роторнинг тезлиги синхрон тезликка яқинлашади, статор МЮК га нисбатан маълум ҳолатини сақлаган ҳолда, магнит майдонига илакишиб айлана бошлайди. Агар ротор юкланиш momenti билан юкланса, у секинлаша бошлайди. Натижада  $\Theta$



11.17-расм.



11.18-расм.

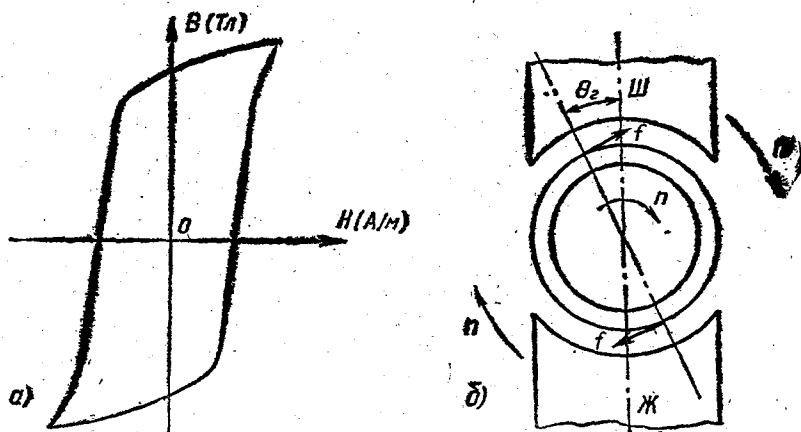


11.19- расм.

бурчак пайдо бўлади ва статорнинг магнит майдон куч чиқиқлари роторни айланиш йўналиши бўйлаб торта (илакиштира) бошлайди (11.19- расм, б). Юкланиш моменти билан мувозанатлашувчи электрмагнит момент пайдо бўлади. Ротор ўқидаги юкланишнинг ошиши  $\theta$  бурчакнинг ортишига сабаб бўлади. Натижада электромагнит моменти ортади. Мазкур моментнинг қиймати кучланишнинг квадратиға, реактив қаршилиқнинг фарқиға ва  $\sin 2\theta$  га пропорционал бўлади. Агар тармоқ кучланиши ўзгармас бўлса,  $\theta = 45^\circ$  да момент максимал қийматта эға бўлади. Тузилишининг соддалиғи, ишлаш жараёнида ишончлилиғи ва таннархининг кичиклиғи реактив двигателларнинг афзаллиғи ҳисобланади. Қувват коэффициенти  $\cos \varphi$  нинг кичиклиғи (0,5 гача), максимал моментининг нисбатан кичиклиғи, кучланишнинг ўзғаришиға сезгирлиғи синхрон микромашиналарнинг камчилиғи ҳисобланади.

**Гистерезисли двигателлар.** Айлантирувчи моменти гистерезис ҳодисаси ёки ротор материалининг қайта магнитланиши туфайли ҳосил бўладиган микромашиналар гистерезисли двигателлар деб аталади. Гистерезисли двигателларнинг статори реактив двигателларники каби бўлади. Двигателнинг ротори чулғамсиз цилиндр шаклида бўлиб, қаттиқ магнит материалдан ясалади. Айрим ҳолларда ротор мисдан ёки машинасозликда ишлатиладиган пўлатдан ясалган бўлиб, унга катта коэрцитив кучға эға бўлган қаттиқ магнит материалдан тайёрланган втулка кийгизилган бўлади.

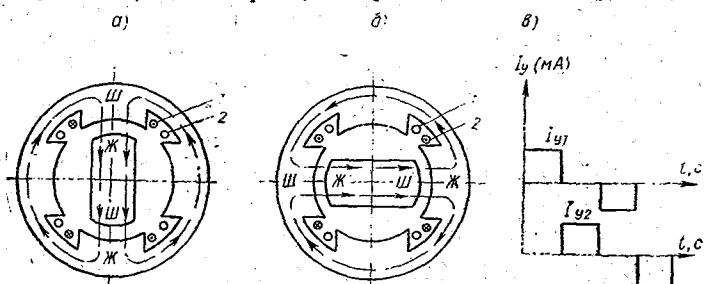
Гистерезисли двигателнинг ротори синхрон тезлик билан айланиб, статор магнит майдонида гистерезис ҳалқаси бўйича қайта магнитланади (11.20- расм, а). Гистерезис ҳодисаси туфайли роторнинг магнитланиш ўқи статорнинг айланма магнит



11.20- расм.

майдони ўқидан гистерезис силжиш бурчаги  $\theta_r$  га кечикади. Натижада статор ва ротор орасида таъсир этувчи кучнинг тангенциал ташкил этувчиси  $f_r$  ва айланиш тезлигига боғлиқ бўлмайдиган гистерезис моменти ҳосил бўлади (11.20- расм, б). Ротор материалнинг гистерезис ҳалқаси қанча кенг бўлса, бурчак, бинобарин, гистерезис моменти ҳам шунча катта бўлади. Гистерезисли двигателлар тузилишининг соддалиги, ишда ишончлилиги ФИҚ нинг нисбатан юқори бўлиши бундай микромашиналарнинг афзаллиги ҳисобланади.

**Импульсли двигателлар.** Статор чулғами импульсли кучланиш ҳосил қилувчи махсус коммутаторга уланган синхрон микродвигатель импульсли двигатель деб аталади. Коммутатор берилган кетма-кетликдаги бошқарувчи импульсларни  $m$  фазали тўғри тўртбурчакли кучланиш импульсига айлантиради. Импульсли двигателларнинг статори аниқ намоён қутбли бўлиб, унга қўзғатиш чулғами ўрнатилади. Ротори магнит бошмоқлари бўлмаган доимий магнит кўринишида тайёрланади (11.21- расм, а).



11.21- расм.

импульслари кетма-кетлиги берилганда ротор бир қутб бўлағичалик масофага сакраб силжийди (бурилади). Роторнинг силжиш қадами статор ва ротор магнит қутблари сонига боғлиқ бўлади. Роторнинг айланиш тезлиги эса кучланиш импульсларининг частотасига боғлиқдир.

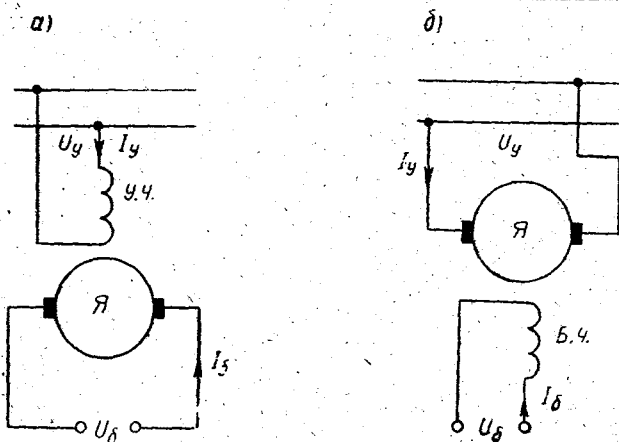
Қадамли двигателларнинг кўриб чиқилган турларидан ташқари реактив ва индукторли хиллари ҳам қўлланилади.

### 11.7. ҲЗГАРМАС ТОК ИЖРОЧИ ДВИГАТЕЛЛАР

Ҳзгармас ток микродвигателлари автоматик бошқариш системаларида, кузатиш юритмаларида ижрочи двигателлар тарзида кенг ишлатилади. Чунки уларда айланиш тезлигини бир текис кенг доирада бошқариш имконияти бор. Ҳзгармас ток микродвигателлари ҳам оддий Ҳзгармас ток двигателлари каби тузилган бўлиб, якорининг тузилишидагина ўзига хос томони бор. Якорнинг инерция моментини камайтириш учун, яъни двигателнинг тез ишлаб кетишини ошириш учун ижрочи двигателнинг якори пазларсиз, ичи бўш цилиндрсимон қилиб ясалади. Якорнинг чулғами эса босма равишда тайёрланади.

11.22 расм, а да якорь бошқаришли, 11.22-расм, б да эса қутб бошқаришли ижрочи двигателнинг электр схемаси кўрсатилган. Якорь бошқаришли двигателда уйғотиш чулғами Ҳзгармас ток манбаига доимо уланган бўлиб, якорь чулғамига бошқариш тоқи чўтка орқали бошқарувчи кучланиш манбаидан берилади.

Автоматик қурилмаларда якорь бошқаришли двигатель кўп ишлатилгани учун унинг механикавий хусусиятлари билан қисқача танишиб чиқамиз. Бошқарувчи кучланиш бўлмаганда якордаги ток нолга тенг бўлиб, двигатель айланмайди ва Ҳз-



11-22 расм.

Ўздан ишлаб кетмайди. Ўзгармас ток машинасининг назария-  
сидан маълумки, уйғотиш чулғамидаги кучланиш  $U_y = \text{const}$   
бўлганда магнит оқими

$$\Phi = K I_y = K' U_y,$$

якордаги ток эса

$$I_6 = \frac{U_6 - E}{r_y + r_n} = \frac{\alpha U_y - C_E K' U_y \cdot n}{r}$$

Двигателнинг айлантурувчи моментни эса

$$M = C_M \Phi I_6 = C_M K' U_y I_6$$

ёки

$$M = \frac{C_M K' \alpha U_y^2 - C_E C_M K'^2 U_y^2 \cdot n}{\sum r}$$

Двигателнинг механик характеристикасини қуриш учун  
иккита нуқтани белгилаймиз:

а) салт (юксиз) ишлаш ( $M_c = 0$ )

$$n_c = n_0 = \frac{1}{C_E K' \alpha}$$

$$\alpha = 1 \text{ бўлганда эса: } n_0 = \frac{1}{C_E \cdot K'};$$

б) ишга тушириш momenti

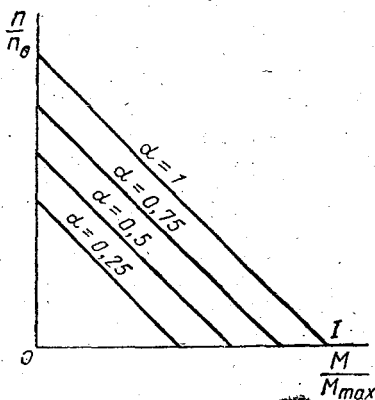
$$n_n = 0 \text{ да}$$

$$M_{и, т} = \frac{C_M K' \alpha U_y^2}{\sum r} = M_{\text{max}}$$

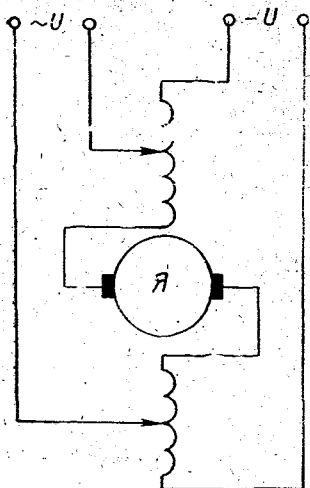
ёки

$$M_{\text{max}} = \frac{C_M K' U_y^2}{\sum r}$$

Якорь бошқаришли двигател-  
нинг механик характеристикаси-  
нинг тўпламини қурамиз, бунда  
нисбат  $\frac{n}{n_0}$  ни нисбат  $M/M_{\text{max}}$  деб  
қараймиз. Сигнал коэффициенти  
 $\alpha$  нинг турли қийматларида ме-  
ханик характеристикаларнинг па-  
раллел эканлигини 11.23-расмдан  
кўриш мумкин. Бундай кўриниш-  
даги механик характеристикалар  
двигатель айланишининг тез ор-  
тиб кетишини ва унинг айлани-



11.23- расм.



11.24- расм.

шини тўғри, чизиқли ростлаш мумкинлигини кўрсатади. Якорь бошқаришли двигателнинг камчилиги айлантирувчи моментнинг сигнал коэффициентини  $\alpha$  га боғлиқлиги ҳисобланади. Двигателнинг аниқ ишлаши учун келтирилган сигналнинг қуввати бирмунча катта бўлиши керак.

### 11.8. УНИВЕРСАЛ КОЛЛЕКТОРЛИ ДВИГАТЕЛЛАР

Универсал коллекторли двигателлар автоматик қурилмаларда ва маиший электр асбобларнинг юритмаларида ишлатилади. Уларнинг қуввати ваттнинг бир неча улушидан бир неча юз ваттгача бўлади. Булар ўзгармас ва ўзгарувчан ток (бир фазали) манбаларидан таъмин-

ланади. Универсал коллекторли двигателнинг тузилиши кетма-кет уйғотишчи ўзгармас ток двигателининг тузилишидан деярли фарқ қилмайди. 11.24-расмда универсал коллекторли двигателнинг принципаиал электр схемаси кўрсатилган. Маълумки, бир вақтда якордаги токнинг ва уйғотиш чулғамидаги токнинг йўналишини ўзгартириш билан айлантирувчи моментнинг йўналиши ўзгармайди. Демак, уни ўзгарувчан ток манбаига улаганда ҳам у айланаверади. Аммо, уйғотиш чулғамига ўзгарувчан ток берилганда унинг индуктив қаршилиги катта бўлади. Магнит занжирининг яхлит қисмларида катта иссиқлик исрофи юзага келади. Двигатель ўзгарувчан токда ишлаганда унинг индуктив қаршилигини камайтириш учун уйғотиш чулғами секцияларга бўлинади ва тармоққа чулғамнинг бир қисми уланади. Универсал коллекторли двигатель ўзгармас ток двигателидан шуниси билан фарқ қиладики, бунда унинг магнит системаси (станина ва қутблар) шихталанган электротехник пўлаг тунукалардан тайёрланади, шунингдек, уларнинг қўшимча қутблари йўқ.

Якорнинг иккала томонида симметрик жойлаштирилган уйғотиш чулғами двигатель ҳосил қиладиган (радиога халал берувчи) сигналларни камайтиришга имкон беради. Двигателнинг ўзгарувчан токда ишлаши унинг ўзгармас токда ишлашидан фарқ қилиб, бир қатор ўзига хос хусусиятларга эга. Бунга мисол тариқасида чўтка, коллектор ва бутун машина хизмат муддатининг қисқаришини кўрсатиш мумкин.

## 12-б.б. БОШҚАРИШ ВА ҲИМОЯ АППАРАТЛАРИ. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИ БОШҚАРИШ

### 12.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Электротехника қурилмаларини бошқариш ва ҳимоя қилиш турли хил аппаратлар ёрдамида амалга оширилади. Вазифасига қараб уларни иккита асосий гуруҳга: коммутацияловчи (улаш) ва ҳимоя аппаратларига бўлиш мумкин. Коммутацияловчи (улаш) аппаратларга турли хил узгичлар, ажратгичлар, контакторлар, магнитли ишга туширгич ва бошқалар киради. Ҳимоя аппаратларига ҳаволи автоматик узгичлар, эрувчан сақлагичлар ва турли хил релелар киради. Баъзи аппаратлар масалан, магнитли ишга туширгич автоматлар ҳам коммутациялаш; ҳам ҳимоялаш вазифаларини бажаради.

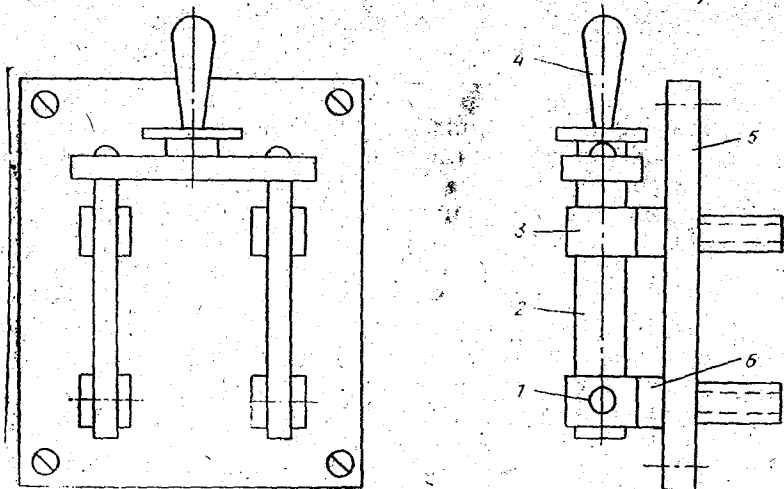
Электр аппаратлар орқали электр юритмадаги двигателларни ишга тушириш, тўхтатиш, бир тезликдан иккинчисига ўтказиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш ва бошқа мураккаб вазифалар бажарилади. Электр аппаратларнинг ишончли ишлашида контактлар муҳим ўрин эгаллайди. Контактлар қуйидаги уч турга: қаттиқ (ажралмайдиған), масалан, машиналар ва аппаратларнинг қисмаларига ўтказгичларни бириктириш; сурилувчи; коммутацияловчи (узувчи) аппаратларга бўлинади. Контактлар оғир шароитларда ишлайди, агар аппаратлар қисқа туташув тоқларини узиши керак бўлса, бу шароит яна ҳам оғирлашади.

Юқори кучланишли ва катта тоқли занжирларда маълум миқдорда ўзиндукция ЭЮК вужудга келади. Бу ЭЮК ва тармоқ кучланиши таъсирида ажралувчи контактлар оралигила электр разряд, яъни электр ёйи вужудга келади. Бунда юқори температура юзага келиши натижасида контактлар бузилади ёки эриб бир-бирига ёпишиб қолади. Шунинг учун кўпгина коммутацион аппаратлар ёй сўндиргичлар билан жиҳозланади.

Ўзгарувчан ток занжирини узиш анча осон, чунки ўзгарувчан ток даврий равишда ноль қийматлардан ўгиб туради. Бу эса ёйнинг сўнишини енгиллаштиради. Агар контактлар ток нолдан ўтаётган лаҳзада ажратилса ва улар катта тезликда керакли ораликқа узоқлаштирилса, ёй вужудга келмаслиги ҳам мумкин. Ҳозирги вақтда кўпгина коммутацион аппаратлар ярим ўтказгичли асбоблар асосида контактсиз қилиб ясалмоқда.

### 12.2. ҚЎЛ БИЛАН БОШҚАРИЛАДИГАН АППАРАТЛАР

Электр аппаратларни улаш ва узишни хизмат қилувчи ходим ёрдамида амалга ошириш қўл билан бошқариш деб аталади. Қўл билан бошқариладиган аппаратларга рубильниклар, қайта улагичлар, пакетли узгичлар, контроллёрлар, буйруқ



12.1- расм.

берувчи контроллерлар, ажратгичлар, кнопкалар ва ҳоказолар киради.

**Рубильниклар ва қайта улагичлар.** Битта занжирда уланган ва узилган ҳолатларга қўл билан ҳаракатлантирилиб эришилаётган ноавтоматик узгич *рубильник* деб аталади. Иккита турли занжирларга навбати билан улаш учун хизмат қилувчи рубильник *қайта улагич* деб аталади. Рубильник ва қайта улагичлар 500 В гача бўлган номинал кучланиш учун мўлжалланган бўлиб бир, икки ва уч қутбли қилиб ясалади.

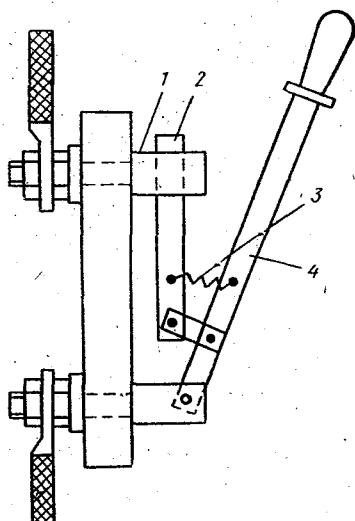
Рубильник ва қайта улагичлар марказий дастали, ён дастали ва ричагли бўлади. Улар кичик (5—20 А) ва катта (100—600 А) тоқларга мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. 12.1- расмда кичик токка мўлжалланган рубильникнинг тузилиши кўрсатилган. Рубильникнинг барча деталлари изоляцион асосга ўрнатилади. Рубильникни узганда қўзғалувчан қисм (пичоқ) 2 ва қўзғалмас қисм (жағ) 3 контактлари орасида ёй ҳосил бўлади ва бу ёй ток нолдан ўтганда контактлар оралиғида зарядланган заррачаларнинг тез камайиши туфайли ўчади. Ёй ҳосил бўлганда контактларни куйишдан сақлаш учун рубильниклар иккита: асосий 4 ва ёрдамчи 2 пичоқлар билан таъминланади (12.2- расм). Бу пичоқлар шарнир воситасида пружина 3 билан ҳам боғланган. Рубильник ажратилганда қўзғалмас контакт 1 дан олдин асосий пичоқ чиқади, сўнгра ёрдамчи пичоқ пружина таъсирида жуда тез чиқади. Натижада, вужудга келган электр ёйи кичик қувватга эга бўлади ва тезда ўчади.

Катта токли рубильниклар ва қайта улагичлар ёй сўндирувчи қурилма билан жиҳозланади. Ёй сўндирувчи қурилмаси

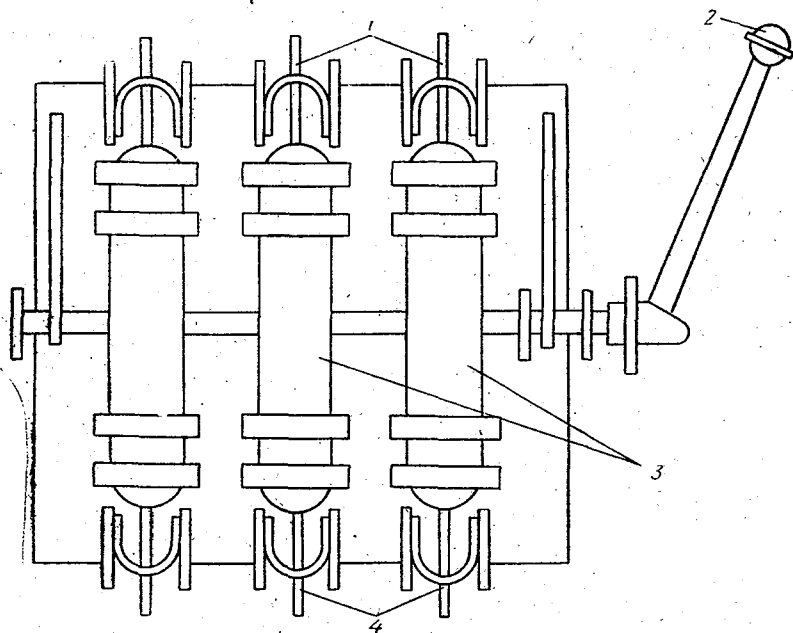


бўлмаган рубильниклар токсиз занжирларни узиш ва очиқ узилишлар ҳосил қилишга мўлжалланган.

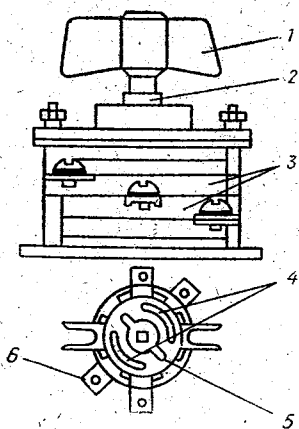
Баъзи ҳолларда битта аппарат бир неча вазифани бажариши мумкин. Масалан, баъзи замонавий рубильникларда пичоқлар сифатида сақлагичлардан фойдаланилади. Бундай рубильниклар бир вақтнинг ўзида ҳам коммутация, ҳам ҳимоя вазифаларини бажаради. Блокли рубильник-сақлагичлар учта сақлагич 3 дан иборат бўлиб, умумий траверсага маҳкамланади (12.3-расм). Уни улаганда сақлагичлар траверса билан бирга сурилади ва уларнинг пичоқлари таянч контактлар 1 ва 4 нинг жағларига киради. Ушбу рубильниклар ёпиқ қилиб ясалади. Бунда шу нарса аҳамиятлики, бир томонга очиладиган қопқоқ рубильник дастаси 2 билан механик қулф-калитга эга: қопқоқни очиш фақат узилган ҳолатдаги



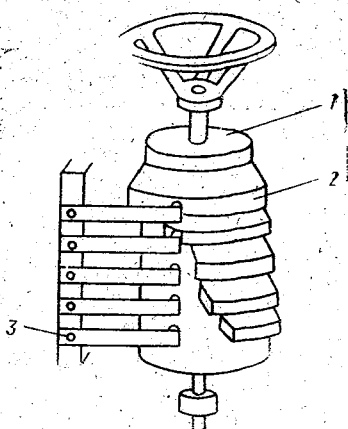
12.2- расм.



12.3- расм.



12.4- расм.



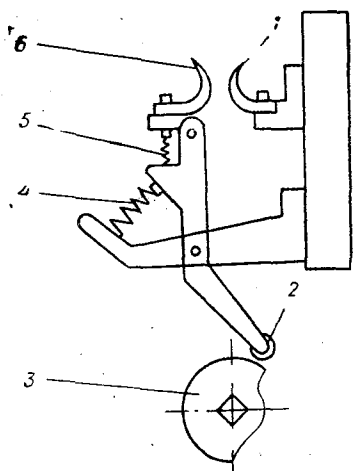
12.5- расм.

дастадагина мумкин, дастани улаш эса фақат қопқоқ ёпилган ҳолда амалга оширилади.

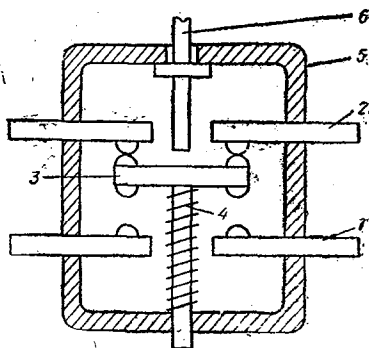
Пакетли узгичлар ва қайта улагичлар катта бўлмаган қувватли двигателларни ишга тушириш ва айланиш йўналишини ўзгартириш схемаларида, шунингдек, асинхрон двигателлар чулғамларини учбурчакдан юлдуз схемага қайта улашда ишлатилади. *Пакетли узгич* (12.4-расм) бураб ишлатиладиган кичик ҳажмли аппарат бўлиб, умумий жойлаштирилган бир неча қатламлар (пакетлар) 3 дан иборатдир. Ҳар бир пакет ичида қўзғалувчан 5 ва қўзғалмас 4 контактлар бўлади. Қўзғалмас контактларга электр занжир симлари уланади. Қўзғалувчан контакт 5 ўқ 2 га маҳкамланган бўлиб, даста 1 ёрдамида айлантирилади ва белгиланган маълум ҳолагларга эга бўлади. Бунда пакетлардан бирининг қўзғалмас контактлари туташиб, истемолчи электр манбаига уланади. Қўзғалмас контактларнинг қисмалари 6 узгич асосига маҳкамланган. Пакетли узгичларнинг камчилиги қўзғалувчан (сурилувчи) контактларнинг ишончилиги паст бўлишидандир.

Контроллерлар (инглизча *controller* — бошқариш) ишлаш принципи ва вазифасига кўра пакетли узгичларга яқин бўлиб, кучли электр занжирларини маълум дастур бўйича қайта улашда ишлатилади. Улар ёрдамида баъзи кўтарма кранлар ва бошқа механизмлар электр двигателларининг занжирларида токни улаш амалга оширилади.

Контроллерларнинг барабанли ва кулачокли хиллари бор. Барабанли контроллерда занжирнинг уланиши (12.5-расм) барабан 1 нинг айланиб, қўзғалувчан 2 ва қўзғалмас 3 контактларнинг туташишида амалга ошади. Қўзғалувчан контактлар



12.6- расм.



12.7- расм.

мисдан ёки бронзадан ясалади ва барабандан диэлектрик материал билан ажратиб қўйилади. Сурилувчи контактнинг мавжудлиги, юқорида айtilганидек, аппаратнинг ишончлилигини кескин пасайтиради. Шунинг учун, кўпинча, кулачокли контроллерлар ишлатилади. Уларда сурилмайдиган контактлар бўлиб, уларга кулачоклар таъсир этади. Кулачокли контроллер секцияларидан бирининг тузилиши 12.6-расмда кўрсатилган. Кулачок 3 бурилганда ролик 2 ё кулачокда бўлади, ёхуд унинг ўйиқ жойига тушади. Ролик кулачокда бўлганда контактлар 1 ва 6 ажрагилган ҳолатда бўлади. Ролик ўйиққа тушганда контактлар пружиналар 4 ва 5 таъсири остида туташади.

**Командоконтроллерлар.** Кулачоги нисбатан кичик контроллерлар кичик қувватли бошқариш занжирларини улаш ва узиш учун ишлатилади. Улар буйруқ берувчи контроллерлар деб ҳам аталади.

**Кнопкалар бошқариш схемаларида** ёрдамчи электр занжирларни улаш ва узиш орқали электромагнит аппаратларни масофадан туриб бошқаради, Кнопкаларнинг тузилиши турлича бўлади (ҳар хил уловчи ва узувчи контактларнинг тўплами билан); бошланғич ҳолатга ўз-ўзидан қайтувчи: босилган ҳолатда қолувчи: махсус калит билан уланувчи ва бошқалар.

Икки контактли бошқариш кнопкасининг тузилиши 12.7-расмда кўрсатилган. Изоляцион материалдан ясалган асос 5 га қўзғалмас контактлар 1 ва 2 жойлаштирилган. Кнопканинг штифти 6 босилганда металл ўтказгичли кўприкча 3 ёрдамида қўзғалмас контактлар 1 туташади, контактлар 2 эса ажралади. Пружина 4 кнопкани дастлабки ҳолатга қайтариш учун

хизмат қилади. Битта асосга саккизтагача контактлар жуфтини жойлаштириш мумкин. Бунда уларни кнопка станцияси деб аталади. Бошқариш схемаларида иккита: юргизиш ва тўхтатиш кнопкалари қўлланилади. Агар юргизиш кнопкаси босилса, бошқариш занжири уланади ва, аксинча, тўхтатиш кнопкаси босилса, бошқариш занжири узилади. Бу кнопкалар битта асосга жойлаштирилади.

Қўл билан бошқариладиган аппаратлар вазифаси ва тузилишига кўра бир неча хилга бўлинади. Улар орасида турли хил узгичлар, тумблёрлар, йўл қайта улагичлар, йўл охиридаги узгичлар ва бошқалар бор. Ушбу аппаратлар ҳам бошқариш занжирини улаш ва узиш учун хизмат қилади. Уларнинг тузилиши ва ишлаши кнопкаларникидан кам фарқ қилади.

### 12.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТ КОНТАКТОРЛАР, МАГНИТЛИ ИШГА ТУШИРГИЧЛАР ВА АВТОМАТЛАР

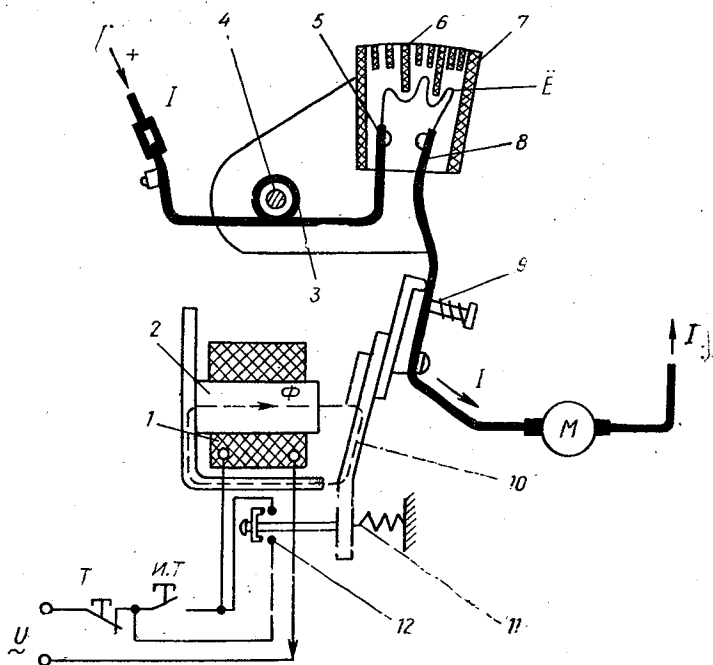
Ўзгармас ва ўзгарувчан ток электр двигателларини, ўзгартиргичларни, электр иситиш қурилмаларни ва бошқа ҳар хил электр энергия истеъмолчиларини электр манбаига улаш учун контактлар, магнитли юргизгичлар, автоматлар ва бошқа электромагнит аппаратлардан фойдаланилади. Бу аппаратлар катта ток занжирларини автоматик ва масофадан туриб бошқариш имконини беради.

Электромагнит контактор. Коммутацияловчи электромагнит аппарати *контактор* деб аталади. Унинг бошқариш занжирини қайта улаш қўл билан амалга оширилиб, бунда асосий катта ток занжири автоматик ҳолда уланади ва узилади. Контактлар токи бўлган электр қурилмани кўп марта ва тез улаш ва узиш учун хизмат қилади.

Контактлар асосий куч занжиридаги токнинг қийматига кўра ўзгармас ва ўзгарувчан ток контактларига бўлинади. Контактлар 75—4000 А токка (ўзгармас токда кучланиши 220, 440, 650, 750 В га ва ўзгарувчан токда кучланиши 380, 500 ва 660 В га) мўлжаллаб ишлаб чиқарилади ва занжирни соатига 600—1500 марта узиб-улаш имконини беради.

Бир қутбли контактлар тузилишининг принципиал схемаси 12.8-расмда кўрсатилган. Изоляция материалдан ясалган асосга кўзгалмас асосий контакт 5 маҳкамланган. Чулғам 1 нинг ўзаги 2 га ўқ орқали якорь 10 шарнирли тарзда маҳкамланган. Якорга ричаг воситасида кўзгалувчан контакт 8 ўрнатилган. Контакт уланганда электр тармоғидан келаётган ток ўзак 4 атрофига ўралган чулғам 3 орқали кўзгалмас контакт 5 дан кўзгалувчан контакт 8 га, ундан эса мис тасмалардан ясалган қайишқоқ ричаг орқали болтга ва ундан сим орқали двигателга ўтади.

„Ишга тушириш“ кнопкасини босганда юритувчи электромагнитнинг чулғами 1 га кучланиш берилади ва чулғам орқа-

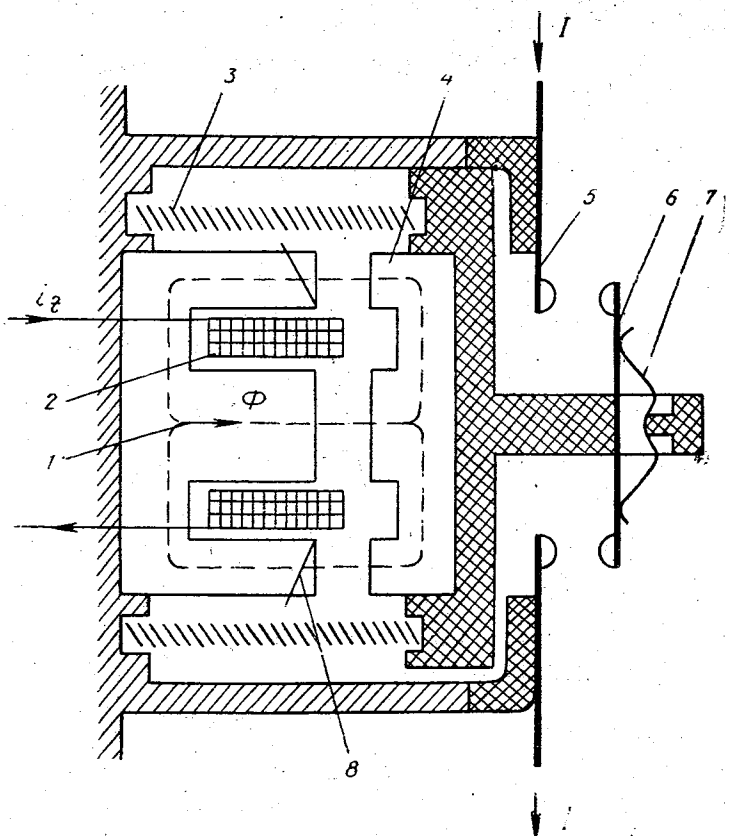


12.8- расм.

ли ток оқиб ўтиб, магнит оқим  $\Phi$  вужудга келади. Магнит оқими электромагнит кучни ҳосил қилади ва у қайтарувчи  $11$  ва контакт  $9$  пружиналарнинг кучини енгиб, якорь  $10$  ни ўзак  $2$  га тортади. Қўзғалувчан контакт  $8$  қўзғалмас контакт  $5$  га тортилади ва асосий контакт уланади, натижада истеъмолчи тармоққа уланади. Шу вақтда ёрдамчи контакт  $12$  уланади ва у „Ишга тушириш“ кнопкасини шунтлайди. Сўнгра „Ишга тушириш“ кнопкасини қўйиб юборганда ҳам чулғам  $1$  занжири узилмайди, контактор эса уланган ҳолатда қолади. Қўзғалувчан контакт  $8$  ни қўзғалмас контакт  $5$  га туташтириш учун контакторда контакт пружина  $9$  ўрнатилган. Бу пружина, шунингдек, қўзғалувчан контактни қўзғалмас контактга туташтиришдаги титрашни камайтиради.

Асосий контактлар узоқлашганда ёй „Е“ вужудга келади ва у ёй сўндирувчи камера  $7$  да сўнади. Ёй сўндирувчи камера изоляцион тўсиқларга эга бўлиб, ёйни чўзади ва унинг қаршилигини кўпайтиради. Ёйнинг камерага ўтиши учун магнитли пуфлаш системасидан фойдаланилган, у пўлат ўзак  $4$  га жойлаштирилган чулғам  $3$  дан иборат.

Ғалтакни таъминловчи токнинг турига қараб (ўзгармас ва ўзгарувчан) магнит система ўз хусусиятига эга. Ўзгармас ток



12.9- расм.

контакторларида ўзак яхлит, ўзгарувчан ток контакторларида эса электротехник пўлат пластинкалардан йиғилган бўлади. Мазкур пластинкалар уярма тоқларнинг ва улар ҳосил қилувчи ўзгарувчан ток контакторининг ўзагидаги исрофларнинг камайишини таъминлайди. Ўзгармас ток контакторида тортувчи электромагнит куч ўзгармас магнит оқими, ўзгарувчан ток контакторида эса ўзгарувчан магнит оқими орқали вужудга келади. Якорь 4 нинг ўзгарувчан магнит оқими таъсири остида титрашининг олдини олиш учун магнит системада мис ёки жездан ясалган қисқа туташтирилган ўрам 8 кўзда тutilади (12.9- расм). Мазкур ўрам якорь ёки ўзакнинг бир қисмига кийгизилади. Ўзгарувчан магнит майдон оқими қисқа туташтирилган чулғам билан илашиб, унда ўзгарувчан ток ҳосил қилади. Бундай ўрамнинг мавжудлиги якорга таъсир қилувчи ўзгарувчан магнит оқимларида фаза силжишини ҳосил қилади ва якорнинг мустаҳкам тортилишини таъминлайди.

**Магнитли ишга туширгич.** Магнитли ишга туширгич 75 кВт гача бўлган асинхрон двигателларни автоматик бошқарувчи қурилма бўлиб, контакторлар асосида ишлаб чиқарилади ва уларга иссиқлик релелари ва ёрдамчи контактлар ўрнатилади.

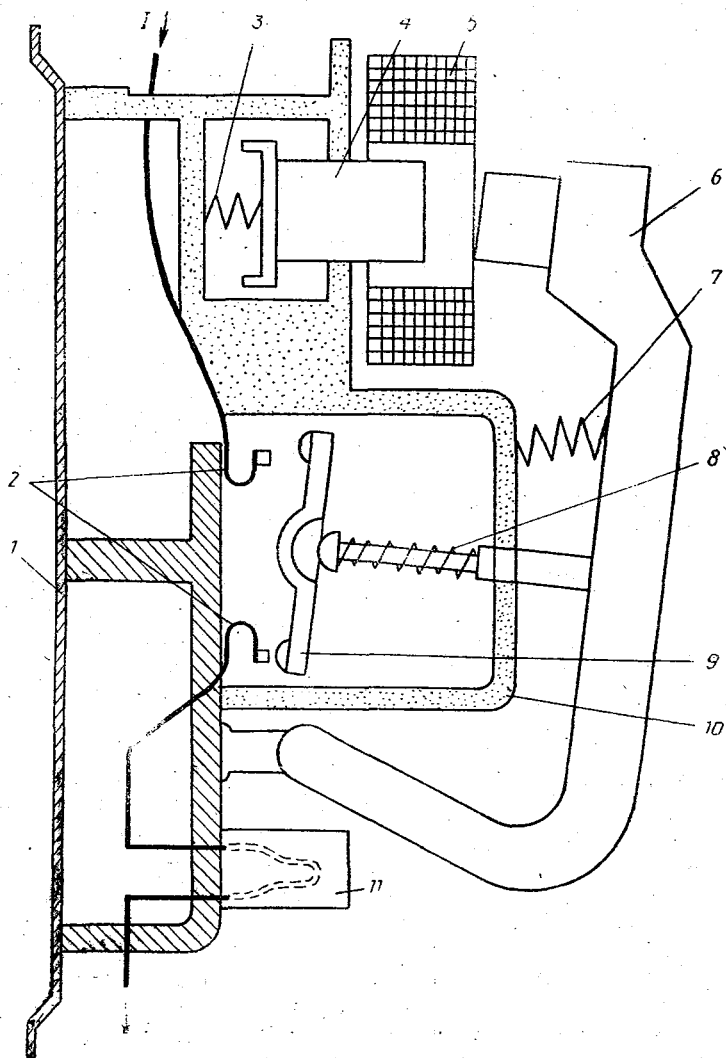
Кичик қувватли асинхрон двигателларни бошқариш учун тўғри йўлли магнит системали магнит юритгичлардан фойдаланилади (12.9-расм). Магнит ўтказгич 1 бошқариш чулғами 2 билан магнитли юритгич корпусига қўзғалмас қилиб маҳкамланади. Асоснинг изоляцион қисмига қўзғалмас контактлар 5 ва якорга қўзғалувчан контактлар 6 маҳкамланади. Бошқариш чулғамидан ток  $i$ , ўтганда магнит системада магнит оқими  $\Phi$  вужудга келади. Унинг таъсири остида якорь 4 пружина 3 нинг сиқиш кучини енгиб, қўзғалмас магнит ўтказгичга тортилади. Якорь билан боғланган қўзғалувчан контактлар 6 қўзғалмас контакт 5 га уланади ва коммутацияланаётган занжирдан ток  $I$  ўтади. Контактлар қайишқоқ пўлат пластинкали яси пружина 7 орқали босилади.

Ўзгарувчан ток магнитли юритгичнинг бошқариш чулғамидagi ўрамлар сони ўзгармас ток юритгичининг чулғамидагига нисбатан кам. Шунинг учун магнит занжири ёпиқ бўлганда ўзгарувчан ток магнитли юритгичнинг бошқариш чулғамлари катта индуктив қаршиликка эга. Бошқариш чулғами уланган заҳоти унда ток катта бўлади, якорь тортилгандан сўнг ток камаяди. Ўзгарувчан ток магнитли ишга туширгичи уланганда титраш ҳосил бўлади. Бу титраш бошқариш чулғамини 50 Гц ли ўзгарувчан ток билан таъминлаганда чулғам токи ва магнит оқими ноль қийматлардан секундига 100 марта ўтишида вужудга келади. Бу вақтда якорни ўзакка тортиб турувчи электромагнит кучи ҳам нолга тенг бўлади. Бунинг натижасида якорь титрашининг вужудга келиши, диниллашни юзага келтиради. Шунинг учун ўзгарувчан ток магнитли ишга туширгичлари титрашни камайтирувчи махсус қурилма — қисқа туташтирилган ўрам 8 га эга. Қисқа туташтирилган ўрам якорь ёки ўзак учларига жойлаштирилади ва магнит ўтказгичнинг бир қисмини қамраб олади. Бошқариш чулғами ҳосил қилган ўзгарувчан магнит майдон оқимининг бир қисми қисқа туташтирилган ўрам билан илашиб, унда ЭЮК ҳосил қилади. Ушбу ЭЮК таъсирида ўрамдан ток оқиб ўтади ва ўрамда магнит ҳосил бўлади. Ўрам майдонининг оқими бошқарувчи чулғам майдонининг оқимидан фаза бўйича деярли  $90^\circ$  га кечикади. Шунинг учун бошқариш чулғамининг магнит оқими ноль қийматга эришганда якорь қисқа туташтирилган ўрамнинг магнит оқими ҳосил қилган электромагнит куч орқали ўзакка тортилиб туради.

Бошқариш чулғамининг токи узилганда магнит майдон оқими камаяди ва пружина 3 таъсири остида якорь чекка ўнг ҳолатга сурилади. Натижада якорга маҳкамланган қўзғалувчан контакт қўзғалмас контактдан ажралади.

Саноатда тўғри йўлли қўзғалувчан системали магнит ишга туширгичларнинг ПМЕ тури ва унинг ўрнини эгаллаётган ПМЛ тури кенг ишлатилмоқда.

ПМЛ турдаги магнитли ишга туширгичлар ротори қисқа туташтирилган уч фазали асинхрон двигателларни масофадан туриб тўғридан-тўғри электр тармоққа улаш билан ишга тушириш ва тўхтатиш учун хизмат қилади. Бу магнитли ишга туширгичлар двигателни рухсат этилмаган давомли ўта юкланишдан ва фазалардан бири узилганда вужудга келувчи тоқлардан иссиқлик релеси ёрдамида ҳимоя қилади. Ишга ту-



12.10- расм.



ширгичлар магнит ўтказгичларининг номинал кучланиш 380 В ва ток 10—63 А га мўлжаллаб ясалган хили III-симон турли тўғри йўлли системага эга, 80—200 А токка мўлжалланган хиллари эса II-симон турда бўлади.

Ўртача қувватли (17—75 кВт) асинхрон двигателларни номинал 380—500 В кучланишда бошқариш МАЕ серияли магнит юритгич ёрдамида амалга оширилади. У бурилувчи турдаги қўзғалувчан системага эга (12.10-расм). Юритгич металл асос 1 га эга. Қўзғалмас контактлар 2 изоляцион камера 10 ичига, кўприк турдаги қўзғалувчан контактлар 9 эса қўзғалувчан якорь 6 га жойлаштирилган. Контактлар контакт пружиналар 8 орқали босилади. Қўзғалмас магнит ўтказгич 4 чулғам 5 билан амортизацияловчи пружиналар 3 га ўрнатилган. Юритгичнинг қўзғалувчан системаси ўзининг массаси ва пружина 7 ҳисобига ажратилган ҳолатга қайтади. Якорь титрашининг олдини олиш учун электромагнит қутбига қисқа туташтирилган ўрам ўрнатилади. Двигателларни ўта юкланишдан ҳимоя қилиш учун юритгичларга ўрнатилган иссиқлик релелари 11 дан фойдаланилади.

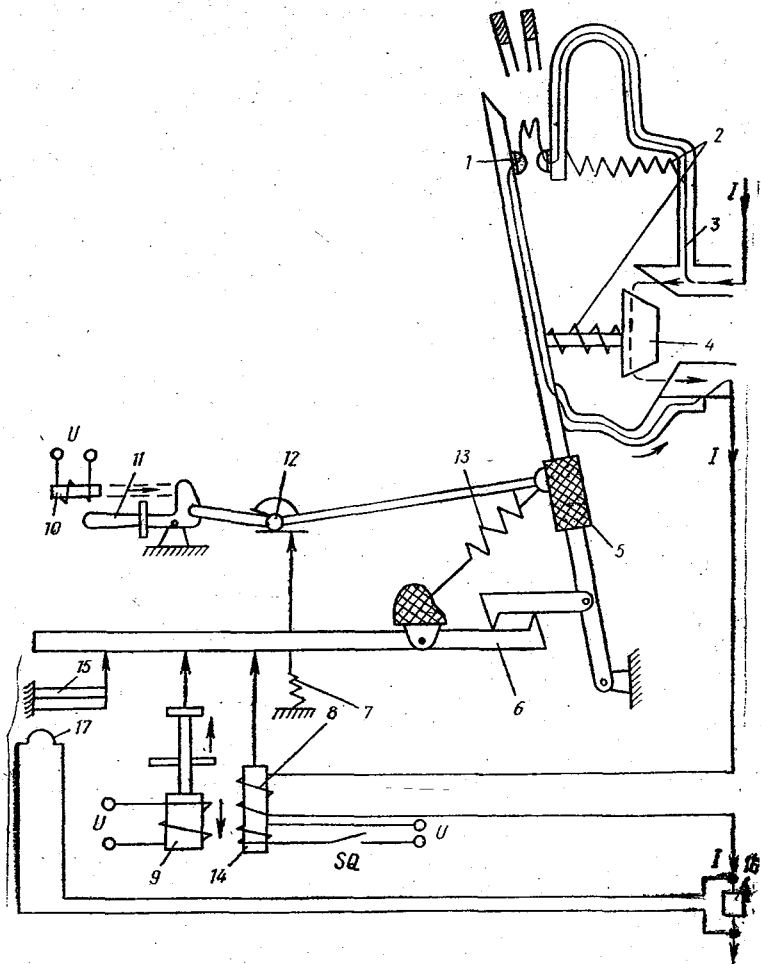
**Автоматик ҳаво узгич.** Автоматик узгич (автомат) электр занжирларни ва электр жиҳозларни улаш ва узиш учун ҳамда уларни қисқа туташилардан ва ўта юкланишлардан ҳимоя қилиш учун ишлатилади (12.11-расм). Ҳозирги электр қурилмаларда А3100 серияли (600 А гача) автоматик узгичлардан фойдаланилади. Улар секин-аста янги сериялар (А3700 ва АЕ-2000) билан алмаштирилмоқда. А3700 серияли узгичлар 40 дан 630 А гача бўлган номинал тоқлар учун мўлжалланган. Улар 4000 дан 6300 А гача оний таъсир этувчи максимал токка мўлжалланган электромагнитли максимал ток ажратгичларга эга.

Автоматик ҳаво узгичнинг принципиал схемаси 12.11-расмда кўрсатилган. Автоматик ҳаво узгичларда ёйни сўндириш учун махсус муҳит ишлатилмайди, у ҳавода ўчирилади.

Қутблар сонига кўра автоматик ҳаво узгичлар бир, икки ва уч қутбли бўлади. Кузатиладиган катталиқ (ток кучи, кучланиш ва иссиқлик миқдори)нинг белгиланган қийматдан ортиш лаҳзасидан бошлаб контактларнинг ажралиш лаҳзасигача бўлган вақтга кўра, яъни ишлаб кетиш вақти  $t_n$  га кўра автоматлар қуйидагиларга бўлинади: нормал автоматлар ( $t_n = 0,02 \div 0,1$  с); тез таъсир қилувчи автоматлар ( $t_n \leq 0,005$  с); ишлаб кетиш вақти 1 с гача бўлган рөстланувчи селектив автоматлар.

Автоматлар кучланиши ўзгарувчан токда 380, 660 В ва ўзгармас токда 110, 220, 440 В бўлганда 6000 А гача тоқлар учун мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Автоматларнинг узиш қобилияти 200—300 кА токкача етади. Автоматлар қуйидаги асосий элементлар: ёй сўндирувчи тузилма, контактлар, юритма, эркин ажратиб механизми, ажраткичлар ва ёрдамчи контактлардан иборат.

Автоматнинг контактлари узоқ вақт қизимасдан номинал тоқларни ўтказиши ва қисқа туташув тоқларини узиш-



12.11- расм.

да ҳосил бўлувчи ёй таъсирига чидаши керак. Биринчи шартга мувофиқ контактларни солиштирма қаршилиги кичик материалдан, иккинчи шартга мувофиқ эса ёй таъсирига чидамли материалдан тайёрлаш керак. Ҳар иккала шартни бир вақтнинг ўзида бажариш мумкин бўлмаганлиги учун икки жуфт — бош 3 ва 4 ҳамда ёй сўндирувчи 1 контактлар қўлланилади (12.11- расм). Нормал режимда токнинг асосий қисми мис, қумуш ёки уларнинг қотишмасидан тайёрланган бош контактдан ўтади. Автомат узилганда аввал асосий контактлар ажралади, лекин ток занжири узилмайди, чунки токнинг ҳаммаси ёй сўндирувчи контактлар занжирига ўтади. Сўнгра ёй сўндирувчи контактлар ажралади ва уларда электр ёйи сўнади. Узилади-

ган токнинг қиймати унча катта бўлмаганда ёй сўндирувчи контактлар мисдан, катта тоқларда эса вольфрам, унинг қоғишмасидан ёки металл чиннидан тайёрланади. Ёй сўндирувчи контактлар конструкцияси бўйича осон алмаштириладиган қилиб ясалади

Автоматнинг ёй сўндирувчи тузилмаси автоматни ўчирганда ҳосил бўладиган ёйни сўндириш учун хизмат қилади. Автоматларда пўлат пластинкали ёй сўндирувчи тузилмалаб кенг қўлланилади.

Автоматнинг юритмаси бевосита қўл билан ёки масофадан бошқарилувчи бўлиши мумкин. Қўл билан бошқарилганда занжирни улаш даста 11 ни бураш билан амалга оширилади. Масофадан бошқарилганда электромагнит 10 ёрдамида юритмага таъсир қилинади.

Эркин ажратиш механизми автоматни исталган вақтда ўчиришни таъминлайди, шунингдек, улаш жараёнида ҳам ўчиришни (агар у лозим бўлса) амалга оширади. У таянчга шарнирли тарзда боғланган ричаг 12 дан иборат. Автоматик узгичнинг принципиал схемаси (12.11-расм) да автомат узилган ҳолатда турибди, чунки асосий контактлар 3 ва 4 ажратилган ва коммутация токи узувчи контактлар 1 нинг параллел занжири орқали ўтмоқда. Бундай конструкцияда ёй асосий контактларда вужудга келмайди ва улар куймайди. Узувчи (ёй сўндирувчи) контактлар бош контактлар 3 ва 4 дан етарли масофага узоқлашганда ажралади. Ток занжирининг узилиши натижасида электр ёйи ҳосил бўлади. У ёй сўндирувчи камерада сўндирилади. Контактлар охири туташини учун узвий ва асосий контактлар пружиналар 2 билан таъминланган. Автоматни улаш учун даста 11 ни босиш ёки электромагнит 10 га кучланиш бериш керак. Улашда ҳаракат даста 11 ёки электромагнит 10 дан ричаглар 12 ёрдамида асосий тортувчи деталь (ричаг) 5 га узатилади. Бу ричаг аввал ёй сўндирувчи 1 ни, сўнгра эса асосий контактлар 3 ва 4 ни туташтиради. Бунда узувчи пружина 13 чўзилади ва бутун система илгак 6 да илиниб туради.

Ажраткичлар электромагнит ёки биметалли механизмлар бўлиб, электр занжирининг берилган параметрларини назорат қилади ва мазкур параметрлар (ток, кучланиш ва иссиқлик) белгиланган қийматларидан ошиб кетганда автоматни ўчиради. Ушбу автомат электр жиҳозларни қисқа туташувдан, ўта юкланишдан ва минимал кучланишдан ҳимоя қилади. Қисқа туташув токи максимал ажраткич ғалтаги 8 дан ўтганда унинг электромагнит кучи қўзғалувчан ўзақли ғалтакка таъсир қилади ва илгак 6 ни чиқариб юборади.

Минимал кучланиши ажраткич тармоқ кучланиши берилдиган ғалтак 9 га ва пружинага эга. Тармоқ кучланиши номинал бўлганда уларнинг кучлари мувозанатлашади ва соленоиднинг штоги автоматни ўчириш (узиш) га таъсир қилмайди. Тармоқ кучланиши номиналдан пасайганда қўзғалувчан

ўзак ҳосил қилаётган куч етарли бўлмайди ва унинг штоги пружина таъсирида илгак 6 ни чиқариб юборади. Автоматни масофадан кнопка SQ ёрдамида ўчириш учун мустақил ажраткич ғалтаги 14 қўлланиши мумкин.

Биметалли (иссиқлик) ажраткич 15 иссиқликни электр тармоғига шунт 16 орқали уланган қиздирувчи элемент 17 дан олади. Чизиқли кенгайиш коэффициентини турлича бўлган иккита металл (биметалл) дан ташкил топган пластинка қизиганда эгилади. Бунда мазкур пластинканинг штоги илгак 6 ни чиқариб юборади. Иссиқлик ажраткич ёрдамида истеъмолчилар ўта юкланишдан ҳимоя қилинади. Ишлаб кетиш вақти ўта юкланиш токига боғлиқ, яъни ток қанча катта бўлса, биметалл пластинка шунча тез қизийди ва занжирни узиш шунча тезроқ амалга ошади. Иссиқлик инерцияси катта бўлганлиги учун иссиқлик ажраткичлар электр двигателларни ишга туширувчи тоқларнинг таъсирини сезмайди.

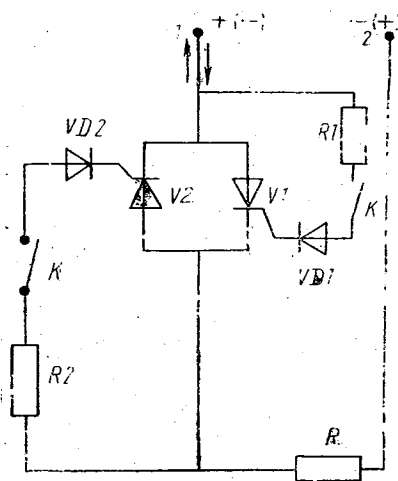
Баъзи автоматлар фақат электромагнит ёки иссиқлик ажраткичга эга бўлиши мумкин.

#### 12.4. ТИРИСТОРЛИ КОНТАКТОРЛАР

Куч занжирларини коммутацияловчи (узиб-уловчи) электромагнитли аппаратлар — контакторлар, магнитли ишга туширгичлар ва бошқа шунга ўхшаш элементларнинг энг муҳим камчилиги улардаги контактлар ишончилигининг пастлигидир. Катта тоқларнинг коммутацияси контактлар орасида ёйнинг вужудга келиши билан боғланган. Бу эса уларнинг қизишига, эришига ва натижада коммутацияловчи аппаратларнинг ишдан чиқишига олиб келади. Куч занжирлари тез-тез улаб-узиб туриладиган қурилмаларда коммутацияловчи аппаратлар контакт-

ларининг ишончсиз ишлаши бутун қурилманинг ишлашига салбий таъсир қилади. Тиристорлар асосида яратилган тиристорли контакторлар юқорида кўрсатилган камчиликлардан холидир. Тиристорли контакторлар ўзгарувчан ва ўзгармас токда ишлайдиган хилларга бўлинади.

Бир фазали тиристорли ўзгарувчан ток контакторларининг схемаси 12.12-расмда кўрсатилган. Бу схемадан қаршилиги  $R$  бўлган истеъмолчини бир фазали ўзгарувчан ток тармоғига улаб-узишда фойдаланилади. Мазкур схеманинг ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз.



12.12- расм.

Контактор вазифасини ўзаро қарама-қарши уланган тиристорлар  $V1$  ва  $V2$  бажаради. Бунда  $V1$  нинг катода  $V2$  нинг анодига уланган.  $V1$  ва  $V2$  лар нагрузка қаршилиги  $R$  билан кетма-кет уланади. Тиристор  $V1$  нинг бошқарувчи электродиод  $VD1$ , калит  $K$ , резистор  $R1$  орқали тиристор  $V1$  нинг анодига, тиристор  $V2$  нинг бошқарувчи электродиод эса диод  $VD2$ , калит  $K$  ва резистор  $R2$  орқали тиристор  $V2$  нинг анодига уланган. Бундай улаш тиристор аноди мусбат бўлганда унинг бошқарувчи электродиод катодга нисбатан мусбат бўлишини таъминлайди. Бу эса тиристорнинг ишлашига (очирилишига) қулай шароит яратади.

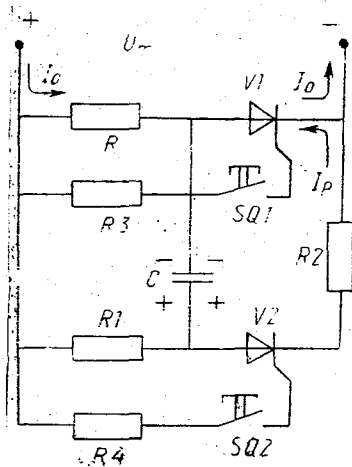
Контакторни улаш ва истеъмолчи занжирига кучланиш бериш учун калит  $K$  ни улаш керак, унинг контактлари тиристорлар ( $V1$  ва  $V2$ ) нинг бошқариш занжирларини улайди. Шу вақтда агар қисма  $I$  да мусбат потенциал (ўзгарувчан ток синусоидасининг мусбат ярим тўлқини) бўлса, у ҳолда тиристор  $V1$  нинг бошқарувчи электродиодга резистор  $R1$  ва диод  $VD1$  орқали мусбат кучланиш берилади. Тиристор  $V1$  очилади ва нагрузка  $R$  дан ток ўтади. Тармоқ кучланиши  $U_m$  нинг қутби алмашганда тиристор  $V2$  очилади. Шундай қилиб, нагрузка ўзгарувчан ток тармоғига уланади. Калит  $K$  ни узганда бошқарувчи электрод занжири узилиб қолади, натижада тиристорлар уланмайди ва нагрузка тармоқдан узиб қўйилади.

Кўриб чиқилган схемада тиристорни улаш калит ёрдамида амалга оширилишига қарамасдан, бу тиристорли контакторнинг ишлаш ишончилиги электромагнит контакторникидан анча юқори, чунки калит контактлари бошқарувчи электродлар занжирини коммутациялайди, уларга эса нагрузка токидан бир неча миллион мартагача кичик ток келади. Калит ўрнида реленинг контактидан фўйдаланиш мумкин. Тиристорли контакторларни электрон схемалар ёрдамида контактсиз қилиш мумкин. Бир фазали тиристорли контакторлар асосида уч фазали тиристорли контакторларни яратиш ҳеч қандай қийинчилик туғдирмайди.

Тиристорли контакторлар каби ПТ ва ПТК серияли тиристорли юритгичлар ҳам ишлаб чиқилган. Тиристорли юритгичларнинг ПТ ва ПТК сериялари 16 ва 40 А токларга ва 380 В кучланишга мўлжалланган бўлиб, асинхрон двигателларни манбага улаб-узиш учун хизмат қилади. ПТК сериядагиси эса двигателларни ўта юкланишлардан ва фазаларнинг узилишидан ҳам ҳимоя қилади.

Тиристорли ўзгармас ток контактори ўзгарувчан ток тиристорли контакторидан фарқли ўлароқ мажбурий коммутация узелига эга бўлиши керак. Чунки, тиристорни ёпиш учун бошқарувчи сигналнигина ўчириш кифоя қилмай, балки тиристор токини ҳам нолгача пасайтириш керак.

Тиристорли ўзгармас ток контакторининг принципаал схемаси 12.13-расмда кўрсатилган. Тиристор  $V1$  нагрузка  $R$  ни улайди, тиристор  $V2$ , конденсатор  $C$ , резистор  $R1$  ва  $R2$  лар



12.13- расм.

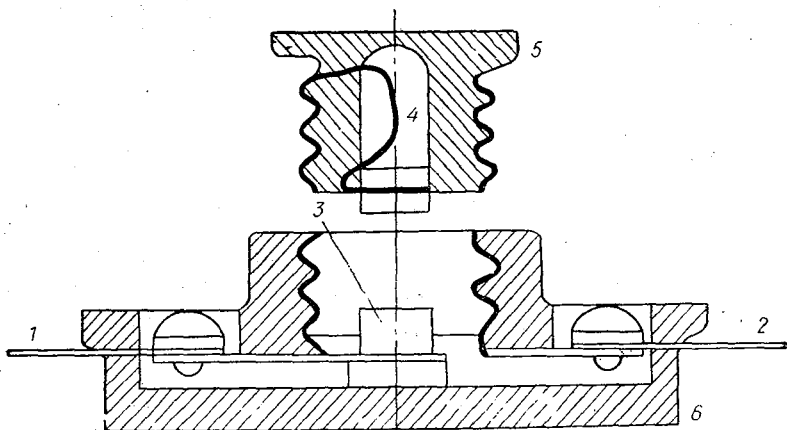
нинг резистор  $R_2$  орқали зарядсизланиши бошланади. Зарядсизланиш токи  $I_p$  ток  $I_0$  га нисбатан қарама-қарши йўналишга эга. Шунинг учун тиристор орқали ўтувчи натижаловчи ток  $I_0 - I_p$  нолгача камайганда нагрузка  $R$  тармоқдан узилади. Нагрузкани қайтадан манбага улаш учун яна кнопка  $SQ1$  ни босиш керак.

эса тиристор  $V1$  нинг мажбурий ёпилишини таъминлайди. Резисторлар  $R_3$  ва  $R_4$  тиристорларнинг бошқарувчи тоқларини чеклаш учун хизмат қилади. Нагрузкани улаш учун кнопка  $SQ1$  ни босиш керак, бунда тиристор  $V1$  нинг бошқарувчи электродига мусбат (катодига нисбатан) потенциал бериледи ва у очилади, нагрузка  $R$  орқали эса ток  $I_0$  оқиб ўтади. Шу вақтда конденсатор  $C$  зарядлана бошлайди, натижада мажбурий коммутация занжири ишга тайёрлана боради. Нагрузкани тармоқдан узиш, яъни ток  $I_0$  ни нолгача камайтириш учун кнопка  $SQ2$  ни босиш керак. Бу вақтда тиристор  $V2$  очилади ва конденсатор  $C$

## 12.5. ҲИМОЯ АППАРАТЛАРИ

Кучланиши 1000 В гача бўлган электр қурилмалари ва тармоқларининг занжирларини ўта юкланиш ва қисқа туташувларда автоматик ажратиш учун сақлагичлар, автоматлар, магнитли юритгичлар ва релелардан фойдаланилади.

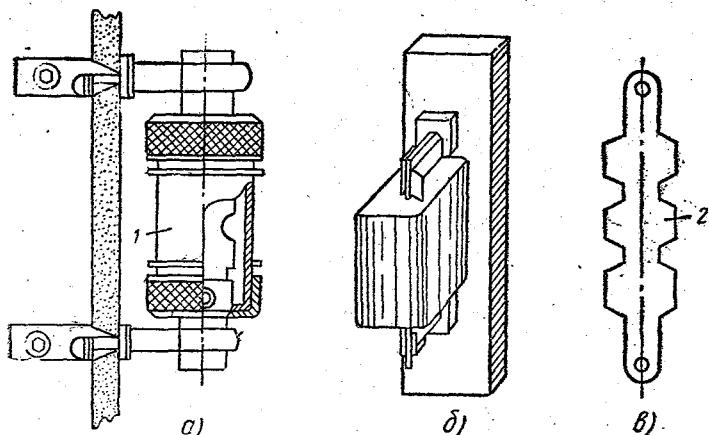
**Сақлагичлар.** Электр занжирида қисқа туташув ёки ўта юкланиш юзага келганда уни автоматик равишда бир марта узиш учун хизмат қиладиган аппарат сақлагич деб аталади. Занжирни сақлагич воситасида узиш эрувчан қўйманинг эриши туфайли амалга ошади. Бу эрувчан қўйма ўзидан муҳофазаланаётган занжирнинг токи оқиб ўтганда қизиб эрийди. Эрувчан қўймани қўлда алмаштириш мумкин. Конструкциясининг соддалиги ва арзонлиги сабабли эрувчан сақлагичлар саноат электр қурилмаларида, электр тармоқларида, электр станция ва подстанцияларда, радиотехника қурилмаларида ҳамда турмушда шу кунларда ҳам кенг қўлланилади. Сақлагичларнинг конструкцияси турлича бўлиб, миллиампердан то минглаб ампергача тоқларга мўлжалланади. Ҳамма сақлагичлар асосий элементлар асос, эрувчан қўйма, контакт ва ёй сундирувчи қурилма ёки ёй сундирувчи муҳитдан иборат бўлади.



12.14- расм.

Пробкали сақлагичлар 250 В гача кучланиш ва 60 А гача токка мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Пробкали сақлагич (12.14-расм) асос 6 дан ва унга бураб маҳкамланадиган резьбали пробка 5 дан иборат. Пробка чиннидан ясалади ва иккита металл контактлар билан таъминланади. Улар орасига эрувчан сим 4 пайвандланади. Кириш сими 1 қўзғалмас контакт 3 га уланган. Бу контакт алмашинувчи пробка 5 да жойлашган эрувчан қўйма 4 (маълум бир номинал ток учун мўлжалланган) орқали пробка 5 нинг бурама контакт ва чиқиш сими 2 уланган патрон орқали ёпиқ занжир ҳосил қилинади. Ток номинал қийматдан ортиб кетганда қўйма 4 эриб, занжир узилади.

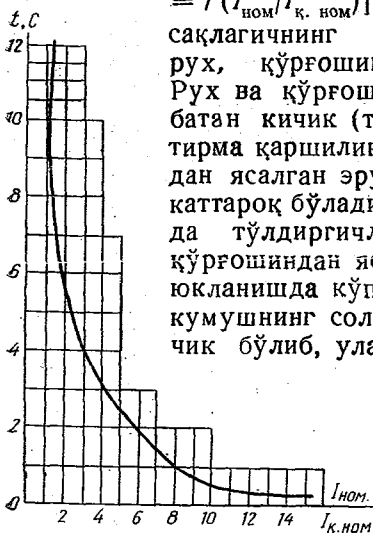
ПР ва НПР турдаги найчали сақлагичлар (12.15-расм). Бундай сақлагич газ ҳосил қилувчи фибрали найча 1 дан иборат бўлиб, унинг ичига аниқ ток кучига мўлжалланган рухли эрувчан қўйма 2 жойлаштирилган (12.15-расм, в). Қўйма эриганда унинг торайган жойларида бир нечта кетма-кет уланган ёйлар ҳосил бўлиб, уларнинг таъсирида фибрали найча ички юзасининг айрим қисмлари парчаланади ва катта миқдорда газ ажратади. Бунда найча ичида ҳосил бўлган юқори босим ёйнинг тез сўнишига имкон беради. ПР сақлагичларнинг патронлари 15, 60, 100, 200, 350, 600 А номинал тоқларга мўлжалланади (12.15-расм, а). Тўлдиргичли НПР турдаги ёпиқ сақлагичларда эрувчан қўймалар кварц қуми билан тўлдирилган ва кавшарлаб (қалайлаб) зич беркитилган чинни найчаларга жойлашган (12.15-расм, б). Бу сақлагичлар жуда катта узиш қобилиятига эга бўлиб, уларда ток товушсиз ва алангасиз узилади. Мазкур сақлагичларнинг асосий техник параметрлари номинал кучланиш ( $U_{ном}$ ) ва номинал ток ( $I_{ном}$ ) ҳисобланади.



12.15- расм.

Эрувчан қўйманинг узоқ вақт эримасдан ишлашини таъминлайдиган токнинг максимал қиймати эрувчан қўйманинг номинал токи  $I_{ном}$  деб аталади. Қўймадан ўтадиган ток  $I_{қом}$  нинг қиймати қўйма учун мўлжалланган токнинг номинал қиймати  $I_{қ.ном}$  га нисбатан қанча катта бўлса, қўйманинг эриш вақти, яъни ҳимоя қилинаётган занжирнинг узилиш вақти шунча кичик бўлади.

12.16- расмда эрувчан қўймаларнинг характеристикаси  $t = f(I_{қом}/I_{қ.ном})$  келтирилган. Эрувчан қўйма сақлагичнинг асосий элементи бўлиб, мис, рух, қўрғошин ёки кумушдан тайёрланади.



12.16- расм.

Рух ва қўрғошиннинг эриш температураси нисбатан кичик (тегишлича 419 ва 327°C), солиштира қаршиликлари эса катта бўлгани учун улардан ясалган эрувчан қўйманинг кўндаланг кесими каттароқ бўлади. Бундай қўймаларви сақлагичларда тўлдиргичларсиз ишлатиш мумкин. Рух ва қўрғошиндан ясалган қўймали сақлагичлар ўта юкланишда кўпроқ вақт ишлай олади. Мис ва кумушнинг солиштира қаршилиги нисбатан кичик бўлиб, улардан ясалган қўйманинг кўндаланг кесими катта эмас, бу уларнинг тез ишлаб кетишини таъминлайди. Бундай қўймалар қўйманинг ҳажмини кичрайтириш муҳим аҳамиятга эга бўлган тўлдиргичли сақлагичларда қўлланилади. Ишлатиш жараёнида оксидланишни камай-



тириш учун, одатда, сиртига қалай суви юритилган мис қўймалар қўлланилади. Кумуш оксидланмайди, шунинг учун уларнинг характеристикалари барқарордир. Лекин нархи қиммат бўлганлиги учун улар зарур ҳоллардагина қўлланилади.

Айрим истеъмолчиларни (масалан, двигателларни) ҳимоя қилувчи қўйма ва сақлагичларни танлашда иккита шартга риоя қилиш керак:

1) улардан узоқ вақт давомида нормал ток (иш токи  $I_{иш}$ ) ўтганда қўймалар эримаслиги, яъни  $I_{к, ном} \geq I_{иш}$ ;

2) қўймалар ҳимоя қилинаётган двигателларнинг қисқа муддатли (ишга тушириш) токига чидамли бўлиши, яъни

$$I_{к, ном} \geq \frac{I_{и, т}}{(1,5 \div 2,5)}.$$

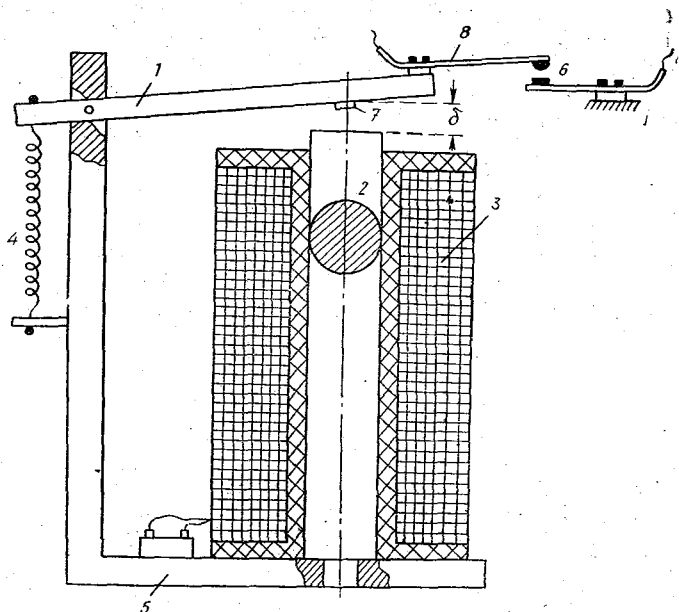
Оғир шароитда ишга тушириладиган электр юритмаларда  $1,5 \div 2$  коэффициент, енгил шароитда эса  $2,5$  коэффициент олинади.

**Реле.** Ҳозирги замон мураккаб электр системаларида ҳамда электр машиналар ва аппаратлар автоматикасида такомиллашган ва мустаҳкам қурилмалар — релелар кўп ишлатилади. Уларда кириш (бошқариш) катталиги ўзгарганда чиқиш катталиги дарҳол ўзгаради, натижада чиқиш контактлари ё уланади (бошқарилаётган занжирда ток пайдо бўлади), ёки узилади.

Бошқариш аппаратлари билан биргаликда ишлайдиган ҳимоя релеларининг вазифаси бузилишга олиб келувчи иш режимларида электр системаларни, двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни бузилишдан сақлашдир. Қабул қилиш элементларининг ишлаш принципига кўра релелар: электромагнит, индукцион, қутбланувчи, магнитоэлектрик, электродинамик ва электрон турларга бўлинади. Кириш параметрларига қараб релелар: ток релеси, кучланиш релеси, иссиқлик релеси ва бошқа турларга бўлинади.

Айрим ҳолларда битта реле ёрдамида бир-бирига боғлиқ бўлмаган бир нечта занжирларни бошқариш керак бўлади. Бунда оралиқ релелар ишлатилади. Реленинг ишга тушиш вақти  $0,05 - 0,25$  с.

Электромагнитли релелар кўпроқ тарқалган бўлиб, улар бошқариш чулғамидаги ток (кучланиш) ўзгаришидан таъсирланади. Автоматикада жуда кўп ишлатиладиган электромагнитли реленинг содда кўриниши 12.17-расмда тасвирланган. У қўзғалувчан якорь 1, ўзак 2, электромагнит чулғами 3, магнит ўтказгич 5, қайтарувчи пружина 4, нормал очиқ контактлар 6 ва магнитсиз ўзакча 7 дан иборат. Электромагнит чулғамидан ўзгармас ёки ўзгарувчан ток ўтганда якорни тортувчи электромагнит куч вужудга келади. Бу вақтда қайтарувчи пружина тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилади. Қўзғалувчан контакт ясси контакт пружина 8 орқали якорга маҳкамланган. Электромагнит чулғами бошқариш зан-



12.17- расм.

жирининг бир қисми бўлса, контактлар эса ижрочи занжирнинг бир қисмидир.

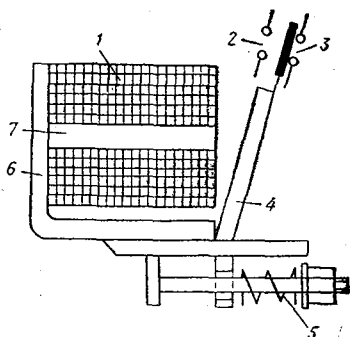
Электромагнит чулғамидан ток оқиб ўтганда магнит майдони вужудга келади. Майдоннинг магнит оқими ўзак, магнит ўтказгич ҳамда якорь орқали туташади ва якорни ўзакка тортади. Бу вақтда ўзакка маҳкамланган қўзғалувчан контакт қўзғалмас контактга уланади. Натижада ижрочи занжирда контактлар уланади ва ижрочи механизм ишга тушади. Контакт пружина 8 босим ҳосил қилиб, контактлар 6 нинг ишончли уланишини таъминлаш учун хизмат қилади. Электромагнит чулғамда кучланиш ёки ток узилганда реленинг якори қайтарувчи пружина 4 таъсирида нормал (дастлабки) ҳолатга қайтади ва контактлар 6 ажралади. Якорнинг паст томонидаги магнитсиз ўзакча 7 чулғамдаги ток узилганда якорнинг ўзакдан осон ажралишини таъминлаш учун хизмат қилади. Бунда қолдиқ магнетизм таъсири кескин камаяди. Релелар тузилишига қараб бир нечта уланувчи ва узилувчи контактларга эга бўлиши мумкин.

Кўриб чиқилган электромагнит релени оралиқ реле, баъзи ҳолда кучланиш релеси деб юритилади. У максимал ва минимал кучланиш релеларига бўлинади.

Максимал кучланиш релеси шундай ростланадики, агар кучланиш номинал, яъни белгиланган қийматдан ошиб кетса, у билан боғлиқ чулғам токи ҳам ошади. Натижада магнит оқи-

ми ошиб, якорни ўзакка тортади. Бунда реленинг нормал ёпиқ контаклари узилиб, ҳимоя қилинаётган электр қурилмани узишга автоматик ҳолда ахборот беради.

Минимал кучланиш релесининг нормал ёпиқ контакти номинал кучланишда очик бўлади. Агар кучланиш белгиланган қийматдан камайса, реле чулғамидаги ток ва магнит оқими камаёди. Бу оқим якорни тортиб туролмайди. Натижада якор ўзакдан узоқлашади ва нормал ёпиқ контакт улаиб, ҳимоя қилинаётган электр қурилмани узишга ахборот беради.



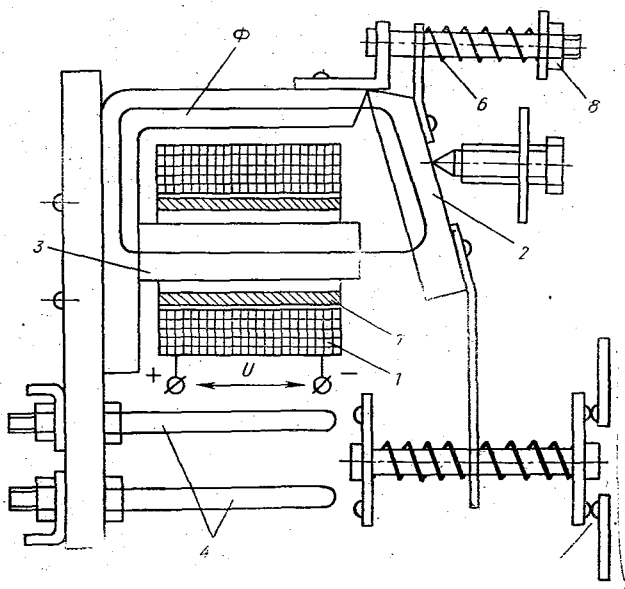
12.18- расм.

Оралик реле номинал кучланишда ишлайди. Унинг контаклари бир неча ампер ток кучига мўлжалланади.

Максимал ток релеси электр двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни қисқа туташув тоқларидан ҳимоя қилиш учун хизмат қилади (12.18- расм). Реленинг чулғами 1 ҳимояланаётган занжир билан кетма-кет уланади, шунинг учун ундан электр двигатель ёки бошқа қурилманинг иш токи оқиб ўтади. Реле чулғамининг қаршилиги кичик бўлиши учун, у йўғон симдан кам ўрамли қилиб ясалади. Ток ҳосил қилган магнит оқим ўзак 7, магнит ўтказгич 6 ва якор 4 бўйича туташади. Реле чулғамидан номинал токдан икки-уч марта катта ток ўтганда, яъни  $I = (2 \div 3) I_{\text{ном}}$  да вужудга келган электромагнит куч  $E_z = IW$  пружина 5 нинг қайишқоқлик кучи  $F_{\text{п}}$  дан кичик бўлади. Бу вақтда якор ўзакка тортилмайди, натижада контакт 3 уланган, контакт 2 эса уланмаган ҳолда бўлади.

Агар электр занжирида қисқа туташув содир бўлса, занжир токи номинал қийматдан бир неча марта катта бўлади. Бу вақтда вужудга келган электромагнит куч ҳаддан ташқари катта бўлганлиги учун пружина 5 нинг қаршилиқ кучини енгиб, якор 4 ни ўзак 7 га тортади. Бунда контакт 3 узилади, контакт 2 эса уланади. Реленинг 3 контакти контактор ёки бошқа аппаратнинг бошқариш занжирига уланган. Шунинг учун контакт 3 нинг узилиши контактор ёки бошқа аппарат ёрдамида электр двигателни ёки бошқа электр қурилмани электр манбаидан узади.

Максимал ток релесининг ишлаб кетиш токини пружина 5 ни таранглаш билан ростлаш мумкин. Одатда, ишлаб кетиш токи  $I_{\text{и}} = (2 \div 3) I_{\text{ном}}$  оралиғида танланади. Чулғамда катта токнинг пайдо бўлишидан контакт 3 нинг узилишигача кетган вақт 0,05 — 0,30 с бўлиб, реленинг *ишлаб кетиш вақти* деб аталади. Токнинг қиймати қанча катта бўлса, ишлаб кетиш



12.19- расм.

вакти шунча кичик бўлади. Реле ишлагандан ва контакт орқали двигателъ манбадан узилгандан кейин реледа магнит оқими бўлмайди ва якорь пружина таъсири остида дастлабки ҳолатга қайтади.

Агар юқоридаги релелар ўзгарувчан токда ишлатиледиган бўлса, уларнинг ўзагига, худди магнитли ишга туширгичдаги каби, қисқа туташтирилган чулғам жойлаштирилиши керак,

Вақт релеси автоматик бошқариш системаларида аппаратларни маълум кетма-кетликда ва маълум вақт оралиғида ишлашини таъминлаш ва ҳаяллаш вақтини юзага келтириш учун хизмат қилади. Вақт релеси ишлаши ва тузилишига кўра электромагнитли, электронли, пневматик ва бошқа турларга бўлинади.

Қуйида 12.19- расмда кўрсатилган электромагнитли вақт релесининг тузилиши ва ишлашини кўриб чиқамиз. Реленинг чулғами 1 ўзгармас ток тармоғига уланганда ўзакда магнит оқим  $\Phi$  вужудга келади ва унинг таъсирида якорь 2 дарҳол ўзак 3 га тортилади. Бунда контактлар 4 уланади ва контактлар 5 эса узилади. Агар чулғам 1 ни ўзгармас ток манбадан узилса реледа ҳаяллаш вақти бошланади. Бунда чулғамда ток нолга тенг бўлади ва магнит оқим  $\Phi$  магнит ўтказгичда камаё бошлайди. Мазкур магнит оқими қисқа туташтирилган ўрам (ёки мис гильза) 7 да ўзиндукция ЭЮК ни ҳосил қилади. Бу ЭЮК таъсири остида қисқа туташтирилган ўрамдан ток оқиб ўтади ва у магнит оқим  $\Phi_k$  ни вужудга келтиради. Бу оқим

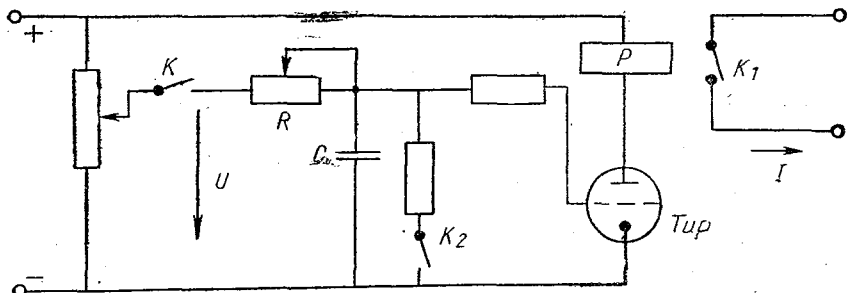
Ленц қондасига мувофиқ магнит ўтказгичдаги магнит оқимининг қийматини ўзгартирмасликка интилади. Аммо қисқа тушатирилган ўрамдаги қувват исрофи туфайли магнит оқими секин-аста камай бошлайди ва у ҳосил қилган электромагнит куч пружина б нинг кучидан кичик бўлганда реленинг якори ўзакдан узоқлашади. Бунда контактлар 4 узилади, контактлар 5 эса уланади.

Шундай қилиб, реле чулғамини узган вақтдан бошлаб, контактларнинг қайта уланиши бирданга эмас, балки маълум вақтдан кейин содир бўлмоқда. Бу вақт *ҳаяллаш вақти* деб аталади. Ушбу турдаги реледа ҳаяллаш вақти секунднинг улишидан то 5—12 секундгача бўлиши мумкин. Ҳаяллаш вақтини пружина б нинг таранглигини ўзгартириш билан ростлаш мумкин. Бунинг учун гайка 8 дан фойдаланилади.

Электрон реле ча ўзгармас кучланиш  $U$  да конденсатор  $C$  нинг резистор  $R$  орқали зарядланиши ҳаяллаш вақтини вужудга келтиради (12.20-расм). Дастлаб тиратрон (Тир) ёнмайди, чунки унинг тўр кучланиши бўлмаганда анодига берилган кучланиш тиратороннинг ишлаши учун етарли эмас. Зарядланадиган конденсаторнинг кучланиши тиратроннинг тўр кучланишига тенг дир.

Конденсаторнинг зарядланиши калит  $K$  уланган лаҳзада бошланади. Конденсатор секин-аста зарядлана бошлайди ва унинг кучланиши тиратроннинг ишга туширувчи тўр кучланиши қийматига етмагунча кўпаяди. Конденсатор кучланиши тўр кучланишининг ишга тушириш қиймати  $U_{и.т}$  га етганда ( $U_m = U_{и.т} = U_c$ ) тиратрон очилади ва тиратроннинг анодига уланган реле  $P$  чулғамида ток пайдо бўлади. Натижада реле ишга тушади ва калит  $K1$  бошқарув занжирини улайди ва калит  $K2$  ни улаб, конденсаторни зарядсизлайди. Тиратрон очилгандан кейин тўр ўзининг бошқариш вазифасини йўқотади. Конденсаторнинг зарядсизланиши вақт релесини қайтадан ишлашга тайёрлайди.

Шундай қилиб, реленинг ҳаяллаш вақти зарядланаётган конденсатор кучланишининг ошиш тезлиги билан аниқланади. Бу тезлик конденсатор зарядланиш контурининг доимий вақти



12.20- расм.

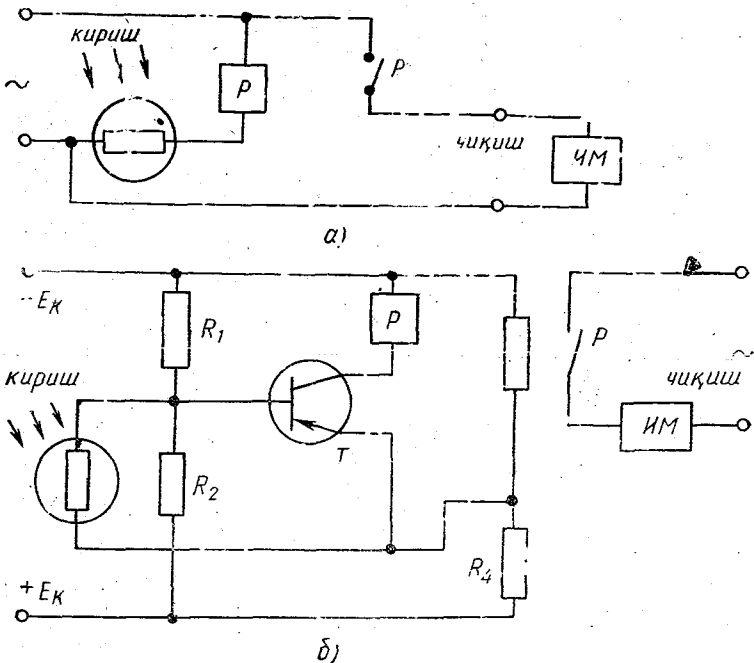
$\tau = RC$  га боғлиқ. Вақт  $t = RC$  давомида конденсатор кучла-  
ниши деярли  $U$  га тенг бўлади.

Тиратрон токи анча катта 1—100 А бўлгани учун анод зан-  
жирига реле эмас, балки катта қувватли технологик жараёни  
бошқарувчи аппарат, масалан, ўзгармас ток двигателини улаш  
мумкин. Бу эса контакtsiz тиратронли реленинг асосий афзал-  
лигидир.

Фотореленинг кириш элементи фотоэлектрон асбобга  
тушаётган ёруғлик оқимининг ўзгариши таъсирида ишлайди.  
Фотоэлектрон асбобларга фоторезисторлар, фотодиодлар, фо-  
тотранзисторлар, фототиристорлар, электронли ва ионли фото-  
элементлар киради. Фоторезистор тузилиши ва ишлатилишига  
кўра фотоэлектрон асбоблар ичида энг оддийси ҳисобланади.

Фоторезисторли фоторелелар уй-рўзгор электр аппаратла-  
рида, кўча чироқларини ёқиб-ўчиришда ва бошқа соҳаларда-  
ги технологик жараёнларни автоматлаштиришда ишлатилади.  
Фотореле фоторезисторнинг турига ва бошқарилаётган жара-  
ённинг хусусиятларига қараб кучайтиргичсиз (12.21-расм, *а*)  
ҳамда битта кучайтиргичли (12.21-расм, *б*) ёки бир нечта куч-  
айтиргичли бўлиши мумкин.

Фоторезистор ўзи бошқарадиган қурилма ва электр энер-  
гияси манбаи билан кетма-кет уланади (12.21-расм, *а*). Ёри-  
тилмаган фоторезисторнинг қаршилиги катта бўлганлиги учун



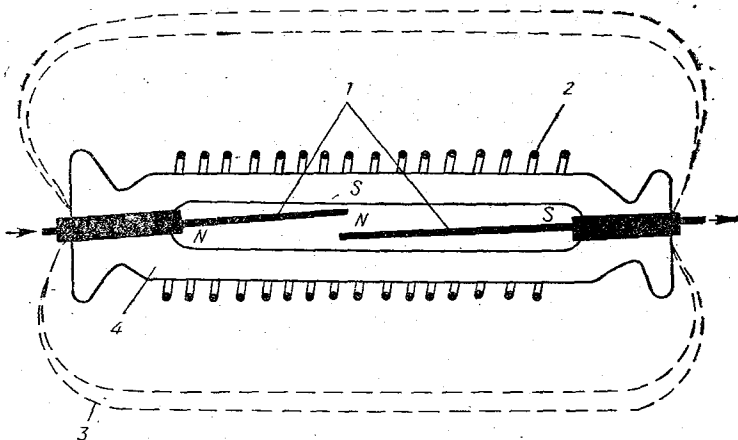
12.21-расм.

электр энергияси манбаи таъсирида фоторезисторли занжирда ток жуда кичик бўлади. Агар фоторезистор ёритилса, унинг қаршилиги дарҳол камаяди, натижада занжирда ток кўпаяди ва реле ишга тушади. Реленинг контакти ижрочи механизмни улайди. Кўпгина ҳолларда фоторезистор токидан тўғридан-тўғри ижрочи механизмни ишга тушириш учун фойдаланиш мумкин.

Фоторезисторли ва битта транзисторли кучайтиргичи бўлган фотоэлектрон реленинг схемаси 12.21-расм, б да кўрсатилган. Фоторезистор ёритилмаганда транзистор  $T$  нинг база ва эмиттер потенциаллари коллектор манбаига уланган кучланиш бўлгичлар  $R1R2$  ва  $R3R4$  билан белгиланади. Бу бўлгичлар қаршиликларининг қиймаглари шундай танланганки, агар фоторезистор ёритилмаган бўлса, транзистор базасининг потенциаллари эмиттер потенциалига нисбатан мусбатроқ бўлади. Бунда транзистор ёпиқ бўлади. Агар фоторезистор ёритилса, унинг қаршилиги бирданига камайиб кетади, натижада база потенциаллари эмиттер потенциалига нисбатан манфий бўлади ва транзистор очилади. Транзисторнинг коллектор занжирига уланган электромагнит реле ишга тушади ва ўзининг контактларини улаб, кузатилаётган ёруғлик оқимининг қиймати маълум миқдорга етганлиги тўғрисида ахборот беради ёки шу ёруғлик оқимига тегишли занжирни бошқаради. Ушбу фотоэлектрон реледан кўчанинг электр чироқларини куннинг ёруғлиги маълум қийматга эришганда автоматик ҳолда ўчириш ёки ёқишда фойдаланиш мумкин. Бу ҳолда фотоэлектрон реленинг коллектор занжирига вақт релеси уланади. Вақт релеси бўлган фоторезистор кечаси қисқа муддатли ёритилганда (чақмоқ пайтида) кўча чироқлари ўчишининг олдини олади. Бу реледани бўлгичлар  $R1R2$  ва  $R3R4$  нинг қаршиликларини ўзгартириб, фоторезистор ёритилмаганда эмиттер потенциаллари база потенциалига нисбатан мусбатроқ қилиш орқали транзисторнинг очилишига эришиш ва шу билан кўча чироқларини ёқиш ҳам мумкин.

Герконли релелар электр автоматикада жуда кўп ишлатилмоқда. Улар электромагнит реледан бошқариладиган магнитли контактларга эга эканлиги билангина фарқ қилади (12.22-расм). Ҳавоси сўриб олинган шиша баллон 4 га инерт газ тўлдирилган ва ферромагнит материалдан ясалган контактлар 1 кавшарланган. Баллон атрофига бошқариш чулғами 2 жойлаштирилган. Релени ўзгармас ток манбаига улаганда бошқариш чулғамидан ўзгармас ток оқиб ўтиб, магнит майдони 3 ни ҳосил қилади. Бу магнит майдони ферромагнитли контактлар 1 ни магнитлайди, натижада улар бир-бирига тортилади ва бошқариш занжирини улайди.

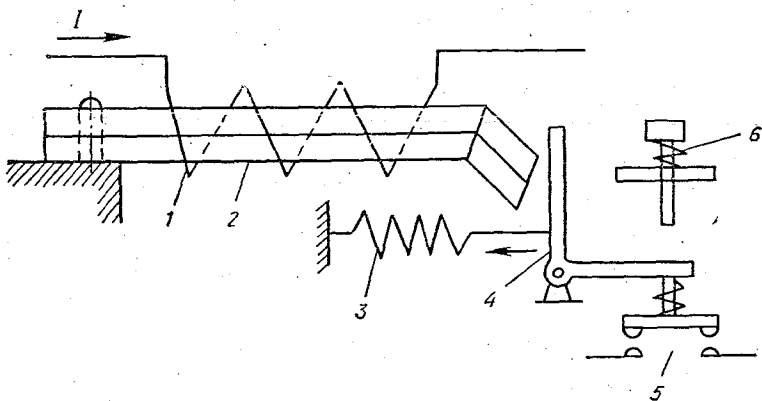
Агар бошқариш чулғами ўрнида ўзгармас магнит ишлатилса, герконли реледан турли „сирли“ калит ва ижрочи механизмлар сифатида фойдаланиш мумкин. Бунинг учун герконли релеге ўзгармас магнит яқинлаштирилса, унинг бошқариш занжирини уланади (масалан, уйнинг кириш эшиги очилади).



12.22- расм.

Иссиқлик релеси электр двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни узоқ вақт давом этадиган, 10—20% ли ўта юкланишдан ҳимоялаш учун хизмат қилади.

Иссиқлик релесининг соддалаштирилган тузилиши 12.23-расмда келтирилган. Реле ҳимояланувчи двигатель ёки бошқа электр қурилма занжири билан кетма-кет уланган қиздириш элементи 1 дан иборат. Қиздириш элементининг ичига биметалл пластинка 2 жойлаштирилган. У чиқиқли кенгайиш коэффициенти турлича бўлган иккита металл пластинкалардан иборат бўлиб, уларнинг бир томондаги учлари ўзаро кавшарланган, иккинчи учлари эса асосга қўзғалмас қилиб маҳкамланган. Қиздириш элементидан ажралиб чиқаётган иссиқлик таъсирида биметалл пластинка қизийди. Истеъмолчининг токи



12.23- расм.








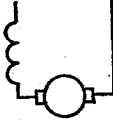

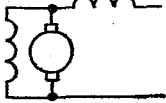
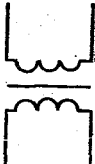
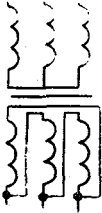
Ўзининг номинал қийматидан маълум миқдорга, масалан 20% га ошганда биметалл пластинка кўпроқ қизиб, маълум миқдорга букилади ва ричаг 4 ни қўйиб юборади. Пружина 3 нинг таъсири остида ричаг бурилади ва иссиқлик релесининг нормал ёпиқ (уланган) контактлари 5 ни очади. Контакт 5 магнитли ишга туширгичнинг бошқариш занжирига ула ади, шунинг учун юритгич чулғамининг занжири узилади ва магнитли юритгичнинг асосий контактлари ажралади, яъни электр двигатель ёки бошқа электр қурилма электр тармоқдан узилади. Иссиқлик релесини дастлабки ҳолатга қайтариш учун кнопка 6 дан фойдаланилади.

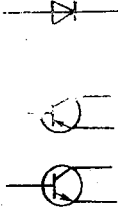
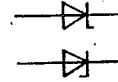
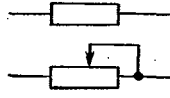






### 12.6. ЭЛЕКТР ТУЗИЛМА ВА ЭЛЕМЕНТЛАРНИНГ СХЕМАДА ТАСВИРЛАНИШИ

Аппаратларнинг тузилиши ва ишлаши билан танишгандан сўнг двигательни ишга тушириш ва тўхтатишда фойдаланиладиган автоматик бошқариш схемаларининг ишлаш принципини кўриб чиқиш мумкин. Лекин схеманинг ишлашини кўриб чиқишдан олдин электр машиналар, аппаратлар ва бошқа баъзи электр қурилмаларнинг ГОСТ 2.722 — 68, 2.728 — 74, 2.756 — 76 бўйича тасвирланиши билан танишмоқ керак. Энг кўп ишлатиладиган элементларнинг схемаларда белгиланиши 7-жадвалда келтирилган. Бу жадвалда келтирилган барча элементлар занжирда ток ёки кучланиш бўлмаган ҳол учун кўрсатилган.



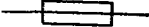
7-жадвал

Номи	Белгиланиши
Ротори қисқа туташтирилган уч фазали асинхрон машина	
Фазали ротор чулғами юлдуз, статор чулғами эса учбурчак шаклида уланган фаза роторли уч фазали асинхрон машина	
Ротори қисқа туташтирилган икки фазали асинхрон машина	

Номи	Белгиланиши
Уч фазали синхрон машина	
Мустақил уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Параллел уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Аралаш уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Бир фазали трансформатор	
Уч фазали ферромагнит ўзакли трансформатор (бирламчи чулғами юлдуз, иккиламчи чулғами эса учбурчак шаклида уланган)	

Номи	Белгиланиши
<p>Ярим ўтказгичли асбоблар:  Диод  Транзистор (<i>p-p-p</i> турдаги)  Транзистор (<i>n-p-n</i> турдаги)</p>	
<p>Тиристор  Стабилитрон</p>	
<p>Резистор:  ростланмайдиган  занжирири узмай ростланадиган</p>	
<p>Конденсатор</p>	
<p>Ферромагнит ўзақли дроссель</p>	
<p>Контактор, магнитли юритгич ёки реле чул-  ғами</p>	
<p>Кучланиш релесининг чулғами</p>	
<p>Ток релесининг чулғами</p>	
<p>Контактор, магнит юритгич, контроллерлар-  нинг контактлари:  уловчи  узувчи</p>	

Номи	Белгиланиши
Реле контактлари: уловчи узувчи	
Уланишда ҳаялловчи уланувчи контакт	
Узилишда ҳаялловчи уланувчи контакт	
Уланишда ҳаяллаш вақтли узувчи контакт	
Узилишда ҳаяллаш вақтли узувчи контакт	
Кн пка контактлари: уловчи узувчи	
Йўл ёки охириги узгичнинг уловчи контакти	
Автоматик узгич (автомат) ларнинг контактлари: бир қутбли уч қутбли	
Қайта улагич контактлари: бир қутбли уч қутбли	

Номи	Белгиланиши
Иссиқлик релесининг қиздириш элементи	
Иссиқлик релесининг узувчи контакти	
Сақлагич	

### 12.7. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ СХЕМАЛАРИДАН НАМУНАЛАР

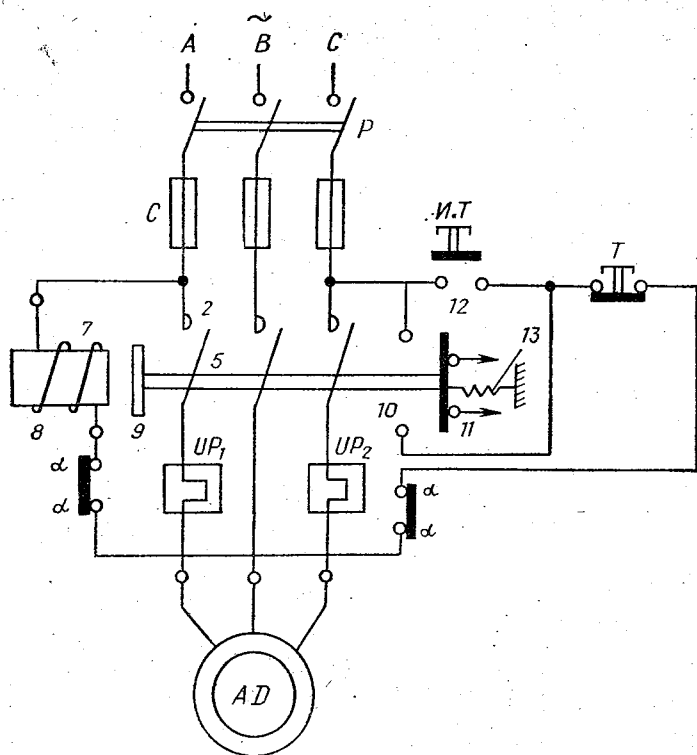
Электр юритмани бошқариш — электр юритмани ишга тутириш, тезлигини ростлаш тўхтатиш, йўналишини ўзгартириш за иш режимини ушлаб туришдан иборат. Электр юритмани бошқариш қўл билан, автоматик ва ярим автоматик тарзда бўлиши мумкин. Ҳозирги вақтда саноат электр юритмалари асосан автоматик бошқарилмоқда.

Автоматика системаларида схемалар ишламаётган ҳолатда гасвирланади, яъни барча рубильник ва автоматлар узилган, нулғамлар токсиз, электр машиналар тўхтаган ва иш механизмлари бошланғич ҳолатда бўлади. Схемалар принципиал, ййилган ва монтаж кўринишда бажарилади.

Принципиал схемаларда ҳар бир машина ва аппаратларнинг чулғамлари, контактлари ва бошқа қисмлари бир жойда қойлаштирилади. Бунда ушбу қурилманинг ишлашини тушунишни осонлаштирувчи туташтирувчи симларгина кўрсатилади.

Монтаж схемаларда электр жиҳозларнинг жойлашиши ва элементларнинг симлар ҳамда кабеллар билан уланиши ҳақиқий қурилмада қандай бўлса, шундай кўрсатилади. Бундай схемаларни тушуниб олиш қийинроқ, аммо қурилмани ййғишда, ишлатишда ва тузатишда улардан фойдаланиш қулай.

Асинхрон двигателларнинг схемаларидан намуналар. Кирик ва ўртача қувватли (1000 кВт гача), ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателлар, одатда, тўғридан-тўғри электр тармоғига улаб ишга туширилади. Двигателни бошқариш схемаси коммутацияловчи аппаратга, турли ҳимоя ва блокировка қурилмаларига эга. Қисқа туташтирилган асинхрон двигателни



12.24- расм.

автомат, контактор ёки магнитли юритгич орқали бошқариш схемаси содда бошқариш схемаси ҳисобланади.

Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателни магнитли юритгич орқали ишга туширишнинг монтаж схемаси 12.24-расмда кўрсатилган. Ушбу схемада ҳар бир элементларнинг жойлашиши уларнинг асл ҳолдаги жойлашишига мос келади. Схемда, шунингдек, магнитли юритгичнинг ҳар бир элементлари орасидаги механик боғланишлар ҳам кўрсатилган.

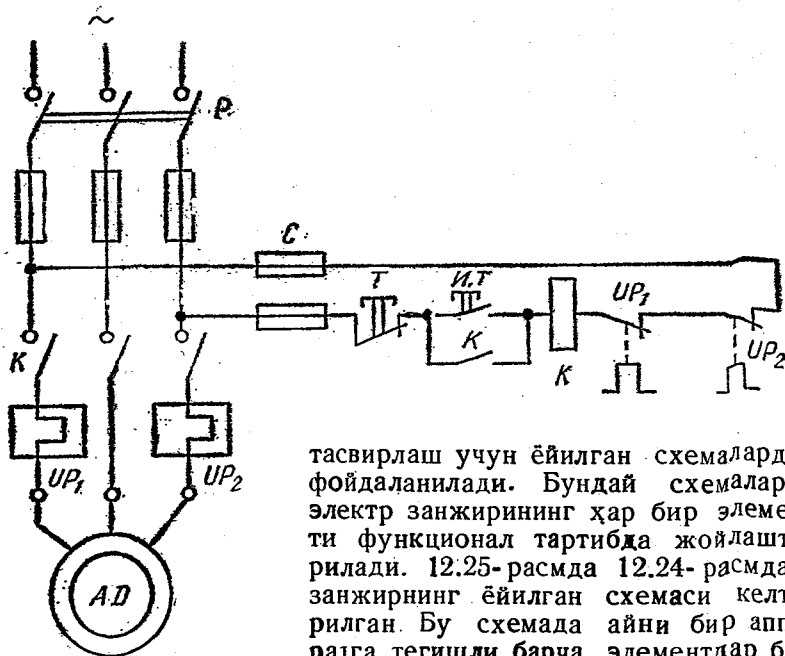
Юритгични улаш ва узишни бошқариш учун схемада иккита кнопка („Ишга тушириш“ ва „Тўхтатиш“ кнопкалари) бор. „Ишга тушириш“ (ИТ) кнопкаси нормал ҳолатда очиқ контактга эга, яъни кнопка босилмагунгача бошқариш занжири туташмаган ҳолда бўлади.

Магнитли юритгич қуйидаги тартибда ишлайди. ИТ кнопкаси уланганда электромагнит ғалтаги 7 миғг занжири иссиқлик релелари ИР<sub>1</sub> ва ИР<sub>2</sub> ларнинг нормал ёниқ контактлари „а — а“ орқали уланади. Бунда электромагнит чулғамидан ток оқиб ўтиб, ўзак 8 да магнит майдони ҳосил қилади. Натижа-

да ўзак 8 га якорь 9 тортилади ва юритгич контактлари 2 ва 5 ларни улайди. Бунда контакт кўприкча 12 нормал ҳола очиқ блок-контакт 10 ни улайди, у эса „ИТ“ кнопоксини шунлайди, яъни ИТ кнопки ажралган нормал дастлабки ҳолатда қайтганда электромагнит занжири бу блок-контактлар орқали уланган ҳолатда қолади. Бу вақтда блок-контакт 11 узилади ва у двигателнинг ишга тушганлиги тўғрисида ахборот бериши ёки бирор бошқа занжирни блокировка қилиши мумкин.

Тўхтатиш кнопки (Т) босилганда ғалтак 7 нинг занжири узилади, натижада электромагнит якорни қўйиб юборади ва пружина 13 таъсирида якорь ўнгга тортилади. Бу вақтда контактлар 2 ва 5 ажралиб, двигатель занжирини узади. Бу вақтда блок-контакт 10 узилади, 11 эса ёпилади.

Двигатель белгилангандан ортиқ ток билан юкланганда иссиқлик релеси  $UP_1$  ва  $UP_2$  лар ишга тушиб, „а — а“ контактларни ажратади. Бунда ҳам ғалтак 7 нинг бошқариш занжири узилиб, асинхрон двигатель манбадан ажратилади. Асинхрон двигателда ёки унинг таъминловчи куч занжирида ёки бошқариш занжирида қисқа туташув содир бўлса, бу вақтда сақлагич С нинг қўймаси куйиб, асинхрон двигатель ва унинг занжири ҳимояланади. 12.24-расмда содда схема тасвирланган. Агар электр занжирларининг сони кўп бўлса, схема мурракблашиб кетади. Занжирларнинг бошқарилишини тўғрироқ

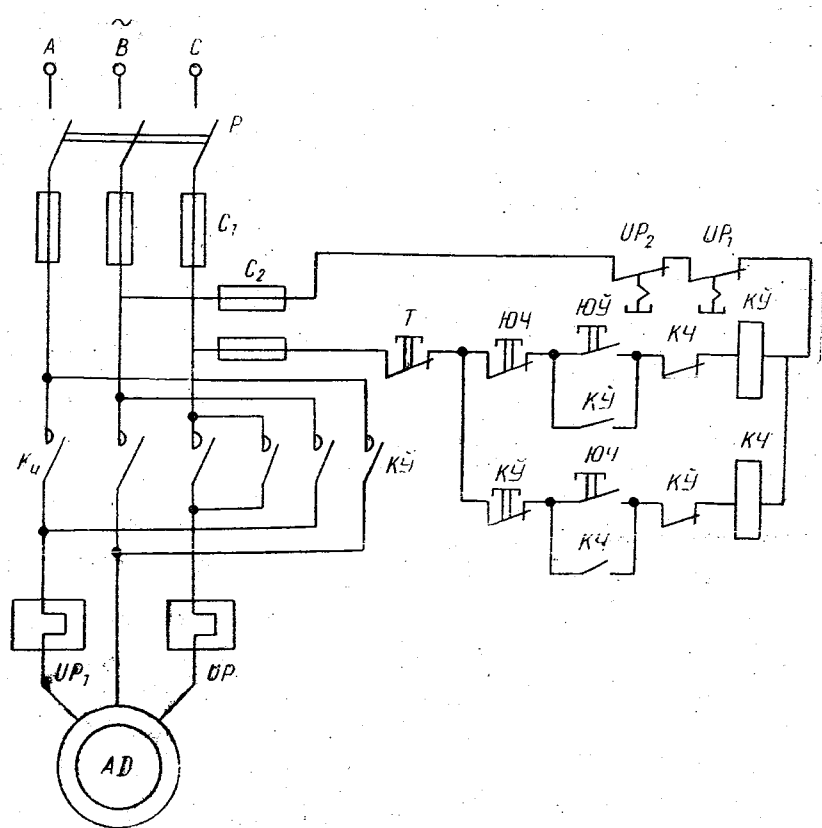


12.25-расм.

тасвирлаш учун ёйилган схемалардан фойдаланилади. Бундай схемаларда электр занжирининг ҳар бир элементи функционал тартибда жойлаштирилади. 12.25-расмда 12.24-расмдаги занжирнинг ёйилган схемаси келтирилган. Бу схемада айни бир аппаратга тегишли барча элементлар бир хилда белгиланган.

Саноат корхоналарида кўпгина ме-

ўз ҳаракат йўналишини узулксиз ўзгартириб ту-  
 учун уларни ҳаракатлантираётган двигателлар-  
 йўналишини ўзгартириш, яъни статор чулғамига  
 иккита фазаларнинг ўзаро ўрнини алмаштириш етарли  
 электр двигателнинг айланиш йўналишини ўзгари-  
 (реверсловчи) магнитли реверсив ишга туширгич ик-  
 нореверсив ишга туширгичлардан иборат. Улар ўзаро  
 механик тарзда шундай боғланганки, бунда фақат битта маг-  
 нитли реверсив ишга туширгичдан фойдаланилса, у ҳолда улар-  
 нинг ва ишга тушириш кнопкаларининг нормал ёпиқ контакт-  
 лари бошқариш занжирларини ҳам электр, ҳам механик тарзда  
 ажратади, яъни ўнгга бошқариш занжири уланганда чап-  
 га бошқариш занжири автоматик тарзда манбадан ажралади.  
 Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателнинг айла-  
 ниш йўналишини бошқариш схемаси 12.27-расмда келтирил-  
 ган. Уч қутбли рубильник *P* улангандан кейин ўнгга юрги-



12.27-расм.



зиш кнопкаси  $ЮУ$  босилса, уч қутбли магнитли ишга туширгичнинг  $КУ$  (ўннга) чулғами уланади. Бу чулғам чапга йўналтирувчи магнитли юритгич ва юргизиш кнопкасининг нормал ёпиқ контактлари  $КЧ$  ва  $ЮЧ$  ҳамда иссиқлик релеларининг контактлари  $UP_1$  ва  $UP_2$  орқали уланади. Бунда асинхрон двигателнинг ротори ўннга айланади. Бу вақтда ўннга юргизиш кнопкаси  $ЮУ$  ишга туширгич  $КУ$  нинг ёрдамчи блок-контакти  $КУ$  билан уланади (шунтланади).

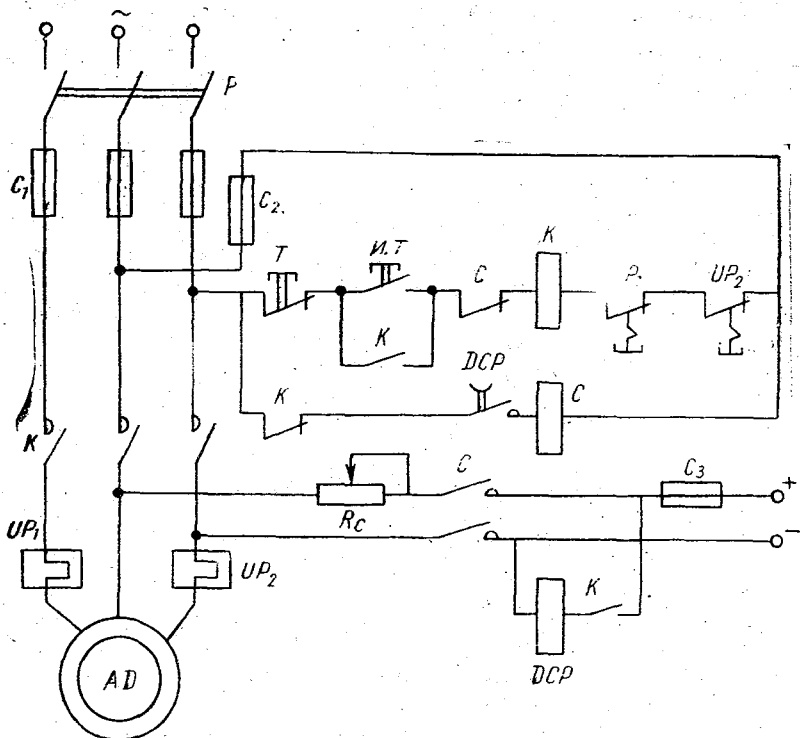
Тескари томонга, яъни „чапга“ айлантириш учун дастлаб тўхтатиш кнопкаси  $T$  ни, сўнгра чапга юргизиш кнопкаси  $ЮЧ$  ни босиш керак. Бу вақтда дастлаб магнитли ишга туширгич чулғами  $КУ$  узилади, сўнгра ишга туширгичнинг  $КЧ$  чулғами уланади. Бунда асинхрон двигатель уланган фазаларнинг кетма-кетлигини ўзгартиради. ( $A$  ва  $B$  фазалар ўзаро ўрин алмашади.) Натижада асинхрон двигателнинг ротори тескари йўналишда, яъни чапга айлана бошлайди. Асинхрон двигателни тўхтатиш учун тўхтатиш кнопкаси  $T$  ни босиш керак. Бунда дастлаб бошқарув занжири манбадан ажралади ва юритгич контактлари двигателни таъминловчи манбадан ажратиб қўяди.

Иккала ишга туширгич бараварига уланмайди. Чунки битта ишга туширгичнинг уланиши унинг нормал ёпиқ блок-контактининг очилиши натижасида иккинчи ишга туширгич бошқариш занжирининг очиқ бўлишига олиб келади. Шунингдек, ишга тушириш кнопкалари механик жиҳатдан ҳам блокировкаланган.

Кўп ҳолларда двигателни тез тўхтатиш талаб қилинади. Бу мақсад учун асинхрон двигателнинг статор чулғамига ўзгармас ток берилади ва бу токнинг магнит майдони таъсирида двигатель тез тўхтайди.

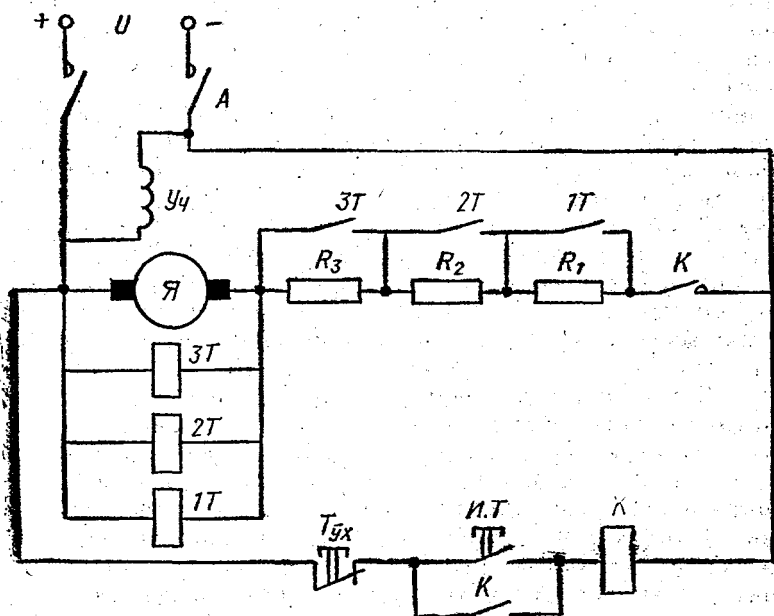
Ротори қисқа гуташтирилган асинхрон двигателни динамик секинлатишли бошқариш схемаси 12.27-расмда кўрсатилган.  $ИТ$  кнопкаси босилганда контактор  $K$  чулғамидан ток ўтади ва у ишлай бошлайди. Контактор двигателни ва динамик секинлатиш релеси  $ДСР$  ни улайди. Бунда  $ДСР$  нинг контакти уланади, аммо секинлатиш контактори  $C$  уланмайди. Чунки унинг занжирида конденсаторнинг ёрдамчи контакти  $K$  очиқ бўлади. Бу контакт тўхтатиш кнопкаси  $T$  босилиб, контактор  $K$  нинг занжири уланганда ва у двигателни электр тармогидан узганда уланади. Бунда секинлатиш контактори  $C$  ишга тушиб, статор чулғамига ўзгармас ток беради ва динамик секинлатиш бошланади. Қаршилик  $R_c$  мазкур токнинг қийматини ростлаш учун хизмат қилади.  $ДСР$  нинг ҳаяллаш вақти двигателни динамик секинлатиш, яъни тўхтатиш вақтини белгилайди.

Ўзгармас ток двигателини ишга туширишни ЭЮК, ток ёки вақг функцияси асосида автоматик бошқариш мумкин. Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателини ЭЮК функцияси асосида автоматик ишга тушириш схемаси 12.29-расмда кел-



12.27- расм.

тирилган. Якорга параллел қилиб учта тезлатиш релесининг ғалтаклари 1Т, 2Т, 3Т уланган. Бу релеларнинг контактлари мос ҳолда ишга тушириш қаршиликлари ( $R_1, R_2, R_3$ ) ни двигателнинг якорь занжиридан чиқариб ташлайди. Ўзгармас ток двигателини ишга тушириш учун автоматни улаб, ИТ кнопкасини босиш кифоя. Бу вақтда контактор К ишга тушиб, унинг асосий контакти К якорь занжирини улайди, ёрдамчи контакти эса ИТ кнопкасини шунтлайди. Асосий контактнинг уланиши двигателни  $R_1, R_2$  ва  $R_3$  лар орқали таъминловчи манбага улайди. Бунда двигателда максимал ишга тушириш токи  $I_{ит\ max} = 2I_{ном}$  ҳосил бўлади ва двигатель ишга тушади. Якорь тезлиги орта бориб, якорь токи камаяди, яъни  $I_{ит\ шп} = 1,1I_{ном}$  бўлади. Бу вақтда якорь тезлиги  $n'$  ва якорь ЭЮК  $E'$  бўлиб, тезлатиш релеси 1Т ишга тушади ва унинг контакти  $R_1$  қаршиликни шунтлайди. Бу яна якорь токнинг максимумгача ортишига олиб келади. Токнинг ортиши тезликни  $n''$  гача, тезликнинг ортиши эса ЭЮК ни  $E''$  гача оширади. ЭЮК нинг ортиши токни яна минимумгача камайтиради.  $E''$  да тез-



12.29- расм.

латиш релеси  $2T$  ишга тушади ва унинг контакти  $R_2$  қаршиликни шунтлайди. Худди шунингдек, тезлатиш релеси  $3T$  ишга тушиб, унинг контакти  $R_3$  қаршиликни шунтлайди. Шундай қилиб, двигатель тезлиги номинал тезликкача ошади ва у номинал режимда ишлайди. Одатда, реле  $1T$  кучланиш  $U = 0,3U_{\text{ном}}$  бўлганда, реле  $2T$   $U = 0,6U_{\text{ном}}$  бўлганда ҳамда реле  $3T$  эса  $U = 0,9U_{\text{ном}}$  бўлганда ишга тушишга ростланган. Агар тўхташиш кнопкиси босилса, двигатель секин-аста тўхтайди ва тезлатиш релеларининг контактлари ажралиб, улар двигательни қайтадан ишга тушириш учун  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  қаршиликларни якорь занжирига киритади.

### 13- БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМА АСОСЛАРИ

#### 13.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларини электрлаштириш жисмоний меҳнатни енгиллаштиради ва меҳнат шароитини яхшилади. Шунинг учун халқ хўжалигининг барча соҳаларида электр энергиясини истеъмол қилиш тобора ортиб бормоқда. Электр станциялари ишлаб чиқарган электр энергиянинг 60% идан кўпроғи электр двигателлар ёрдамида механик энергияга айлантирилади.

Ҳозирги кўпгина машина ёки механизмлар электр двигателлар ёрдамида юритилади. Ҳар қайси фабрика, завод, цех, механизациялашган транспорт ва қишлоқ хўжалигини иш механизмларисиз тасаввур қилиш қийин.

Электр двигателларининг халқ хўжалигида кўп қўлланилишига уларнинг фойдали иш коэффициенти нисбатан юқори бўлиши ишга тушириш ва тўхтатиш учун кам вақт сарф бўлиши сабаб бўлмоқда.

Замонавий электр машинаси кўп сонли турли қисмлардан иборат. Уларнинг ҳар бири турли вазифани бажарса-да, уларнинг биргаликда ишлаши маълум ишлаб чиқариш жараёнини амалга оширишга қаратилгандир. Ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш ва механизациялашни замонавий бошқариш воситаларига эга бўлган электр юритмаларни қўлласдан амалга оширишни тасаввур қилиш қийин.

Автоматлашган электр юритмаларнинг ҳозирги пайтда ривожланган автоматик бошқариш, назорат қилиш ва ростилаш назариясига ва воситаларига эга бўлиши якка ва боғланмаган автоматизациялашдан комплекс, яъни жамланган ва ўзаро боғланган автоматик системага ўтиш имкониятини беради. Ҳозирги вақтда автоматлаштирилган дастгоҳлар, қатор мураккаб машиналар, цехлар ва ҳатто заводлар бор. Уларда бутун иш жараёни ва бошқариш автоматлаштирилган бўлиб, хом ашё гайёр маҳсулот даражасига етказилади. Автоматлаштирилган электр юритмани қўллаш меҳнат унумдорлигини ортишига, маҳсулот сифатининг яхшиланишига ва таннархининг камайишига ҳамда ишлаб чиқариш майдонининг қисқаришига олиб келади.

Ҳозирги вақтда ва яқин келажак учун электр юритмаларнинг қуйидаги асосий ривожланиш йўналиши белгиланган: деҳқончилик ва чорвачилик хўжаликларида ҳамда транспортда электр юритмадан фойдаланишни кенгайтириш; замонавий электротехника материаллари ва воситаларини қўллаш асосида мавжуд электр юритмаларни такомиллаштириш ва уларнинг янги турларини яратиш.

Иш механизми (машина), механик узатма, электр двигатель ҳамда унинг бошқариш апаратлари биргаликда электр юритма деб аталади. Электр двигатель узатиш системаси орқали иш механизмнинг ижрочи қисмини ҳаракатга келтиради. Бошқариш апаратлари ёрдамида двигатель, иш механизмнинг баъзи элементлари ва ёрдамчи қурилмалар (агар машина ёки иш механизми мураккаб бўлса) бошқарилади. Замонавий электр юритмаларни якка ва кўп двигатели электр юритмага ажратиш мумкин. Битта электр двигатель ёрдамида ҳаракатга келувчи машина якка двигателли электр юритма деб аталади. Бунга бир шпинделли пармалаш дастгоҳи металлга оддий ишлов берувчи дастгоҳлар, вентилятор ва бошқалар мисол бўла олади. Мураккаб ишлаб чиқариш агрегатининг айрим ишчи органларини ҳаракатга келтирувчи бир нечта якка электр юрит-

малар мажмуи кўп. двигателли электр юритма деб аталади. Бунга мисол тариқасида металлга мураккаб ишлов берувчи дастгоҳлар, шнеklar, тўқимачилик машиналари, прокат станлари ва бошқаларни кўрсатиш мумкин.

Электр юритмаларни бошқаришдаги автоматлаштирилганлик аҳажига қараб автоматлаштирилмаган, автоматлаштирилган ва автоматик хилларга ажратиш мумкин.

Агар электр юритмани ишга тушириш, тўхтатиш ва у ёрдамида технологик жараёни бошқаришни одам бажарса, бундай юритма *автоматлаштирилмаган электр юритма* деб аталади. Агар одам фақат бошланғич бошқариш таъйини ҳосил қилишдагина иштирок этса, бундай юритма *автоматлаштирилган электр юритма* деб аталади. Бунда мураккаб ишлаб чиқариш жараёнлари автоматик бажарилади. Масалан, операцияларни маълум кетма-кетликда бажариш, андаза бўйича ишлаш, катта қувватли ва мураккаб электр юритмаларнинг тезлигини бошқариш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш ва бошқалар мисол бўлади. Автоматлаштирилган электр юритмага турли прокат станлари, лифтлар, минорали кранлар киради. Автоматлаштирилган электр юритма асосан кўп двигателли бўлади. Агар одам фақат автоматик бошқариш ва электромеханик системаларнинг ҳолатини кузатишдагина иштирок этса, бундай юритма автоматик электр юритма ёки машиналарнинг *автомат линиялари* деб аталади. Автомат линиялар санobat корхоналарини автоматлаштиришда янги босқич бўлиб, унда бир қанча машиналар гуруҳи ишлайди. Машиналар деталга ёки буюмга ишлов беришдаги бир қанча операцияларни бирин-кетин бажаради ҳамда мазкур деталь ёки буюмлар бир машинадан иккинчисига автоматик равишда узатилади.

### 13.2. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ ҲАРАКАТ ТЕНГЛАМАСИ

Электр юритманинг бир турғун ҳолатдан иккинчисига ўтиши ҳамда уни ишга тушириш, тўхтатиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш электр юритманинг ўтиш режими деб аталади. Бунда унинг тезлиги, моменти ва ундаги токнинг қиймати ўзгаради.

Электр двигателнинг қувватини бошқариш схемасини ва аппаратларни туғри танлаш, двигателни ишга тушириш ва тўхтатиш вақтида электр энергия сарфини камайтириш каби масалалар катта аҳажиятга эга. Масалан, механизмнинг иш унумини ошириш учун оптимал тезликни танлаш етарли бўлмай, балки электр юритманинг ўтиш режимининг вақтини камайтириш ҳам керакдир. Электр юритманинг ўтиш режими электр двигателнинг ва иш механизмининг ишлаш динамикаси билан боғлангандир.

Электр двигатель ишлаганда ҳосил бўлувчи айлантириш моменти  $M$  электр юритманинг турли қисмларига таъсир этув-

чи қаршилик моменти билан мувозанатлашади. Қаршилик моментларини пайдо бўлиш сабабларига кўра қуйидаги уч гуруҳга бўлиш мумкин:

1. Иш машинаси ижрочи қисмининг фойдали иш бажаришда (масалан, кесиш, юк кўтариш, қисиш, чўзиш, эзиш ва бошқалар) ҳосил бўлувчи моментлар.

2. Иш машинаси ва узатиш қурилмаси ҳаракатланувчи қисмларининг ишқаланишидан ҳосил бўлувчи моментлар.

3. Иш машинаси ва узатиш қурилмаси ҳаракатланувчи қисмларининг инерциясидан ҳосил бўлувчи моментлар.

Биринчи ва иккинчи гуруҳ моментларини статик қаршилик моменти ( $M_k$ ), учинчи гуруҳ моментини эса *динамик қаршилик моменти* ( $M_{дин}$ ) дейилади.

Электр юритма системасидаги моментларнинг мувозанатлик тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$M = M_k \pm M_{дин} \quad (13.1)$$

Динамик (инерция) момент қуйидаги формула билан топилади:

$$M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (13.2)$$

бунда  $J$  — механик системадаги барча ҳаракатланувчи қисмларнинг двигатель ўқига келтирилган умумий инерция моменти [ $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ];  $\omega$  — двигатель ўқининг айланиш тезлиги [ $\text{рад/с}$ ].

Ўқнинг айланиш тезлиги  $\omega$  ни айланишлар сони  $n$  [айл/мин] да ифодалаб:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60},$$

динамик моментнинг бошқа ифодасини келтириб чиқариш мумкин:

$$M_{дин} = M - M_k = \frac{J}{9,55} \frac{dn}{dt} [\text{Н} \cdot \text{м}]. \quad (13.3)$$

Кўпгина ишлаб чиқариш механизмларида инерция моменти ўзгармас бўлиб, қуйидаги ифода билан аниқланиши мумкин:

$$J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4g}, \quad (13.4)$$

бунда  $\rho$  ва  $D$  — инерция радиуси ва диаметри, м;  $G$  — жисмнинг оғирлиги, кг;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  эркин тушиш тезланиши.

(13.4) ифодани (13.3) га қўйиб, динамик момент учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$M_{дин} = M - M_k = \frac{GD^2}{315} \frac{dn}{dt}. \quad (13.5)$$

(13.3) ёки (13.5) ифода электр юритманинг ҳаракат тенгламаси деб аталади. (13.5) дан кўринадики:

1. Агар  $M > M_k$  бўлса,  $\frac{dn}{dt} > 0$  бўлиб, юритма мусбат тезланиш олади ва ўз тезлигини  $M = M_k$  бўлгунча оширади.

2. Агар  $M < M_k$  бўлса,  $\frac{dn}{dt} < 0$  бўлиб, юритма манфий тезланиш олади ва ўз тезлигини  $M = M_k$  бўлгунча камайтиради.

3. Агар  $M = M_k$  бўлса,  $\frac{dn}{dt} = 0$  бўлиб, юритма ўзгармас тезлик билан турғун режимда ишлайди.

Демак, динамик момент фақат ўтиш режимида пайдо бўлади. Юритманинг тезланишида бу момент ҳаракатга тескари йўналган бўлиб, тезликнинг ошишига қаршилик қилади, тор-мозланишда эса ҳаракат бўйича йўналиб, ҳаракатнинг давом этишига ёрдам беради.

Қаршилик моментини ўз характерига қараб реактив ва актив моментларга ажратиш мумкин. Реактив момент қисиш, кесиш, ишқаланишлар таъсирида юзага келиб, юритманинг ҳаракатига қаршилик қилади ва ҳаракат йўналиши ўзгарса, ўз ишорасини ўзгартиради. Актив момент оғирлик кучи ҳамда қайишқоқ жисми чўзиш, қисиш ва бурашда ҳосил бўлган қаршилик моментидан иборат бўлиб, юритма ҳаракатига қаршилик қилиши ва ҳаракат йўналиши ўзгаришига ёрдам бериши мумкин. У ҳаракатнинг ҳар икки йўналишида ҳам ўз ишорасини ўзгартирмайди.

Демак, электр юритманинг ҳаракат тенгламасини умумий ҳолда қуйилагича ёзиш мумкин:

$$\pm M \pm M_k = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}. \quad (13.6)$$

(13.6) тенгламадаги моментлар ишорасини танлаш двигателнинг режимига ва қаршилик моментининг характерига боғлиқ.

(13.4) формуладаги

$$GD^2 = 4gJ$$

катталиқ *маховик моменти* деб аталади. Унинг қиймати ҳар бир двигателнинг қўзғалувчан қисми учун маълумотномаларда келтирилади.

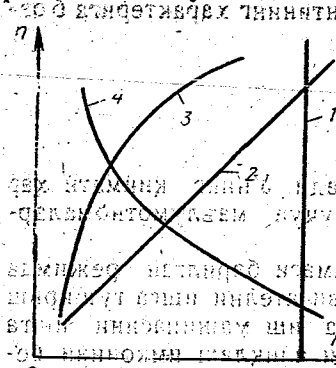
Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси берилган режимда юритманинг тезлигини, юритмадаги двигателни ишга тушириш ва тўхтатиш вақтини, берилган вақтда иш машинасини ишга тушириш учун зарур бўлган моментни аниқлаш имконини беради. Шунингдек, юритманинг механик характеристикаларидан ҳам фойдаланилади.

### 13.3. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Электр юритма тезлигининг моментга қараб ўзгариши электр юритманинг *механик харақтеристикаси* деб аталади. Мазкур харақтеристикани шартли равишда иш механизмининг ва электр двигателнинг механик харақтеристикаларига ажратиб бўлмаслик мумкин.

Иш механизмининг механик харақтеристикаси. Электр юритманинг иши иш механизмини харақатга келтирувчи электр двигателнинг механик хусусияти билан иш механизми харақтеристикаларининг ўзаро мос келишига кўп жиҳатдан боғлиқдир. Электр юритманинг ўтиш жараёни (йтишга туйтириш, тор-мозлаш ва тезликни ростлаш) дағи иши двигателнинг айлан-тириш моменти билан механизм қаршилик моментларининг тезликка нисбатан ўзгаришига боғлиқ.

Механизмининг қаршилик моменти билан тезлиги орасидаги боғланиш унинг механик харақтеристикаси  $\varphi_n = f(M)$  деб аталади. Қаршилик моментининг хусусиятига қараб, механизм-ларнинг механик харақтеристикалари турлича бўлиши мум-кин. Аммо уларни бир оз умумлаштириб, 13.1-расмда кўрсатилган механик харақтеристикалар кўринишига келтирамиз. 1- тўғри чизиқ қаршилик моменти айланиш тезлигига боғлиқ бўлмаган механизмнинг механик харақтеристикасидир. Бундай механизмларга кўтарма кранлар, лифтлар, конвейерлар (агар сўриладиган материалларнинг оғирлиги ўзгармас бўлса), поршенили насослар (агар обсим ўзгармас бўлса), йигиринч Маши и-налари ва бошқалар мисол бўлади. 2- тўғри чизиқ (13.1-расм) қаршилик моменти айланиш тезлигига қараб чизиқли ўсиб бо-рувчи механизмнинг механик харақтеристикасини билдиради. Агар мустақил уйғонувчи генераторнинг якорь занжири ўз-гармас миқдорли қаршиликка уданган бўлса, бу генераторнинг двигатели чизиқли ўсувчи механик харақтеристикага эга бў-лади. 3- эгри чизиқ қаршилик моменти айланиш тезлигига қараб чизиқли бўлмаган ҳолда (параболага ўхшаб) ўсиб борув-чи механизмнинг механик харақтеристикасини билдиради.



13.1- расм.

Бундай механизмларга вентиляторлар, марказдан қочма насослар мисол бўлади. Улардаги қаршилик моменти тезликнинг квадратига қараб ошади. 4- эгри чизиқ қаршилик моменти айла-ниш тезлигига қараб чизиқли бўл-маган тарзда камайиб борувчи механизмларнинг механик харақ-теристикасини билдиради. Бундай механизмларга баъзи тоқарлик, фрезерлик ва бошқа металл ке-сиш дастгоҳлари мисол бўлади.



Улардаги қаршилик моменти тезликнинг ошиши билан камаяди.

Электр двигателнинг механик характеристикаси. Электр двигателнинг хусусияти электр юритманинг иши учун қатта аҳамиятга эга. Электр двигателнинг хусусияти, асосан, унинг механик характеристикасида ўзгаришлар билан аниқланади. 13.2-расмда ўзгармас ва ўзгарувчан ток двигателларининг механик характеристикалари  $n = f(M)$  кўрсатилган.

Характеристикалардан кўринадики, электр двигател айлантириш моментининг ошиши

двигателнинг айланиш тезлиги камайишига сабаб бўлади. Моментнинг ўзгаришига боғлиқ равишда айланиш тезлигининг ўзгариш даражаси двигателларнинг турига боғлиқ бўлиб, уларнинг механик характеристикаларининг „қаттиқлиги“ билан аниқланади. Агар тезлик қанча кам ўзгарса, характеристика шунча қаттиқроқ ҳисобланади. Характеристиканинг қаттиқлиги ( $\beta$ ) момент орттирмасининг тезлик орттирмасига нисбати билан аниқланади, яъни  $\beta = \Delta M / \Delta n$ .

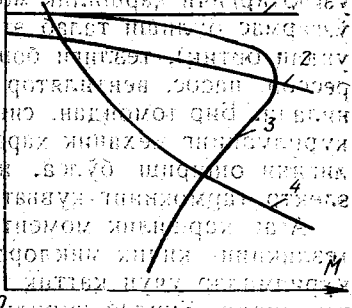
Қаттиқлик даражасига қараб электр двигателларнинг механик характеристикаларини учта гуруҳга бўлиш мумкин:

1. Мутлоқ қаттиқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик ўзгармай қолади ( $\Delta M / \Delta n = \infty$ ). Бундай характеристика синхрон двигателга хосдир (13.2-расм, 1-тўғри чизиқ)

2. Қаттиқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик ҳам оз миқдорда ўзгаради (момент  $M = 0$  дан  $M = M_{\text{ном}}$  гача ўзгарганда тезлик 5 — 10% атрофида ўзгаради). Бундай характеристика параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателлари учун ҳамда механик характеристиканинг иш қисмида асинхрон двигателлар учун ҳам хосдир (13.2-расм, 2- ва 3-эгри чизиқлар).

3. Юмшоқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик қатта миқдорда ўзгаради. Бундай характеристика кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателига хосдир (13.2-расм, 4-эгри чизиқ). Аралаш уйғотишли ўзгармас ток двигатели механик характеристиканинг қаттиқлик даражасига қараб иккинчи ёки учинчи гуруҳга кириши мумкин (уйғотиш чулғамларининг қайси бири кучлироқ бўлса, ўшанинг хусусияти кучлироқ намоён бўлади).

Ишлаб чиқариш механизмларида қўйилган талабларга қараб двигател танланади. Унинг номинал моменти, айланиш тезлиги, ишга тушириш моменти ҳамда механик характеристика



13.2-расм.

тикаси механизмнинг тегишли параметрларига мос келиши керак. Масалан, баъзи қурилмаларда ўзгарувчан ток механик ўзгартиргичи қаршилиқ моментининг ўзгаришида тезликнинг ўзгармас бўлиши талаб этилади. Катта қувватли (100 кВт ва ундан ортиқ), тезлиги бошқарилмайдиган қурилмалар (компрессор, насос, вентилятор) да синхрон двигателдан фойдаланилади. Бир томондан, синхрон двигателни қўллашдан мақсад қурилманинг механик характеристикасининг мутлақо қаттиқлигини ошириш бўлса, иккинчи томондан, мазкур машина электр тармоқнинг қувват коэффициентини оширади.

Агар қаршилиқ momenti катта миқдорда ўзгарса-ю, аммо тезликнинг кичик миқдорда ўзгариши талаб этилса, бундай қурилмалар учун қаттиқ характеристикали электр двигатель танланади. Бундай қурилмаларга токарлик, фрезерлик ва бошқа металлга ишлов берувчи дастгоҳ киради. Уларда тезликнинг оз миқдорда ўзгариши муҳим аҳамиятга эга эмас.

Ишга тушириш momenti катта бўлиши талаб этилган қурилмаларда (транспорт, юк кўтариш механизмлари) юмшоқ характеристикали двигателларни қўллаш мақсадга мувофиқдир.

#### 13.4. ЭЛЕКТР ЮРИТМАДАГИ УТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

Электр юритмадаги ўтиш жараёнининг давомийлиги, яъни ишга тушиш, тўхташ ва бир тезликдан иккинчисига ўтиш вақтлари механизмнинг иш унумига таъсир қилади, албатта. Ўтиш жараёнида двигателнинг чулғамидан жуда катта ток ўтиб, қувват исрофи кўпаяди. Бундан кўринадики, ўтиш жараёнини тадқиқ қилиш катта аҳамиятга эга, иккинчидан ўтиш жараёнининг давомийлиги орқали электр юритмани бошқариш схемасининг элементлари ва структураси танланади.

Ўтиш жараёнини ўзаро боғланган механик, электр ва иссиқлик миқдорларини ҳисобга олган ҳолда текшириш анча мураккаб вазифа. Шунинг учун бу масала амалда содда ва чегараланган усуллар ёрдамида ҳал қилинади.

Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси (13.5) дан юритма тезлигининг  $n_1$  дан  $n_2$  гача ўзгариши учун кетган вақт қуйидагича аниқланади:

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{M - M_k} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{M_{дин}} \quad (13.7)$$

(13.7) тенгламани ечиш учун  $M$ ,  $M_k$  ёки  $M_{дин}$  ларнинг тезлик орқали ифодаланган механик характеристикалари маълум бўлиши керак.

$M_d = \text{const}$  бўлгандаги ўтиш режими. Агар айлантириш ва қаршилиқ моментлари ўзгармас бўлса, динамик момент  $M_{дин}$  тезликка боғлиқ бўлмайди ва ўтиш режимининг давомийлиги осон аниқланади:

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \frac{n_2 - n_1}{M_{дин}} \quad (13.8)$$

Ушбу тенгламадан двигателни реостат орқали ишга тушириш, бир тезликдан иккинчисига ўтиш вақтини тахминан топишда фойдаланиш мумкин. Бунинг учун двигателнинг ўзгаришчан momenti ўртача ўзгаришчан момент билан алмаштирилади.

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \frac{n_2 - n_1}{M_{\text{ўр}} - M_{\text{к}}}. \quad (13.9)$$

**1-масала.** Параллел уйғотишли двигателнинг параметрлари  $GD^2 = 4,1 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ;  $M_{\text{ном}} = 110 \text{ Нм}$ ;  $M_{\text{к}} = M_{\text{ном}}$  бўлса, унинг тезлигини  $n_1 = 800 \text{ айл/мин}$  дан  $n_2 = 900 \text{ айл/мин}$  га ошириш учун қанча вақт керак? Тезлик реостат орқали бошқарилади ва реостат қаршилиги бир поғонага камайтирилганда двигателнинг максимал айлантириш momenti  $M_{\text{мах}} = 170 \text{ Н} \cdot \text{м}$  бўлади.

*Ечилиши.* Двигателнинг ўртача айлантириш momenti

$$M_{\text{ўр}} = \frac{M_{\text{мах}} + M_{\text{ном}}}{2} = \frac{170 + 110}{2} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тезликни  $800 \text{ айл/мин}$  дан  $900 \text{ айл/мин}$  га ошириш учун кетган вақт

$$t_{1,2} = \frac{4,1(900 - 800)}{375(140 - 110)} = 0,36 \text{ с}.$$

Агар  $n_1 = 0$ ,  $n_2 = n_{\text{ном}}$  бўлса, (13.9) формуладан двигателни ишга тушириш учун сарфланган вақтни топиш мумкин:

$$t_{\text{и. т.}} = \frac{GD^2 n_{\text{ном}}}{375(M_{\text{ўр}} - M_{\text{к}})}. \quad (13.10)$$

**2-масала.** Двигателнинг параметрлари  $GD^2 = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ,  $n_{\text{ном}} = 1440 \text{ айл/мин}$ ,  $M_{\text{ном}} = 80 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_{\text{к}} = M_{\text{ном}}$ ,  $M_{\text{мах}} = 160 \text{ Н} \times \text{м}$  бўлса, двигателнинг ишга тушириш учун қанча вақт сарфланади?

*Ечилиши.* Двигателнинг ўртача momenti

$$M_{\text{ўр}} = \frac{M_{\text{мах}} + M_{\text{ном}}}{2} = \frac{160 + 80}{2} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ишга тушириш вақти

$$t_{\text{и. т.}} = \frac{30 \cdot 1440}{375(120 - 80)} = 2,88 \text{ с}.$$

**3-масала.** Параллел уйғотишли двигателнинг параметрлари  $GD^2 = 4,1 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ,  $M_{\text{ном}} = 110 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_{\text{к}} = M_{\text{ном}}$  бўлса, двигател тезлигини  $n_1 = 900 \text{ айл/мин}$  дан  $n_2 = 800 \text{ айл/мин}$  га камайтириш учун кетган вақтни ҳисобланг. Реостат қаршилиги бир поғонага кўпайтирилганда двигателнинг минимал айлантириш momenti  $M_{\text{мин}} = 90 \text{ Н} \cdot \text{м}$  бўлади.

*Ечилиши.* Двигателнинг ўртача momenti

$$M_{\text{ўр}} = \frac{M_{\text{мин}} + M_{\text{ном}}}{2} = \frac{90 + 110}{2} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

- в тезликни 900 айл/мин дан 800 айл/минга камайтириш учун кетган вақт  $t_{\text{тўх}} = \frac{GD^2(n_1 - n_2)}{375(M_{\text{ур}} + M_{\text{к}})}$   $t_{\text{тўх}} = \frac{41 \cdot 900}{375(100 + 110)} = 0,052 \text{ с.}$

(С) Электр гармогидан узилган двигателнинг қаршилик моменти таъсири остида тўхташ вақти:

$$t_{\text{тўх}} = \frac{GD^2 n_{\text{ном}}}{375 M_{\text{к}}} = \frac{41 \cdot 900}{375 \cdot 110} = 0,089 \text{ с.}$$

4-масала. 2-масала шартларидаги двигателнинг тезлигини номинал қийматдан болгача камайтириш (тўхтатиш) учун сарфланган вақтни аниқланг.

Ечилиши. Двигателни тўхтатиш учун сарфланган вақт:

$$t_{\text{тўх}} = \frac{GD^2 n_{\text{ном}}}{375 \cdot M_{\text{к}}} = \frac{3 \cdot 1440}{375 \cdot 80} = 0,144 \text{ с.}$$

$M_{\text{дин}} \neq \text{const}$  бўлгандаги ўтиш режими  $M_{\text{дин}}(n)$  ни интеграллаш мураккаб бўлса, ўтиш жараёнини график ёки аналитик усул ёрдамида ҳисоблаш анча осондир. Бунинг учун (13.5) формуладаги  $dn$  ва  $dt$  лар кичик орттирма  $\Delta n$  ва  $\Delta t$  лар билан алмаштирилади. Шунингдек,  $\Delta n_{\text{к}}$  тезлик оралигида  $M$  ва  $M_{\text{к}}$  ларни ўртача ўзгармас кичик  $M_{\text{к}}$  ва  $M_{\text{кк}}$  ларга алмаштирилади (13.3-расм) ва  $\Delta n_{\text{к}}$  тезликка эришиши учун двигателъ тезлигини ошириш учун кетган вақт қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_{\text{к}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n_{\text{к}}}{M_{\text{к}} - M_{\text{кк}}},$$

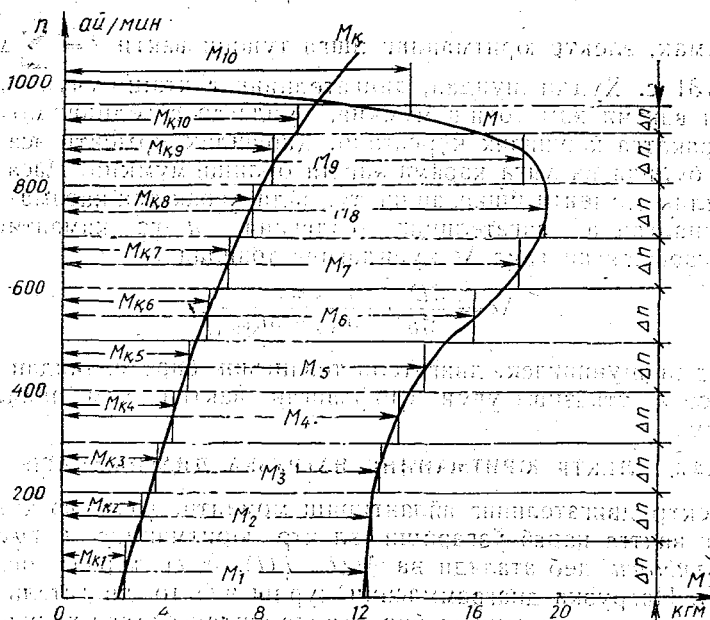
бунда  $\Delta n_{\text{к}}$  — графикдаги ҳар бир поғонага тегишли тезлик орттормаси;  $M_{\text{к}}$  — ҳар бир поғонадаги ўртача айлантириш моменти;  $M_{\text{кк}}$  — ҳар бир поғонадаги ўртача қаршилик моменти;  $\Delta t_{\text{к}}$  — кўриляётган тезлик оралигидаги ўтиш режими учун сарфланган вақт.

Двигателни ишга тушириш учун сарфланган умумий вақт:

$$t = \sum_{k=1}^m t_{\text{к}} \quad (13.13)$$

бунда  $m$  — диапазон (поғона) лар сони.

5-масала. Вентилятор юритмасини ишга тушириш учун сарфланган вақтни топинг. Юритма асинхрон двигателъ ёрдамида ҳаракатга келади ва унинг параметрлари қуйидагича:  $n_{\text{ном}} = 960$  айл/мин,  $GD^2 = 2,1 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ,  $P_{\text{ном}} = 40 \text{ кВт}$ . Двигателнинг  $n = f(M)$  ва вентиляторнинг  $n = f_1(M_{\text{к}})$  механик характеристикалари 13.3-расмда берилган. Қулай бўлиши учун вентиляторнинг характеристикаси ҳам биринчи квадратга жойлаштирилган (аслида унинг моменти манфийдир).



13.3-расм.

Ечилиши.  $n = f(M)$  ва  $n = f_1(M_k)$  характеристикаларнинг ўзаро кесилишган нуқтаси тургун режимни беради. Характеристикалар 9 та бўлакка  $\Delta n = 100$  ай/мин (охиргиси  $\Delta n = 60$  ай/мин) қилиб бўлинади. Хар бир бўлак учун  $M$  ва  $M_k$  нинг ўртача қийматларини толамиз ва хар бир бўлак учун  $\Delta t$  вақтини ҳисоблаймиз. Биринчи бўлак учун:

$$\Delta t_1 = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n_1}{M_1 - M_{k1}} = \frac{2,1}{375} \cdot \frac{100}{12,2 - 2,2} = 0,056 \text{ с.}$$

Қолган бўлаklar учун ҳисоблаш нагижаларини қуйдаги жадвалга киритамиз.

к	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta n$ , ай/мин	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60
$M$ , кГм	12,2	12,8	13,1	13,6	14,9	17	19	19,8	18,8	14
$M_k$ , кГм	2,2	3	3,8	4,5	5	5,9	6,6	7,5	8,5	9,6
$\Delta t$ , с	0,056	0,057	0,06	0,0615	0,0566	0,0445	0,0455	0,0478	0,545	0,127

Демак, электр юритманинг ишга тушиш вақти  $t = \sum_{i=1}^{10} \Delta t = 0,6131$  с. Худди шундай, двигателнинг тўхташи учун сарфланган вақтни ҳам топиш мумкин. Бунда двигателнинг моменти ҳаракатга қаршилик кўрсатади. Қаршилик моменти эса ҳаракат бўйича ва унга қарама-қарши бўлиши мумкин. Масалан, қаршилик моменти ишқаланиш туфайли ҳаракатга қарама-қарши йўналганда двигателнинг тезлигини  $\Delta n$  га камайтириш учун сарфланган вақт  $\Delta t$  қуйидагича топилади:

$$\Delta t = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n}{M_{\text{ўр}} + M_{\text{кўр}}}$$

Худди шунингдек, двигатель тезлигини бир тезликдан иккинчисига ўтказиш учун сарфланган вақтни ҳам аниқлаш мумкин.

### 13.5. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ НАГРУЗКА ДИАГРАММАСИ

Электр двигателнинг айлантириш моменти, токи ва қувватининг вақтга қараб ўзгариши электр юритманинг *нагрузка диаграммаси* деб аталади ва  $M(t)$ ,  $I(t)$ ,  $P(t)$  тарзда белгиланади. Нагрузка диаграммасини қуриш электр двигатель билан ижрочи механизмнинг биргаликда ишлангандаги хусусиятларни ҳисобга олишга асосланган. Чунки, двигателнинг  $M(t)$  ва  $P(t)$  нагрузка диаграммалари фақат барқарор режим вақтидагина ижрочи механизмнинг  $M_k(t)$  ва  $P_k(t)$  нагрузка диаграммалари билан бир хил бўлади. Бу вақтда  $M = M_k$  ва  $P = P_k$  бўлади.

Электр юритманинг нагрузка диаграммаси унинг ҳаракат тенгламаси асосида қурилади. Бунинг учун механизм қаршилик моментининг ўзгариш характери ва электр юритмадаги ўтиш жараёнининг қонунияти маълум бўлиши керак. Кўп ҳолларда двигателнинг айлантириш ва қаршилик моментларининг тезликка боғлиқлиги ўтиш жараёнида мураккаб бўлади. Бу ҳолларда ҳаракат тенгламасини аналитик ечиш мумкин бўлмай, уни график ёки графоаналитик усулда ечилади.

Нагрузка диаграммасини ҳисоблаш ва қуриш кетма-кетлигини даврий равишда ишловчи кўприкли краннинг электр юритмаси мисолида кўриб чиқамиз. Мазкур кранда фаза роторли асинхрон двигатель ишлатилган. Нагрузка диаграммасини ҳисоблаш учун юритманинг механик характеристикаси  $n = f(M_k)$  ва юритманинг бир давр мобайнидаги ишини таъминловчи айланиш тезлигининг графиги  $n(t)$ , шунингдек юритманинг инерция моменти  $J_k$  маълум бўлиши керак (13.4-расм, а, б). Иш механизмнинг бир даври двигателни валида юкланиш бўлган ҳолда тезлигини  $n=0$  дан  $n=n_{\text{max}}$  гача олиб чиқиш учун кетган вақт (ишга тушириш вақти  $t_1$ ), юритманинг ўзгармас тезлик  $n$ , билан ишлаш вақти ( $t_2$ ), тўхташи вақти ( $t_3$ ) ва икки давр орасидаги тўхташ вақти ( $t_0$ ) даң иборат.

$n(t)$  боғланишдан  $\frac{dn}{dt}$  ни график усулда топамиз (13.4-рasm, в).  $n(M_k)$  ва  $n(t)$  боғланишлардан фойдаланиб, иш машинасининг нагрузка диаграммаси  $M_k(t)$  ни курамиз (13.4-рasm, з). Бу моментнинг қиймати ёки ўртача қиймати (агар қаршилик моменти ўзгарувчан бўлса) бўйича каталогдан аввал фаза роторли асинхрон двигателъ танланади.

Коэффициент  $K = 1,1 \div 1,5$  (1,3  $\div$  1,5 қийматлар оғир ишга тушириш шароити учун) га тенг қилиб олинади.

Двигателъ танлангандан сўнг унинг ротор инерцияси  $J_p$  топилади. Юритманинг умумий инерция моменти  $J = J_k + J_p$  аниқланади.

Сўнгра динамик момент миқдори  $M_{дин} = \frac{J}{9,55} \frac{dn}{dt}$  ни топамиз.  $M_{дин}(t)$  графиги  $dn/dt$  боғланишга шаклан ўхшаш бўлади (13.4-рasm, д).

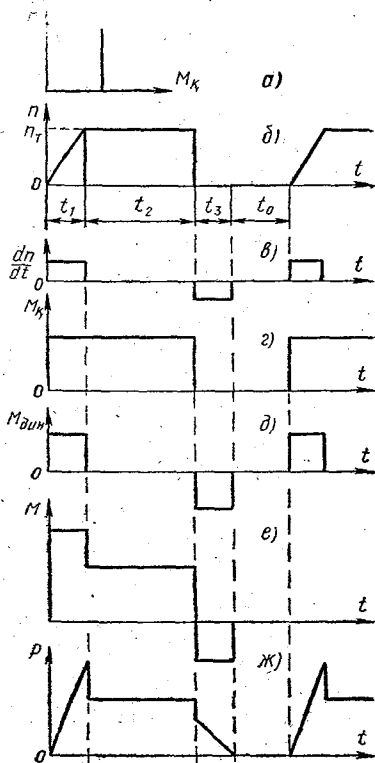
Двигателънинг айлантириш моменти қаршилик моменти билан динамик моментларнинг алгебраик йиғиндисидан иборат бўлганлиги учун, график  $M_k(t)$  ва  $M_{дин}(t)$  лар ординатасининг ҳар бир вақтга тўғри келувчи қийматларини ўзаро қўшиб, иш механизмининг нагрузка диаграммаси  $M(t)$  ни ҳосил қиламиз (13.4-рasm, е).

Двигателъ ўқидаги қувват графиги  $P(t)$

$$P = \frac{2\pi}{60} M \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

формулага асосан айлантириш моменти билан тезлик графикларининг мос ординаталарини ўзаро кўпайтириб ҳосил қилинади (13.4-рasm, ж).

Тахминан танланган двигателънинг нагрузка диаграммаси  $M(t)$  ёки  $P(t)$  бўйича текширилиб, қатъий хулосага келинади.



13.4-рasm.

### 13.6. ДВИГАТЕЛНИНГ ҚИЗИШИ ВА СОВИШИ

Двигателларнинг ишлаш жараёнида қизиши уларнинг наг-рузка диаграммасига боғлиқ. Двигателни ишлатиш шароитида ҳосил бўладиган энг юқори температура ундан фойдаланиш кўрсаткичининг даражаси бўлиб ҳисобланади. Электр двига-теллар ишланганида албатта қизийди, бу барча двигателларда содир бўладиган энергия исрофи туфайли ҳосил бўлади. Дви-гателлардаги электр энергия исрофларининг барча турлари иссиқликка айланади ва унинг бир қисми ташқи муҳитга, бош-қа бир қисми машинанинг қизишига сарф бўлади.

Агар ГОСТ бўйича агроф-муҳит ҳарорати  $40^{\circ}\text{C}$  деб қабул қилинса, у ҳолда двигатель изоляцияси температурасининг муҳит температурасидан ошиши  $105^{\circ}\text{C}$  (А синфдаги изоляция учун),  $130^{\circ}\text{C}$  (В синфдаги изоляция учун) ва  $180^{\circ}\text{C}$  (Н синф-даги изоляция учун) чегарагача рухсат этилади. Чулғам изо-ляцияси температурасининг ГОСТ белгилаган температурадан ошишига йўл қўйилмайди, чунки бу двигатель изоляцияси-нинг бузилишига ва хизмат муддатининг қисқаришига олиб келади.

Электр двигателларнинг қизиш жараёнини тушунишни осонлаштириш учун шартли равишда двигательнинг бутун ҳаж-ми бир меъёрда исийди, иссиқлик эса унинг сиртидан бир те-кисда тарқалади ва иссиқлик сифими ҳамда иссиқлик узатили-ши двигатель ва ташқи муҳит температуралари фарқига про-порционал деб ҳисобланади. Ана шу шароит учун двигатель-нинг ўта қизиш температураси  $\tau$  нинг бошланғич температура  $\tau_{\text{бош}}$  дан охириги, турғун  $\tau_{\text{тур}}$  температурагача  $t$  вақт ичида ўз-гариши қуйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$\tau = \tau_{\text{тур}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_{\text{бош}} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (13.14)$$

бунда  $T$  — қизиш доимийси бўлиб, иссиқлик агроф-муҳитга тарқалганда двигательнинг энг юқори барқарор температурага-ча қизиши учун сарфланган вақтини билдиради.

Бошланғич ишлаш даврида двигательнинг температураси агроф-муҳит температурасидан деярли фарқ қилмайди, яъни  $t=0$  да  $\tau_{\text{бош}} = 0$  бўлади, у ҳолда (13.14) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

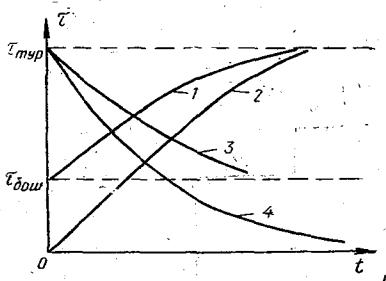
$$\tau = \tau_{\text{тур}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right). \quad (13.15)$$

(13.14) ва (13.15) тенгламалар асосида 13.5-расмда қизиш эгри чизиқлари (мос ҳолда 1 ва 2) келтирилган. Расмдан кў-ринадики, бошланғич ўта қизиш температураси ( $\tau_{\text{бош}}$ ) двига-тель температурасининг ортти тезлигини ўзгартирар экан (13.5-расм). Қизиш эгри чизиқлари 1 ва 2 лардан кўринадики, двигатель турғун ўта қизиш температурасига анча вақт ўт-гандан кейингина эришади. Агар двигатель электр тармоғи-



дан узилса, унинг қизиши тўхтайди, бироқ иссиқликнинг двигател сиртидан нурланиши давом этади (нурланиш двигателда тўпланган иссиқлик ҳисобига содир бўлади). Шунинг учун двигател совий бошлайди. Ҳемпература двигателнинг совийш жараёнида қуйидаги ифодага мувофиқ ўзгаради:

$$\tau = \tau_{\text{бош}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_{\text{тур}} e^{-\frac{t}{T}} \quad (13.16)$$



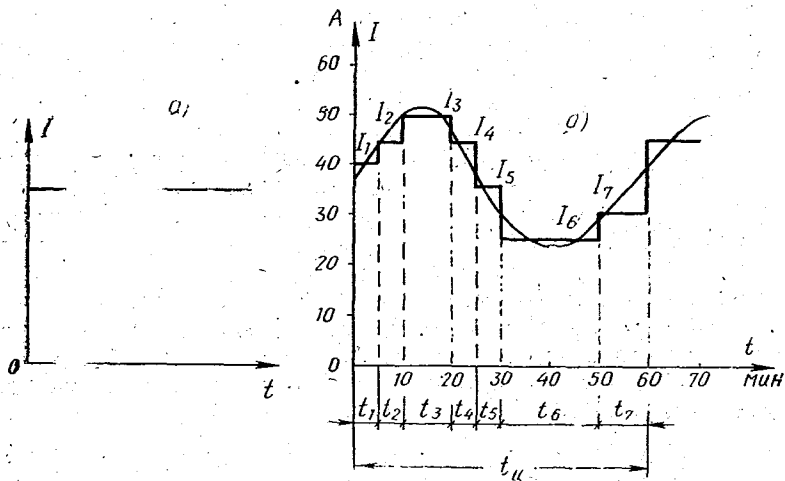
13.5- расм.

Агар двигател атроф-муҳит ҳароратигача совиса, яъни  $\tau_{\text{бош}} = 0$  бўлса, (13.16) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

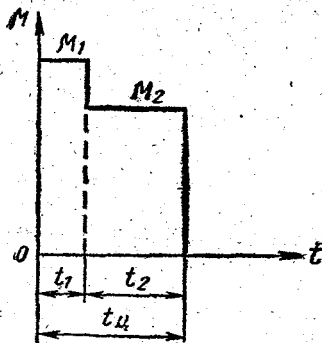
$$\tau = \tau_{\text{тур}} e^{-\frac{t}{T}} \quad (13.17)$$

(13.16) ва (13.17) тенгламалар асосида 13.5-расмда двигателнинг совийш эгри чизиқлари 3 ва 4 келтирилган.

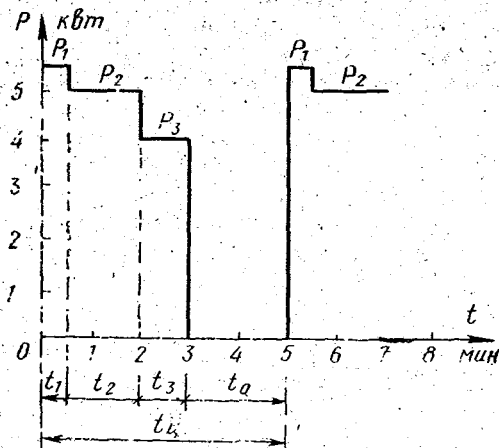
Агар двигателнинг қизиш температураси рухсат этилган барқарор (турғун) температурага яқинлашса-ю, аммо ундан ошиб кетмаса, у ҳолда бу режимда двигателдан тўлиқ фойдаланилган бўлади. Шунинг учун ҳам двигателнинг қизиш ва совийш хусусиятига қараб ГОСТ асосида электр юритмаларнинг иш жараёни учта: узоқ муддатли, қисқа муддатли ва такрорланадиган қисқа муддатли номинал иш режимига бўлинади.



13.6- расм.



13.7- расм.



13.8- расм.

Узоқ муддатли иш режимида двигателнинг юкланиш билан ишлаш даври узоқ вақт давом этади, шунинг учун унинг барча қисмлари температуранинг барқарор қиймати­гача қизийди. Бунда двигателнинг на­грузкаси ишлаш вақти давомида ўзгармаслиги (13.6- расм, а) ёки ўз­га­риб туриши мумкин (13.6- расм, б). Двигателнинг узоқ муддат ишлагандаги қизиш (2) ва совиш (4) эгри чизиқлари 13.5- расмда кўрсатилган.

Қисқа муддатли иш режимида электр юритманинг номи­нал на­грузкада ишлаш давлари двигателни вақтинчали электр тармоғидан узиб қўйиш вақти билан алма­ши­ниб туради. Ана шу вақт давомида двигатель атроф-муҳит ҳароратигача со­вишга улгуради (13.7- расм). Бу режимда жуда кам миқдор­да­ги механизмлар (тўғон затворлари, ажралувчи кўприклар, қа­ву­рлар задвижкаси ва бошқалар) ишлайди. Шунинг учун ма­з­кур режимда ишлайдиган двигателлар мах­сус қурилмалар учун­гина ишлаб чиқарилади.

Так­рор­лана­диган қисқа муддатли иш режимида электр юрит­ма­нинг номи­нал на­грузкада қисқа муддатли ишлаш давр­ла­ри ( $t_n$ ) дви­га­тел­ни тар­моқдан узиб қўйиши (пауза) давр­ла­ри ( $t_0$ ) билан ёки дви­га­телдан на­грузка­ни олиб қўйиш билан ал­ма­шти­риб турилади (13.8- расм). Бу ре­жи­мда на­грузка улан­ган даврда дви­га­тель қис­ма­ларининг қизиш тем­пе­ра­ту­раси бар­қарор қий­ма­ти­гача кўтарила олмайди, пауза вақтида эса ат­роф-муҳит ҳароратигача совишга ул­гу­рмайди. Так­рор­лана­диган қисқа му­д­дат­ли иш ре­жи­ми улаш­нинг нисбий да­во­мий­ли­ги (УД) дейи­ла­диган кат­та­лик билан ха­рак­тер­ла­на­ди:

$$УД = \frac{t_n}{t_n + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_0}{t_n} \cdot 100\%, \quad (13.18)$$

бунда  $t_n$  — бутун цикл вақти.

Саноат корхоналарида УД 15, 25, 40 ва 60% бўлган турли қувватдаги двигателлар ишлаб чиқарилади. Буларда циклнинг давомийлиги 10 минутдан ошмайди. Узоқ давом этадиган режимларда УД — 100% бўлади ва бундай двигателларнинг ишлаши узоқ муддатли иш режимига тааллуқли бўлади.

### 13.7. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ҚУВВАТИНИ ТАНЛАШ

Двигателларнинг қувватини тўғри танлаш катта аҳамиятга эга бўлиб, электр юритма қувватининг бошланғич минимал қийматини ва уларни эксплуатация қилишда юзага келувчи энергия исрофининг камроқ бўлишини таъминлайди. Барча ҳолларда ҳам двигателларнинг номинал иш режимларини иш механизмларининг режимларига мос ҳолда танлаш керак.

*Узоқ муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш.* Халқ хўжалигининг аксарият тармоқларида ишлатиладиган турли механизмларнинг нагрузкаси узоқ муддат давомида ўзгармас ёки кам ўзгарувчан бўлиши мумкин. Агар бундай механизмлар истеъмол қиладиган ўзгармас қувват ( $P$ ) маълум бўлса у ҳолда двигателнинг қуввати бевосита каталогдан танланади. Бунда двигатель қуввати ( $P_{ном}$ ) нагрузка қуввати ( $P$ ) га тенг қилиб олинади. Агар каталогда бундай қувватли двигатель бўлмаса, у ҳолда навбатдаги энг яқин каттароқ қувватли двигатель танланади, яъни  $P_{ном} > P$  бўлиши керак. Агар механизмнинг қуввати олдиндан маълум бўлмаса, унда двигатель танлаш баъзи қийинчиликларни туғдиради. Узоқ муддат ўзгармас нагрузкада ишлайдиган механизмлар (насослар, вентиляторлар, компрессорлар) учун мўлжалланган двигателларнинг қуввати назарий ҳисоблар ёки эмпирик формулалар ёрдамида ҳисоблаб, ёки нагрузка диаграммасини қуриш йўли билан аниқланади. Масалан, насослар учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_n = \frac{QH\gamma K_9}{10^2 \eta_n \eta_y} \text{ кВт}, \quad (13.19)$$

бу ерда  $Q$  — насоснинг иш унуми,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  — тўла босим,  $\text{м}$ ;  $\gamma$  — ҳайдаладиган суюқликнинг солиштирма оғирлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $K_9$  — эҳтиётлик коэффиценти; ( $P_n \leq 50$  кВт бўлганда  $K_9 = 1,2$ ; 50 дан 360 кВт гача  $K_9 = 1,15$ ; 350 кВт дан юқори қувватли двигателлар учун  $K_9 = 1,1$ );  $\eta_n$ ,  $\eta_y$  — мос ҳолда насо ва насос билан двигатель орасидаги узатманинг фойдали иш коэффицентлари.

**6-масала.** Кўп қаватли уйларга сув берадиган марказлан қочма насос учун ротори қисқа тулашгирилган синхрон двигатель қувватини танлаш талаб қилинади. Бунда қуйидагилар маълум:  $Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ ; ҳисобий сув босими  $H = 25 \text{ м}$ ;  $\eta_n = 0,5$ ;  $\eta_y = 1$ ; насоснинг иш режими — узоқ муддатли;  $\gamma = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; насоснинг айланиш тезлиги  $n_n = 1450$  айл/мин.

«*Ечилиши*» (13.19) формулага асосан насос талаб қилган қувватни ҳисоблаймиз:

$$P_{\text{эл}} = \frac{QH\gamma K_0}{102\eta_{\text{в}}\eta_{\text{у}}} = \frac{0,05 \cdot 25 \cdot 1000 \cdot 1,3}{102 \cdot 0,5 \cdot 1} = 24,5 \text{ кВт.}$$

Каталогдан қуввати бўйича энг яқин бўлган, ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателъ танлаймиз, унинг номинал техник кўрсаткичлари қуйидагича: тури А;  $P_{\text{н}} = 25$  кВт;  $n_{\text{н}} = 1450$  айл/мин;  $\eta_{\text{ном}} = 0,9$ ;  $\cos \varphi = 0,8$ .

Вентилятор учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_{\text{в}} = \frac{QH K_0}{102\eta_{\text{в}}\eta_{\text{у}}} \text{ кВт,} \quad (13.20)$$

бу ерда  $Q$  — вентиляторнинг иш унуми,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  — тўла босим, мм сув устуни;  $K_0$  — эҳтиётлик коэффициенти, ( $P_{\text{в}} \leq 2$  кВт бўлганда  $K_0 = 1,5$ ; 5 кВт гача  $K_0 = 1,25$ ; 5 кВт дан юқори бўлганда  $K_0 = 1,1 \div 1,15$ );  $\eta_{\text{в}}$ ,  $\eta_{\text{у}}$  — мос ҳолда вентилятор ва узатманинг фойдали иш коэффициенти.

Компрессор учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_{\text{к}} = \frac{QA}{102\eta_{\text{к}}\eta_{\text{у}}} \text{ кВт,} \quad (13.21)$$

бу ерда  $Q$  — компрессорнинг иш унуми,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $A$  —  $1 \text{ м}^3$  ҳавони 1 атмосфера босимдан керакли босимгача сиқиш учун сарф бўладиган иш,  $\text{кГ} \cdot \text{м}$ ;  $\eta_{\text{к}}$ ,  $\eta_{\text{у}}$  — мос ҳолда компрессор ва узатманинг фойдали иш коэффициенти.

Кўпгина механизмлар узоқ муддат ўзгарувчан нагрузкада ишлайдилар. Бундай қурилмалардаги электр двигателларнинг қуввати нагрузка диаграммаси ёки ўртача исрофлар усули асосида аниқланади. Ўртача исрофлар усули двигателнинг ишлаш давридаги ўртача қувват исрофи  $\Delta P_{\text{ўр}}$  ни номинал нагрузка билан ишлагандаги исрофлар  $\Delta P_{\text{ном}}$  билан солиштиришга асосланган.

Ўртача қувват исрофи ушбу ифодадан топилади:

$$\Delta P_{\text{ўр}} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_i t_i}{t_{\text{ц}}}$$

бу ерда  $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_i$  —  $t_i$  вақтдаги қувват исрофи;  $t_{\text{ц}}$  — циклнинг давомийлиги.

Агар иш цикли вақтида ўртача қувват исрофи номинал нагрузка билан ишлагандаги номинал қувват исрофидан ошмаса, у ҳолда двигателнинг ўртача температураси жоиз қийматдан ошмайди. Демак, двигател тўғри танланган бўлади.

Шундай қилиб двигателни танлаш шарти сифатида ушбу ифода хизмат қилади.

$$\Delta I_{\text{ўр}} \leq \Delta P.$$

Аммо каталогларда двигатель тўғрисидаги керакли маълумотларнинг етарли бўлмаслиги кўп ҳолларда ўртача қувват исрофидан фойдаланишни қийинлаштиради. Шунинг учун амалда анчагина содда усул: эквивалент миқдорлар (ток, момент ва қувват) усули кенг қўлланилади.

Эквивалент ток деб, шундай ўзгармас токка айтиладики, бу ток электр двигатели чулғамларидан бутун ишлаш даври давомида ўтиб, чулғамларни ҳақиқий ток ўткандагидай бир хилда қиздиради. Двигателнинг берилган нагрузка диаграммасидан эквивалент ток қуйидагича топилади.

13.6-расм, б да берилган  $I = f(t)$  эгри чизиқли график поғонали синиқ чизиқ билан алмаштирилади ҳамда  $t_1, t_2$  ва ҳоказо вақтлар оралиғида двигатель мос равишда  $I_1, I_2$  ва ҳоказо тоқлар қабул қилади деб ҳисобланади. Бу вақтда Ленц-Жоуль қонунига асосан:

$$I_3^2 \cdot r \cdot t_n = I_3^2 \cdot r (t_1 + t_2 + \dots + t_n) = I_1 r t_1 + I_2 r t_2 + \dots + I_n r t_n$$

бу ерда  $r$  — электр двигатель чулғамларининг қаршилиги. Бундан эквивалент ток

$$I_3 = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (13.22)$$

Двигателнинг каталогдан танланадиган номинал токи  $I_{\text{ном}}$  ҳисобланган эквивалент ток  $I_3$  га тенг ёки ундан катга қилиб олиниши керак, яъни

$$I_{\text{ном}} \geq I_3.$$

6-масала. 13.6-расм, б да келтирилган график бўйича ишлайдиган иш механизми электр двигателининг номинал токи танлансин:

$$I_3 = \sqrt{\frac{40^2 \cdot 5 + 45^2 \cdot 5 + 50^2 \cdot 10 + 45^2 \cdot 5 + 35^2 \cdot 5 + 25^2 \cdot 20 + 30^2 \cdot 10}{5 + 5 + 10 + 5 + 5 + 20 + 10}} = 36,9 \text{ А.}$$

Каталогдан  $I_{\text{ном}} \geq I_3 = 36,9 \text{ А}$  қилиб кўрсатилган турдаги двигатель танланади.

Агар электр двигателининг магнит оқими ўзгармас бўлса (параллел уйғотишчи ўзгармас ток ва синхрон электр двигателлар), у ҳолда электр двигателини эквивалент айлантириш моментига кўра танлаш мумкин:

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (13.23)$$

чунки  $M = C_m \Phi I$  ва  $\Phi = \text{const}$  бўлганда, момент токка пропорционал бўлади.

Агар берилган нагрузка графиги қувватнинг вақтга боғланишидан иборат ва нагрузканинг тезликка таъсири жуда ки-

чик бўлса (масалан, асинхрон, синхрон двигателлар ва параллел уйғотишли ўзгармас ток двигатели), у ҳолда электр двигателини эквивалент қувват бўйича танлаш мумкин:

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (13.24)$$

чунки  $P = M\omega$  ва  $\omega = \text{const}$  бўлганда қувват момент ва токка пропорционал бўлади.

Агар  $M_{\text{ном}} \geq M_э$  ёки  $P_{\text{ном}} \geq P_э$  бўлса, (13.23) ёки (13.24) формула бўйича ҳисоблаб, танланган двигатель қизиш шартини бажаради.

Қисқа муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш. Қисқа муддатли иш режимининг нагрузка диаграммаси (13.7-расмда) кўрсатилган. Мазкур диаграммага мос равишда (13.23) формуладан фойдаланиб, эквивалент момент ҳисобланади. Бунда  $t_1 + t_2 + \dots + t_n = t_k$  деб олинади ва қисқа муддатли ишлаш вақти деб аталади.

Сўнгра каталогдан  $t_k$  вақт ишлашга мўлжалланган, номинал momenti эквивалент моментга тенг ёки ундан катта  $M_{\text{ном}} \geq M_э$  бўлган двигатель танланади. Электр двигателни оний ўта юкланишга текшириб кўриш керак: нагрузканинг  $I_{\text{max}}/I_э$  нисбати двигатель  $I_{\text{max}}/I_{\text{ном}}$  нисбатининг жоиз қийматидан кичик ёки унга тенг бўлиши керак.

Такрорланадиган қисқа муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш. Кранлар, лифтлар, экскаваторлар, металлларга ишлов берувчи бир қанча дастгоҳларнинг двигателлари ва шу кабилар такрорланадиган қисқа муддатли иш режимида ишлайди. Уларнинг нагрузка диаграммаси 13.8-расмда кўрсатилган.

Такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган механизмлар учун двигатель қувватини юқорида келтирилган эквивалент ток, қувват ва момент формулаларидан фойдаланиб танлаш мумкин. 13.8-расмда кўрсатилган график асосида эквивалент қувват қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \quad (13.25)$$

Аниқланган эквивалент қувват  $P_э$  ва берилган УД учун каталогдан двигателнинг номинал қуввати топилади. Ҳисобланган УД энг яқин стандартга мос келмаса, у ҳолда (13.25) формуладан топилган ҳақиқий эквивалент қувватни ( $P_{эx}$ ) стандарт УД<sub>ст</sub> га қайта ҳисобланади:

$$P_{э. ст.} = P_{э. x} \sqrt{\frac{УД_x}{УД_{ст}}} \quad (13.26)$$

8-масала. 13.8-расмдаги график бўйича ишловчи механизм двигателининг номинал қуввати аниқлансин:

$$P_3 = \sqrt{\frac{5,5^2 \cdot 0,5 + 5^2 \cdot 1,5 + 4^2 \cdot 1}{0,5 + 1,5 + 1}} = 4,78 \text{ кВт};$$

$$\text{УД} = \frac{0,5 + 1,5 + 1}{0,5 + 1,5 + 1 + 2} \cdot 100\% = 60\%.$$

УД = 60% учун каталогдан параллел уйғотишли ўзгармас ток ёки асинхрон двигателнинг номинал қуввати типилади,  $P_{\text{ном}} \geq P_3 = 4,78 \text{ кВт}$ .

### 13.8. ЭЛЕКТР ЮРИТМА УЧУН ДВИГАТЕЛЬ ТУРИНИ ТАНЛАШ БУЙИЧА УМУМИЙ ТАВСИЯЛАР

Двигателни тўғри танлаш катта аҳамиятга эгадир. Кўп сонли ўзгарувчан ва ўзгармас ток двигателларининг турлари ичида у ёки бу иш машинасининг юритмаси учун шундай двигателни танлаш керакки, у ишлаб чиқариш жараёнининг ҳам техник, ҳам иқтисодий талабларини тўла-тўқис қондирсин.

Электр юритмаларни лойиҳалашда ўзаро боғлиқ бир қатор масалалар (двигателнинг кучланишини, тезлигини ва турини танлаш) ни ҳал қилишга тўғри келади.

**Двигателнинг номинал кучланишини танлаш** Бу масалани ечишда стандарт номинал кучланишга асосланилади. Уч фазали двигателлар 220, 380, 660, 3000, 6000 ва 10000 В кучланишга, ўзгармас ток двигателлари 110, 220 ва 440 В кучланишларга мўлжаллаб чиқарилади. Кичик ва ўртача (100 кВт гача) қувватли уч фазали асинхрон ва синхрон двигателлар учун 380 В кучланишни танлаш мақсадга мувофиқдир. 220 В ли кучланиш тавсия этилмайди, чунки бунда ток кучи  $\sqrt{3}$  марта юқори бўлиб, рангли металл сарфини кўпайтиради.

Катта қувватли электр юритмалар учун 3000, 6000 ва 10000 В га мўлжалланган уч фазали двигателларни қўллаш тавсия этилади. Бу кучланишлардан қай бирини танлаш саноат корхонасидаги юқори кучланишли тармоқдаги кучланишнинг қийматига боғлиқ.

Тезлиги бошқариладиган ўзгармас ток двигателли электр юритма учун асосан 220 В, баъзан 110 В кучланиш тавсия этилади. Чўнқи 440 В га мўлжалланган ўзгармас ток двигателлари ишлаш даврида тез-тез ишдан чиқиб туради.

**Двигатель турини танлаш.** Танланадиган двигателнинг шундай турини танлаш керакки, уни бошқариш осон, эксплуатация қилишда мустақкам ва ишончли ҳамда нархи арзон, ўзи ихчам, шунингдек юқори энергетик кўрсаткичларга эга бўлсин. Двигателнинг турини танлашда юритманинг тезлиги бошқариладиган ёки бошқарилмайдиганлигига ҳам эътибор бериш керак. Юқоридаги талабларнинг аксариятини қондирувчи электр двигатель — бу ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателдир. Шунинг учун иш жараёнида тезлигини бошқариш талаб этилмайдиган барча иш механизмлари ва ма-

шиналарида асинхрон двигателлар кенг қўлланилади. Шунингдек, мазкур двигателлар камчиликлардан ҳам ҳоли эмас. Уларнинг асосийлари қуйидагилардан иборат:

1. Чекланган ишга тушириш momentiда катта ишга тушириш токининг мавжудлиги.

2. Ротор занжиридаги исеиклик миқдорининг ташқи муҳитга яхши тарқалмаслиги туфайли қайта улаш сонининг чекланганлиги.

3. Уқдаги нагрузка momenti ўзгарганда тезликнинг ўзгариши. Шунга қарамай, халқ ҳужалигидаги деярли барча кичик ва ўртача 100 кВт гача қувватли, тезлиги бошқарилмайдиган иш механизмларида ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателлар қўлланади.

Такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган ва нисбатан катта ишга тушириш частотасига эга бўлган баъзи механизмлар учун оширилган номинал сирпанишли асинхрон двигателларни қўллаш тавсия қилинади. Оширилган сирпаниш қисқа туташтирилган асинхрон двигатель роторида битга ёки иккита „олмаҳон қафаси“ тарзида жойлаштириш орқали амалга оширилади. Бундай двигателларнинг ишга тушириш momenti катта, ишга тушириш токи эса нисбатан кичик бўлади. Шунинг учун бу двигателлардан фойдаланилганда электр юритманинг ишга туширишдаги энергия исрофи ва ишга тушириш вақти камаяди.

Баъзи ҳолларда фаза роторли асинхрон двигателлардан ҳам фойдаланишга тўғри келади. Улар қуйидаги электр юритмаларни ҳаракатга келтиришда қўлланилади:

1. Оғир шароитда ишга тушириладиган, ишга тушириш momentининг катта бўлиши талаб қилинадиган ва тезланишни чеклайдиган механизмлар (пассажир ва шахта кўтарувчи қурилмалар).

2. Собатига қайта уланиш сони кўп бўлган (такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган) қурилмалар.

3. Тезликни кичик чегарада бошқариш талаб этиладиган қурилмалар.

Фаза роторли асинхрон двигателларни қўллаш керак бўлганда улар тузилишининг мураккаблигини, оғирлиги ва ҳажми нисбатан катта эканлигини,  $\cos \varphi$  нинг кичиклигини ва эксплуатацияси нисбатан мураккаблигини эътиборга олиш керак.

Ўртача ва катта қувватли, узоқ муддатли режимда ишлайдиган бошқарилмайдиган электр юритмаларда синхрон двигателлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай юритмаларга компрессорлар, катта қувватли насослар ва вентиляторлар ва бошқалар киради. Синхрон двигателлар юқори ФИК ва сифимли  $\cos \varphi$  режимда ишлай олиши билан асинхрон двигателлардан фарқ қилади. Кичик қувватли қурилмаларда бу двигателларни қўллаш иқтисодий жиҳатидан ўзини оқламайди, чунки сарфланган харажатларни уларни эксплуатация қилишдаги афзалликлави қопламайди.



Иш шароитига қўра, тезлиқни катта юралиқда ярави бошқариш талаб этиладиған қурилмаларда, катта ишта тушириш сонига эга бўлған механизмларда ва нисбатан кичик тезликда ишлайдиған юритмаларда ўзгармас ток двигателларини қўллаш мумкин. Бундай қурилмаларга реверсив прокат станлари, металлга ишлов бериш дастгоҳлари, электр транспорти, лифтлар, кўтарма-транспорт механизмлар ва бошқалар мисол бўлади.

**Электр двигателларининг номинал тезлигини танлаш.** Электр двигателларни иш машиналари билан ўзаро бириктиришнинг энг содда ва мустаҳкам тури уларни бевосита муфта орқали улашдир. Бу ҳолда двигателнинг тезлиги иш машинасининг тезлигига тенг қилиб олинади. Двигателлар эса маълум стандарт тезликка мўлжалланған бўлади. Бундан ташқари, двигателларнинг номинал тезлиги кичикроқ бўлса, уларнинг ўлчами берилған номинал қувватда ( $P_{\text{ном}}$ ) каттароқ бўлади. Шунинг учун ақсарият двигателлар 1500 ва 3000 айл/мин тезликка мўлжаллаб чиқарилади. Иккинчидан, иш машиналари, асосан, кичик тезликка (200 – 500 айл/мин) мўлжалланған бўлади. Бинобарин, двигателларни иш машиналарига улаш узатиш қурилмаларидан фойдаланишни тақозо қилади. Бундай ҳолларда двигателнинг номинал тезлиги бир неча вариантларда ҳисоблаш, текшириш ва анализ қилиш асосида танланади.

**Электр двигателларнинг конструкциясини танлаш.** Двигатель конструкциясини танлашда атроф-муҳит шароити ҳам ҳисобга олинади. Бунда двигателни ташқи муҳит таъсиридан ҳимоялаш керак бўлса, иккинчи томондан, двигателларда юзага келиши мумкин бўлған учқунлардан атроф-муҳитни (агар ёнувчи чанглар, портловчи газлар ва аралашмалар ва шунга ўхшашлар мавжуд бўлса) ҳимоя қилиш керак бўлади. Шунинг учун ҳам двигателлар очик, ҳимояланған, ёпиқ ва портлашга хавфсиз кўринишда ишлаб чиқарилади.

Очик двигателлар ҳеч қандай ҳимоя воситаларига эга бўлмайди ва чангсиз, ифлоссиз ва бошқа аралашмаларга эга бўлмаған куруқ хоналарда ишлатилади.

Ҳимояланған двигателлар қуйидагиларга бўлинади:

— ток ўтказувчи қисмларга тасодифан тегиб кетишдан ва двигатель ичига ташқи буюмлар тушиб кетишидан ҳимояланған (двигателнинг очик жойларини ёпиб турувчи тўрлари бўлади);

— сув томчилари тушишидан ҳимояланған (тўрдан ташқари соябони ҳам бўлади).

Ёпиқ двигателларни зах, газли, чангли хоналарда ишлатиш мумкин. Улар қопқоқ ҳамда махсус зичлагич билан таъминланади. Бундай двигателлар ичига, ташқаридан чанг, газ ва бошқа аралашмалар кирмайди. Герметик ёпиқ двигательни эса узоқ муддат сувга богириб қўйилса ҳам двигатель ичига нам ўтмайди.

Портлашга хавфсиз двигателлар ёнғин ва портлаш хавфи бўлған, хавфли газ ёки буғли хоналарга ўрнатилади. Улар

нинг корпуси шу қадар мустақкамки, портлаш натижасида двигатель ичида ҳосил бўлган аланга ташқарига — портлаш хавфи бўлган муҳитга чиқмайди.

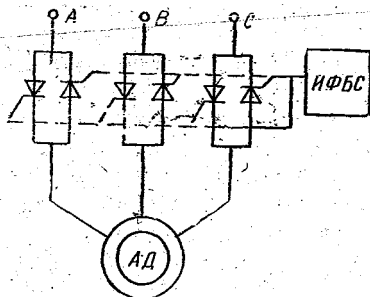
Булардан ташқари, двигателларни совитилиши, маҳкамланиши ва шу каби бошқа шунга ўхшаш хусусиятларига қараб ҳам бир неча турга ажратиш мумкин.

### 13.9. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИ ТИРИСТОР БИЛАН БОШҚАРИШ

Тиристорли ўзгартиргичларнинг юқори ФИК ( $0,95 \div 0,97$ ), габарит ўлчамларининг нусбатан кичиклиги ва шу каби бошқа кўрсаткичлари туфайли тиристорли электр юритмалардан кенг фойдаланиш йўлга қўйилмоқда. Тиристорлар ва тегишли бошқариш системаларидан фойдаланиш ҳам ўзгарувчан, ҳам ўзгармас ток двигателларини ишга тушириш муаммосини ҳал қилади ҳамда керакли ростлаш характеристикалари ва динамик режимларни олиш имконини беради.

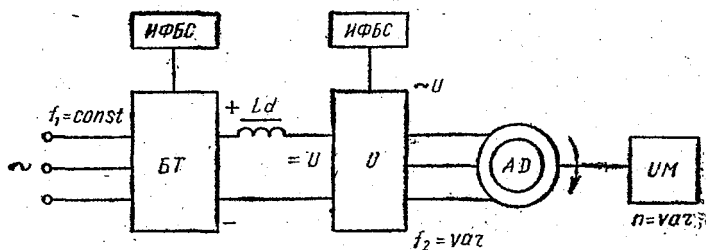
Тиристорли ўзгарувчан ток электр юритмаси. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини ростлаш учун тиристорлар статор занжирига уланади. Бунда улар ёрдамида статор чулғамларидаги синусоидал кучланишнинг амплитудасини (фазали ростлаш) ёки частотасини (частотали ростлаш) ростлаш мумкин. Ҳар иккала ҳолда ҳам асинхрон двигателнинг айлантириш моменти ўзгаради. Бу айланишлар частотасининг ўзгаришига олиб келади.

Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини тиристорли кучланиш ўзгартиргичи (ТКЎ) ёрдамида ростлаш схемаси 13.9- расмда кўрсатилган. ТКЎ нинг ҳар бир фазасида иккита қарама-қарши (параллел) уланган тиристор бўлиб, ўзгарувчан токнинг ҳар иккала ярим даврини ўтказади. ТКЎ ёрдамида кучланишни ўзгартириш учун импульсли фаза бошқарувчи система (ИФБС) деб аталувчи қурилма бўлиши керак. У иккита вазифани бажаради: бошқарувчи импульсни вужудга келтиради ва уни тармоқ кучланишига нисбатан фаза бўйича силжитади. ИФБС тиристорли ўзгартиргичнинг ростлаш бурчаги  $\alpha$  ни 0 дан 180 электрик градусга ўзгартириш имконини беради (13.9- расм).



13.9- расм.

Бошқарувчи импульсни тиристорларга бериш лаҳзаларини ўзгартириб, асинхрон двигателнинг статор чулғамига берилаётган кучланишни ўзгартиришга ва роторнинг айланишлар частотасини унча катта бўлмаган оралиқда ўзгартиришга эришиш мумкин. Шу билан, бирга, кучланишни камайтириш асинхрон двигателнинг ишга тушириш ва максимал моментларини камай-



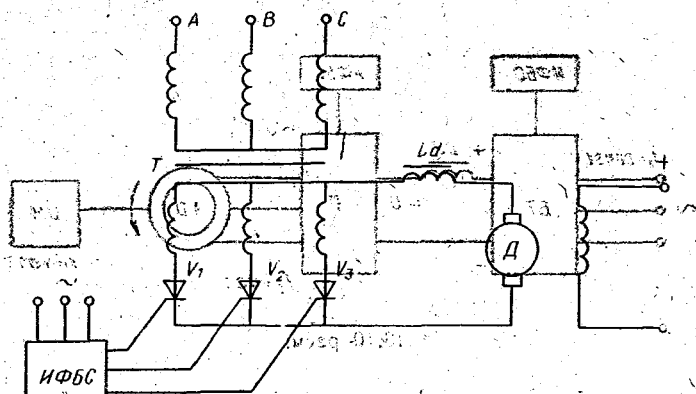
13.10- расм.

тиришга олиб келади. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини ростлаш оралигини кенгайтириш учун ёпиқ ёки частотали бошқариш системаларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Двигателларнинг айланишлар частотасини тармоқ токининг частотасини ўзгартириб ростлаш алоҳида манба бўлишини тақозо қилади. У асинхрон двигателни таъминловчи кучланиш частотасини саноат токи частотаси ( $f_1 = 50$  Гц) дан ошириш ёки камайтиришни раван ўзгартириш имконини беради. Бу ростлаш усулининг кимчилиги анча мураккаб ва қimmatбаҳо частота ўзгартиргичининг талаб қилинишидадир. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини частота ўзгартиргич ёрдамида ростлашнинг блок схемаси 13.10-расмда кўрсатилган. Частота ўзгартиргич бошқариладиган тўғрилагич БТ, у уч фазали ва  $f_1 = \text{const}$  бўлган тармоқ кучланишини ўзгармас ток кучланиши ( $U$ ) га айлантиради, тўғриланган кучланишнинг пульсланишини текисловчи дроссели  $L_d$  филтър, ўзгармас ток кучланишини ўзгарувчан частота  $f_2$  ли уч фазали ўзгарувчан ток кучланишига айлантирувчи (асинхрон двигателни таъминлаш учун) инвертор И ва ИФБС лардан иборат. Электрон-импульсли фаза бошқариш системалари ИФБС тўғрилагич ва инвертор тиристорларини бошқаришни амалга оширади ва қурилманинг керакли ишлаш режимини таъминлайди.

**Тиристорли ўзгармас ток электр юритмаси.** Ўзгармас ток двигателининг айланишлар частотасини ростлаш керак бўлганда ва ҳаддан ташқари катта қувватли двигателларни ишга туширишда тиристорли ўзгартиргичлар кенг ишлатилмоқда. Улар ёрдамида ўзгармас ток двигателлари уч фазали ўзгарувчан ток тармоғига уланиши мумкин.

Тиристорли ўзгартиргич — двигател (ТЎ — Д) системасининг содда схемаларидан бири 13.11-расмда кўрсатилган. Тиристорли ўзгартиргич ИФБС билан биргаликда уч фазали ўзгарувчан тармоқ кучланишини ўзгарадиган кучланишли ўзгармас токка айлантиради. ИФБС нинг қисқа муддатли бошқа-



13.11- расм.

рувчи импульслари тиристор  $V_1$ ,  $V_2$  ва  $V_3$  ларни фаза кучланишларининг мусбат ярим даврларида, фазаларнинг алмашиниш тартибига мос ҳолда очилади. Фаза кучланишларининг манфий ярим даврларида табиий коммутация шуфайли тегишли фазаларнинг тиристорлари ёпилади. Агар бошқарувчи импульслар тиристорлар  $V_1$ ,  $V_2$  ва  $V_3$  га тегишли табиий очилиш нуқталарида берилса, энг катта тўғриланган ўртача кучланиш  $U_{d0}$  олинади. Бошқарувчи импульсларни табиий очилиш нуқтасига нисбатан  $\alpha$  бурчакка кечиктириб берилса, тиристорлар кечроқ очилади. Тўғриланган ўртача кучланиш  $U_d$  эса энг катта тўғриланган ўртача кучланиш  $U_{d0}$  дан кичик бўлади. Тиристорли ўзгартиргичларнинг тўғриланган ўртача кучланиши:

$$U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

бу ерда  $\alpha$  — ростлаш бурчаги.

$U_d$  кучланиш двигателнинг якоридаги кучланишга тенг бўлади. Шунинг учун ТЎ — Д система учун электромеханик характеристика тенгламаси қуйдагича ифодаланади:

$$\omega = U_{d0} (1 + \cos \alpha) / (2k\Phi) - R I / (k\Phi),$$

бу ерда  $R$  — якорь занжирининг умумий қаршилиги (у якорь чулғамининг ва ўзгартиргичнинг қаршиликларидан иборат).

Юқоридаги формуладан кўринадики, ростлаш бурчаги  $\alpha$  ни ўзгартириш якорга келаётган кучланишни ўзгартириш имконини беради. Натижада двигателнинг бурчак тезлигини кенг ораликда ўзгартиради.  $\alpha$  нинг турли қийматлари учун ТЎ — Д системанинг механик характеристикалари Т — Д система характеристикаларига ўхшаш ва ўзаро параллел ҳолда бўлади.

## 14-БОБ. САНОАТ КОРХОНАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ

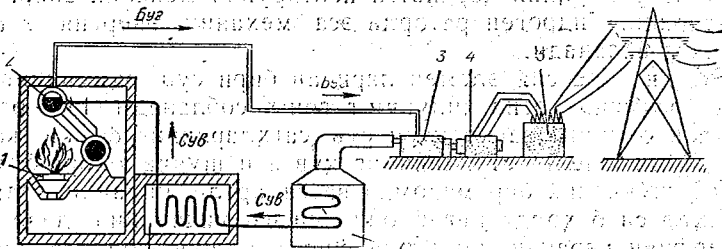
### 14.1. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Электр энергия электр станцияларида бошқа турдаги энергияни электр энергиясига айлантириш орқали ишлаб чиқарилади. Электр энергиядан саноатда, транспортда, алоқада, қишлоқ хўжалигида ва кундалиқ турмушда кенг фойдаланилади. Электр станциялари ўзгартирилаётган энергия турига қараб, иссиқлик, гидравлик, атом, шамол ва қуёш электр станцияларига бўлинади.

Иссиқлик электр станцияси (ИЭС) органик ёқилгининг ёнишида ажралиб чиқадиган иссиқлик энергиясини электр энергияга айлантириб беради. Иссиқлик электр станцияларидаги генераторлар буғ ва газ турбиналар, ички ёнув двигателлари ёрдамида айлантирилади. Буғ турбинали иссиқлик электр станциялари конденсацион ва иссиқлик таъминогли турларда бўлади.

Конденсацион электр станциясида (14.1-расм) ёқилгининг ўчоқ 1 да ёнишдан ажралиб чиққан иссиқлик энергияси қозонда буғ энергиясига айланади. Юқори температурагача қиздирилган буғ босим остида турбина 3 нинг паракларига берилади. Бу ерда буғ энергиясининг турбинани айлантирувчи механик энергияга айланиши содир бўлади. Турбина 3 синхрон генератор 4 ни айлантиради ва унда механик энергия электр энергияга айланади. Турбинада ишлатилган буғ конденсатор 6 га йўналтирилади. У ерда буғ совитилиб, қозон 2 ни таъминлаш учун суюқ конденсатга айлантирилади.

Демак, конденсацион электр станцияларида электр энергия ишлаб чиқариш уч босқичдан, яъни ёқилгининг иссиқлик энергиясини қозондаги буғ энергиясига айлантириш, буғ энергиясини турбинада механик энергияга айлантириш ва механик энергияни генераторда электр энергиясига айлантиришдан иборат. Буғнинг энергияси қанча юқори бўлса, қурилманинڭ фойдали иш коэффициентини шунча юқори бўлади.



14.1-расм.

Конденсацион электр станциясидаги энергия исрофларининг каттагина қисми асосий буғ — сув контурида, хусусан конденсатор 6 да юзага келади. У ерда анча катта иссиқлик энергиясига эга бўлган ишлатилган буғнинг энергияси сувга ўтади. Мазкур энергия айланма сув билан сув ҳавзасига ўтади, яъни исроф бўлади. Бу исрофлар электр станциянинг ФИК ини белгилайдиган асосий омилдир. Ҳатто энг замонавий конденсацион электр станцияларида ҳам ФИК кўпи билан 40 — 42% ни ташкил қилади. Замонавий буғ турбиналарининг қуввати 1300 МВт га етади. Бундай катта қувватли буғ турбиналари туфайли иссиқлик электр станцияларининг тежамлиги қисман ошади. Буғ қозон ўчоғидан чиқиб кетаётган тундан фойдаланиб, қурилма 7 ёрдамида сувни иситиш туфайли иссиқлик станциясининг ФИК ини қисман ошириш мумкин (14.1-расм).

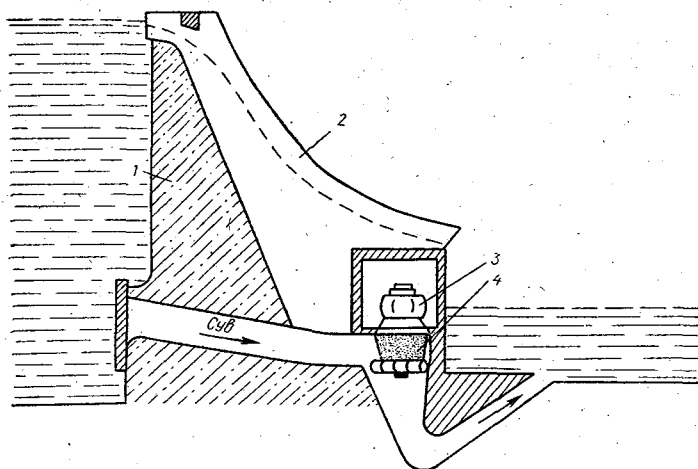
Йирик конденсацион станциялар ёқилғи (кўмир, торф) конлари яқинига қурилади. Чунки ёқилғини узоқ масофаларга транспортда ташишга қараганда электр энергияни узоқ масофага узатиш анча арзон. Электр станцияси ишлаб чиқарётган электр энергия яқин жойлашган энергосистемага 110 — 330 кВ, узоқдагисига эса 500 — 750 кВ кучланишда узатилади. Кучланишни оширишда трансформатор 5 ишлатилади.

Иссиқлик таъминотли электр марказлари (ИЭМ) бир вақтда ҳам иссиқлик, ҳам электр энергиясини ишлаб чиқаришга имкон беради. Шунинг учун иссиқлик таъминотли электр марказлари мамлақатимиз энергетикасида асосий ўринни эгаллайди. Бундай электр марказлари катта шаҳарлар атрофига қурилади. Улар шаҳардаги саноат корхоналари ва коммунал хўжаликларни электр энергиядан ташқари, иссиқ сув ва буғ билан ҳам таъминлаш имконини беради.

Турбинада ишлатилган буғ иссиқлигидан иккинчи марта фойдаланиш туфайли конденсацион станцияларга қараганда иссиқлик таъминотли электр марказлари тежамлироқ бўлиб, уларнинг ФИК 50 — 65% га етади.

Гидравлик электр станциялар (ГЭС) сув оқимининг энергиясини электр энергияга айлантиради. Бу станцияларда гидротурбиналар 4 ишлатилиб, улар сув оқими энергиясини гидрогенератор 3 ўқини ҳаракатга қелтирувчи механик энергияга айлантиради. Гидрогенераторда эса механик энергия электр энергияга айланади.

ГЭС нинг асосий элементларидан бири сув оқимининг керакли босимини ҳосил қилувчи тўғон ҳисобланади (14.2-расм). Тўғондан олдинги ва кейинги сув сатҳларининг фарқи қанча катта бўлса, электр станциянинг қуввати шунча юқори бўлади ва ГЭС шунчалик бир маромда ва самарали ишлайди. Одатда сув заҳираси баҳорда йиғиб олинади ва ундан йил давомида сув сарфини керакли миқдорда ростлаш учун фойдаланилади. Сув оқимини ростлаш сувга давомида ҳам олиб борилиши мумкин. Одатда, тунги вақтларда кўп электр энергия талаб

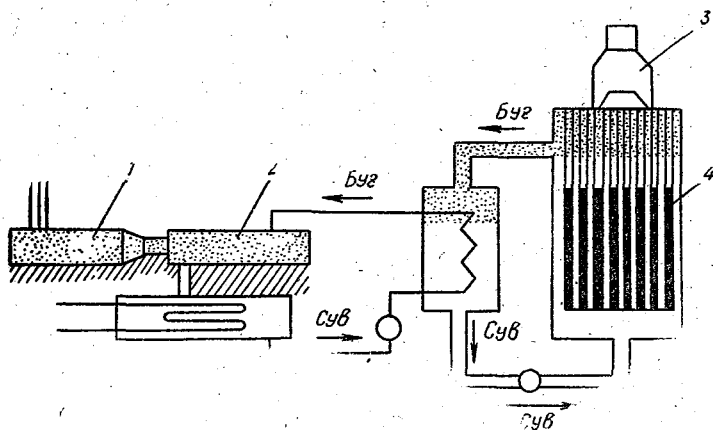


14.2- расм.

қилинмайди. Шунинг учун бундай вақтларда баъзи гидротурбиналар тўхтатилиб, сув эса заҳирага қолдирилади.

Гидравлик электр станциялари ёрдамида сутканинг турли вақт оралиқларидаги энергия истеъмолини ҳам меъёрида таъминлаш анча қулай. ГЭС нинг фойдали иш коэффициенти 85 — 92% ни ташкил қилади. Ундаги битта агрегатнинг қуввати 600 МВт га етади. Йирик ГЭС ларнинг қуввати эса бир неча миллион киловаттларга етади.

ГЭС лар қаторига гидроаккумуляцияловчи электр станциялар (ГАЭС) ҳам киради. Энергосистема нагрукаси энг кам бўлган соатларда ГАЭС генераторлари двигатель режи-



14.3 расм.

мига, турбиналар эса насос режимига ўтказилади ва улар сувни қувурлар орқали пастки ҳовуздан юқориги ҳовузга ҳайдайди.

Атом электр станцияси (АЭС) атом энергиясини электр энергияга айлантириб, ўз моҳияти билан иссиқлик станцияси ҳисобланади (14.3-расм). Ядро реактори 4 дан ажралиб чиқадиган иссиқлик энергияси АЭС да буғ олиш учун фойдаланилади, буғ эса турбогенератор 1 ни айлантиради. Бундай электр станцияларнинг қуввати бир неча минг мегаваттларга етади. АЭС ларни энергия манбаларидан узоқдаги йирик саноат марказлари атрофига қуриш мақсадга мувофиқдир.

Шамол электр станциялар ва қуёш энергиясини ўзгартирувчи қурилмалар мамлакат энергобалансида кичик улушни ташкил этади. Шунингдек, сув кўтарилиш ГЭС лари ҳам бўлиб, улар денгизлардаги сув сатҳининг кўтарилиш ва пасайиш вақтидаги босим таъсирида ишлайди.

#### 14.2. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ

Электр энергиясини узатиш ва тақсимлашда электр тармоқлари катта аҳамиятга эга. Амалда ишлаб чиқарилаётган электр энергия истеъмолчиларга электр тармоқлари орқали узатилади. Электр тармоғининг асосий вазифаси истеъмолчиларни электр билан таъминлаш, яъни электр энергияни ишлаб чиқарилган жойдан уни қабул қилувчи жойга узатишдан иборатдир. Электр энергияни узатиш ва тақсимлашнинг ривожланган шакли электр энергетика системаси (энергосистема) ни ташкил қилади.

Энергосистема — бу электр узатиш линиялари (ЭЎЛ) билан боғланган электр станциялар ва электр энергия қабул қилувчи истеъмолчиларнинг йиғиндисидир. Ягона электр энергетика системаси (ЯЭС) юқори кучланишли ЭЎЛ лар билан бирлашган бир қанча электр станциялар йиғиндиси бўлиб, битта ёки бир неча давлатлар чегарасидаги катта территорияни электр энергия билан таъминлайди.

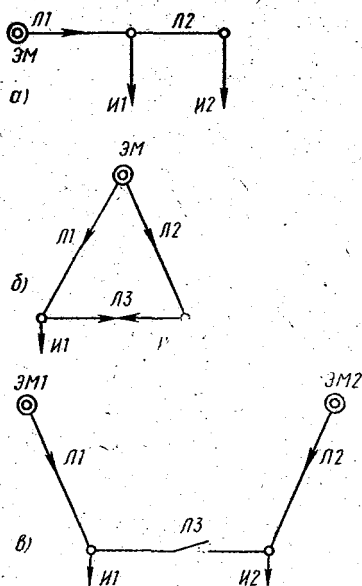
Энергосистема халқ хўжалиги аҳамиятига эга бўлиб, истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлаш узлуксизлигини, турли хилдаги электр станциялар (ИЭС, ГЭС, АЭС) нинг ўзаро тежамли ишлашини оширади, электр станциялардаги зарурий резерв қувватни камайтиради.

Энергосистеманинг бир қисми 14.4-расмда кўрсатилган бўлиб, унга иссиқлик, гидравлик, атом электр станциялари, пассивлашувчи район трансформатор подстанцияси (ТП), ярим ўтказгичли ўзгартиргич (ЯЎЎ) ва баъзи турдаги истеъмолчилар бирлаштирилган. Улар ўзаро бир неча электр узатиш линиялари билан узгич ва ажратгичлар ёрдамида уланади.

Электр тармоқлари турли номинал кучланишли ўзгарувчан ва ўзгармас ток таъсирида бўлади. Электр таъминоти учун, одатда, уч фазали ўзгарувчан ток тармоқларидан фойдалани-







14.5-расм.

маган (14.5-расм, а), туташган (14.5-расм, б) ва йккита таъминловчи манбалар орқали туташган (14.5-расм, в) хилларга бўлинади.

Электр тармоқлари ҳаво ва кабель линиялари, шина ўтказгич ва бошқа электр ўтказгичларидан иборат бўлиши мумкин.

**Ҳаво линияси (ХЛ)** электр энергияни очиқ ҳавода жойлашган ва изоляторлар ҳамда арматуралар ёрдамида таянчларга маҳкамланган ўтказгичлар бўйича узатишни таъминлайди. ХЛ учун, асосан, кесими 4, 6, 10 мм<sup>2</sup> (битга сим) ли ва 10 мм<sup>2</sup> дан катта (кўп симли) мис, алюминий ва пўлат-алюминий симлардан фойдаланилади. 1000 В дан юқори кучланишли ХЛ учун кесими 35 мм<sup>2</sup> дан кичик бўлмаган алюминий ва 25 мм<sup>2</sup> дан кам бўлмаган пўлат-алюминий симлар ишлатиши мумкин. ХЛ учун чинни ёки шишадан ясалган штирли ёки осма изоляторлардан фойдаланилади. Штирли шиша изоляторлар 6 — 10 кВ ли тармоқларда, чинни изоляторлар эса кучланиши 35 кВ гача бўлган тармоқларда энергия узатилиши таъминлайди. Кучланиши 35 кВ дан юқори бўлган тармоқларда осма изоляторлар ишлатилади.

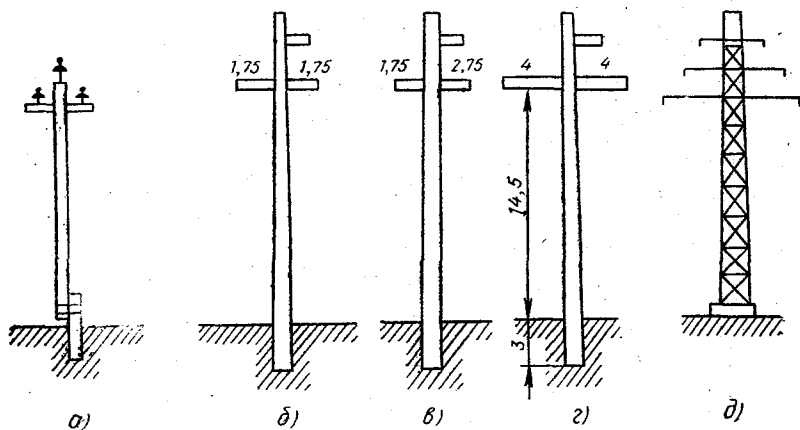
Ҳаво линияларининг таянчлари ёғочдан, металлдан ва темир-бетондан тайёрланган бўлади. Бир устунли ёғоч (10 кВ кучланишгача ишлатилади) ва темир-бетон (35 — 220 кВ) та-

жалланади. Ўзгарувчан ток тармоқларида қуйидаги кучланишлар: паст кучланишли тармоқлар учун 127, 220, 380 ва 660 В ва юқори кучланишли тармоқлар учун 3,6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750 кВ дан фойдаланилади.

Энергия истеъмолчиларининг нормал ишлаши учун тармоқдаги кучланишнинг номинал қиймати истеъмолчи кучланишининг номинал қийматидан  $\pm 5\%$  дан ортиқ фарқ қилмаслиги керак.

Ўзгармас ток тармоқлари учун қуйидаги кучланишлар белгиланган: 110, 220, 440, 600, 825 В. Электр хавфсизлиги мақсадларида кучланиш 100 В дан паст бўлганда қуйидаги кучланишлардан фойдаланилади: ўзгарувчан ток қурилмалари учун 12, 24, 36 ва 60 В; ўзгармас ток қурилмалари учун эса 6, 12, 24, 36, 48 ва 60 В.

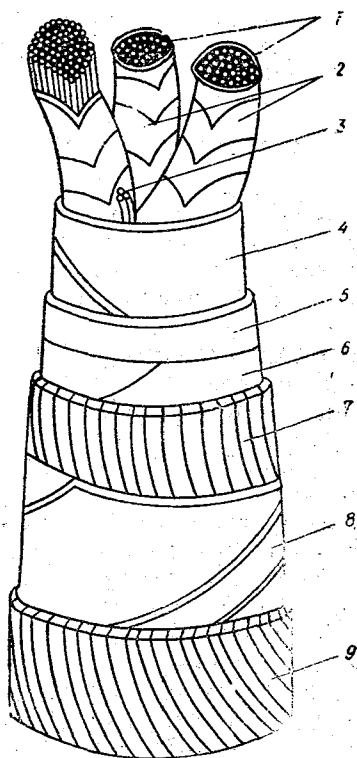
Туташтириш схемаларининг тури бўйича тармоқлар: туташ-



14.6-расм.

янчлар 14.6-расм, а — г ларда кўрсатилган. Юқори (330, 500, 750 кВ) кучлишли электр энергияси металл таянчлардаги тармоқлар орқали узатилади (14.6-расм, д).

*Кабелли линиялар* энергия таъминотининг электр тармоқларида кенг фойдаланилади. Кабель (уч томирли) ток ўтказувчи томирлар, изоляция ва ҳимоя қобигидан иборат (14.7-расм). Томирлар сонига кўра куч кабеллари бир, икки, уч ва тўрт томирли қилиб тайёрланади. Томирлар 1 мис ёки алюминий симдан, изоляция 2 эса резинадан (1000 В гача кучлишли кабеллар учун) ва шимдирилган кўп қаватли қоғоздан ҳамда турли хил пластинкалардан (1000 В дан юқори кучлишли кабеллар учун) ясалади. Ҳимоя қобиғи 5 намлик, газлар ва кислоталарнинг ўтишига қаршилик қилади. У поливинилхлорид, алюминий ва қўرғошиндан ясалади. Кабели механик таъсирлардан ҳимоя қилиш учун тасма 8 ишлатила-



14.7-расм.

ди, унинг устидан эса кабель ипи 9 ўралади.

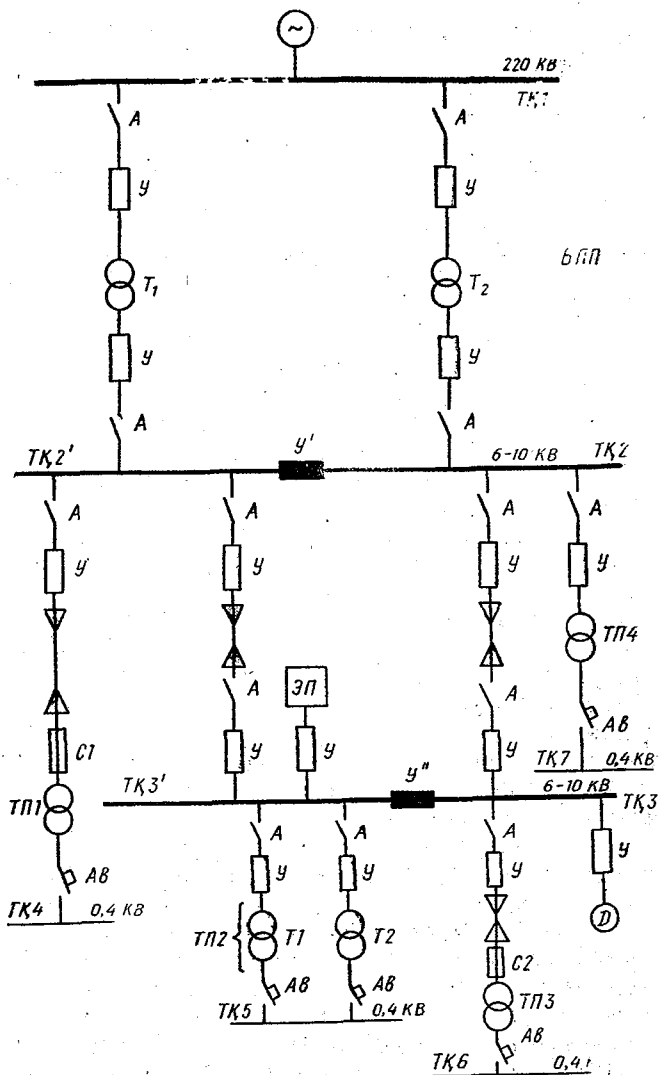
Кабеллар зовурлар, каналлар, тунеллар, блоклар, иморатлар ва иншоотларнинг деворлари бўйича ва поли остидаги ариқчаларга ётқизилади. Кабелни зовурларга ётқизиш энг содда ва арзон усулдир.

Умумий фойдаланиладиган паст кучланишли электр тармоқлари уч фазали, уч ёки тўрт симли бўлади. Уч симли тармоқдан цехдаги истеъмолчилар (уч фазали асинхрон двигателлар, қиздириш печлари ва б.) таъминланса, тўрт симли тармоқдан ёритиш лампалари таъминланади. Кичик қувватли цехлар ва маиший хизматларда фақат тўрт симли электр тармоқлари ишлатилади.

Саноат корхоналаридаги цех ички тармоқларида очик ва ёпиқ электр симларидан кенг фойдаланилади. Очик электр симлари деворлар, шиплар сирти, фермалар ва бошқа қурилиш элементлари бўйича ўтказилади. Бунда симлар ва кабеллар тросларга, изоляторларга маҳкамланади ёки трубалар, қутичалар, эгилувчан металл шланглар ичига жойлаштирилади. Ёпиқ электр симлари иморатларнинг конструктив элементлари (деворлари, поллари, тўсинлари) ичидан ўтказилади. Бунда сим ва кабеллар трубага, эгилувчан металл шлангга, қутичага, сувоқ тагига, бевосита қурилиш конструкциясига жойлаштирилади.

### 14.3. САНОАТ КОРХОНАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ

Саноат корхоналари электр энергияни, одатда, энергосистемадан ёки ўзидаги электр станцияларидан олади. Бунда корхонанинг электр станциялари ҳам энергосистема билан бириктирилган бўлади. Йирик саноат корхонасининг энергосистемадан электр энергия билан таъминланиш схемаларидан бири 14.8-расмда кўрсатилган. Юқори кучланиш (220 кВ) ли энергия энергосистемадан ҳаво линияси ёки кабель орқали юқори кучланиш (220 кВ) ли тақсимлаш қурилмаси (ТҚ) га келади. Электр энергия тақсимлаш қурилмасидан ажратгич А ва узгич У лар орқали трансформатор  $T_1$  ва  $T_2$  ҳамда ажраткич ва узгичлар орқали юқори кучланиш (6—10 кВ) ли тақсимлаш қурилмаси ТҚ2 га келади. Трансформаторлар  $T_1$  ва  $T_2$  220 кВ ни 6—10 кВ гача пасайтиради. ТҚ2 дан 6—10 кВ ли юқори кучланишли энергия пасайтирувчи подстанциялар ТП1, ТП4 ва ТҚ3 орқали ТП2, ТП3 ларга ҳамда юқори кучланишли двигатель Д ва электр печлари ЭП га келади. Уларга таъминловчи линиялар ажратгичлар ва узгичлар орқали уланади. Пасайтирувчи трансформаторли подстанциялар (ТП1—ТП4) 6—10 кВ кучланишни 0,4 кВ кучланишга айлантиради ва тақсимловчи қурилмалар (ТҚ4—ТҚ7) га автоматлар (АВ) орқали уланади. Сақлагичлар (С1 ва С2) ТП1 ва ТП3 ларни қисқа туташув токидан ҳимоя қилади.



14.8- расм.

Трансформаторли подстанцияларда қўйидаги коммутация-ловчи аппаратлар ишлатилади,

Юқори кучлианшли узгич занжирни иш токига улаш ва узиш учун ҳамда уни қисқа туташув токида ва ўта-юкланишда узиш учун хизмат қилади. Ёй сўндирувчи қурил-ма, контакт системаси, ток ўтказувчи қисмлар, корпус, изоля-

цияловчи конструкция ва ҳаракатга келтирувчи механизм узгичнинг асосий элементлари ҳисобланади. Конструкцияси ва ёй сўндириш усулига кўра узгичлар катга ҳажмдаги мойли, кичик ҳажмдаги мойли, ҳаволи, электромагнитли, элегазли, автогазли, вакуумли хилларга бўлинади. Катга ҳажмдаги мойли узгичлардаги мой ёйни сўндириш ва ток ўтказувчи қисмларни изоляциялаш учун хизмат қилади. Кам мойли узгичлардаги мой, асосан, ёйни сўндириш учун ишлатилиб, ажратилган контактлар орасида қисман изоляцияловчи муҳит бўлиб ҳам хизмат қилади. Ҳаволи узгичларда ёй сиқилган ҳаво билан сўндирилади, бунда ток ўтказувчи қисмлар чинни билан изоляцияланади. Электромагнитли узгичларда ёй магнит майдони билан сўндирилади.

Ажраткич токсиз занжирларни кучланиш остида улаш ва узиш учун ҳамда юқори кучланишли занжирларда яққол кўринадиган узилиш ҳосил қилиш учун хизмат қилади. Ажраткичлар ёй сўндириш қурилмаларига эга эмас. Шунинг учун ажраткич ёрдамида токли занжирни узиш ва нарузкали занжирни улаш мумкин эмас. Ажраткични узишдан олдин занжир узгич ёрдамида узилган бўлиши керак.

Сақлагич электр занжирда қисқа туташув ёки ўта юккланиш бўлганида уни автоматик равишда бир марта узиш учун хизмат қилувчи аппаратдир. Занжирнинг сақлагич орқали узилиши эрувчан қўйма (сим) нинг эриши туфайли амалга ошади. Мазкур эрувчан қўйма ўзи ҳимояланаётган занжирнинг қисқа туташув ёки ўта юкланиш токи ўтганда қизиб, эрийди. Занжир узилгандан сўнг сақлагичдаги эрувчан қўйма алмаштирилиши лозим.

Автомат нормал иш режимларида занжирни манбага улаш ва узиш ҳамда нормал бўлмаган режимда ишлаётган электр занжирини автоматик узувчи паст кучланишли электромагнит аппаратдир. Автоматлар бир, икки ва уч қутбли бўлади. Автоматларнинг турли хиллари бўлиб, улар 160—5000 А токларга ва кучланиши ўзгарувчан токда 660 В гача, ўзгармас токда 440 В гача мўлжаллаб ишлаб чиқарилади.

Бош пасайтирувчи подстанция (БПП) саноат корхоналари яқинига қурилади. Унинг Т1 ва Т2 трансформаторлари 3200; 5600; 7500 ва 10000 кВА қувватга эга бўлиши мумкин. Улар 220 кВ кучланишни 6—10 кВ кучланишга тушириб беради. Умуман, БПП трансформаторларининг бирламчи чулғамлари 35, 110, 220, 330, 500 ва 750 кВ кучланишларга мўлжалланган бўлиши мумкин. Уларнинг иккиламчи чулғамлари эса 6—10 кВ, баъзан 35 кВ га мўлжалланади.

Пасайтирувчи трансформаторли подстанция (ТП1—ТП4) лар цехларнинг нарузка энг кўп бўлган жойларига жойлаштирилади. Уларнинг қуввати 180, 320, 560, 750 ва 1000 кВА бўлиши мумкин. Бу қийматлар цехнинг қабул қилувчи қувватига қараб танланади. Катга қувватли ТП ларда, одатда, иккита трансформатор бўлади. Худди шундай, биринчи тоифада-

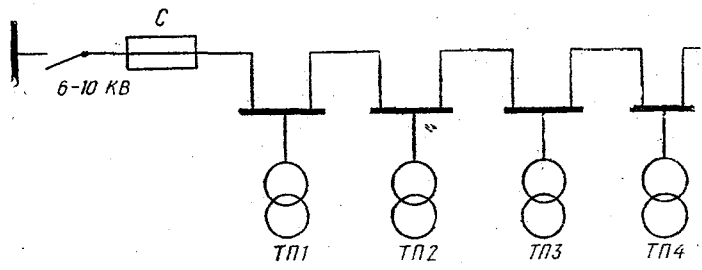
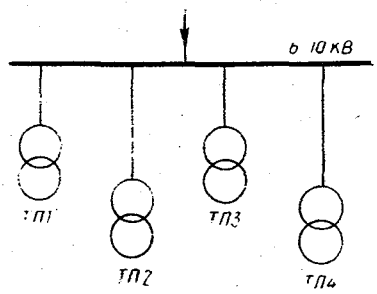
ги истеъмолчиларга ҳам иккита трансформатор ўрнатилади ва бошқа таъминловчи линия (масалан, ТП2) билан резервланади.

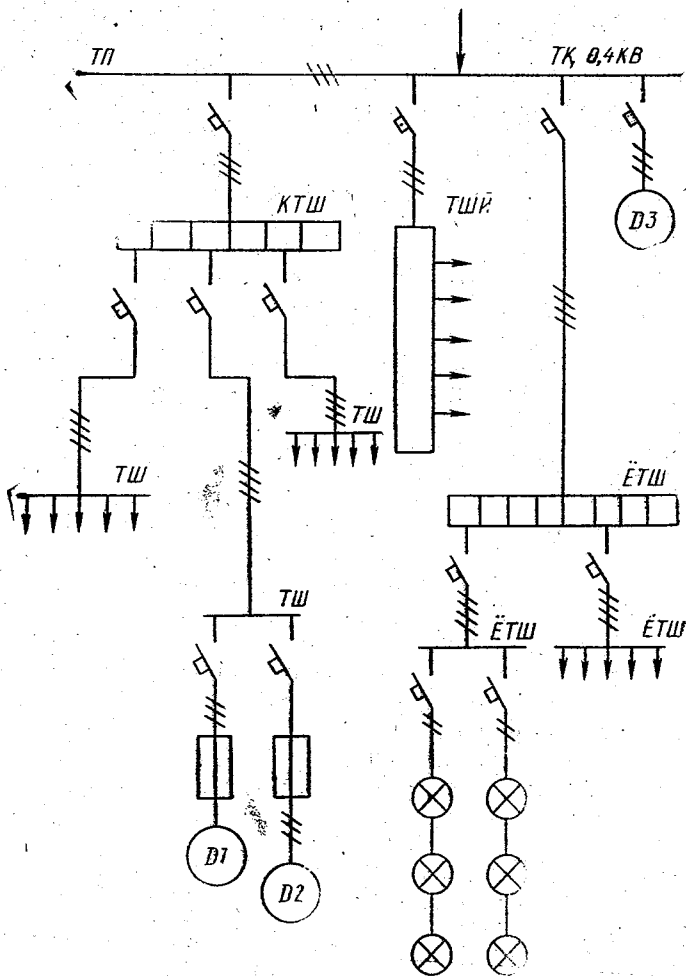
0,4 кВ кучланишли тақсимловчи қурилмалар (ТҚ4 — ТҚ7) га цехларнинг электр энергия истеъмолчилари уланади.

Саноат корхоналаридаги электр истеъмолчиларининг тоифаси, қабул қиладиган қуввати ва цехларнинг жойлашишига кўра бир нечта таъминлаш схемалари мавжуд. 14.9-расмда, мисол тариқасида цех ТП ларининг радиал таъминлаш схемаси келтирилган. Бу схемада ҳар бир ТП ўзининг мустақил таъминлаш линиясига эга. Радиал схема ишлатиш учун қулай ва содда ҳамда электр таъминотининг юқори ишончилигини таъминлайди. Унинг камчилиги нисбатан кўпроқ аппаратлар ва таъминлаш симларини талаб қилишидир. 14.10-расмда эса цех ТП ларининг магистрал таъминлаш схемаси кўрсатилган. Бунда битта таъминлаш линиясига бир нечта ТП лар уланади. Магистрал схема ишлатиш учун мураккаб ва ноқулай ҳамда ишончилиги пастроқ, лекин камроқ аппаратлар ва таъминлаш симларини талаб қиладди. Кўпинча ҳар иккала схеманинг комбинацияларидан ҳам фойдаланилади. Аҳолиси зич жойлашган ерларда асосан магистрал схема қўлланилиб, битта линияга 15 гача ТП лар уланади ва улар ёритиш нарузкаларини энергия билан таъминлайди.

Мамлакатимизда ишлаб чиқарилган электр энергиянинг 80% дан кўпроғини 1000 В гача кучланишдаги истеъмолчилар қабул қиладди. Бундай истеъмолчиларга завод ва фабрикалардаги электр двигателлари, электролиз ванналари, электр печлари, электр кавшарлаш аппаратлари, конвейер, кўтарма-транспорт воситалари ва бошқа қурилмалар киради. Истеъмолчиларнинг каттагина қисмини ёритиш лампалари ташкил қиладди.

Одатда цехларнинг технологик ва ёритиш нарузкалари битта ТП нинг паст кучланишли (380/220 В ли) тақсимлаш қу



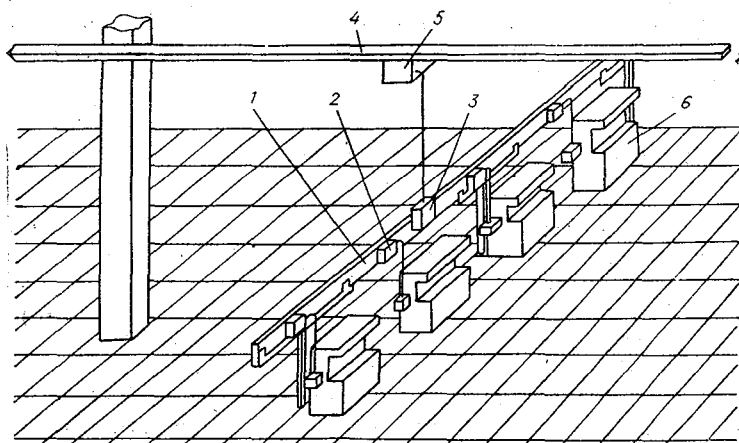


14.11- расм.

рилмасидан таъминланади (14.11- расм). Агар катта токли на­рузка (электр двигателъ) тармоқ кучланишининг катта тебра­нишига (ўзгаришига) сабаб бўлса, бундай ҳолларда ёритиш на­грузкаси айрим ТП дан таъминланади.

ТП нинг паст кучланиш (0,4 кВ) ли тақсимлаш қурилма­сининг шиналарига электр истеъмолчиларини бириктириш учун, электр тармоғи автоматлар орқали бош куч тақсимлов­чи шчит (КТШ) га, тақсимловчи йиғма шина (ТЙШ) га, бош ёритиш тақсимловчи шчит (ЁТШ) га ва катта қувватли истеъмолчилар (ДЗ) га уланади. Автоматлар ўрнида сақлагич ва





14.12- расм.

рубильниклар ҳам ишлатилади. Катта токли ва ёритиш (кичик токли) истеъмолчиларни таъминлаш учун бош шчитлар турли хилда бўлади. Катта токли шчитни таъминлаш учун, олатда, уч томирли кабель (учта сим) ишлатилади, чунки катта токли нагрузка текис бўлади. Ёритиш шчитини таъминлаш учун тўрт томирли кабель (учта линия ва битта нейтрал сим) ишлатилади, чунки ёритиш нагрузкаси нотекис бўлади.

Бош тақсимловчи шчитлар (КТШ ва ЁТШ) дан электр энергия катта токни тақсимловчи шкаф ТШ га ва ЁТШ га келади. Улардан электр энергия автоматлар ёки сақлагич, рубильник ва пакетниклар орқали электр двигателларга, ёритиш лампаларига ва бошқа электр истеъмолчиларига узатилади.

Тақсимлаш шкафлари электр энергия билан таъминланувчи электр асбоб-ускуналари ва жиҳозлари яқинидаги деворга ёки устунга маҳкамланади. Шкафдан истеъмолчиларга борядиган таъминлаш симлари полга ётқизилган пўлат найларга жойлаштирилган изоляцияланган сим ёки кабелдан иборат бўлади.

Ҳозирги вақтда машинасозлик заводларининг дастгоҳларини, бир хил турдаги катта қувватли иш механизмларининг двигателларини ва шу кабиларни электр энергия билан таъминлаш учун шинали ўтказгичлар ишлатилади (14.12- расм). Шинали ўтказгичларнинг шинаси пўлат, алюминий ёки унинг қотишмаси мисдан уч ёки тўрт симли қилиб ясалади. Бунда тўртинчи сим нейтрал сим вазифасини бажаради.

14.12- расмдаги магистрал 4 ва тақсимловчи шина 1 ўтказгичлар бўлиб, уларда 5 — 15 тадан тармоқлатувчи қутича 2 ва 5 лар бўлади. Магистрал шина ўтказгич цех узунлиги бўйича устунларга 2,5 м баландликда, тақсимловчи шина ўтказгич эса цех эни бўйича металл конструкцияларга 1,0 м баланд-

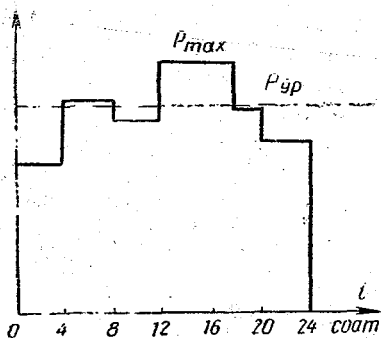
ликда маҳкамланади. Тармоқлатувчи қутича 5 га тақсимловчи шина ўтказгичнинг кириш қутичаси 3 уланади. Тармоқлатувчи қутича 2 га эса дастгоҳлар ва цехнинг бошқа иш механизмлари уланади.

#### 14.4. ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ СИСТЕМАСИНING ҲИСОБИИ ҚУВВАТИ

Истеъмолчиларни таъминловчи манба билан бириктирувчи симларнинг кўндаланг кесимини, трансформаторларнинг ва бошқа электр асбоб-ускуналари ва жиҳозларининг қувватини тўғри танлаш учун таъминловчи манба электр таъминотининг ҳисобий қувватини, яъни жоиз максимал электр қувватини аниқлаш керак. Электр истеъмолчиларининг, тақсимлаш қурилмаларининг, ТП ва бошқаларнинг ҳисобий қуввати уларнинг нагрузка графиги ёки номинал қуввати асосида аниқланади. Ҳар бир истеъмолчининг электр нагрузкаси, бинобарин, улар ҳосил қилган энергосистемадаги жами нагрузка ҳам узлуксиз ўзгариб туради. Буни нагрузка графигида, яъни электр қурилмалар қуввати (токи) нинг вақт бўйича ўзгариш диаграммасида акс эттирилади.

Қайд қилинадиган параметрларнинг турига қараб графиклар электр қурилманинг актив, реактив ва тўла қуввати ҳамда токнинг графикларига бўлинади. Одатда, графиклар нагрузканинг маълум вақт оралиғидаги ўзгаришини кўрсатади. Улар шу жиҳати бўйича суткалик, ойли, йилли ва ҳоказо графикларга бўлинади.

Ишчи механизмларини лойиҳалаш вақтида уларнинг перспектив нагрузка графиги келиб чиқади ва ҳар қайси турдаги иш механизмларнинг маълум вақт оралиғида қабул қилаётган қувват ёки токларининг қийматларини қўшиб бориш орқали тақсимлаш шкафлари ва қурилмалари, трансформаторли подстанция ва электр станцияларининг нагрузка графиклари келиб чиқали. Мисол тариқасида 14.13-расмда ТП нинг паст



14.13- расм.

кучланиш шиналаридан ёки бош тақсимлаш қурилмасидан истеъмол қилинаётган актив қувватнинг суткалик графиги келтирилган. Графикдан истеъмолчиларнинг ҳисобий, яъни қабул қилинаётган максимал қувват  $P_{\max}$  ни, ўртача қувват  $P_{ур}$  ни, эквивалент қуввати ва улар қабул қилган электр энергиясини аниқлаш мумкин.

Актив қувват графигининг синик чизиқлари билан чегараланган юза қиймат жиҳатдан

кўрилатган даврда электр станцияда ҳосил бўлган ёки истеъмолчи қабул қилган энергиясига тенг:

$$W_g = \sum P_i t_i$$

бунда  $P_i$  — графикнинг  $i$ -поғонасидаги қувват;  $t_i$  — поғонанинг давомийлиги.

Қурилманинг кўрилатган давр (сутка, ой, йил) даги ўртача қуввати:

$$P_{\text{ўр}} = \frac{W_g}{T}$$

бунда  $T$  — кўрилатган даврнинг давомийлиги;  $W_g$  — кўрилатган даврга тўғри келган электр энергия.

Ишлаётган электр станцияси, трансформаторли подстанция, тақсимловчи шиналар ва истеъмолчиларнинг ҳақиқий графиги уларнинг тегишли актив қуввати ёки токининг вақт бўйича ўзгаришини қайд қилувчи асбоблар ёрдамида олиниши мумкин.

Ҳар бир истеъмолчининг ҳисобий қуввати унинг номинал (ёки белгиланган) қуввати  $P_{\text{ном}}$  бўйича аниқланади. Двигателнинг номинал қуввати унинг ўқида ҳосил қилинадиган механик қувват эканлигини ҳисобга олсак, у ҳолда двигателнинг тармоқдан қабул қиладиган электр қуввати, яъни ҳисобий қуввати қуйидагича аниқланади:

$$P_x = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{дв}}}$$

бу ерда  $\eta_{\text{дв}}$  — двигателнинг ФИК.

Ўзгарувчан ток двигателининг ҳисобий реактив ва тўла қувватлари қуйидагича аниқланади:

$$Q_x = P_x \operatorname{tg} \varphi; S_x = \sqrt{P_x^2 + Q_x^2} = P_x / \cos \varphi,$$

бу ерда  $\cos \varphi$  — двигателнинг номинал қувват коэффициентини.

Агар электр тармоғига бир неча истеъмолчилар уланган бўлса, электр тармоғининг ҳисобий (максимал) қуввати шу истеъмолчилар ҳисобий қувватларининг йиғиндисига тенг бўлади.

Ҳисобий қувватни аниқлаш учун, авваламбор, электр истеъмолчиларнинг белгиланган қуввати, яъни уларнинг номинал қувватлари йиғиндиси тўғрисидаги маълумотга эга бўлиш керак.

Актив нагрузка учун белгиланган қувват:

$$P_{\text{бел}} = \sum P_{\text{ном}}$$

Электр тармоғининг уланган қуввати

$$P_{\text{улан}} = \sum P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ўр. ист.}}$$

бунда  $\eta_{ур. ист.}$  — номинал нагруккада истеъмолчилар (электр двигатели ва бошқа қурилмалар) нинг ўртача ФИК.

Истеъмолчиларнинг подстанция шиналарига уланган қуввати

$$P_{улан} = \frac{\sum P_{ном}}{\eta_{ур. ист} \cdot \eta_{ур. тар}},$$

бунда  $\eta_{ур. тар}$  — паст кучланишли тармоқнинг номинал нагруккадаги ўртача ФИК.

Одатда, эксплуатация вақтида истеъмолчиларнинг ҳақиқий нагруккаси белгиланган қувватлар йиғиндисидан кичик бўлади. Бу фарқ бир вақтlilik  $K_6$  ва юкланиш  $K_{ю}$  (бирдан кичик) коэффициентлари орқали ҳисобга олинади. Бу вақтда истеъмолчилар нагруккаси ҳисобий қувватининг ифодаси қуйидагича бўлади:

$$P_x = \frac{K_6 K_{ю}}{\eta_{ур. ист} \cdot \eta_{ур. тар}} \sum P_{ном} = K_{экт} \sum P, \quad (14.1)$$

бунда  $K_{экт}$  — кўрилаётган истеъмолчилар тури учун эҳтиёж коэффициенти.

(14.1) формула орқали аниқланган ҳисобий (максимал) қувват йил давомида энг катта қиймат ҳисобланиб, одатда, қиш давридаги максимал нагруккага тўғри келади.

Эҳтиёж коэффициенти бир турдаги истеъмолчиларни эксплуатация қилиш вақтида тажриба асосида аниқланади ва маълумотномада келтирилади. Саноат истеъмолчиларининг баъзилари учун эҳтиёж коэффициентининг ўртача қийматлари 8-жадвалда келтирилган.

8-жадвал

#### Эҳтиёж коэффициентлари

Истеъмолчи	Эҳтиёж коэффициентининг ўртача қиймати
Қора металлургия:	
домна цехи	0,6
мартен цехи	0,3
пўлатни узлуксиз қуйиш қурилмаси	0,7
прокат станлари	0,4 — 0,6
машинасозлик	0,2 — 0,6
химия саноати	0,7 — 0,9
тўқимачилик	0,7 — 0,85
Вентиляция ва кондиционер қурилмалари	0,9

Агар намунавий графиклардан истеъмолчилар нагруккасининг вақт бўйича ўзгариши аниқланса, ҳисобий — максимал қувват асосида истеъмолчиларнинг нагрукка графигини куриш мумкин. Нагрукка графигидан эса истеъмолчиларнинг ўртача

ва эквивалент қувватларини ҳамда қабул қилган энергияни аниқлаш мумкин. Шу усулда корхонанинг бир турдаги истеъмолчиларига тегишли ҳисобий актив ва реактив қувватлар аниқланади. Сўнгра бу гуруҳларнинг актив ва реактив қувватлари алоҳида-алоҳида қўшиб, корхонанинг жами ҳисобий актив ва реактив қувватлари аниқланади. Корхонанинг тўла ҳисобий қуввати

$$S_{\text{кор}} = \sqrt{P_{\text{кор}}^2 + Q_{\text{кор}}^2}$$

бу ерда  $P_{\text{кор}}$ ,  $Q_{\text{кор}}$  — мос ҳолда корхонанинг ҳисобий актив ва реактив қувватлари.

Корхонанинг ўртача қувват коэффициенти

$$\cos \varphi_{\text{кор}} = P_{\text{кор}} / S_{\text{кор}}$$

Лойиҳалашда ёритиш нагрукасининг ҳисобий қуввати, одатда, солиштирма ёритиш қуввати бўйича аниқланади. Ёритиш асбоблари қувватининг 1 м<sup>2</sup> юзага тўғри келган қиймати *солиштирма ёритиш қуввати* деб аталади. Солиштирма ёритиш қуввати ёритилганлик нормасига, ёруғлик манбаи (чўғланиш лампаси ёки газ-разрядли лампа) турига, хонанинг ўлчамларига боғлиқ. Бу маълумотлар тегишли адабиётда келтирилади.

Корхона, цех ва айрим гуруҳдаги истеъмолчиларнинг ҳисобий қувватларини тўғри аниқлаш барча электр қурилмаларининг тежамкорлиги, электр таъминотининг ишончлилиги ва электр энергиясининг сифатига боғлиқ бўлади. Агар ҳисобий қувват оширилган бўлса, у ҳолда электр жиҳозларининг қуввати оширилган ҳолда танланади ва кўндаланг кесими каттароқ сим ва кабеллар ўрнатилади. Агар ҳисобий қувват камаятириб олинган бўлса, у ҳолда ҳамма электр жиҳозлар ўта юкланиш билан ишлайди, натижада улар тез емирилиши ёки бузилиши мумкин. Бу эса электр таъминотида узилиш бўлишига олиб келади.

#### 14.5. ЎТКАЗГИЧНИНГ КўНДАЛАНГ КЕСИМИНИ ТАНЛАШ

Симлар, кабеллар ва шиналарнинг кесимлари қуйидагича танланади:

- 1) қизиш шароитлари асосида узоқ муддатли энг катта жоиз нагрузка токи бўйича;
- 2) кучланиш исрофи бўйича;
- 3) тежамли ток зичлиги бўйича.

Узоқ муддатли энг катта жоиз нагрузка токи бўйича симларнинг кўндаланг кесимини танлаш. Электр токи симдан оқиб ўтганда уни маълум даражада қиздиради. Симнинг қизиш температураси ундан ажралиб чиққан электр энергияси ( $I^2 R t$ ) миқдори ҳамда иссиқликнинг сим сиртидан атрофмуҳитга узатилиш шароитларига боғлиқ. Агар симдан ажра-

либ чиққан иссиқлик миқдори симдан атроф-муҳитга тарқалаётган иссиқлик миқдорига тенг бўлса, сим ҳарорати ўзгармас бўлади. Изоляцияли симлар учун жоиз температура чегараси изоляция хусусиятлари билан, изоляциясиз очиқ симларда эса, асосан, контактли туташмаларнинг ишончли ишлаши билан аниқланади. Агар изоляцияли сим ва кабеллар жоиз температурадан юқори температурада узоқ муддат ишлатилса, уларнинг изоляция ва механик хусусиятларини тезда йўқотади ҳамда туташтирилган симлардаги контактларнинг мустаҳкамлиги камаяди.

Симларнинг қизишидаги узоқ муддатли жоиз температура қиймати чегаравий қийматлар (резина изоляцияли симлар ва кабеллар учун  $85^{\circ}\text{C}$ , қоғоз изоляцияли кабеллар учун  $80^{\circ}\text{C}$ , очиқ симлар ва шиналар учун  $70^{\circ}\text{C}$ ) дан ошиши мумкин эмас. Симнинг кўндаланг кесими шундай танланиши керакки, бунда симнинг температураси жоиз температурадан юқори бўлмасин. Турли марказдаги очиқ ва изоляцияли симларнинг кўндаланг кесими ( $q_j$ ) учун энг катта жоиз тоқларнинг қийматлари маълумотномаларда жадвал шаклида берилади. Бу жадваллар хона ҳарорати ( $25^{\circ}\text{C}$ ) учун ва чуқурлиги 0,7 м бўлган зовурга бир қатор қилиб кабель ётқизилган ҳол учун тузилади. Агар атроф-муҳит ҳарорати жадвалда кўрсатилганлардан фарқ қилса, жоиз ток миқдорига тегишлича тузатиш киритилади.

Симнинг кўндаланг кесими  $q_j$  ни танлаш ҳисобий ток қиймати асосида олиб борилади. Сим шундай кесимда танланиши керакки, бунда симнинг жоиз токи ( $J_{ж}$ ) истеъмолчиларнинг ҳисобий токи  $I_x$  дан катта ёки унга тенг бўлсин:

$$I_{ж} \geq I_x. \quad (14.2)$$

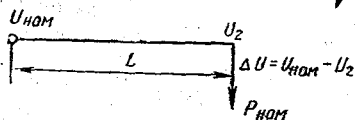
Агар истеъмолчи бир фазали икки симли тармоқнинг охирига уланган бўлса (14.14-расм), ҳисобий ток қуйидагича топилади:

$$I_x = \frac{P_{ном}}{U_{ном} \cos \varphi \eta_{ном}}, \quad (14.3)$$

бу ерда  $P_{ном}$ ;  $U_{ном}$ ;  $\cos \varphi$ ;  $\eta_{ном}$  — мос ҳолда истеъмолчининг номинал қуввати, кучланиши, қувват коэффициентини ва ФИК.

Агар истеъмолчи уч фазали уч симли тармоқнинг охирига уланган бўлса, ҳисобий ток қуйидагича аниқланади.

$$I_x = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi \eta_{ном}}. \quad (14.4)$$



14.14- расм.

Агар тақсимловчи шчитдан бир нечта истеъмолчилар таъминланса, у ҳолда таъминловчи линиянинг ҳисобий токи қуйидагича топилади:

$$I_x = \frac{K_{\text{экт}} \sum P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi}, \quad (14.5)$$

бу ерда  $K_{\text{экт}}$  — кўрилайётган истеъмолчилар тури учун эҳтиёж коэффициентини.

Бир нечта истеъмолчилар уланган тақсимланган электр тармоғини ҳисоблашда жуда юқори аниқлик талаб этилмайди (14.15-расм). Масалан, кучланиш  $U_{\text{ном}}$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  ва  $U_3$  ларнинг векторлари битта фазада, деб фараз қилинади ва истеъмолчилар тоқлари ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) ни аниқлашда кучланишлар ўзгариши ҳисобга олинмай, истеъмолчиларнинг номинал кучланиши ва қувватларидан фойдаланилади:

$$I_1' = \frac{P_{1 \text{ ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{1 \text{ ном}} \eta_{1 \text{ ном}}};$$

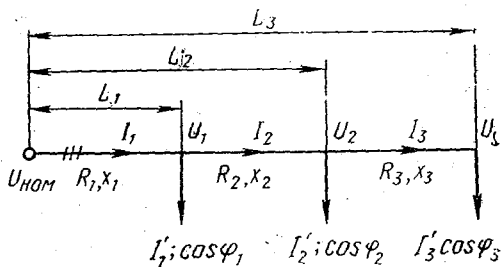
$$I_2' = \frac{P_{2 \text{ ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{2 \text{ ном}} \eta_{2 \text{ ном}}}.$$

Ҳисобий ток истеъмолчиларнинг бир вақтликлик, юкланиш ва эҳтиёж коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда аниқланади.

Симларнинг кўндаланг кесимини кучланиш исрофи бўйича танлаш. Цех тармоқларида кучланиш исрофи маълум миқдорда бўлиши керак, чунки кучланиш пасайганда ёритиш асбобларида ёруғлик оқими камаяди ва иш жойининг ёритилганлиги ёмонлашади. Двигателларга келаётган кучланиш пасайганда уларнинг максимал айлантириш моменти камаяди. Синхрон двигателларда максимал айлантириш моменти кучланишга чизикли боғланган, асинхрон двигателларда эса кучланишнинг квадратига мутаносибдир.

Турли электр энергия истеъмолчилари кучланишининг жоиз ўзгариш чегараси қийматлари ГОСТ 13109 — 67 га мувофиқ белгиланади. Улар ёритиш асбоблари учун номинал кучланишнинг — 2.5% идан + 5% гача, двигателларда ва аппаратларда — 5 дан + 10% гача ва бошқа истеъмолчиларда эса ± 5% гача оралиқда бўлади.

14.14-расмда кўрсатилган занжир қисми учун кучланиш исрофи  $\Delta u = I_x (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$  га тенг бўлади. Бу ерда  $R$ ,  $X$  — линиянинг актив ва индуктив қаршиликлари. Кучланиш 1000 В дан кичик бўлганда  $X \approx 0$  деб фараз қилиш мумкин. Бунда кучланиш исрофини



14.15- расм.

қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\Delta u = I_x R \cos \varphi. \quad (14.6)$$

Икки симли тармоқ учун актив қаршилик қуйидагича топилади:

$$R = 2L/(\gamma q), \quad (14.7)$$

бу ерда  $L$  — линиянинг узунлиги, м;  $q$  — симнинг кўндаланг кесими, мм<sup>2</sup>;  $\gamma$  — симнинг солиштира ўтказувчанлиги, м/(Ом × мм<sup>2</sup>).

(14.6) формулага (14.3) ва (14.7) формулаларни қўйсақ, қуйидагига эга бўламиз:

$$\Delta u = 2P_{\text{ном}} L / (\gamma q U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}}). \quad (14.8)$$

Агар жоиз кучланиш исрофини  $K$  билан белгиласак, кучланиш исрофи қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta u = KU_{\text{ном}} / 100\%. \quad (14.9)$$

Бунда кўрилатган икки симли электр тармоғидаги кучланиш исрофи  $K\%$  дан ортиқ бўлмаслигини таъминлаш учун симларнинг кўндаланг кесими қуйидагига тенг бўлиши керак:

$$q_{\Delta u} = \frac{200P_{\text{ном}}L}{K\gamma U_{\text{ном}}^2 \eta_{\text{ном}}}. \quad (14.10)$$

Симнинг шундай стандарт кесими  $q$  танланадики, у топилган иккита кесим  $q_1$  ва  $q_{\Delta u}$  нинг ҳар биридан катта ёки уларга тенг бўлсин. Шунингдек, танланган симнинг кўндаланг кесими алюминий симлар учун 2,5 мм<sup>2</sup> дан, мис симлар учун 0,5 ÷ 1 мм<sup>2</sup> дан катта бўлиши керак. Ана шундагина симларнинг механик мустақамлиги таъминланади.

Агар истеъмолчилар уч фазали электр тармоғининг охирига уланган ва индуктивлик кичиклиги туфайли ҳисобга олинмаса, у ҳолда уч фазали тармоқдаги кучланиш исрофини қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$\Delta u = \sqrt{3} I_x R \cos \varphi \quad (14.11)$$

бу ерда  $R$  — линиянинг актив қаршилиги, Ом;  $\cos \varphi$  — истеъмолчининг номнал қувват коэффициентини.

Уч фазали истеъмолчи уч симли электр тармоғининг охирига уланган ҳол учун ҳар бир симнинг кўндаланг кесими қуйидагича бўлиши керак:

$$q_{\Delta u} = \frac{100P_{\text{ном}}L}{K\gamma U_{\text{л}}^2 \eta_{\text{ном}}}. \quad (14.12)$$

(14.10) формуладаги 200 рақами ўрнига (14.12) формулада 100 қўйилганлигига сабаб уч фазали тармоқда токнинг қайтиши учун бошқа фазаларнинг сими хизмат қилишидир.



Агар истеъмолчилар бир фазали икки симли электр тармоғига тақсимлаб уланган бўлса (14.15-расм), симларнинг кўндаланг кесими қуйидагича аниқланади.

$$q_{\Delta u} \geq \frac{200 \sum_{i=1}^n P_{xi} L_i}{K \gamma U_{\Phi}^2}, \quad (14.13)$$

бу ерда  $P_{xi}$  —  $i$ -номерли бир фазали истеъмолчининг ҳисобий қуввати, Вт;  $L_i$  —  $i$ -номерли истеъмолчи билан таъминловчи манба орасидаги масофа,  $U_{\Phi}$  — манбанинг номинал фаза кучланиши, В.

Агар истеъмолчилар уч фазали электр тармоғига тақсимлаб уланган (14.15-расм) ва индуктив қаршилик ҳисобга олинмаган бўлса, у ҳолда уч фазали тармоқдаги кучланиш исрофини қуйидагича аниқлаш мумкин:

битта фазаси учун

$$\Delta u_{\Phi} = I_3 R_3 \cos \varphi_3 + I_2 R_2 \cos \varphi_2 + I_1 R_1 \cos \varphi_1$$

ёки умумий ҳолда

$$\Delta u_{\Phi} = \sum IR \cos \varphi.$$

Уч фазали системада фазалар орасидаги кучланиш исрофи:

$$\Delta u_n = \sqrt{3} \Delta u_{\Phi}.$$

Агар уч фазали истеъмолчилар уч симли электр тармоғига тақсимлаб уланган бўлса, симлар кесими қуйидагича бўлади:

$$q_{\Delta u} = \frac{100 \sum_{i=1}^n P_{xi} L_i}{K \gamma U_n^2}, \quad (14.14)$$

бу ерда  $P_{xi}$  —  $i$ -номерли уч фазали истеъмолчининг ҳисобий қуввати, Вт;  $U_n$  — линия кучланиши, В.

Симнинг шундай стандарт кесими ( $q$ ) ни танлаш керакки, у топилган кесим ( $q_{\Delta u}$ ) дан катта ёки унга тенг бўлсин.

#### 14.6. ЭЛЕКТР ХАВФСИЗЛИГИ АСОСЛАРИ

Электр энергиясидан барча соҳаларда кенг фойдаланилиши туфайли одамлар кундалик турмушда турли хил электр қурилмалари билан алоқада бўлади. Электр қурилмаларининг носозлиги ва уларни ишлатиш қоидаларининг бузилиши сабабли улардаги нисбатан кичик кучланиш ҳам одам соғлигига зарар келтириши, ҳатто ҳаётига хавф туғдириши мумкин. Одамнинг электр токи билан шикастланиш хавфини камайтириш учун электр қурилмаларини хавфсиз ишлатиш қоидаларини билиш керак.

Одамнинг электр токи билан шикастланиши электр жароҳати ва электр (ток) уришга фарқланади. Электр жароҳатига куйиш, электр ёй билан кўзнинг зарарланиши, электр токи билан шикастланиши оқибатида одамнинг хушини йўқотиши натижасида йиқилиши туфайли вужудга келган синиш, чиқиш ва шунга ўхшаш механик шикастланишлар киради.

Одам танасидан электр токи ўтганда уни қиздиради. Кучланиш катта ва одам танасининг электр қаршилиги қанча кичик бўлса унинг танасидан ўтувчи ток шунча катта бўлади. Бу эса одам танасини кучли қиздиради ва оқибатда ундаги ҳужайра тўқималари куяди. Куйиш қанча чуқур ва катта бўлса, уни даволаш шунча узоқ давом этади ва, ҳатто, кўпинча даволаб ҳам бўлмаслиги мумкин.

Электр токи урганда одамнинг ички азолари шикастланади. Электр токи уриши унча катта бўлмаган 25—100 мА токларда содир бўлади. 10 мА гача бўлган ток инсон ҳаёти учун хавфсиз бўлиб, ёқимсиз сезги ҳосил қилади. Агар ток 10—25 мА дан ошса, қўл мускуллари тортишиб қолиши мумкин. Натижада одам ўзини ток ўтказувчи қисмдан мустақил ажратиб ололмайди. Бундай ток 15—20 секунддан кўп таъсир қилса, одамнинг нафас олиши қийинлашиб, буткул тўхташи мумкин. Агар ток 100 мА ва ундан кўп бўлса одамни дарҳол ўлдиради.

Одам танасидан ўтувчи ток миқдори тегиб қетиш кучланиши ва ток частотасига ҳамда одам танасининг электр қаршилигига боғлиқ. Одам танасининг электр қаршилиги унинг кайфиятига, вазнига, жисмоний чиниққанлигига, терисининг ҳолати ва ҳоказоларга боғлиқ. Одам териси қуруқ ва шикастланмаган бўлганда унинг электр қаршилиги 10—100 кОм атрофида бўлади. Бундай терининг қалинлиги 0,05—0,2 мм бўлади. Одамнинг электр қаршилиги зах, чангли муҳитда ва атроф-муҳит температураси юқори бўлганда (чунки бунда тана тер билан қопланади) энг кичик қийматга эришади. Одам танасидаги ҳужайра тўқималарининг электр қаршилиги 800—1000 Ом дан ошмайди. Шунинг учун хавфсиз кучланишнинг қандайдир миқдори тўғрисида гапириш жуда қийин. Электр қурилмаларни ишлашидаги кўп йиллик тажриба шуни кўрсатдики, энг ёмон шароитли хоналар учун 12 В дан кичик ҳамда қуруқ, тоза хоналар учун 36 В дан кичик кучланишларни хавфсиз кучланишлар деб ҳисоблаш мумкин. Шунингдек, қуруқ хоналарда одам танасининг электр қаршилиги бир неча ўн минг Омга етади, шунинг учун бу ҳолда юз вольт атрофидаги кучланиш ҳам хавфсиз бўлиши мумкин. Одам танаси орқали ўтувчи токни олдиндан аниқлаш мумкин. Шу сабабдан, амалда хавфсиз шартлар чегарасини белгилашда „хавфсиз ток“ га эмас, балки „жоиз кучланиш“ га мўлжал қилинади. Электр қурилмаларнинг қондаларида атроф-муҳит шароитларига қараб қуйидаги жоиз кучланишлар белгиланган: 65 В; 36 В; 12 В. 36 ва 12 В ли электр қурилмалар

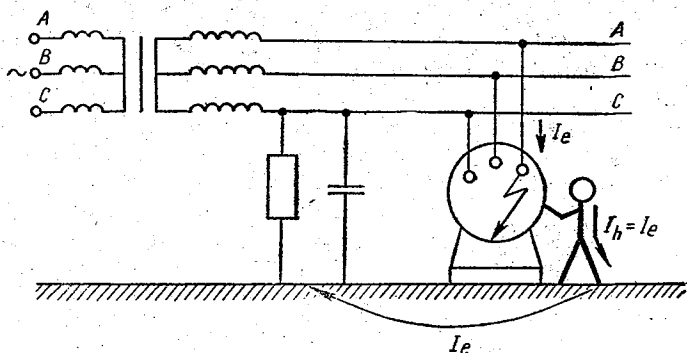
(кўчма ёритиш лампалари ва электрлаштирилган қўл асбоблари) кичик кучланишли қурилмаларга киради. 65 В ли электр қурилмалар паст кучланишли қурилмаларга киради. Агар электр қурилмаларнинг кучланиши ерга ёки электр машиналар ҳамда аппаратларнинг асосига нисбатан олганда 250 В дан кичик бўлса, бундай қурилмалар паст кучланишли электр қурилмалар деб аталади. Агар электр қурилмаларнинг кучланиши ерга ёки электр машиналар ҳамда аппаратларнинг асосига нисбатан олганда 250 В дан катта бўлса, улар юқори кучланишли қурилмалар деб аталади ва уларга юқори кучланишли қурилмаларни ишлатиш қоидалари татбиқ этилади.

Хавфсизлик техникасида кўзда тутилган қатор ҳимоя воситалари ва тадбирларини қўллаш электр қурилмаларининг хавфсиз ишлашини таъминлайди. Бундай тадбирларга ҳамма ток ўтказувчи қисмларни махсус ҳимоя тўсиқлари ёрдамида ҳимоялаш, электр қурилмаларини ҳимояли ерга ёки нолга улаш воситасига бириктириш, ҳимояловчи тагликлар, резина калиш, қўлқоп ва бошқа ҳимояловчи воситаларни қўллаш, камайтирилган кучланишдан фойдаланиш ва ҳоказолар киради.

Одам танаси металл сиртига тегиб турадиган қурилмалар (буғ қозонлари) ҳамда жуда хавfli хоналарда ишлатиладиган электр қурилмалар кичик кучланишга, яъни 12 В дан юқори бўлмаган кучланишга мўлжалланади. Кичик кучланиш манбаи бўлиб, одатда, трансформаторлар (бунда автотрансформатор ишлатиш ман қилинади), гальваник элементлар, аккумуляторлар ва тўғрилагичлар хизмат қилади.

Саноат корхоналаридаги қурилмаларнинг ток ўтказувчи барча қисмлари яхшилаб изоляцияланади ёки ток ўтказмайдиган материал билан қопланади. Шу туфайли одам танасининг ток ўтказувчи қисмларга тегиб кетиш эҳтимоли бартараб қилинади. Корхонанинг уч фазали электр тармоғи уч симли ва тўрт симли бўлиб, электр энергияни трансформаторлардан олади. Уч симли тармоқда трансформаторнинг нейтрал изоляцияланади (ер билан уланмайди). Тўрт симли тармоқда трансформатор нейтрал (ноль) сим билан бириктирилган ва ер билан мустаҳкам уланган бўлади.

Электр қурилмаларни ерга ва нолга улаш. Электр қурилмалар нормал ҳолда кучланиш таъсирида бўлмайди, ammo изоляциянинг шикастланишида кучланиш таъсирида бўлиши мумкин бўлган барча қисмларини олдиндан электр жиҳатдан атайлаб ерга бириктириш бу ҳимояли ерга улаш деб аталади. Ҳимояли ерга улаш тасодифан кучланиш таъсири остида бўлиб қолган электр қурилмаларнинг металл қисмларига одамлар тегиб кетган ҳолларда уларни электр токи билан шикастланишдан сақлайди. Ҳимояли ерга улашнинг ишлаш принципи электр қурилманинг очилиб қолган ток ўтказувчи қисмининг корпусга уланиб қолиши ва бошқа сабаблар туфайли вужудга келувчи тегиб кетиш ва қадамдаги кучланишларнинг хавфсиз қийматларгача пасайишига асосланган.



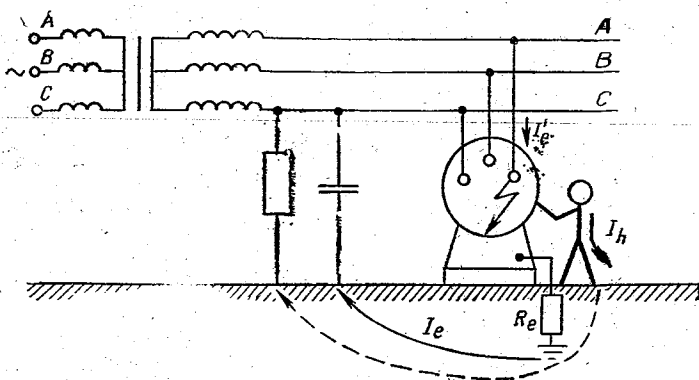
14.16- расм

Ерга уланмаган корпусга одам текканда (14.16-расм) ундан ерга ўтувчи ток  $I_e$  тўлиқ ўтади, яъни  $I_h = I_e$  бўлади. Бу ҳол одам қурилма фазаларидан бирининг ток ўтказувчи қисмларига теккани билан баробардир.

Ерга уланган корпус таъминловчи фазалардан бири билан контактга эга бўлган ҳол учун унга одамнинг тегиб кетиши 14.17-расмда кўрсатилган. Ерга ўтувчи  $I_e$  токнинг бир қисми  $I_h$  одам танаси орқали, аммо унинг катта қисми  $I_e$  ерга улаш қурилмаси орқали ўтади. Бошқача айтганда, корпус ерга улагичга уланганда у  $U_e = I_e R$  кучланиш таъсирида бўлади.

Агар ерга улагич қаршилиги камайиши билан ерга ўтувчи ток кўпаймаса, у ҳолда ҳимояли ерга улаш самарали бўлади. Бу ҳол нейтрални изоляцияланган тармоқларда содир бўлади. Бунда фазалардан бири ерга мустақкам уланганда ёки ерга уланган корпусга текканда ток кучи ерга улагичнинг электр ўтказувчанлиги (ёки қаршилиги) га боғлиқ бўлмайди.

Кучланиши 1000 В гача бўлган, нейтрални ерга уланган тармоқларда ҳимояли ерга улаш самарали эмас, чунки фаза-



14.17- расм.



ловчи дастали электр монтер асбоблари, кучланиш кўрсаткичлари (1000 В гача бўлган кучланиш учун), изоляцияловчи штангалар, изоляцияловчи ва электр ўлчаш омбури ва кучланиш кўрсаткичлари (1000 В дан юқори кучланиш учун) киради.

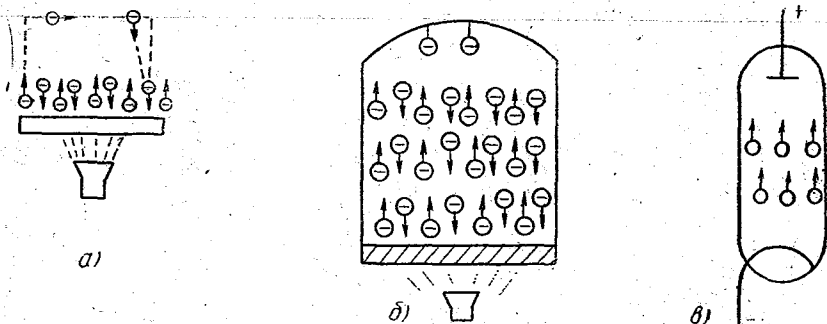
Қўшимча изоляцияловчи электр ҳимоя воситалари электр қурилманинг иш кучланишини узоқ муддат ушлаб туришга ва бу кучланишда одамни ток билан шикастланишдан ҳимоялашга қодир эмас. Улар асосий ҳимоя воситаларига қўшимча восита бўлиб хизмат қилади ҳамда тегиб кетиш кучланишидан, қадам кучланишидан ва кучланиш ёйи туфайли куйишдан ҳимоя қилади. Кучланиши 1000 В гача бўлган электр қурилмаларида қўшимча изоляцияловчи электр ҳимоя воситалари сифатида диэлектрик калишлар ва гиламчалар, изоляцияловчи тагликлар ва ёпқичлар кучланиши 1000 В дан юқори бўлган электр қурилмаларда эса диэлектрик қўлқоплар, қўнжли калишлар, гиламчалар ва изоляцияловчи тагликлар қўлланилади.

## 15 б о б. ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

### 15.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР. ОДИЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМ ВА ЯРИМ УТКАЗГИЧ АСБОБЛАРИНИНГ ИШЛАШИ

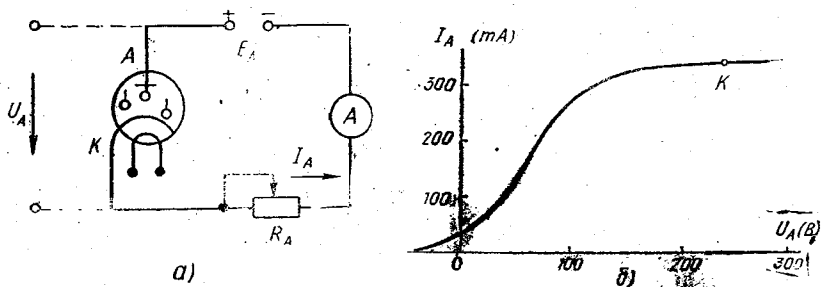
Электроника газ, қаттиқ жисм вакуум ва бошқа муҳитдаги элементар зарядланган заррачаларга (масалан, электрон, ион ва бошқалар) электромагнит майдон таъсир нағижасида ҳосил бўлган электр ўтказувчанликни ўрганиш ва ундан фойдаланиш масалалари билан шуғулланадиган фан соҳасидир.

Электрониканинг ривожланишига электровакуум асбобларнинг пайдо бўлиши асос бўлди. Кўпчилик электровакуум асбобларнинг ишлаши термоэлектрон эмиссияга, яъни вакуумда қиздирилган металлдан электронларнинг учиб чиқишига асосланади. Бу ҳодиса 1833 йилда америкалик олим Т. Эдисон томонидан кашф этилган. Унинг моҳияти қуйидагидан иборат. Электр токининг ўтказгичи бўлган ҳар қандай металл

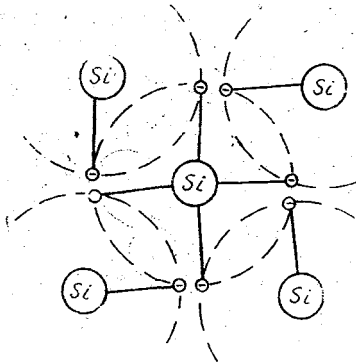


15.1- расм.

структурасида бир атомдан иккинчи атомга эркин ўтиб юрадиган электронлар бўлади. Агар металл ўтказгични икки хил ишорали  $q_+$  ва  $q_-$  зарядлар орасига жойлаштирсак, ундан тартибланган электронлар оқими ўтади, яъни электр ўтказувчанлик токи пайдо бўлади. Агар электр токининг йўлига металл структурага эга бўлмаган кичик тўсиқ қўйилса, электронлар оқими узилади ва ток йўқолади. Электронлар ҳавода эркин электронларга эга бўлмаган бошқа муҳитда ҳаракатлана олмайди. Қиздирилганда электронлар ҳаракати тезлашади. Металли электрод ҳатто ҳаволи муҳитда қиздирилганда (15.1-расм, а) ҳам температура 1500—2000°С га етганда металлдаги электронлар ҳаракати кескин кўпаяди. Айрим электронлар металлнинг атом структурасини тарк этиб, ўтказгичдан маълум масофага узоқлашиши мумкин. Бироқ, улар ҳаводаги атом ва молекула билан тўқнашиб, ўзининг дастлабки ҳолатига, яъни металлга қайтади. Бунда электронлари чиқиб кетган электрод аввал мусбат зарядланади ва сўнгра бу электронларни яна қайтадан ўзига тортиб олади. 15.1-расмда электрон эмиссия кўрсатилган. Агар металл электрод вакуумда қиздирилса, унинг сиртидан отилиб чиққан электронлар (15.1-расм) бирламчи тезлиги туфайли ҳаводагига қараганда юз ва минг марта катта масофага узоқлашади. Бу принцип икки электродли лампа — электровакуум диодга асос қилиб олинган (15.1-расм, в). Асбоб, ичига икки электрод — анод ва катод жойлаштирилган, ҳавоси сўриб олинган шиша баллондан иборат. Электр токи билан бевосита ёки билвосита қиздириш натижасида катод ўзидан электронлар чиқаради. Бу электронлар анод томон ҳаракат қилади, бироқ кейин улар катодга қайтади. Агар диоднинг анодини ташқи манбанинг мусбат қутбига, катодини эса манфий қутбига уласак (15.2-расм, а), лампадан анод токи  $I_A$  ўтади. Бу токни амперметр  $A$  кўрсатади. ЭЮК  $E_A$  ўзгармас бўлса, лампадаги ток катоднинг қиздирилиш даражасига, яъни электронларнинг термоэмиссиясига ва анод билан катод орасидаги кучланиш  $U_A$  га боғлиқ бўлади. Бу кучланишни  $R_A$  қаршилик билан бошқариш мумкин.  $I_A = f(U_A)$  боғланиш диоднинг анод *характеристикаси* дейилади ва

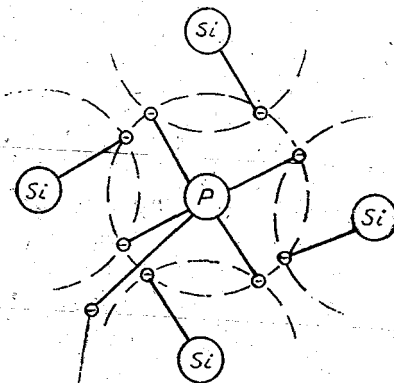


15.2- расм.



15.3- расм.

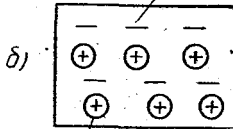
Икки электродли электровакуум асбобда токнинг бир йўналишда ўтишини таъминловчи электрон жараёнлар ярим ўтказгичларда ҳам кузатилади. Ярим ўтказгичлар электромикаси солиштирма электр ўтказувчанлиги ўтказгич ва диэлектрикларнинг электр ўтказувчанликлари орасида бўлган махсус моддалар хусусиятидан фойдаланишга асосланган. Бундай моддалар *ярим ўтказгичлар* деб аталади.



боғланмаган электрон

a)

боғланмаган электр. н



b)

ион

15.4- расм.

15.2- расм, б да келтирилган кўринишда бўлади. Кўришиб турибдики, лампанинг токи  $I_A$  маълум чегарага кўпаяди ( $K$  нуқтаси), шундан сўнг тўйиниш ҳолати содир бўлади. Кучланиш  $U_A$  тескари қутбланишда уланса ( $U_A < 0$  бўлса), ток нолга тенг бўлиб қолади. Бунга сабаб манфий зарядланган аноднинг электронларни ўзидан узоқлаштиришидир. Электрон лампанинг токни фақат бир йўналишда ўтказаш хусусиятидан ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришда фойдаланилади.

Оддий температурада ярим ўтказгичлар атомларидаги электронларнинг энергияси уларнинг ядродан узоқлашиб, электр токи ҳосил қилишга етарли бўлмайди. Бироқ, потенциаллар айирмаси таъсирида бу электронлар тартибланган ҳаракатга келиб, электр токини ҳосил қила олади. Ярим ўтказгичларда бир йўналишдаги ўтказувчанликнинг ҳосил бўлишини қуйидаги кенг тарқалган моделда кўр атамиз.

Маълумки, ярим ўтказгичлар кристалл структурага эга, яъни уларнинг атомлари бири-бири билан кристалл панжара ҳосил қилиб боғланган. 15.3- расмда тўрт валентли кремнийнинг атомларо боғланишининг модели тасвирланган.

15.4- расмда фосфор аралашган кремнийли ярим ўтказгич кристалл панжарасининг модели: 15.4- расм, а да панжара-



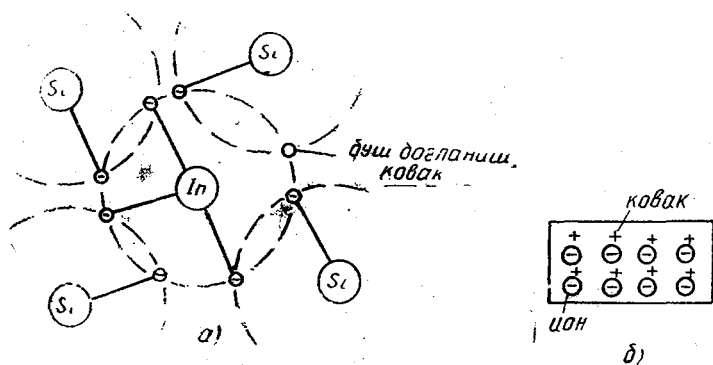
нинг структураси; 15.4-расм, б да эса  $n$  типдаги ярим ўтказгичнинг тасвири берилган.

Кремний атомининг ядроси атрсфидаги орбитада жойлашган тўртта валент электрони бошқа тўртта атомнинг электронлари билан электрон жуфтлар ҳосил қилади. Атомларга ташқи таъсир (иссиқлик, нурланиш) бўлмаса, уларнинг структураси ўзгармайди ва ҳар бир атом электр жиҳатдан нейтраллигича қолади. Бундай ярим ўтказгич эса токни ўтказмайди.

Агар кремний монокристаллига валент электронлари сони кремнийникидан кўп ёки кам бўлган бошқа кимёвий элемент киритилса (масалан, бешинчи ёки учинчи группа элементи), аҳвол кескин ўзгаради. 15.4-расм, а да беш валентли фосфорнинг тўрт валентли кремний билан ҳосил қилган кристалл панжарасининг модели кўрсатилган. Бу бирикмада электрон жуфтлар ҳосил бўлганида, ҳар бир фосфор атомида битта электрон „ортиқча“ бўлиб қолади. Бу электронни бўш электрон деб ҳисобласак, унга нисбатан фосфор атоми мусбат ион бўлади. Ярим ўтказгич эса ана шу электрон ҳисобига ўтказувчанликка эга бўлиб,  $n$ -типидаги ярим ўтказгич деб аталади. Унинг схематик белгиланиши 15.4-расм, б да кўрсатилган. Бундай ярим ўтказгич ташқи иссиқлик ҳамда нурланишларга таъсирчан бўлади ва агар ўзгармас кучланиш манбаига уланса, ўзидан токни ўтказиши.

Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлиги, унга валент электронлари сони кам бўлган кимёвий элемент киритиш билан ҳам орттирса бўлади. 15.5-расм, а да уч валентли индий ( $I_n$ ) қўшилган кремнийнинг кристалл панжараси кўрсатилган.

Кристалл панжарада индийнинг атрофидаги тўртта кремний атомидан бирининг электрони билан электрон жуфт ҳосил қилиш учун индийнинг электрони етишмайди. Етишмаган электрон ўрнида „ковак“ ҳосил бўлади, бироқ бу ковак қўшни валент боғланишидаги электрон билан тўлатилиши мумкин. Агар шундай бўлса (масалан, ташқи иссиқлик таъсирида) индий атоми манфий ионга айланади, электронини йўқотган „валент боғланиш“ эса „ковакка“ эга бўлади. Бу „ковак“ ўз нав-



15.5- расм.

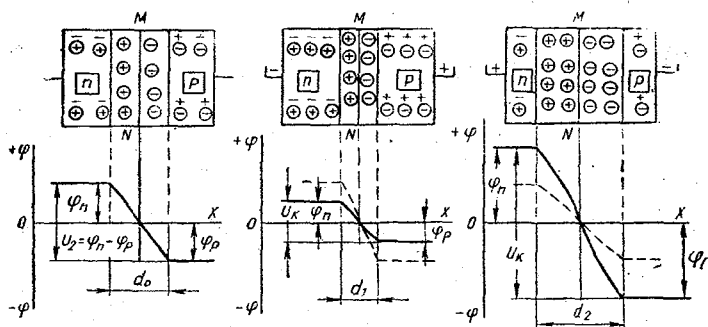
батида учинчи валент боғланишидаги электрон билан тўлдирилиши мумкин ва ҳоказо. Шундай қилиб, битта ҳосил бўлган „ковак“ ярим ўтказгич бўйлаб тартибсиз равишда ҳаракатланиб, ковакли ўтказувчанликни ҳосил қилади. Бундай ярим ўтказгич  $p$ -типидаги ярим ўтказгич дейилади, унинг тасвири 15-расм, б да кўрсатилган.

Электронли ( $n$ -типидаги) ва ковакли ( $p$ -типидаги) ярим ўтказгичларнинг моделини кўриб чиқиб, улардаги эркин зарядлар — электронлар ва коваклар, металлар каби электр ўтказувчанликни таъминлай олмаслигини кўрамиз. Ярим ўтказгичларда эркин заряд ташувчилар сони қўшимчаларнинг массаси билан аниқланади. Шунинг учун алоҳида олинган  $n$  ва  $p$ -типидаги ярим ўтказгичлар яхши ўтказгич ҳисобланмайди, бироқ улар диэлектрик ҳам эмас.

Амалда бирида электронли ўтказувчанлик, иккинчисидо ковакли ўтказувчанлик кучли бўлган икки ярим ўтказгич контактда турганида содир бўладиган ҳодисалар катта аҳамиятга эга. Бунда (15.6-расм, а) туташуш чегарасида  $n$ -типли ярим ўтказгичдаги меъёрдан кўп электронлар  $p$ -типидаги ярим ўтказгичга,  $p$ -типли ярим ўтказгичдаги меъёрдан кўп коваклар  $n$ -типидаги ярим ўтказгичга ўтади. Бу  $n-p$  ўтиш дейилади. Ўтган электрон ва коваклар бир-бирлари билан тўқнашиб рекомбинацияланади, яъни бир-бирини компенсациялайди. Шу туфайли  $MN$  чегара бўйлаб чапда „очиқ“ қолган мусбат ионлар (масалан, ўзининг ортиқча электронларини йўқотган фосфор атомлари), ўнгда эса „очиқ“ қолган манфий ионлар (масалан, фосфор электронлари билан ўз коваklarини тўлдирган индий атомлари) вужудга келади. Бу эса ўз навбатида  $\varphi_n$  ва  $\varphi_p$  потенциалли ҳажмий заряд ҳосил бўлишига олиб келади (15.6-расм, а). Бу зарядлар айирмаси  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  контакт потенциаллар айирмаси дейилади ва зарядларнинг диффузияланишига йўл қўймайдиган потенциал тўсиқни ҳосил қилади. Натижада  $p-n$  ўтишда ток ҳосил бўлмайди.

Агар ярим ўтказгичнинг  $p$  ва  $n$  қатламларига маълум қутбланишдаги кучланиш уланса,  $p-n$  ўтишда кескин ўзгариш рўй беради. Ташқи кучланишнинг мусбат қутби  $p$  қатламга, манфий қутбли  $n$  қатламга уланса, бу кучланиш таъсирида  $p$  қатламнинг манфий ионлари чегара олди қатламни тарк этади, бунда манфий ҳажмий заряд ва  $\varphi_p$  камаяди. Худди шунга ўхшаш ташқи манбанинг манфий қутби потенциали таъсирида мусбат ҳажмий заряд ва  $\varphi_n$  камаяди. Натижада потенциал тўсиқ  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  камаяди. Ҳажмий зарядлар камайиши ҳисобига  $n-p$  қатлам ҳам кичраяди, яъни  $d_1 < d_0$  (15.6-расм, б) бўлади. Ташқи кучланишнинг бундай уланиши тўғри уланиш дейилади ва у ярим ўтказгичларда тўғри ўтказувчанлик токини ҳосил қилади. Ярим ўтказгичлар эса ўтказгичлар хусусиятига эга бўлиб қолади.

Ташқи кучланишнинг мусбат қутбини  $n$  қатламга, манфий қутбини эса  $p$  қатламга улаймиз. Бунда эркин электронлар

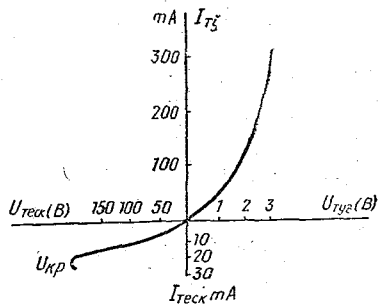


15.6- расм.

манбанинг мусбат қутбига, коваклар эса манфий қутбига томон ҳаракатланади. Чегара олди қағламда эса „очиқ“ қолган мусбат ва манфий ионлар кўпайиб, ҳажмий зарядлар,  $\varphi_n$  ва  $\varphi_p$  потенциаллар ортади. Потенциал тўсиқ  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  ҳам ортади.  $n - p$  ўтишининг кенглиги ҳам ортади, яъни  $d_2 > d_0$  (15.6-расм, в) бўлади. Бундай уланган кучланиш тескари кучланиш, у туфайли юзага келган жула кичик ток – тескари ўтказувчанлик токи дейилади. Кескин ортган потенциал тўсиқ ярим ўтказгични изоляторга айлантиради.

Ярим ўтказгичли диодда юқорида кўриб ўтилган электрон-ковакли ўтишнинг айнан ўзи содир бўлади. Унинг вольт-ампер характеристикаси 15.7-расмда келтирилган. Катта бўлмаган тўғри кучланиш уланганда диоддан катта миқдордаги тўғри ток ўтади, тескари ток эса катта тескари кучланишларда ҳам кичик миқдорда бўлади. Диоднинг тўғри кучланишга қаршилиги Ом нинг улшларидан (катта қувватли асбобларда) бир неча Омга (кичик қувватли асбобларда), тескари кучланишга қаршилиги эса юз ва минглаб Ом га тенг бўлади.

15.7-расмда ярим ўтказгичли диоднинг вольт-ампер характеристикаси ва унинг схематик белгиланиши кўрсатилган. Хараактеристиканинг бошланиш қисмида боғланиш чизиқли эмас. Бу тўғри кучланиш ортганида ёпувчи (чегара олди) қатлам қаршилигининг камайиши билан тушунтирилади. Тескари кучланиш катта қийматларга эришганда жуда кичик тескари ток ҳосил бўлади (15.7-расм, III қўварант). Лекин тескари кучланишнинг ҳаддан ташқари ортишига руҳсат этилмайди, чунки бунда диод шикастланиши (тешилиши) ва ишдан чиқиши мумкин.



15.7- расм.

Электронли ва ярим ўтказгичли диодлар ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун ишлатилади. Тўғрилаш схемалари ва занжирлари кейинроқ алоҳида кўриб чиқилади.

## 15.2. КҮП ЭЛЕКТРОДЛИ ЭЛЕКТРОВАКУУМ ВА ЯРИМ УТКАЗГИЧ АСБОБЛАР. ТРИОДЛАР ВА ТРАНЗИСТОРЛАР

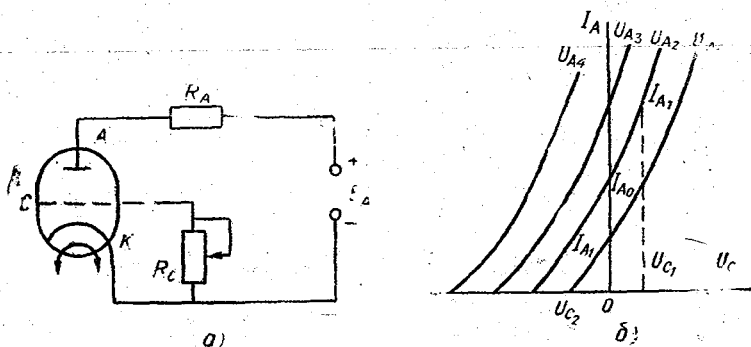
Икки электродли электрон ва ярим ўтказгичли асбоблар бошқарилмайдиган асбоблардир. Улардан ўтаётган тўғри ток берилган кучланишга ва асбоб билан кетма-кет уланган қаршилиқнинг қийматига боғлиқ. Лекин электровакуум ва ярим ўтказгичли асбобларга конструктив ўзгартиришлар киритиб, уларнинг токини берилган кучланишга ва нагрузка қаршилигига боғлиқ бўлмаган ҳолда ўзгартириш мумкин. Бунинг учун учинчи (қўшимча) электрод киритилади. Электровакуум асбобларда анод токини бошқариш физик жараёнлари ярим ўтказгичлардаги тўғри токни бошқариш жараёнларидан тубдан фарқ қилади. Электровакуумли триод билан ярим ўтказгичли транзисторнинг ишлашини кўриб чиқамиз.

Уч электродли электрон лампа — триод. Анод „А“ ва катод „К“ орасига бошқарувчи тўр деб аталувчи қўшимча (учинчи) электрод жойлашган электровакуум лампа *триод* дейилади (15.8-расм).

15.8-расм, *а* да уч электродли электрон лампа—триоднинг улаиш схемаси, расм *б* да эса иш (бошқарув) характеристикалари кўрсатилган.

Тўр электронлар оқими чиқарувчи цилиндрсимон (трубкасимон) катодни маълум масофада қуршаб олган спирал шаклида ясалади. Анод ҳам цилиндр шаклида ясалади ва унинг диаметри тўр спиралининг диаметрдан анча катта бўлади.

Катодга яқин жойлашган тўр унинг атрофида муебат ёки манфий электр майдони ҳосил қилади ва катоддан чиқаётган электронлар оқимини ё кучайтиради, ёки кучсизлантиради. Анодга етиб борган электронлар анод токининг миқдорини



15.8-расм.

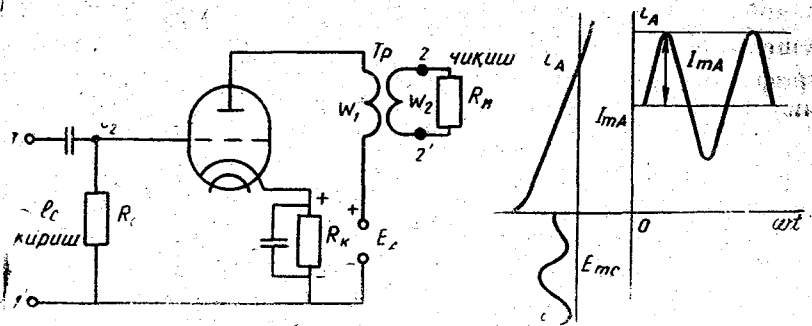
аниқлайди. Шунинг учун тўр потенциали  $U_T$  асосий анод кучланиши  $U_A$  билан бирга анод токининг қийматини бошқарувчи қўшимча кучдир. Агар тўр кучланиши  $U_T > 0$  бўлса, катод атрофидаги электр майдоннинг кучланганлиги ортиб, катоддан учиб чиқувчи электронлар оқими кўпаяди. Анод кучланиши  $U_A$  ортмаган ҳолда анод токи  $I_{A_0}$  қийматдан  $I_A$  гача ортади (15.8-расм, б). Агар тўрға манфий кучланиш берилса,  $U_T < 0$  да электронлар оқими сезиларли даражада камаяди, бунда анод токи ҳам  $I_{A_0}$  қийматгача камаяди. Тўр кучланиши  $U_T$  маълум қийматга эришганида, анод кучланиши  $U_A$  нинг ҳар қандай қийматида, анод токи нолга тенг бўлиб қолади ( $I_A = 0$ ). Бунда тўрнинг электр майдони электронларнинг анод томон ҳаракатини бутунлай тўхтатади ва электронлар оқими анодга етмай, катодга қайтади.

Анод токи узлуксиз ва катта тезликда бошқарилиши мумкин. Лампадаги электронлар ҳаракатининг инерцияси бўлмайди. Шу сабабли триодлар алоқа техникасида, радиотехникада ва телевидениеда қувватли, юқори частотали сигналларни кучайтириш учун кенг қўлланади.

Ҳозирги вақтда вакуум электроникасининг ўрнини универсалроқ ва кичик ҳажмлироқ бўлган ярим ўтказгич техникаси эгаллапти. Лекин кўп электронли вакуум лампалар (шу жумладан, триодлар ҳам) сигналларни кучайтирувчи кўп қурилмаларда ҳанузгача ишлатилмоқда.

Ихтиёрий частотали сигналнинг электрон триод ёрдамида кучайтирилишини 15.9-расм, а даги схема ёрдамида кўриб чиқамиз. Тўрдаги дастлабки манфий силжиш кучланиш  $E_T$  қаршилиқ  $R_k$  ёрдамида ҳосил қилинади; бу кучланиш тўр силжиш қаршилиги  $R_T$  орқали тўрға берилади. Бу қаршилиқ  $C_T$  конденсатор билан бирга кучланиш бўлгичининг ролини ўйнайди. 15.9-расм, б да синусоидал  $e_T = E_{mT} \sin \omega t$  сигнал кучайтирилишининг график ифодаси кўрсатилган. Сигналнинг амплитудаси тўрға берилган манфий силжиш кучланиши  $E_T$  қийматида бироз кичикдир. Сигнал триод анод-тўр характеристикасининг иккинчи квадратиде жойлашган чизиқли қисмида кучайтирилади. Характеристика чизиқли бўлгани учун анод токининг қиймати катталаштирилган масштабда кучайтиргичга берилган сигнални такрорлайди. Анод токининг ўзгариш қонуни  $i_A = I_{0A} + I_{mA} \sin \omega t$  кўринишда бўлади. Анод токининг фақат қиймати ўзгаради, йўналиши эса ўзгармайди, чунки лампадаги ток аноддан катодга ўтолмайди. Амплитуда жиҳатдан кучайтирилган сигналнинг ўзгарувчи ташкил этувчисини (анод токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси) ажратиш учун кўрилаётган схемада Тр трансформатордан фойдаланилади.

Трансформаторнинг бирламчи  $W_1$  чулғамидан  $i_A$  ток ўтади, иккиламчи  $W_2$  чулғамига эса  $R_n$  истеъмолчи уланади. Агар



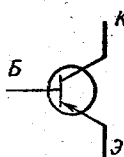
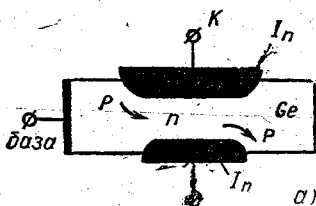
15.9- расм.

кучайтириш схемасини актив тўрт қутбли схема деб тасвирласак, унинг кириш 1—1 ва чиқиш 2—2 қисмаларининг жойланиши 15.9- расм, а да кўрсатилгани каби бўлади.

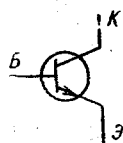
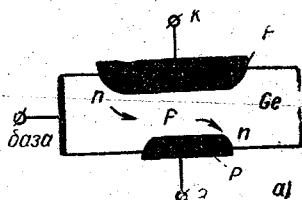
Энди электровакуум триоднинг аналоги — ярим ўтказгичли транзисторни кўриб чиқамиз.

**Транзистор.** Иккита электрон-кавак ўтишли, уч қатلامли ярим ўтказгич асбоб транзистор деб аталади. Транзистор турли электр тебранишларни генерациялаш ёки кучайтириш учун хизмат қилади. Оддий  $p-n-p$  ёки  $n-p-n$  ўтишли биполяр транзистор 15.10 ва 15.11-расмларда кўрсатилган.  $p-n-p$  типдаги электрон-кавак ўтишли транзистор (15.10-расм, а) икки томонига уч валентли элемент (масалан, индий  $In$ ) қўшилган ярим ўтказгичдан, масалан, германий пластинка ( $Ge$ ) дан иборат. Бу транзисторнинг схематик тасвири 15.10-расм, б да кўрсатилган.

$n-p-n$  типдаги электрон-кавак ўтишли транзистор икки томонига беш валентли элемент, масалан, фосфор  $P$  қўшилган



15.10- расм.

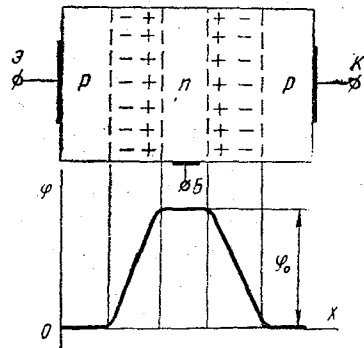


15.11- расм.

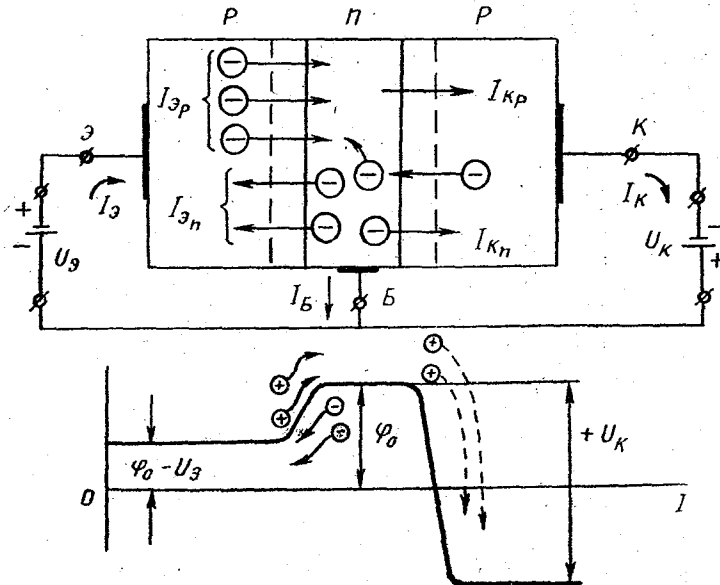
ярим ўтказгичдан, масалан, германий (Ge) пластинкадан иборат. Транзисторнинг тузилиши 15.11-расм, а да, унинг схематик тасвири эса 15.11-расм, б да кўрсатилган.

Электродлар бўлиши Э (эмиттер), Б (база) ва К (коллектор) лар орасидаги тоқлар икки хил ишорали заряд ташувчилар — эркин электронлар ва каваклар ёрдамида ҳосил бўлгани учун бундай транзистор биполяр, яъни икки қутбли транзистор дейилади.

Айрим электродларда тоқларнинг ҳосил бўлиши уларнинг бир-бирига таъсири ва ток, кучланиш ҳамда қувватни кучайтириш эффеќтининг вужудга келишини  $p-n-p$  типдаги транзистор мисолида кўриб чиқамиз (15.12- ва 15.13-расмлар). „Тинч“ ҳолатда электродларга ташқи кучланиш уланмайди, бунда  $p-n$  ва  $n-p$  қатламлар чегарасида электронлар ва каваклар қисман рекомбинацияланади. Натижада „очиқ“ қолган мусбат ва манфий ионлар ҳосил бўлиб, улар потенциаллар айирмаси  $\varphi_0$  бўлган потенциал тўсиқ ҳосил қилади (15.12-расм, б).



15.12- расм.



15.13- расм.

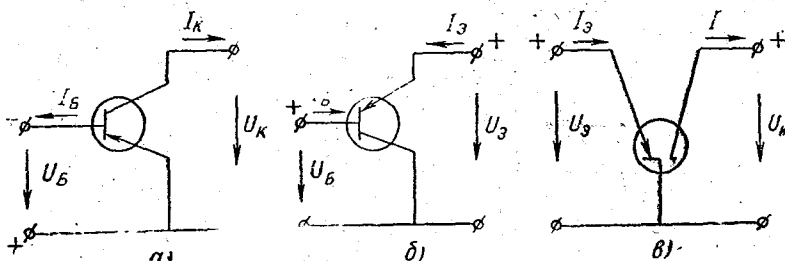
$U_9$  ва  $U_k$  ўзгармас кучланишларни транзисторнинг электродларига 15.13-расм, а да кўрсатилгандек улаймиз. Схеманинг чап томонини тўғри кучланишга уланган диодга, ўнг томонини эса тескари кучланишга уланган диодга ўхшатамиз. Лекин заряд ташувчилар (электрон ва каваклар)  $p-n-p$  қатламлар орасидан бемалол ўта олиши мураккаб физик жараёнлар ҳосил бўлишига олиб келади. Эмиттернинг валент зонасидаги электронлари  $U_9$  кучланиш таъсирида ташқи занжирга ўтади, натижада ҳосил бўлган каваклар база соҳасига ўтади. Бу зарядларнинг натижавий ҳаракати эса эмиттер токи  $I_9$  ни ҳосил қилади. Каваклар базада қисман германийнинг эркин электронлари билан рекомбинацияланади, асосий қисми эса  $p-n-p$  ўтишининг электр майдони таъсирида коллекторга утиб, унда  $I_k$  токини ҳосил қилади. Эмиттердан чиқиб базадан ўтаётган каваклар коллекторга яхшироқ йиғилиши учун коллектор ўтишининг юзаси эмиттер ўтишининг юзасидан каттароқ қилинади (15.10-расм, а, 15.11-расм, а).

Эмиттер каваклари билан рекомбинацияланган электронлар ўрнига базага ташқи занжирдан янги электронлар оқиб келади ва база токи  $I_6$  ҳосил бўлади:

$$I_6 = I_9 - I_k.$$

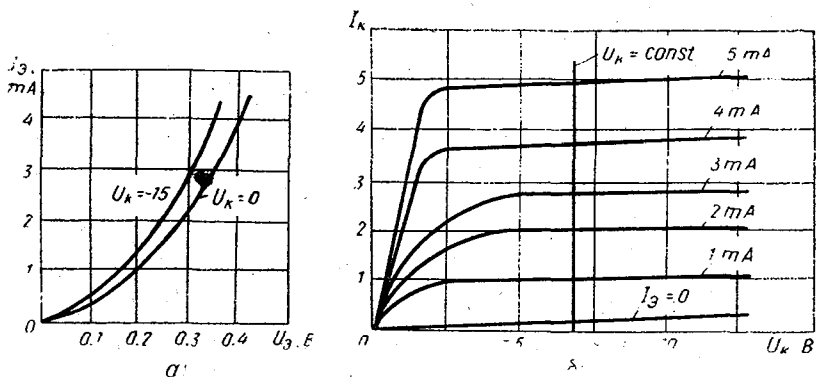
Транзисторнинг бошқарилиш хусусияти шундаки, унча катта бўлмаган  $U_9$  кучланиш таъсирида ҳосил бўлган эмиттер токи  $I_9$  ўзига деярли тенг бўлган ток  $I_k$  ни ҳосил қилади. Бу ток эса тескари уланган ва  $U_9$  кучланишдан анча катта бўлган  $U_k$  кучланишни ўзгартиради ( $U_k > U_9$ ). Биполяр транзисторнинг ишлаши эмиттердан база орқали коллекторга заряд ташувчилар оқимининг ўтказилишидан иборат. Иккинчи томон, транзисторнинг структурасини иккита  $p-n$  ўтишга: эмиттер — база ва коллектор — базага ажратсак, биринчи ўтишга электр билан таъсир этиб, иккинчи ўтишнинг қаршичилигини ўзгартиришимиз мумкин. Шунга асосан, асбобнинг номи ҳам иккита инглизча сўз (*transfer*—ўзгартирмақ, *resistor*—қаршилик) дан келиб чиқади.

Ярим ўтказгичли биполяр транзистор учта схема бўйича уланиши мумкин: а) умумий эмиттер билан; б) умумий кол-



15.14-расм.





15.15- расм.

литор билан; в) умумий база билан (15.14- расм). Бу схемалар  $p-n-p$  типдаги транзисторнинг асосий иш характеристикаларини олиш учун қўлланилади. 15.15- расм, а ва б да умумий база (УБ) билан уланган биполяр транзисторнинг кириш [ $I_3 = f(U_3)$ , бунда  $U_k = \text{const}$ ] ва чиқиш [ $I_k = f(U_k)$ , бунда  $I_3 = \text{const}$ ] характеристикалари кўрсатилган.

Кириш характеристикасидан кўринадики, кучланиш  $U_3$  ўзгармаганида ҳам коллекторнинг манфий кучланишга уланиши ( $U_k < 0$ ) эмиттер токининг маълум даражада ортишга олиб келади. Бу эса электр майдоннинг коллектор — база ўтишдаги эмиттер инжекциялаётган кавакларга кўрсатаётган қўшимча таъсирини билдиради.

$I_k = f(U_k)$  характеристикалар орқали токнинг узатиш коэффициенти  $\alpha = \frac{\partial I_k}{\partial I_3} \approx \frac{\Delta I_k}{\Delta I_3}$  ни аниқлаш мумкин, бу коэффициент коллектор кучланишининг белгиланган ўзгармас миқдори учун аниқланади.

Характеристикаси 15.15- расм, б да кўрсатилган транзистор учун  $\alpha = 0,95$ .

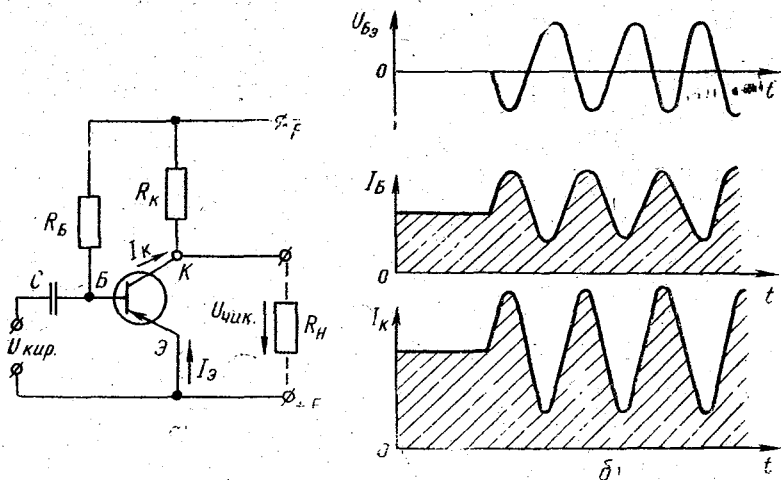
Транзистор умумий эмиттерли (УЭ) схема бўйича уланганда (15.14- расм, а) токнинг узатиш коэффициенти (бу схема жуда кўп қўлланилади):  $\beta = \frac{\partial I_k}{\partial I_6} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_6}$ . Агар

$$\Delta I_6 = \Delta I_3 - \Delta I_k$$

эканлигини ҳисобга олсак,

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_3 - \Delta I_k} = \frac{\Delta I_k / \Delta I_3}{1 - \frac{\Delta I_k}{\Delta I_3}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

лигини аниқлаймиз.



15.16- расм.

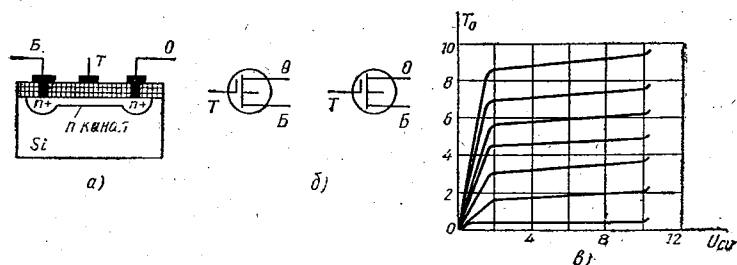
Агар  $\alpha=0,95 \div 0,98$  бўлса,  $\beta = 20 \div 50$  бўлади, яъни УЭ схемаси бўйича уланганда база токига пропорционал бўлган кириш сигнали транзистор ёрдамида  $\beta$  марта кучайтирилиши мумкин.

Битта манба  $E$  га УЭ схема бўйича уланган  $p-n-p$  типдаги транзисторда синусодал сигналнинг кучайтирилишини кўриб чиқамиз (15.16- расм,  $a$ ). База ва коллектор занжирлардаги  $R_B$  ва  $R_K$  қаршиликлар қийматлари триоднинг иш характеристикаларидаги бошланғич нуқталарни аниқлаб беради.

15.16- расм,  $a$  да УЭ схемали транзисторнинг оддий схемаси,  $b$  да эса сигнал кучайишининг физикавий модели кўрсатилган.

Ажратувчи конденсатор  $C$  манба  $E$  токининг бошқарув сигнал занжирига ўтишдан сақлайди. Киришдаги синусодал кучланиш  $U_{кир} = U_{бэ} = U_m \sin \omega t$  мусбат ярим даврларда эмиттернинг мусбат потенциални камайтиради, манфий ярим даврда эса ортиради, база токи  $I_B$  кучайтириляётган сигнал билан қарама-қарши фазада бўлади. Сигналнинг кучайиш қонуни  $I_K = \beta \cdot I_B$  га биноан чиқишдаги кучланиш истеъмолчининг қаршилигига боғлиқ, яъни  $U_{чик} = I_K \cdot R_H$ .

Ҳозирги вақтда электрон схемаларда биполяр, яъни икки қутбли транзисторлар билан бир қаторда майдонли ёки бир қутбли транзисторлар кенг ишлатилади. Улардаги ток фақат бир ишорали заряд ташувчилар (электронлар ёки каваклар) ҳисобига ўтади. ундай транзисторлардан ўтаётган токнинг миқдори шу ток ўтаётган каналнинг ўтказувчанлиги билан аниқланади. Бир қутбли транз сторлар икки қутблиларга қараганда содда ва арзон бўлади.



15.17- расм.

Бир қутбли транзисторлар биринчи марта 1952 йилда В. Шокли томонидан яратилган ва кейинчалик бир неча бор қайта ишлаб чиқилган. Улар каналнинг турига қараб 1)  $p-n$  ўтишли, 2) ичига ўрнатилган каналли ва 3) индукцияланган каналли транзисторларга бўлинади. Иккинчи ва учинчи турдаги транзисторлар МОП (металл-оксид-ярим ўтказгич) ёки МДП (металл-диэлектрик-ярим ўтказгич) транзисторлар деб аталади. МДП транзисторнинг тузилиши 15.17- расм, а да, схематик белгиланиши эса 15.17- расм, б да ва, ниҳоят, чиқиш характеристикалари 15.17- расм, в да кўрсатилган.

Транзисторнинг заряд ташувчилар ҳаракати бошланувчи электроди чиқиш, улар ётиб боровчи электроди кириш электроди деб аталади. Транзисторнинг заряд ташувчилар оқиб ўтадиган қисми канал дейилади. Канал четида затвор деб аталувчи металл электрод жойлашади. Затвор ва ярим ўтказгич бир-биридан юпқа кремний оксиди қатлами билан ажратилган бўлиб, каналнинг қаршилиги каттадир. Транзистордан ток ўтишини каналдаги сув оқимига қиёслаш мумкин. Манбадан оқиб келаётган сув тўғондан ўтади. Тўғон тамбаси юқорироқ кўтарилса, тўғондан кўпроқ сув ўтади, тамба пастроқ туширилса, сув оқими камаяди, тамба бутунлай ёпиб қўйилса, сув ўтолмайди. Каналнинг қаршилигини ўзгартирувчи тамба сифатида  $U_{з.и.}$  кучланиш ишлатилади.

$U_{з.и.}$  кучланиш нолга тенг бўлса,  $U_{с.и.}$  кучланиш қандай бўлишидан қатъи назар, канал қаршилиги катта бўлади. Ток  $I_c$  транзистордан ўтмайди. Затворга (тамбага) мусбат кучланиш берилганида каналнинг диэлектрикка яқин қисмида ток ўта бошлайди.  $U_{з.и.}$  кучланиш орттирилса, каналнинг ток ўтказувчи қисми кенгайди, транзисторнинг чиқиш қаршилиги камаяди.

Бир қутбли транзисторнинг чиқиш характеристикаси  $I_c = f(U_{с.и.})$  электрон лампалар характеристикасига ўхшайди (15.17.- расм). Бир қутбли транзисторнинг кириш қаршилиги  $10^{12} \div 10^{14}$  Омга кириш электроди—затвор характеристикасининг тиклиги  $0,3 \div 7$  мА/В, кириш токи 50 мА ва кириш-чиқиш кучланиши 50 В гача бўлади.

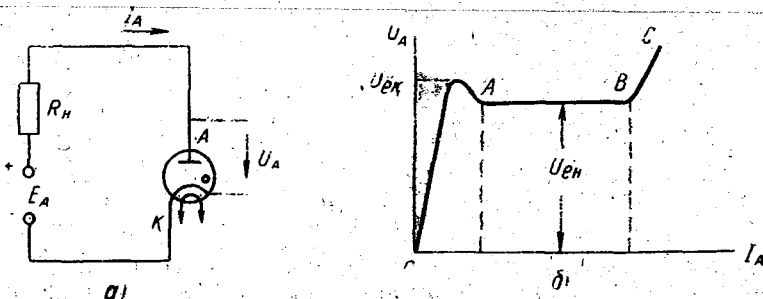
Бир қутбли транзисторлар икки қутбли транзисторлар каби уч хил схема бўйича уланади: умумий оқавали (УО), умумий бошли (УБ), умум тамбали (УТ).

### 15.3. ИМПУЛЬС БИЛАН БОШҚАРИЛАДИГАН ЭЛЕКТРОН ВА ЯРИМ ҲТКАЗГИЧ ДИОДЛАР. ГАЗОТРОН, ТИРАТРОН, ТИРИСТОР

Электрвакуум асбобларнинг махсус категориясини ионит ёки газ тўлдирилган электрон лампалар (газотронлар, игнитронлар, тиратронлар, симоб қолбалар ва б.) ташкил қилади. Термоэлектрон эмиссияли электрон асбоблардан фарқ қилиб, бу лампаларда анод ва катод орасидаги асосий заряд ташувчилар сифатида электронлар эмас, балки бу асбобларга тўлдирилган газларнинг ионлари хизмат қилади. 15.18-расм, *a* да газ тўлдирилган электрон асбоб — газотроннинг схемаси, *b* да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган.

Асбоб икки электродли лампа бўлиб, ҳавоси сўриб олинган ва ўрнига газ тўлдирилган баллонга анод ва катод киритилган. Тўлдирувчи газ сифатида симоб буғлари, ксенон, криптон, неон, гелий ва бошқалар ишлатилади.

Аноднинг ишчи токини ҳосил бўлишидан олдин унча катта бўлмаган термоэлектрон эмиссия токи ҳосил бўлади. Бу ток анод томон йўналган электронлар оқими бўлиб, ўз йўлида газ атомлари билан тўқнашади. Натижада атомлар ионланади, яъни улардан электронлар ажралиб чиқиб, мусбат ионлар ҳосил бўлади. Ҳосил бўлган ионли қалин булут анод ва катод орасидаги потенциал тўсеқни камайтириб, электрон эмиссия токидан юқори бўлган, разряд токини ҳосил қилади. Анод ва катод орасидаги бўшлиқ газнинг ҳосил бўлган мусбат ионлари ва электронлар туфайли электр ўтказувчан бўлиб қолади, яъни ток ўтказувчи плазма ҳосил бўлади. Газ йўқотган электронларнинг ўрни манфий зарядланган катод ҳисобига тўлдирилиб, катод сиртида мусбат ионлар рекомбинацияси рўй беради. Актив рекомбинация жараёни газнинг гунафша нурланиши билан содир бўлади.



15.18-расм.

Бу ҳодисалар ионли асбобнинг ёниш жараёнини аниқлаб беради. Лампа анод ва катод орасидаги кучланишнинг маълум қиймати  $U_A = U_{ек}$  да ёнади (ионланиш жараёни бошланади). Шундан кейин кучланиш  $U_A = U_{ен}$  гача камаяди (15.17-расм, б). Лампадаги кучланишнинг пасайиши  $15 \div 20$  В га тенг бўлади. Газотронларнинг иш токлари  $5 \div 10$  А лигини ҳисобга олиб, асбобнинг ички қаршилиги  $-2 \div 5$  Ом эканлигини аниқлаймиз. Иш токлари ўн ва юз амперга тенг бўлган катта қувватли ионли лампалар (симобли колбалар, ингітронлар) ҳам бор.

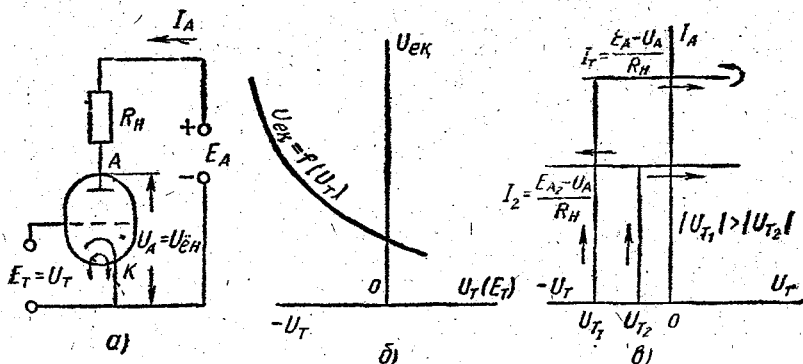
Газотрон характеристикасидан (15.18-расм, б) манба кучланиши  $E_A$  ортиши ҳисобига ток ортади ва  $U_{ен}$  бир хил бўлган оралиқ  $AB$  ҳам кенгайди,  $AB$  оралиқдан кейин токнинг ортиши тўхтайди, чунки ионланиш жараёни тугайди, деган хулоса келиб чиқади. Токнинг кейинги ортиши анод кучланишининг анча ортиши ( $BC$  оралиқ) ва асбобнинг ички физик ҳамда химиявий структурасининг тузилиши билан боғлиқ. Ионли асбобнинг токини ЭЮК  $E_A = \text{const}$  бўлганида истеъмолчи қаршилиги  $R_n$  ни ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин.

Анод ва катоддан ташқари бошқарувчи тўрга эга бўлган уч электродли ионли асбоб *тиратрон* дейилади 15.19-расм, а да тиратроннинг ехемагик тасвири, расм б да ишга тушириш характеристикаси ва ниҳоят, расм, в да анод-тўр характеристикаси кўрсатилган. Тўр конструкцияси ва физик хусусиятлари бўйича электрон триод тўридан жуда фарқ қилади: тўр, диск ёки бўйлама тешикли қалин цилиндр шаклида қилиниб, қиздирилган катоддан чиқаётган электронлар оқимини *блокировка* қила олади; тўр фақат ионизациянинг бошланишини бошқаради ва лампа ёнганидан кейин анод токини бошқариб бўлмайди.

Тўрга  $U_T < 0$  бўлган манфий кучланиш берилади. Бу кучланиш  $U_A = E$ , анод кучланишида катоддан чиққан электронлар оқимини катод атрофида ушлаб қолади. Электронлар оқими анод томон ўта олмайди. Газ эса ионизацияланмайди. Анод кучланиши ўзгармаган ҳолда манфий тўр кучланишининг қиймати камайтирилганда лампа ёнади ва ундан маълум миқдордаги ток  $I_A = \frac{1}{R_n} (E_A - U_{ен})$  ўтади.

Анод кучланиши  $E_A$  нинг (ёниш кучланиши) ҳар бир қийматига тўр кучланиши (ишга тушириш кучланиши)нинг бирор қиймати мос тушади (15.19-расм, б). Расмда кўрсатилган график  $U_{ек} = f(U_T)$  тиратроннинг *ишга тушириш характеристикаси* дейилади.

Лампа ёнганидан кейин анод занжирида ўзгармас анод токи  $I_A = \text{const}$  вужудга келади ва унинг қиймати тўр кучланиши  $U_T$  нинг ишораси ҳамда қийматига боғлиқ бўлмайди (15.19-

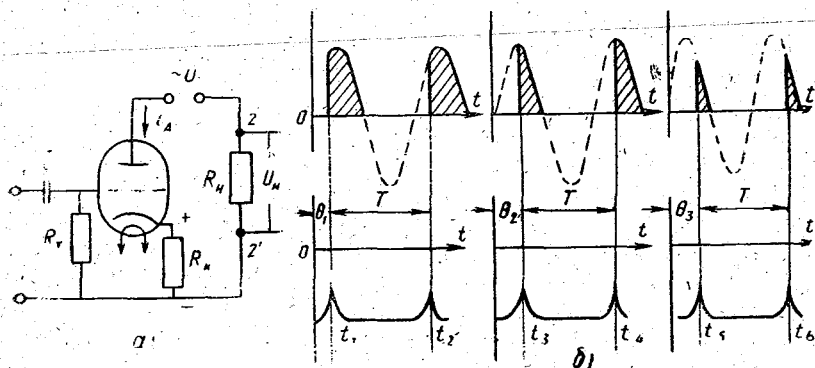


15.19- расм.

расм, в). Тиратрон ишга туширилганда унинг тўрини мусбат ионлар булuti ўраб олади ва тўрнинг таъсирини йўқотади. Тўрнинг бошқариш хусусияти анод кучланиши узилгандан кейингина қайта тикланади. Шунинг учун тўр анод кучланиши мусбат бўлганида фақат ёқиш вақтидагина бошқарув ва-зифасини бажара олади. Ўзгарувчан синусоидал токни тўғри-лашда тиратроннинг тўри тўғриланаётган токнинг қийматини текис бошқара олади, чунки ҳар бир анод кучланишининг манфий ярим даврида ионлар тўлиқ рекомбинацияланиб, асбоб янги ёниш жараёнига тайёрланишга улгуради.

Тўғриланган  $U_A = I_A \cdot R_H$  кучланишнинг қийматини тира-трон тўрига мусбат даврий импульслар бериш йўли билан бошқариш схемаси 15.20- расмда кўрсатилган. Тиратроннинг тўрига  $U_T < 0$  кучланиш берилганда тиратронга берилаётган синусоидал кучланиш  $u = U_m \sin \omega t$  нинг амплитуда қиймати ўтказмайди.

15.20- расмда тиратронга мусбат даврий импульслар бериб,



15.20- расм.

тўғрилланган токни бошқариш (а) ва асбобни турли бошланғич фазалар  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  да ёндириш графиклари кўрсатилган.

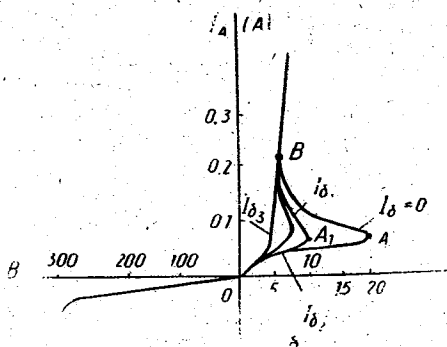
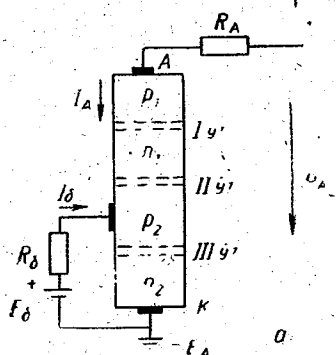
Энди белгиланган  $t_1$  вақтда тиратроннинг тўрига мусбат кучланиш импульсини берамиз. У ёнади ва  $(T/2 - \theta_1)$  вақт ичида  $i_a$  анод токини ўтказди. Агар импульслар частотаси тўғриланаётган токнинг частотасига мос тушса  $f = \frac{1}{T}$  бўлади, бунда  $t_2 = t_1 + T$  вақтда тиратрон яна ёнади ва тўғриланиш жараёни такрорланади.

Тўғриланаётган токнинг талаб этилган ўртача қийматига қараб тиратронга  $t_1 \div t_2, t_3 \div t_4$  ёки  $t_5 \div t_6$  вақтларда импульс берилиши мумкин. Бу вақтда ёндиришнинг бошланғич фазалари  $\theta_1, \theta_2$  ёки  $\theta_3$  га тенг бўлади. Тўғриланаётган ўзгарувчан токнинг бундай бошқарилиши импульс бошқарилиш дейилади ва ўзгармас токнинг катта импульс қувватли истеъмолчиларини текис бошқарилувчи кучланиш билан таъминлашда ишлатилади.

Ярим ўтказгичли тиристор тиратрон каби ишлайди, Тиристор—тўрт қатламли, уч „ $P_1 - n_1$ “, „ $n_1 - P_2$ “, „ $P_2 - n_2$ “ ўтишли ярим ўтказгич асбоб (15.21-расм).

15.21-расм, а да бошқариладиган ярим ўтказгичли диодтиристорнинг схемаси, расм, б да эса вольт-ампер характеристики кўрсатилган. Биринчи ва учинчи ўтишларга манбанинг ЭЮК  $E_A$  си тўғри уланади ва бу ўтишлар эмиттер ёки *катод* ўтиши дейилади. Манбанинг мусбат қутбига уланган контактлар *анод* деб аталади. Ўртадаги „ $n_1 - P_2$ “ (иккинчи) ўтиш коллектор ўтиши;  $P_2$  қатламга уланган электрод *бошқарувчи электрод* деб аталади.

Анодга катодга нисбатан мусбат кучланиш уланганида биринчи ва учинчи ўтишлар очиқ бўлиб, уларнинг қаршилиги кичик. Демак,  $U_A$  кучланиш асосан „ $n_1 - P_2$ “ ўтишга берилган бўлиб, бу ўтиш учун тесқаридир. Ўтишнинг тесқари кучланишга қаршилиги катта бўлгани учун  $I_A$  токнинг қиймати кичик. Анод кучланишини орттирсак ҳам анод токи деярли ўзгармайди (15.20-б расм, ОА қисми).  $U_A$  кучланиш критик деб аталувчи маълум бир қийматга эришганида (А нуқта) „ $n_1 - P_2$ “ ўтиш тешилади, заряд ташувчилар сони кўчкисимон ортади, ўтишнинг қаршилиги кескин камаяди, анод кучланиши ва ток кескин камаяди (15.21-расм, б, АВ қисми), кучланиш ва токнинг қийматлари кейинчалик ВС чизиқ бўйича ўзгаради. Тиристорларда тешилиш асбоб структурасини бузилишига олиб келмайди ва ўтишнинг қаршилиги анод кучланиши ўчирилганидан сўнг жуда тез (10—20 микросекунддан кейин) қайта тикланади. Агар „ $P_2 - n_2$ “ ўтишга қўшимча  $E_6$  бошқарувчи кучланиш берсак, „ $n_1 - P_2$ “ ўтишнинг тешилиш шартлари ўзгаради.  $E_6$  кучланиш таъсирида  $E_A$  кучланишга боғлиқ бўлмаган  $I_6$  токи ўтади. Бу ток „ $P_1 - n_1$ “ ўтишда электронлар ва қаваклар инжекциясини кучайтиради ва „ $n_1 - P_2$ “ ўтишнинг қаршилиги камайи-



15.21-расм.

шиға олиб келади. Тешилиш кучланиши камаяди ва тиристор  $U_A$  кучланишнинг кичикроқ қийматида очилади ( $A_1$  нуқтаси, 15.21-расм, б). Бошқарувчи токи  $I_0$  қанча катта бўлса, тиристордан ток ўтишини таъминловчи  $U_A$  кучланиш шунча кичик бўлади.

Агар тиристорга кучланишни тескари уласак (манфийсини анодга, мусбатини катодга), „ $n_2 - P_2$ “ ва „ $n_1 - P_1$ “ ўтишлар тескари, „ $P_2 - n_1$ “ ўтиш тўғри уланади. Икки тескари уланган ўтишнинг тешилиш кучланиши тўғри уланган ўтиш кучланишидан ўн мартага яқин катта бўлади.

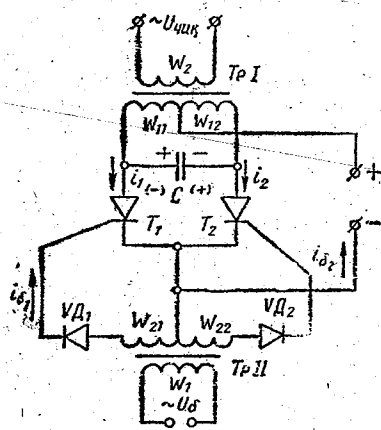
Тиристорнинг қўлланишини берилган частотадаги даврий импульслар ҳосил қилувчи кучланишнинг автоном инвертори (КАИ) мисолида кўриб чиқамиз.

Ўзгармас кучланишни аниқ частотадаги ўзгарувчан синусоидал кучланишга айлантирувчи қурилма инвертор деб аталади. Энг оддий кучланиш инвертори иккита чулғамли трансформатор ( $T_p - 1$  ва  $T - 2$ ) орқали даврий  $U_0$  кучланиш ёрдамида бошқариладиган  $VT_1$  ва  $VT_2$  икки тиристор ва доимий ЭЮК  $E_0$  дан иборат (15.22-расм).

15.22-расмда кучланиш автоном инверторининг схемаси кўрсатилган.

Дастлабки ҳолатда иккала тиристор ёпиқ ва конденсатор  $C$  зарядланмаган  $t = t_0$  вақтда трансформатор  $T_p - 2$  нинг  $W_1$  бирламчи чулғамига ўзгарувчан бошқарув кучланиши  $u_0 = U_{0m} \sin \omega t$  берилди. Кучланишнинг ўзгариш частотаси  $\omega$ . Шу сигнал биринчи ярим тўлқини  $VD_1$  диод орқали ўтиб,  $i_0$

Дастлабки ҳолатда иккала тиристор ёпиқ ва конденсатор  $C$  зарядланмаган  $t = t_0$  вақтда трансформатор  $T_p - 2$  нинг  $W_1$  бирламчи чулғамига ўзгарувчан бошқарув кучланиши  $u_0 = U_{0m} \sin \omega t$  берилди. Кучланишнинг ўзгариш частотаси  $\omega$ . Шу сигнал биринчи ярим тўлқини  $VD_1$  диод орқали ўтиб,  $i_0$



15.22-расм.



бошқарув токини ҳосил қилади ва  $VT_1$  тиристорни очади. Ўз навбатида, бу асосий манба  $E_0$  дан биринчи трансформаторнинг бирламчи чулғамининг чап қисмидаги  $W_2$  тиристор  $VT_1$  орқали  $i_1$  токи ўтишига олиб келади. Бу ток трансформаторнинг ўзагида магнит оқимини ҳосил қилади. Магнит оқими трансформаторнинг ҳамма чулғамлари ( $W_{11}$ ,  $W_{12}$  ва  $W_2$ ) да ЭЮК ни индукциялайди.  $W_{11}$  ва  $W_{12}$  чулғамларнинг натижавий ЭЮК, тахминан  $2E_0$  га тенг. Очiq тиристорнинг қаршилиги  $R_T \cong 0$  лигини ҳисобга олиб, манбанинг ЭЮК  $E_0$   $W_{11}$  чулғамга берилганлигини кўрамыз. Шундай қилиб, конденсаторнинг қисмларида ҳам  $U_c = 2E_0$  кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш таъсирида конденсатор тиристор  $VT_1$  очiq бўлган вақт ичида зарядланади.

$U_6$  кучланишнинг йўналиши ўзгариши билан тиристор  $VT_1$  ёпилади, тиристор  $VT_2$  диод  $VD_2$  орқали  $i_6$  ток ўтиши ҳисобига очилади. Асосий манба  $E_0$  занжирида тиристор  $VT_2$  ва  $W_{12}$  чулғам орқали  $i_2$  ток ўтади.  $W_{12}$ ,  $W_{11}$  ва  $W_2$  чулғамларида бу ток  $i_1$  токини ҳосил қилган ЭЮК тескари йўналишдаги ЭЮК ни ҳосил қилади. Инверторнинг чиқишидаги  $U_{\text{чиқ}}$  кучланишнинг йўналиши ҳам тескарига ўзгаради. Тескари қўтбланишдаги кучланиш таъсирида конденсатор бирламчи чулғамнинг  $W_{11}$  ва  $W_{12}$  қисмлари орқали қайта зарядланиб, инвертордан кучланишни оширади. Ток  $i_6$  нолга тенг бўлганда  $i_6$  токи пайдо бўлиб, цикл давом этади. Чиқиш кучланишининг частотаси  $f_{\text{чиқ}}$  бошқарувчи кучланишнинг частотаси билан аниқланади.  $U_6$  сигнални ҳосил қилиш учун ярим ўтказгичлар асосида йиғилган кичик қувватли автогенератор ишлатиш мумкин.

#### 15.4. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Ҳозирги фан-техника тараққиёти саноатда ЭҲМ, автоматлаштирилган системаларнинг ишлатилиши билан боғлиқ. ЭҲМ ва бундай системалар жуда кўп мураккаб электрон элементларни ўз ичига олади. Элементлар кўпайган сари системанинг ишончлилиги, унинг элементларининг уланиш пухталиги камай боради. Бунда системанинг ўлчамлари ҳам ортиб боради. Шу масалаларни ҳал қилиш йўлидаги изланишлар асримизнинг 60-йилларида электрониканинг яна бир соҳаси—микросистеманинг вужудга келишига сабаб бўлди. Микросистема ўта кичрайтирилган электрон блоклари ва қурилмаларни яратиш ва ишлатиш билан шуғулланади.

Микросистеманинг асосий элементи интеграл микросхема—ИМС (*integer*—бутун, чамбарчас боғлиқ) дир.

Конструктив тугалланган, маълум функцияни бажарувчи, бир технологик жараёнда ҳосил қилиниб, бир-бири билан электр жиҳатдан боғланган элементлардан ташкил топган кичик қурилма *интеграл микросхема* дейилади.

ИМС (интеграл микросхема) кремний кристалл ёки пластинкасида ҳосил қилинган ва бир-бири билан схемага уланган транзистор, диод, резистор ва бошқалардан иборатдир.

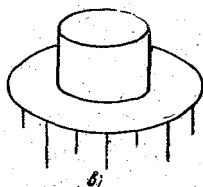
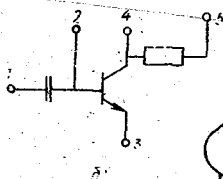
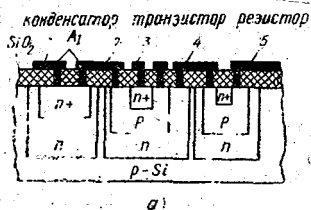
Бажарилишига қараб ИМС лар ярим ўтказгичли, гибрид ва бирлаштирилган ИМС ларга бўлинади. Ярим ўтказгичли ИМС да кремний пластинкасининг айрим жойлари турли элементлар (транзистор, резистор, конденсатор ва бошқалар) вазифасини бажаради. Актив элементлар — транзисторлар бўлиб, уларнинг турига қараб ярим ўтказгичли ИМС лар биполяр ёки МДЯ (металл, диэлектрик, ярим ўтказгич) микросхемаларга бўлинади. Биполяр микросхемада транзистор, уч қатламли диод, икки қатламли структура (конденсатор) вазифасини тескари уланган  $p-n$  ўтиш, резистор вазифасини  $p$ -типдаги юпқа полоса бажаради. МДЯ микросхемаларда, асосан, индукцияланган каналли бир қутбли транзисторлар ишлатилади.

Ҳар бир элементнинг эгаллаган жойи микрометрлар билан ўлчанади. Элементлар бир-бири билан қисман пластинка ичида, қисман сиртдаги металл йўлакчалар орқали боғланади (15.23-расм).

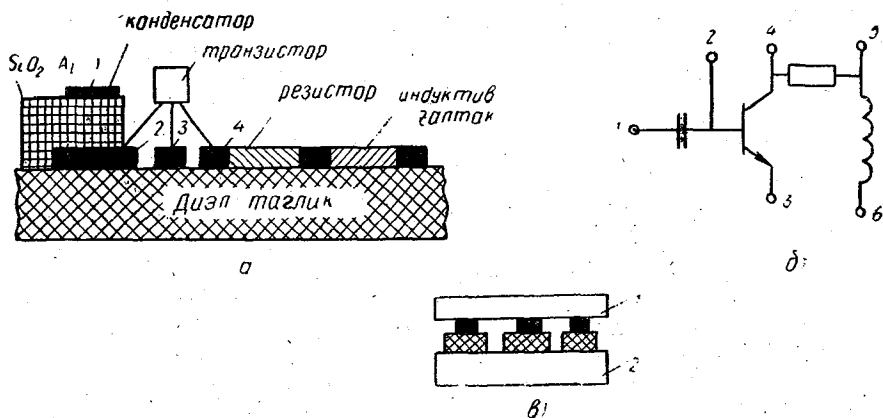
Бир технологик жараёнда бир неча минг микросхема ҳосил қилинади. Микросхема учун 0,2 — 0,3 мм қалинликдаги, диаметри 30 — 50 мм бўлган кремний пластинкаси олинади. Битга пластинка асосида 300—500 микросхема ҳосил қилинади.

15.23-расм, *a* да ярим ўтказгичли ИМС нинг конструкцияси, расм *b* да эса схемаси ва, ниҳоят, расм *в* да умумий кўриниши берилган.

Ярим ўтказгичли ИМС ларда транзистор ва диодлар яхши характеристикаларга эга. Пассив элементлар, конденсатор, резисторларнинг номинал параметрлари эса чегараланган ( $C = 50-400$  пФ гача,  $R = 10-30$  кОм гача) бўлади. Бу элементлар параметрларининг ўзгариши 20% ни ташкил қилади. Пассив элементларнинг параметрлари аниқ бўлиши учун гибрид ИМС лардан фойдаланилади. Гибрид ИМС лар плёнкали пассив элементлар ва корпуссиз транзистордан ташкил топган бўлади. Олдин диэлектрик таглик (шиша, сопол) да пуркаш йўли билан актив қаршилик, конденсатор ва элементлараро уланишлар ҳосил қилинади, бунда ҳосил бўлган плёнка қалинлиги  $10^{-6}$  м бўлади. Сўнг термокомпрессион пайвандлаш



15.23- расм.



15.24- расм.

й ўли билан транзисторлар контакт майдончаларга пайвандланади (15.24- расм).

15.24- расм, а да гибридли ИМС нинг тузилиши, б да схемаси, в да эса умумий кўриниши берилган.

Бирлаштирилган МС ларда ярим ўтказгич ҳажмида актив элементлар ҳосил қилиниб, пассив элементлар пуркаш йўли билан плёнка шаклида ҳосил қилинади. Бир микросхема ўз ичига олган элементлар сонига қараб унинг интеграция даражаси аниқланади. Агар элементлар сони 100 гача бўлса, бундай ИС (интеграл схема) лар базавий элементлар сифатида кўпайтириш мантиқий операцияларни бажариш учун ишлатилади.

$10^2$ — $10^3$  элементга эга бўлган ИС лар ўрта даражали (ЎДИС) интеграцияга эга. Счётчик, регистор, дешифратор ва бошқа мураккаб функционал вазифаларни бажара олади.

Элементлар сони  $10^3$ — $10^4$  гача бўлса, микросхема юқори даража интеграцияли (КИС) бўлади ва турли инженерлик ҳисобларни бажара олувчи калькулятор сифатида ишлатилади.

Элементлар сони  $10^4$ — $10^6$  гача бўлса, микросхема ўта юқори даражали интеграцияга эга (ЎЮДИС). Улар кўп ишловчи микропроцессорлар сифатида ишлатилади.

Иш режимига қараб ИМС лар аналогли ва рақамли ИМС ларга бўлинади.

Аналогли ИМС лар узлуксиз электр сигналларни ўзгартириш ва қайта ишлаш учун мўлжалланган. Улар генераторлар, кучайтиргичлар ва бошқа қурилмалар сифатида ишлатилади. Рақамли ИМС лар асосан мантиқий элементлар сифатида ишлатилади.

ИМС лар қуйидаги афзалликларга эга:

1) жуда ишончли; 2) ўлчамлари ва массаси кичик (бир

неча граммдан ортмайди); 3) тез ишга тушади; 4) кам қувват истеъмол қилади.

Асосий камчилиги чиқиш қуввати камлигидир.

Интеграл микросхемаларнинг ГОСТ бўйича белгиланишидаги К ҳарфи кенг қўлланишга мўлжалланганлигини кўрсатади. Бу ҳарфдан кейинги рақам ИМС нинг конструктив технологик бажарилишини кўрсатади: агар 1, 5, 7 бўлса, ярим ўтказгичли, 2, 4, 6, 8 бўлса, гибридли бўлади. Бу рақамдан кейин сериянинг номерини кўрсатувчи икки хонали рақам (00 дан 99 гача) бўлади. Рақамлардан кейинги ҳарфлар микросхеманинг функционал вазифасини кўрсатади (УН — кучланиш кучайтиргичи, ЛЭ — мантикий элемент, УД — дифференциал кучайтиргич). Охиридаги рақам серияли ишлаб чиқариш номерини кўрсатади.

### 15.5. ФОТОЭЛЕКТРОН АСБОБЛАР

Электрон схемаларда фотоэлектрон асбоблардан кенг фойдаланилади. Уларнинг ишлаши фотоэффектга, яъни электромагнит нурланиш таъсирида электрон эмиссия ҳосил бўлишига асосланган. Фотоэффект 1886 йилдан бошлаб ўрганила бошлаган. Рус олими А. Г. Столетов фотоэлектрон эмиссия туфайли ҳосил бўлган ток  $I_\phi$  ва мазкур ток келтириб чиқарувчи нур оқими орасидаги боғланишни аниқлади:

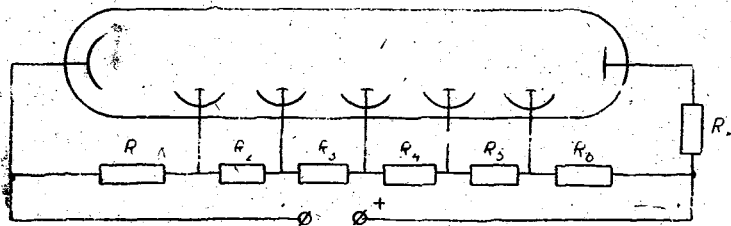
$$I_\phi = S \cdot \Phi,$$

бу ерда  $S$  — фотокатоднинг сезgirлиги, мкА/лм;  $\Phi$  — ёруғлик оқими, лм.

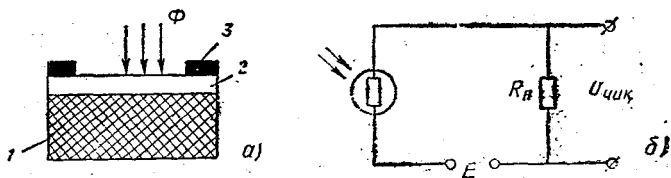
1905 йилда А. Эйнштейн фотон энергияси ( $h\nu$ ) электроннинг чиқиш ишига сарфланган энергия ( $W_0$ ) ва унинг кинетик энергияси ( $0,5 mv^2$ ) га сарф бўлишини аниқлади:

$$h\nu = W_0 + \frac{mv^2}{2}.$$

Фотоэлектрон асбоблар, ёруғлик таъсирида ўзидан электронларни чиқарувчи фотокатод ва аноддан иборатдир. Ташқи фотоэффект қўлланилган фотоэлектрон асбоб фотоэлектрон кучайтиргичнинг (ФЭК) ишлашини кўриб чиқамиз (15.25-расм).



15.25- расм.



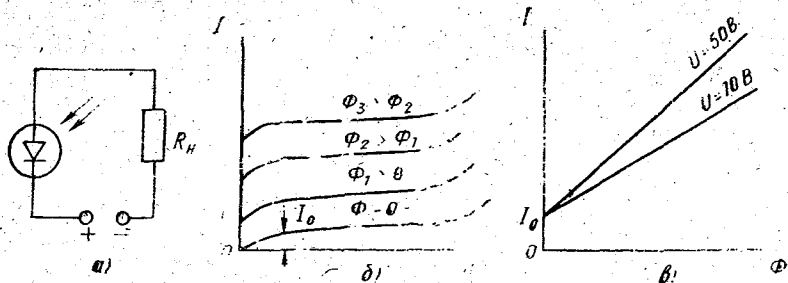
15.26- расм.

Ёруғлик оқими туфайли фотокатод (ФК) дан электронлар учиб чиқади. ФЭК да ҳосил бўлган фототок  $I_\phi$  иккиламчи эмиссия туфайли кучайтирилади. ФК дан учиб чиққан электронлар фотокатодга нисбатан мусбат потенциалга эга бўлган, *динод* деб аталувчи электрод ( $D_1$ ) томон ҳаракатланади ва фототок  $I_\phi$  ни ҳосил қилади. Бу ток  $D_1$  дан иккиламчи электронларни уриб чиқаради. Бу электронлар сони бирламчи электронлар сонидан  $\sigma$  марта каттадир ( $\sigma$  — диноднинг иккиламчи эмиссия коэффициентини), Иккиламчи электронлар  $I_1 = \sigma I_\phi$  токни ҳосил қилади. Бу ток мусбат потенциали биринчи динодникдан юқорироқ бўлган иккинчи динод ( $D_2$ ) га келиб, унда яна иккиламчи эмиссия туфайли  $I_2 = \sigma I_1 = \sigma^2 I_\phi$  токни ҳосил қилади. Ўз навбатида,  $I_2$  токи ўзидан юқорироқ мусбат потенциалли динод ( $D_3$ ) да  $I_3 = \sigma I_2 = \sigma^3 I_\phi$  токни ҳосил қилади ва ҳоказо. Сўнги  $n$ -динод ( $D_n$ ) дан  $I_n$  ток анод томон ўтади. Бунда анод токи  $I_a = I_n = \sigma^n I_\phi$  бўлади.

ФЭК ларда фототокнинг кучайтириш коэффициенти  $K_i = \sigma^n$  га тенг бўлади.

ФЭК лар кам инерцион бўлиб, юқори частоталарда ишлатилиши мумкин. Улардан астрономия, фототелеграфия, телевидениеда ёруғлик нури импульсларини ҳисобга олиш, кичик ёруғлик оқимларини ўлчаш ва спектрал анализда фойдаланилмоқда.

Ярим ўтказгичларда нурланиш таъсирида заряд ташувчилар жуфти (электрон ва каваклар) нинг ҳосил бўлиши кузатилади ва бу ҳодиса *ички фотозффект* дейилади. Фотонлар таъсирида ҳосил бўлган қўшимча ўтказувчанлик *фототўтказувчанлик* деб аталади. Масалаң, кадмий сульфиди ёки кадмий селенидидан тейёрланган ярим ўтказгичли қаршилик нурлағиш таъсирида ўз қаршилигини ўзгартиради. Бундай қаршилик *фоторезистор* деб аталади. 15.26- расм, *а* да фоторезисторнинг тузилиши, *б* да уланиш схемаси, *в* да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган. Диэлектрик тағлик (1) га ярим ўтказгич (2) нинг юққа қатлами суртилган. Ярим ўтказгич контактлар (3) ёрдамида манбага уланади. Ёруғлик нури тушмаганда фоторезисторнинг қаршилиги катта ( $R_k < 10^4 \div 10^7$  Ом) бўлиб, *қоронғилик қаршилиги* дейилади. Занжирдан эса қиймати жуда кичик бўлган *қоронғилик токи* ўтади. Агар шу ярим ўтказгичга ёруғлик оқими тушса, фотонлар энергияси



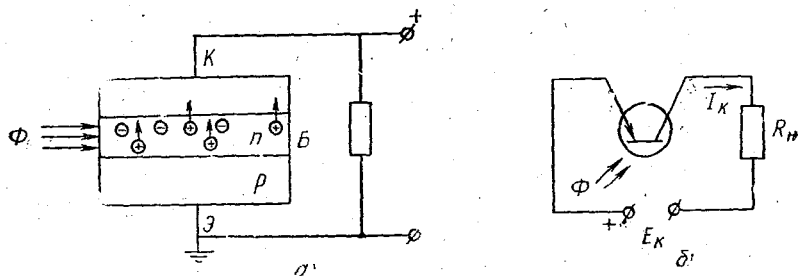
15.27- расм.

таъсирида заряд ташувчилар генерацияси юзага келиб, қаршилик камаяди ва занжирдан ўтувчи ток ортади. Фоторезисторлар вентиль хусусиятига эга эмас, яъни токни иккала йўналишда ҳам ўтказиши мумкин. Фоторезисторлар, асосан, автоматик схемаларда ишлатилади

Фотодиод бир ( $p-n$ ) ўтишли фотоэлектрик асбобдир (15.27-расм). Улар оддий диодлар каби токни бир йўналишда ўтказиши мумкин. Лекин ёруғлик оқими ёрдамида уларнинг тескари токини ҳам бошқариш мумкин. Бунда электрон-кавакли ўтиш жойига ва унга яқин соҳага ёруғлик оқими таъсир қилади. Натижада заряд ташувчилар жуфти генерацияланиб, диоднинг тескари ўтказувчанлиги ва тескари токи ортади. Фотодиоднинг вольт-ампер характеристикаси (15.27-расм, б) умумий база билан уланган биполяр транзисторнинг чиқиш характеристикасини эслатади. Ёруғлик оқими йўқлигида фотодиоддан оддий бошланғич тескари ток  $I_{тес}$ , яъни қоронғилик токи ўтади (15.27-расм, б — в). Ёруғлик оқими таъсир этганда диоддаги ток ортади. Оқим қанча катта бўлса, ток ҳам шунча катта бўлади. Диодга таъсир этувчи тескари кучланишнинг ортиши токнинг қийматига деярли таъсир этмайди. Бироқ маълум кучланишда тегишли юз беради (характеристикадаги узик чизиқлар). Фототокнинг қиймати, асосан, ёруғлик оқимига пропорционалдир. Кремнийли фотодиодларнинг сезгирлиги 3 мА/лм, германий фотодиодларники 20 мА/лм га етади.

Фототранзистор икки  $p-n$  ўтишли, уч қатламли ярим ўтказгич бўлиб, ёруғлик энергияси таъсирида фототокни кучайтириш учун хизмат қилади. Фототранзисторнинг тузилиши оддий ясси транзисторнинг тузилишига ўхшайди (15.28-расм).

Фототранзистор икки хил (уланмаган базали ва умумий эмитерли) схема бўйича улашиши мумкин. Ёритилган базада бўш электронлар ва каваклар ҳосил бўлади, Каваклар базада ёрдамчи ташувчи вазифасини ўтаб, коллектор ўтишида коллекторга тартиб олинади ва коллектор занжирда фототок ҳосил қилади. Электронлар эмиттер ўтишидаги потенциал тўсиқни камайтирувчи ҳажмли зарядни ҳосил қилади. Эмиттер



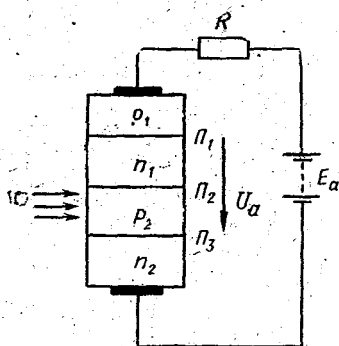
15.28- расм.

ўтиши очилиб, каваклар базадан коллекторга ўтади ва фотодиод токидан  $\beta$  марта катта бўлган қўшимча коллектор токини ҳосил қилади. Истеъмолчидаги умумий ток қоронғилик токи  $I_{к0}$ , фотодиод токи  $I_{\phi}$  ва кучайтирилган фототок  $\beta I_{\phi}$  ларнинг йиғиндисига тенг, яъни  $I_u = I_{к0} + I_{\phi} + \beta I_{\phi} \cong (1 + \beta) I_{\phi}$ . Фототранзистор УЭ схема бўйича уланганида чиқиш токи  $I_u$  ни ёруғлик ва электрик сигналлар ёрдамида бошқариш мумкин. Фототранзисторлар автоматик қурилмаларда, фототелеграфияда, киноаппаратлар ва оптоэлектроникада сезгир элемент сифатида ишлатилади.

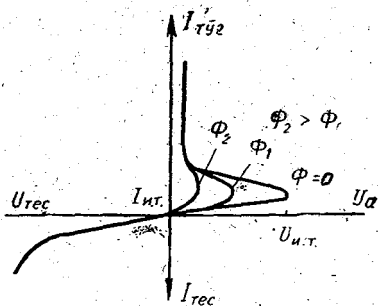
Фоторезистор учта  $p-n$  ўтишли ярим ўтказгичдир. У  $p_1 - n_1 - p_2 - n_2$  қатламлардан иборат бўлиб, оддий тиристор каби кремнийдан тайёрланади. Биринчи ва учинчи ўтишларга нисбатан кучланиш тўғри, иккинчисига нисбатан эса тескари уланади. Ёруғлик оқими таъсир этмаганда фототиристор оддий тиристор каби ишлайди. Ёруғлик таъсири бошқарувчи ток таъсири каби бўлиб, унинг оқими қанчалик катта бўлса, фототиристорнинг анод кучланиши шунчалик кичик бўлади (15.29-расм).

Юқорида кўриб чиқилган фотоэлектрон асбобларда ёруғлик оқими электр токининг фақат қиймагига таъсир эта олади. Бу асбоблардан ташқари, ёруғлик оқимининг энергиясини ЭЮК га ва. аксинча, электр токини нурланишга айлантирувчи асбоблар ҳам мавжуддир. Вентиль ёки гальваник фотоэлемент нурланиш энергиясини электр энергиясига айлантириш учун хизмат қилади. Селен, кадмий сульфиди, кремнийдан тайёрланган диодлар ташқи кучланишсиз ишлаб, ёруғлик нури таъсирида ўз ЭЮК ни ҳосил қилади.

15.30-расм, *a* — *в* да гальваник фотоэлементнинг ёруғлик таъсирида уйғотилган заряд ташувчиларнинг  $p-n$  ўтиш майдони таъсирида ажратилиши фото-ЭЮК нинг ёруғлик оқимига боғлиқлиги ва вентиль фотоэлементнинг уланиш схемаси кўрсатилган.



а)

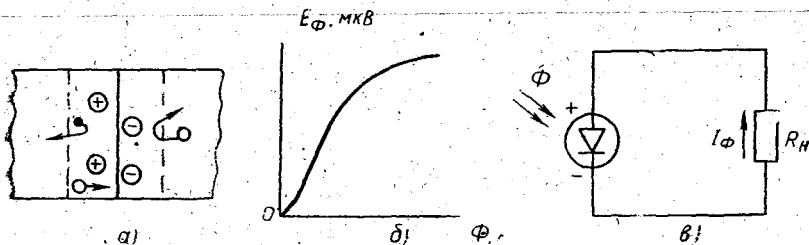


б)

15.29-расм.

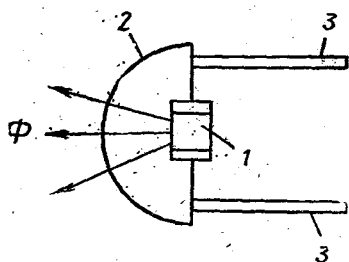
Фотонлар  $p-n$  ўтиш жойи ва унга яқин соҳага таъсир этиб, заряд ташувчилар жуфтini генерациялайди. Натижада  $p$  ва  $n$  соҳаларда ортиқча асосий заряд ташувчилар йиғилиб, фото-ЭЮК деб аталувчи потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади. Ёруғлик оқими тушиши билан фото-ЭЮК ( $E_\phi$ ) чизиқли бўлмаган қонун бўйича ўзгаради. Агар фотоэлемент занжирига истеъмолчи уланса, бу занжирдан фототок  $I_\phi$  ўтади. Ҳозирги вақтда ишлатиладиган кремнийли фотоэлементлар қуёш нурининг энергиясидан 0,4—0,5 В ли ЭЮК ни ҳосил қилади. Бундай элементларни ўзаро кетма-кет ва параллел улаш йўли билан қуёш батареялари ҳосил қилинади.

Фотогальваник элементнинг акси бўлган ёруғлик диоди электр энергиясини ёруғлик энергиясига айлантиради. Ёруғлик диоди бир нечта  $p-n$  ўтишли ярим ўтказгичдир (15.31-расм). Ундаги уйғонган электронлар тўғри уланган кучланиш таъсирида нисбатан пастроқ энергетик сатҳга ўтади ва коваклар билан кўпроқ тўқнашиб, рекомбинацияланади. Рекомбинация туфайли ҳар бир ташувчи электрон ва коваклар жуфтидан фотон ҳосил бўлади. Электрон ва коваклар кўп бўлгани учун фотонлар (ёруғлик энергияси) ажралиб чиқади. Нўрланиш ран-

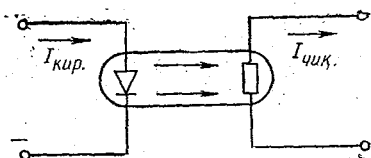


15.30-расм.





15.31- расм.



15.32- расм.

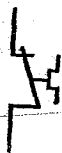
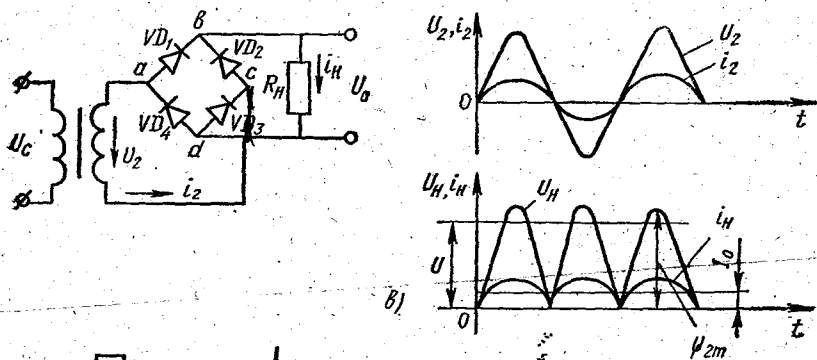
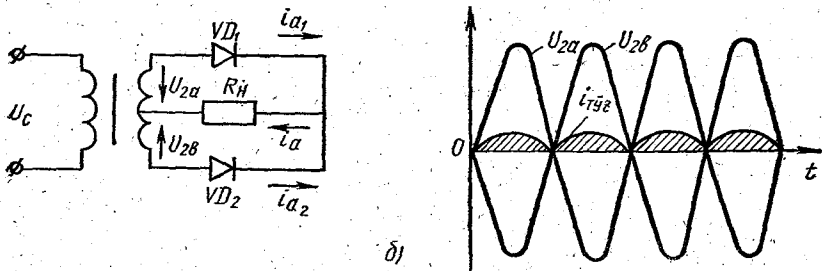
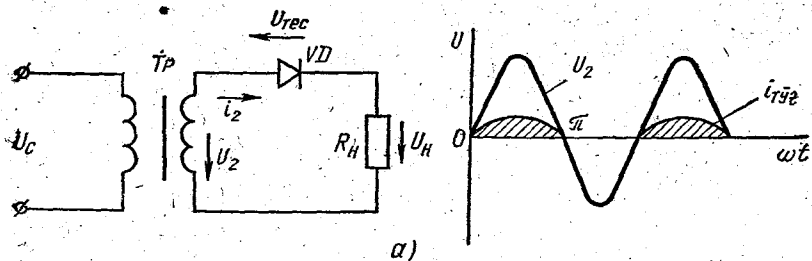
ги ярим ўтказгич (диод) қандай материалдан тайёрланганлигига, нурланиш равшанлиги эса диоддан ўтаётган токнинг миқдорига боғлиқ бўлади. Ярим ўтказгичлар электроникасининг ривожланаётган соҳаси бўлмиш оптик электроника ёруғлик диодлари асосида ишлайди. Оптик электроника электр токиннинг ярим ўтказгичларда нурга айланишини ва, аксинча, ёруғликнинг ярим ўтказгичларга таъсир қилиши натижасида электр сигналининг ҳосил бўлиш қонунларини ўрганади. Оптик электрониканинг асосий элементи *оптрондир*. Оптрон ўзаро оптик боғланган ёруғлик манбаи ва истеъмолчидан ташкил топган. Ёруғлик манбаи кириш занжирига, ёруғлик истеъмолчиси эса чиқиш занжирига уланган. Энг кенг тарқалган оптрон ёруғлик диод-фоторезистори ва диод-фототранзисторидир (15.32- расм).

Ёруғлик диодидан ўтаётган кириш токиннинг ўзгариши ёруғлик равшанлигини ўзгартиради. Ёруғлик оптик алоқа каналидан ўтиб, фоторезисторга келиб тушади. Нур оқимининг ўзгариши фоторезисторнинг қаршилигини ўзгартиради. Натижада оптроннинг чиқиш занжиридаги токнинг қиймати ўзгаради. Оптрон электр сигналларни кириш занжири чиқиш занжиридан ажратилган ҳолда кучайтириш имконини беради. Унинг бу хусусияти оптик телефон алоқа системаларида, фототелеграфияда кенг қўлланилади.

## 15.6. ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИ ТУҒИРЛАШ ЗАНЖИРЛАРИ

Ўзгарувчан электр токидан ўзгармас ток олиниши анчадан бери маълум. Катта қувватли ўзгармас токни кимёвий, магнитогидродинамик ва бошқа қурилмалар ёрдамида ҳосил қилиш имконияти бўлмагани учун у ўзгарувчан токни ўзгармасга айлантириш йўли билан олинади. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришни мустақил манбаи ҳисобланмиш ўзгармас ток генераторларида ҳам амалга ошириш мумкин. Синусоидал ЭҶОК дан ҳосил бўлган токнинг бир йўналишида ўтишини чўтка-коллектор қурилмаси таъминлаб беради.

Бир томонлама ўтказувчанликка эга бўлган электрон ва ярим ўтказгичли диодлар ихтиро қилинганидан сўнг ўзгармас



15.33- расм.

токни халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларига саноат электроникаси етказиб бера бошлади. Тўғрилаш техникаси бошқариладиган ва бошқарилмайдиган ярим ўтказгичли диодларни такомиллаштириш, уларнинг қувватини ошириш ҳисобига янада ривожланмоқда. Ўзгарувчан токни тўғрилаш электрон зан-

жирлари ҳозирги вақтда ЭҲМ, радиотехника ва алоқа воситаларини ток билан таъминловчи манбаларнинг асосий қисмидир.

Бир ва кўп фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш схемалари кенг тарқалган. 15.33-расм, *a* да бир фазали синусоидал токнинг ярим даврли тўғрилаш схемаси кўрсатилган. Икки чулғамли трансформатор  $T_r$  нинг  $W_1$  ўрамли бирламчи чулғами  $U_1$  синусоидал кучланишли занжирга уланган. Мазкур кучланиш  $W_2$  ўрамли иккиламчи чулғамдан олинандиган  $U_2$  кучланишга айлантирилади. Кучланиш  $U_2$  нинг қиймати  $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$  боғланишдан аниқланади. Кучланиш  $U_2$  нинг тўғрилланган қисми  $U_{\text{тўр}} = R_n \cdot i_{\text{тўр}}$ .

$U_2$  кучланиш тўғрилланган ток  $i_{\text{тўр}}$  ва диоднинг параметрлари мослигини таъминлаши керак.

15.33-расм, *a* даги графиклардан ток  $R_n$  қаршиликдан  $U_2 = U_{2m} \sin \omega t$  кучланишнинг мусбат ярим даврларидагина, яъни 0 дан  $\pi$  гача,  $2\pi$  дан  $3\pi$  гача бўлган оралиқларда ўтишини кўрамиз. Агар диоднинг ички қаршилиги ҳисобга олинмаса ( $r_d = 0$ ), тўғрилланган кучланишнинг бир даврдаги ўртача қиймати қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} U_{\text{ўр}} = U_{\text{тўр}} &= \frac{1}{T} \int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt = \\ &= \frac{U_{2m}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t dt = \frac{\sqrt{2} U_2}{2\pi f T} (-\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \approx 0,45 U_2, \end{aligned}$$

бу ерда  $U_2$  — трансформаторнинг  $W_2$  чулғамидаги кучланишнинг эффектив қиймати, В.

Истеъмолчининг қаршилиги  $R_n$  дан ўтувчи ток (расмда штрихланган) йўналиш жиҳатдан ўзгармас, қиймат жиҳатдан пульсацияланувчи. Унинг бир даврдаги ўртача қиймати қуйидагига тенг:

$$I_{\text{ўр}} = I_{\text{тўр}} = \frac{U_{\text{тўр}}}{R_n} = 0,45 \frac{U_2}{R_n},$$

яъни  $I_{\text{ўр}}$  тўғрилланган кучланиш ва истеъмолчининг қаршиликка боғлиқдир.

Тўғрилланган кучланиши пульсацияланувчи бўлгани учун бундай схема жуда кам қўлланилади. Ундан радиосигналларни детекторлаш, аккумуляторларни зарядлаш, магнит ўзақларни импульсли магнитлаш ва бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин.

Трансформаторнинг иккиламчи чулғами икки секциядан иборат бўлган, икки ярим даврли тўғрилаш схемаси мукамалроқ ва сифатлироқдир (15.33-расм, *b*). Иккиламчи чулғам ( $W_2$ ) иккита бир хил секциядан иборат ( $W_2 = \frac{1}{2} W$ ). Бу чулғам-

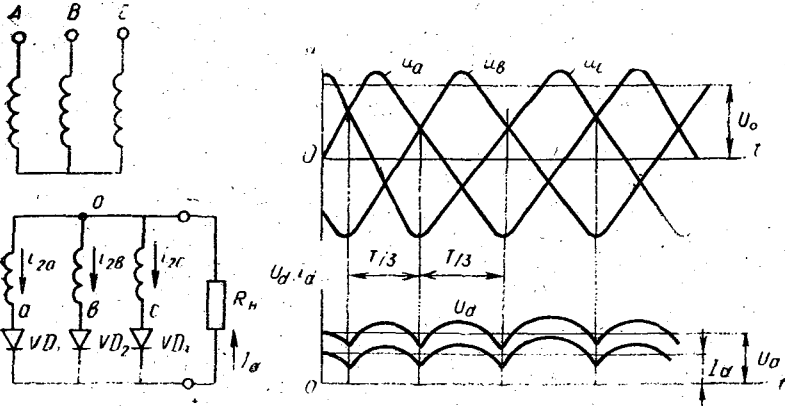
ларнинг охирги учлари бир хил диодлар ( $VD_1$  ва  $VD_2$ ) орқали  $R_n$  қаршиликнинг мусбат қутбига уланади. Бош учлари эса истеъмолчининг манфий қутбига уланади. Тўғрилаш қуйидагича амалга оширилади. Трансформаторнинг кириш занжирига таъсир этувчи  $U_1(t)$  кучланишнинг битта ярим даврида  $W_2$  секцияларида индукцияланган  $U_2$  кучланиш пастдан юқорига йўналган бўлсин. У ҳолда кучланишдан ҳосил бўладиган ток  $W'_2 - VD_1 - R_n$  занжирдан ўтади, пастдаги  $W_2 - R_n - VD_2$  занжирда эса ток ўтмайди, чунки  $VD_2$  диод бу токни ўтказмайди (токнинг йўналиши тескари бўлгани учун).  $R_n$  қаршилигида ток ўнгдан чапга ўтади (15.33-рasm. б). Иккинчи ярим даврда  $W'_2$  секцияларда  $U_2 = -U_2$  кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш юқоридан пастга йўналади ва  $VD_2 - R_n - W_2$  ва  $R_n - VD_1 - W'_2$  контурларда соат милининг ҳаракатига қарши йўналган токни ҳосил қилади. Бунда  $VD_1$  диоди ёпиқ бўлиб, ток фақат пастки контурдан (истеъмолчи  $R_n$  да яна ўнгдан чапга) ўтади. Бир давр ичида  $R_n$  қаршилик  $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$  кучланишнинг тўғри ва  $180^\circ$  га ағдарилган тескари ярим тўлқинлари остида икки марта бўлади (15.33-рasm. б нинг қуйи қисми). Иккиламчи кучланишнинг қиймати  $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$  ва тўғриланган кучланишга боғлиқ ҳолда аниқланади. Агар диодларнинг ички қаршилиги ҳисобга олинмаса ( $r_d = 0$ ), қаршилик учларидаги кучланишнинг ўртача қиймати:

$$U_{\text{ўр}} = U_{\text{ўр}} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u^2 dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt =$$

$$= \frac{2U_{2m}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t dt = -\frac{V2U_{2m}}{\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \approx 0,9U_2.$$

15.33-рasm, б даги графикдан икки ярим даврли тўғрилаш схемасига ўтилганда чиқиш кучланишнинг пульсацияланиш частотаси икки марта ортиши ва пульсация чуқурлиги камайиши кузатилади.

Кўриб чиқилган схемаларда тўғрилагичлардан ташқари трансформаторлар ҳам бор. Улар ҳисобига тўғрилагичларнинг вазни ва габаритлари ортиб кетади. Трансформатор схемага маъна ўзгарувчан кучланишнинг қийматини тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш билан мослаш учун уланади. Агар ўзгарувчан синусоидал кучланишнинг қиймати трансформация қилинмаган ҳолда тўғриланиши керак бўлса, 15.33-рasm, а да кўрсатилган икки ярим даврли кўприк схемадан фойдаланилади. Бу схемада тўғрилашни кўприк шаклида уланган 4 та бир хил электрон ёки ярим ўтказгичли диодлар ( $VD_1, VD_2, VD_3, VD_4$ ) бажаради. Кўприк диагоналлариининг бирига ўзга-



15.34- расм.

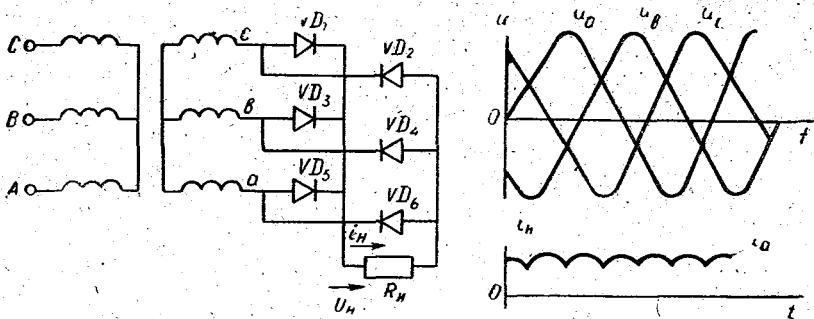
рувчан кучланиш манбаи  $U$ , иккинчисига эса истеъмолчи қаршилиги  $R_n$  уланади. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка тўғрилаш қуйидагича бажарилади. Кириш кучланишининг мусбат ярим даврида (манбанинг юқори қисмаси мусбат, пастки қисмаси манфий зарядланган) ток манбадан  $VD_2$ ,  $R_n$  ва  $VD_4$  лар орқали берилган кучланишнинг мусбат кутбидан манфий кутбига ўтади. Иккинчи ярим даврда эса ток  $VD_3$ ,  $R_n$  ва  $VD_1$  лар орқали ўтади. Бинобарин, токнинг ҳар бир ярим даврида тўғрилагичдаги маълум жуфтлик (масалан,  $VD_1$  ва  $VD_2$ ) ишлайди, иккинчи жуфтликка эса (масалан,  $VD_3$  ва  $VD_4$ ) тескари кучланиш берилган бўлади. Бунда тўғрилаш коэффициенти 15.33-расм, б да кўрсатилган схеманики каби  $U_{\text{ўр}} = U_{\text{тўғ}} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_1 dt \approx 0,9U_1$  га тенг, чунки  $U_1$  кучланиш бевосита тўғриланади ( $U_1$ —занжирнинг киришидаги кучланишнинг эффектив қиймати). Тўғриланган токнинг ўзгариш графиги 15.33-расм, в нинг ўнг томонида кўрсатилган.

15.34-расмда уч фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш схемаси ва тўғриланган уч фазали токнинг диаграммаси кўрсатилган.

15.35-расмда уч фазали токни иккита ярим даврли тўғрилаш схемаси ва тўғриланган токнинг графиги кўрсатилган. Айрим фазалардаги ток ва кучланишларни тўғрилаш қуйидагича амалга оширилади. Трансформаторнинг иккиламчи чулғамидagi фаза кучланишлари бир-бирига нисбатан  $2\pi/3$  бурчакка силжиган:

$$u_a = U_m \sin \omega t; \quad u_b = U_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right);$$

$$u_c = U_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right).$$



15.35- расм.

Бу синусоидаларнинг мусбат ярим тўлқинларидаги максимумлар даврининг учдан бир қисми ( $\frac{1}{3} T$ ) да алмашиб туради.

Шу вақт ичида бир томонлама ҳаракатланувчи  $i_a, i_b, i_c$  тоқлар ҳосил бўлади. Бу схемада  $VD_1, VD_2$  ёки  $VD_3$  диодлардан ўтувчи ток берилаётган кучланишнинг бутун мусбат ярим тўлқини даврида эмас, балки  $T/3$  ичида ўтади. Масалан,  $i_a$  тоқи  $a$  фазада  $t_1 = \frac{\pi}{6\omega}$  вақтда ҳосил бўлиб,  $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$  вақтда тугайди, ток  $i_b$  эса  $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$  вақтда ҳосил бўлиб,  $t_3 = \frac{3\pi}{2\omega}$  вақтда тугайди ва ҳоказо.

Тўғриланган кучланишнинг (токнинг) ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{\text{ўр}} = U_{\text{тўр}} = \frac{1}{T/3} \int_{t_1}^{t_2} u dt \quad \text{ёки}$$

$$U_{\text{ўр}} = \frac{3}{T} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} u dt = \frac{3}{\omega T} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin \omega t d\omega t =$$

$$= \frac{3U_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/6}^{5\pi/6} = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6}U}{6,28} = 1,17U.$$

$$I_{\text{тўр}} = \frac{U_{\text{ўр}}}{R_{\text{н}}} = \frac{1,17U}{R_{\text{н}}}.$$

Уч фазали схемада тўғриланган токнинг нульсацияланиш чуқурлиги бир фазалидагига нисбатан анча камдир. Тўғрилаш коэффициенти, яъни чиқишдаги тўғриланган  $U_{\text{тўр}} = U_{\text{ўр}}$  кучланишнинг киришдаги кучланиш  $U$  нинг эффектив қийматига нисбати ( $K_{\text{тўр}} = \frac{U_{\text{ўр}}}{U}$ ) тўғрилагичининг фазалар сони ортиши би-

лан ортиб боради ва фазалар сони  $m \rightarrow \infty$  бўлганида  $K_{\text{тўғ}} \rightarrow 1.41$  бўлади. Демак, идеал ҳолатда тўғрилланган кучланишнинг ўртача қиймати берилган ўзгарувчан кучланиш амплитудасига тенгдир.

Уч фазали кўприк схемада уч фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш жараёнини кўриб чиқамиз (15.35-расм). Агар  $VD_1, \dots, VD_6$  диодларнинг ток ўтказаетгандаги қаршиликлари ҳисобга олинмаса,  $R_n$  нинг учларидаги кучланиш уч фазали системанинг линия кучланишига тенг бўлади. Схема элементларининг уланиши  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  кучланишларнинг қиймати мусбат бўлганида ҳам, манфий бўлганида ҳам токнинг ўтишини таъминлай олади. 0 дан  $t_1$  гача бўлган вақт ичида  $U_{CB} = -U_{BC}$  кучланиш энг катта қийматга эга бўлади ва бу кучланиш таъсирида ток манбанинг  $C$  фазаси учидан  $VD_3, R_n$  ва  $VD_5$  орқали  $B$  фазанинг бошига ўтади.  $t_1 - t_2$  вақт ичида ток  $A$  фазадан  $VD_1$  ва  $VD_5$  диодлар ва  $R_n$  орқали  $B$  фазага ўтади.  $t_2 - t_3$  вақт ичида  $VD_1$  ва  $VD_6$  диодлар ишлайди,  $t_3 - t_4$  вақт ичида  $VD_2$  ва  $VD_6$ ,  $t_4 - t_5$  да  $VD_2$  ва  $VD_4$ ,  $t_5 - t_6$  вақт ичида  $VD_3$  ва  $VD_4$  диодлар ишлайди. Кейин жараён яна бошидан такрорланади.

Ҳар бир диод даврининг учдан бир қисмида узлуксиз ишлайди, бошқа вақт эса ёпиқ ҳолатда бўлади.  $t_1 - t_3$  вақт ичида  $VD_1$  ишлайди.  $t_2 - t_4$  вақт ичида  $VD_6$  ишлайди ва ҳоказо. Тўғрилланган токнинг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

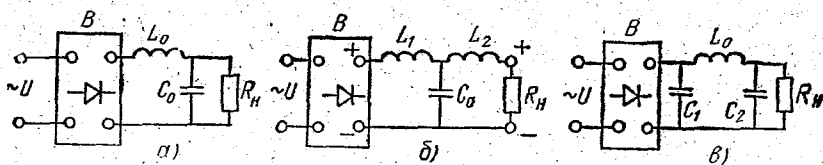
$$I_{\text{тўғ}} = \frac{U_{\text{тўғ}}}{R_n} = \frac{U_m(AB)}{R_n T/6} \int_{t_1}^{t_2} \sin \omega t dt = \frac{6I_m}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sin \omega t d\omega = \\ = \frac{3\sqrt{2}I}{\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/3}^{2\pi/3} = 1.346 I = 1.346 \frac{U_{AB}}{R_n}.$$

Занжирнинг чиқишидаги тўғрилланган кучланишнинг қиймати:

$$U_{\text{тўғ}} = I_{\text{тўғ}} R_n = 1.346 U_{AB}.$$

Демак, олти фазали кўприк схема ток ва кучланишларни нисбатан сифатли тўғрилаб беради. Шунингдек, мазкур схема трансформаторсиз бўлиб, анча соддадир.

Тўғрилланган токнинг шаклини ўзгармас ток шаклига яқинлаштириш ва, энг аввало, пульсацияланишни камайитириш ёки бутунлай йўқотиш мақсадида тўғрилагичнинг чиқишига истеъмолчидан олдин текисловчи филтрлар ўрнатилади. Тўғрилланган кучланишдаги пульсациялар эгри чизиги Фурье қаторига ёйилганида асосий ва бир нечга юқори гармоникалардан иборат бўлгани учун юқори гармоникаларни ушлаб қолиш ёки сусайтириш мақсадида схемага уланган индуктивлик ва сифимлардан фойдаланилади. Бундай схемалар *филтрлар* дейилади. Оддий филтрларнинг кенг тарқалган схемалари Г-симон,

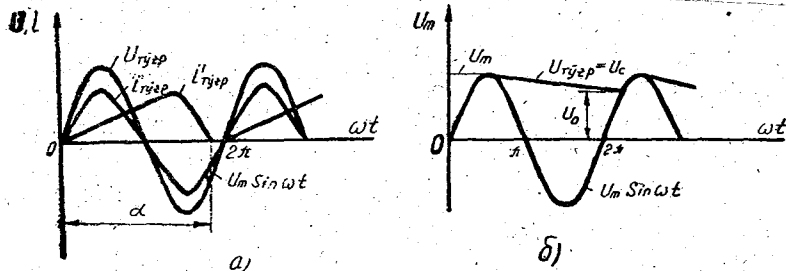


15.36- расм.

T-симон ва П-симондир (15.36- расм, а — в). Улар кетма-кет уланган индуктивлик ва параллел уланган сифим элементлардан иборатдир. Индуктивлик  $L_0$  (15.36- расм, а) токнинг ўзгарувчан ташкил этувчилари (гармоникалар) га қўшимча қаршилик кўрсатади, ўзгармас токка эса қаршилик кўрсатмайди. Сифим  $C_0$  эса, аксинча, ўзгарувчан ташкил этувчиларга қаршилиги кичик. Шунинг учун гармоникалар истеъмолчи  $R_H$  дан эмас, сифим орқали ўтади. Конденсатор эса ўзгармас токни ўтказмайди.

15.37- расм, а ва б да индуктив ва сифим филтрлар ёрдамида текисланган ток ва кучланиш графиклари кўрсатилган.  $R_H - L_0$  занжирдаги ўтиш жараёни ҳисобига ток  $I_{\text{тўғ}}$  нинг ярим тўлқини тўғриланган кучланиш  $U_{\text{тўғ}}$  нинг ярим тўлқинидан фаза жиҳатдан орқада қолади. Шу сабабли бу токнинг оқиб ўтиш вақти фаза жиҳатдан  $\alpha > \pi$  бурчакка ортади ва  $\pi$  дан  $2\pi$  гача бўлган пауза қисман тўлатилади.

Параллел уланган сифимнинг тўғриланган кучланишга таъсири 15.37- расм, б да кўрсатилган 0 дан  $\pi/2$  гача бўлган фазада тўғриланган кучланиш 0 дан  $U_m$  гача ортади ва конденсаторни  $U_c = U_m$  гача зарядлайди.  $\pi/2$  дан  $\pi$  гача бўлган кейинги фазада кучланиш  $U_m$  дан 0 гача камаяди. Бу вақт ичида конденсатор истеъмолчи  $R_H$  орқали зарядсизланиб улгурмайди ва  $\pi$  дан  $2\pi$  гача бўлган фаза давомида зарядланиш давом этади. Бу вақт ичида конденсатор кучланиш  $U_0$  гача зарядсизланади. Бу кучланишнинг қиймати конденсаторнинг вақт доимийси  $\tau = R_H C$  га боғлиқдир. Шунинг ҳисобига кучланиш  $U_{\text{тўғ}} = U_c$  филтрсиз тўғриланган кучланиш ўртача қийматидан ортиб кетади.

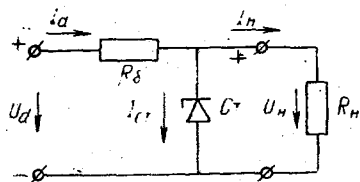


15.37- расм.

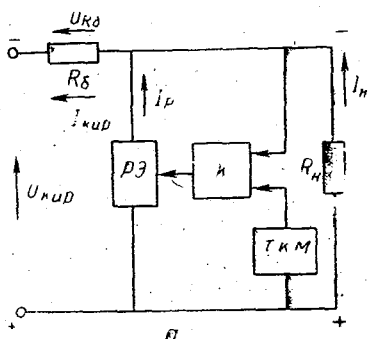


Шундай қилиб, текисловчи филтрлардан фойдаланиш чиқишдаги токнинг (кучланишнинг) пульсациясини камайтириши билан бирга, тўғрилаш коэффициентини ҳам бир қанча орттиради (айниқса, ярим даврли схемалар учун).

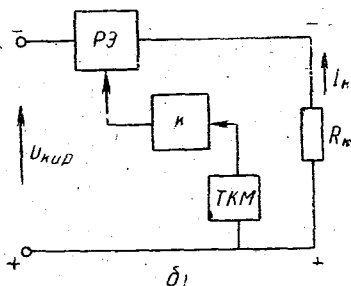
Агар тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланишнинг мўтадиллиги талаб қилинса, у ҳолда тўғрилагич билан истеъмолчининг орасига *кучланиш стабилизатори* уланади. Стабилизаторлар параметрик ва компенсацион хилларга бўлинади. Параметрик стабилизаторларда стабилизатор турдаги асбоблардан фойдаланилади. Бу асбобларда токнинг қиймати ўзгаргани билан кучланиш ўзгармайди. Компенсацион стабилизаторларда истеъмолчига берилаётган кучланишни автоматик ростлаш принциpidан фойдаланилади.



15.38-расм.



в



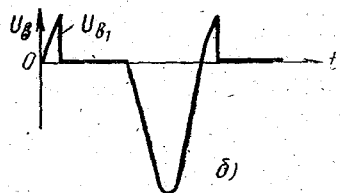
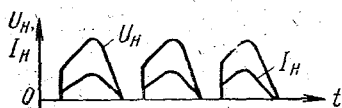
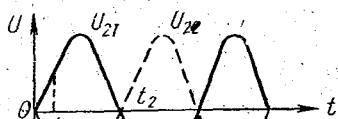
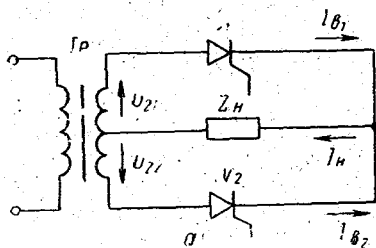
б1

15.39-расм.

Параметрик кучланиш стабилизатори балласт қаршилиқ  $R_6$  ва стабилитрондан тузилган (15.38-раем). Манба кучланишнинг ёки истеъмолчи қаршилигининг ўзгариши тўғриланган кучланиш  $U_d$  нинг ўзгаришига сабаб бўлиши мумкин. Бироқ истеъмолдаги кучланиш ( $U_n$ ) ўзгармайди, чунки бу кучланиш стабилитроннинг тескари кучланишига боғланган. Стабилизаторни ҳисоблаш истеъмолдаги кучланишга қараб стабилитрон турини ва балласт қаршилиқ ( $R_6$ ) нинг қийматини танлашдан иборатдир.

Кучланишни стабиллашнинг сифат кўрсаткичи стабиллаш коэффициентидир. Бу коэффициент чиқишдаги кучланишнинг нисбий ўзгаришини кўрсатади:  $K_{ст} = \frac{\Delta U_d}{U_d} : \frac{\Delta U_n}{U_n}$ . Одатда,  $K_{ст} = 20 \div 50$  бўлади.

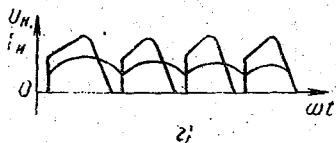
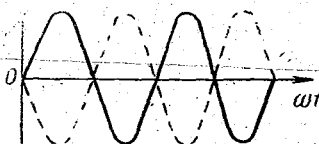
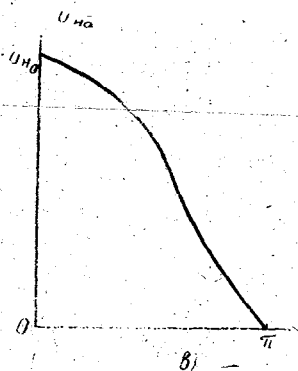
Компенсацион кучланиш стабилизатори (ҚКС) нинг ишлаши истеъмолчидаги кучланишнинг ўзгариши ростловчи элемент (РЭ) га узатилишига асосланган. Бу элемент кучланиш-



нинг ўзгаришига тўсқинлик қи-  
лади. 15.39-расмда, компенсаци-  
он кучланиш стабилизаторининг  
параллел ва кетма-кет уланиш  
схемалари кўрсатилган. РЭ га  
ўзгармас ток кучайтиргичи (К)  
ва таянч кучланиш манбаи (ТКМ)  
дан ташкил топган бошқариш  
схемаси таъсир этади. ТКМ  
ёрдамида истеъмолчидаги куч-  
ланиш таянч кучланиши билан  
таққосланаётган кучланишлар-  
нинг айирмасини кучайтириб РЭ  
га узатади. 15.39-рasm, б даги  
схемада РЭ истеъмолчи билан  
кетма-кет уланган. Бунда РЭ  
даги кучланишнинг ўзгариши исте-  
ъмолчи кучланишининг стабил-  
лигини таъминлаб беради. РЭ ва  
истеъмолчидан бир хил ток ўта-  
ди. РЭ нинг қаршилиги кучай-  
тиргичнинг чиқиш кучланиши  
таъсирида ўзгаради.

Компенсацион кучланиш ста-  
билизаторларининг стабиллаш  
коэффициенти нисбатан юқори,  
чиқиш қаршилиги эса парамет-  
рикларни кига қараганда анча ки-  
чик.

1-масала. 15.33-расмда кўр-  
сатилган бир фазали, иккита  
ярим даврли тўғрилагич учун  
тўғриланган кучланишнинг ўрта-



15.40-расм.

ча қиймати  $U_d = 400$  В, тўғриланган токнинг ўртача қиймати эса  $I_d = 0,1$  А, манба кучланишининг таъсир этувчи қиймати  $U = 127$  В, частотаси 50 Гц, тўғрилагичнинг иш температураси  $t \leq 50^\circ\text{C}$  бўлса, қуйидагилар аниқлансин: ҳар бир вентиладан ўтаётган тўғриланган токнинг қиймати  $I_a$ ; тўғриланган токнинг максимал қиймати  $I_{\max}$ ; вентилдаги тескари кучланишнинг максимал қиймати  $U_{m\text{ тес}}$ ; трансформатор иккиламчи чулғамининг бир бўлагидаги кучланишнинг таъсир этувчи қиймати  $U_2$ ; трансформаторнинг иккиламчи чулғамидан ўтаётган токнинг таъсир этувчи қиймати  $I_2$ ; трансформатор бирламчи чулғамининг қуввати  $P_1$ ; иккиламчи чулғамнинг қуввати  $P_2$ ; бирламчи чулғам токи  $I_1$ ; истеъмолчи қаршилиги  $R_{и}$ .

*Ечилиши.*  $I_a = 0,5$   $I_d = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05$  А;

$$I_m = \frac{\pi}{2} I_d = \frac{\pi}{2} \cdot 0,1 = 1,57 \cdot 0,1 = 0,157 \text{ А};$$

$$U_{m\text{ тес}} = 3,14 U_d = 3,14 \cdot 400 = 1256 \text{ В};$$

$$U_2 = 1,11 U_d = 1,11 \cdot 400 = 444 \text{ В};$$

$$I_2 = 0,785 I_d = 0,785 \cdot 0,1 = 0,0785 \text{ А};$$

$$P_1 = 1,48 P_0 = 1,48 U_d I_d = 1,48 \cdot 400 = 59,2 \approx 60 \text{ Вт};$$

$$P_2 = 2U_2 I_2 = 2 \cdot 444 \cdot 0,0785 = 70 \text{ Вт}, P_1 \approx P_2 = 70 \text{ Вт};$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{70}{127} = 0,55 \text{ А};$$

$$R_{и} = \frac{U_d}{I_d} = \frac{400}{0,1} = 4000 \text{ Ом}.$$

## 15.7. ТИРИСТОРЛИ ЎЗГАРТИРГИЧЛАР

Ҳозирги замон электр энергетикасида тиристорли ўзгартиргичлардан кенг фойдаланилади. Улар ўзгартирувчан токни тўғрилаш, ўзгармас токни инверторлаш, ток частотасини ўзгартириш учун ишлатилади. Дастлаб тиристорли ўзгартиргичлардан ўзгармас ток двигателларига ўзгармас кучланиш беришда фойдаланилган. Тиристорли ўзгартиргич ёрдамида ўзгармас ток двигателларига берилаётган кучланишни ўзгартириб двигателнинг айланиш тезлигини бошқариш мумкин. Бошқариладиган тўғрилагичлардан шу мақсадда фойдаланилади. Бу тўғрилагичларда тиристор бошқариладиган вентиль вази-фасини бажаради. Бир фазали иккита ярим даврли бошқариладиган тўғрилагичнинг ишланишини кўриб чиқамиз (15.40-расм, а). Мазкур тўғрилагичнинг схемаси бошқарилмайдиган тўғрилагичникидан деярли фарқ қилмайди. Фақат вентиль элементи сифатида тиристордан фойдаланилган. Ток даврнинг биринчи ярмида  $V_1$  вентиладан, иккинчи ярмида эса  $V_2$  дан ўтади. Истеъмолчидаги ток ва кучланишнинг йўналиши ўзгармасдир. Бошқариладиган вентилярнинг қўлланиши кучланиш қийматини ростлаш имкониин беради. Вентиль унга очувчи

импульс берилганидан кейингина уланади. Бу импульс вентилнинг табиий уланиш вақтида эмас, балки қандайдир кечикиш билан берилади. Вентилнинг табиий уланиш вақтидан бошлаб ҳисобланадиган кечикиш бурчаги  $\alpha$  бошқариш бурчаги дейилади ва электрик градусларда ўлчанади.

Тўғрилагичга актив характерга эга бўлган истеъмолчи уланган бўлсин.  $t=0$  вақтда  $V_1$  ва  $V_2$  вентиллар ёпиқ, истеъмолчидан ток ўтмайди.  $t=t_1$  бўлганда  $V_1$  вентилга оқувчи импульс берамиз. Бунда вентиль ва истеъмолчидан ток ўтади. Истеъмолчидаги кучланиш кескин ортади ва шу лаҳзада трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги  $u_{21}$  кучланишга тенглашади (15.40-рasm, б). Кейин истеъмолчининг кучланиши трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланишнинг ўзгариш қонунига биноан ўзгаради.  $t=t_2$  бўлганда  $u_{21}$  кучланиш нолга тенг бўлиб, ўз йўналишини ўзгартиради. Вентиль  $V_1$  даги ток камайиб, нолга тенглашади ва у ёпилади. Истеъмолчидаги ток ва кучланиш нолга тенглашади ва иккинчи вентиль  $V_2$  га оқувчи импульс берилмагунча ўзгармайди.  $V_2$  га оқувчи импульс берилганда истеъмолчидан ток ўтади ва ундаги кучланиш трансформаторнинг шу вақтдаги иккиламчи чулғамидаги кучланиш  $u_{22}$  га тенг бўлади. Истеъмолчидаги кучланиш мазкур чулғамдаги кучланишнинг ўзгариш қонуни бўйича ўзгаради. Вентиль  $V_2$  дан ўтаётган ток нолга тенг бўлганда истеъмолчидаги ток ва кучланиш ҳам нолга тенг бўлиб қолади. Истеъмолчидаги ток ва кучланиш тўғриланган ва пульсацияланувчидир. Тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{\text{на}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_{21} \sin \omega t d \omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (1 + \cos \alpha)$$

$$\frac{2\sqrt{2} U_{21}}{\pi} = U_0 = 0,9 U_{21} \text{ эканлигини ҳисобга олсак,}$$

$$U_{\text{на}} = \frac{U_0}{2} (1 + \cos \alpha)$$

деб ёзиш мумкин.

$\alpha=0$  бўлганда истеъмолчидаги кучланиш бошқарилмайдиган тўғрилагичларникидаги каби  $U_0$  га тенг,  $\alpha=180^\circ$  бўлганда  $U_{\text{на}}=0$ .  $\alpha$  нинг қийматини 0 дан  $180^\circ$  гача ўзгартириб,  $U_{\text{на}}$  нинг турли қийматларини олиш мумкин (15.40-рasm, в).

Тўғриланган токнинг ўртача қиймати:

$$I_{\text{ур}} = \frac{U_{\text{на}}}{R_{\text{н}}} = \frac{U_0}{R_{\text{н}}} \frac{1 + \cos \alpha}{2}.$$

Вентилдаги тўғри кучланиш  $\alpha$  га боғлиқдир.  $\alpha=90^\circ$  бўлганда тўғри кучланиш максимал қийматга эга. Вентилдаги максимал тесқари кучланиш трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги линия кучланишининг амплитудасига тенгдир:

$$U_{\text{тес}} = \sqrt{2} U_2 = 2\sqrt{2} U_{21}.$$

Истеъмолчидаги кучланиш истеъмолчининг характерига боғлиқдир. Агар истеъмолчи актив-индуктив характерга эга бўлса,  $V_1$  ва  $V_2$  венти́лларнинг ёпиқ ҳолатида ҳам истеъмолчидан ток ўтади. Индуктив истеъмолчининг магнит майдони энергияси ҳисобига ток узлуксиз бўлади.

Истеъмолчидаги кучланиш қуйидагича аниқланади:

$$U_{\text{на}} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} U_{21} \sin \omega t \, d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_{21}}{\pi},$$

$$[-\cos(\pi + \alpha) + \cos \alpha] = \frac{2\sqrt{2} U_{21}}{\pi} \cos \alpha = U_0 \cos \alpha.$$

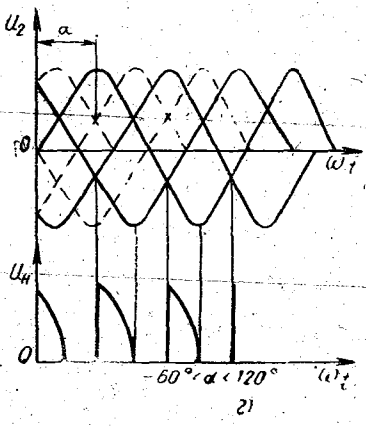
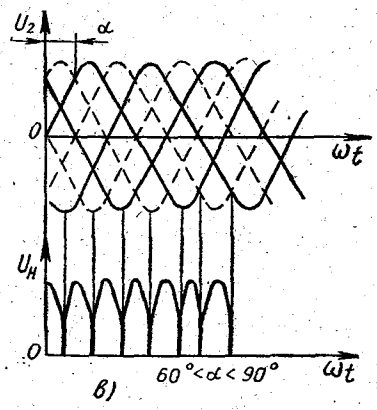
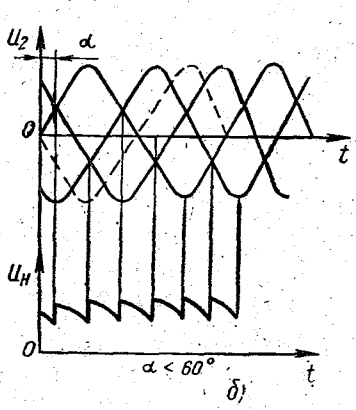
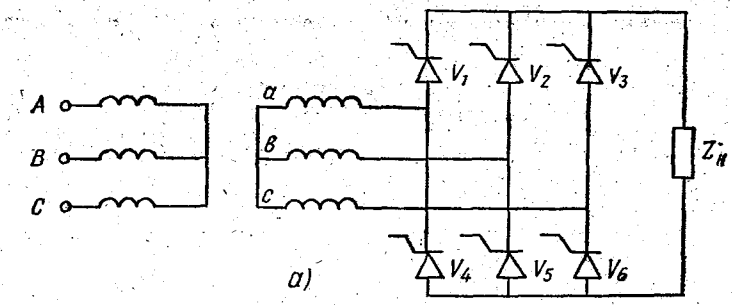
Тўғриланган кучланишнинг қиймати, истеъмолчининг характерида қатъи назар,  $\alpha$  га боғлиқдир. Истеъмолчи ва венти́лдаги кучланишларнинг эгри чизиқлари 15.41-расмда келтирилган. Венти́ль  $V_1$  ни улашдан олдин унга трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги  $U_{21}$  тўғри кучланиш берилади.  $\alpha = \omega t$  бўлганида  $V_1$  очилади ва ундаги кучланишнинг пасаюви нолга тенг бўлади.  $\omega t_2 = 180^\circ$  бўлганида  $V_1$  ёпилади ва трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш остида бўлади.  $V_2$  даги кучланиш қиймати  $V_1$  даги кучланиш каби бўлади, фақат фаза жиҳатдан ярим даврга силжийди.

Уч фазали токни тўғрилаш учун чулғамнинг ўртасидан сим чиқарилган схема ва кўприк схемалардан фойдаланилади. Кўприк схемали бошқариладиган тўғрилагичнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.41-расм). Схемادا уч фазали трансформатор ва олти та венти́лдан фойдаланилган. Бунда ҳамма вақт жуфт венти́ллар ишлайди, масалан,  $V_1$  ва  $V_4$ ,  $V_2$  ва  $V_5$ ,  $V_6$  ва  $V_3$  ва ҳоказо. Схеманинг нормал ишлаши учун тегишли венти́лларга очувчи бошқариш импульсларини баварарига бериш лозим. Бошқариш бурчаги  $\alpha < 60^\circ$  бўлганида тўғриланган кучланиш узлуксиздир,  $\alpha > 60^\circ$  бўлганда эса узлуклидир. Кучланишнинг қиймати  $\alpha < 60^\circ$  бўлганида  $U_{\text{на}} = U_0 \cos \alpha$  ( $U_0$  — уч фазали бошқарилмайдиган тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш),  $\alpha > 60^\circ$  бўлганда эса

$$U_{\text{на}} = U_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right].$$

Шундай қилиб, бошқариш бурчаги  $\alpha$  ни ўзгартириш орқали тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланишнинг қийматини ўзгартириш мумкин. Бошқариладиган тўғрилагичлар ўзгармас ток электр юритмаларини бошқаришда ишлатилади. Г—Д системалардаги генератор ўрнига бошқариладиган тўғрилагич ўрнатиб, унинг чиқиш кучланишини бошқариш орқали электр юритманинг тезлигини бошқариш мумкин. Катта қувватли тиристорларни симобли тўғрилагичлар ўрнида ишлатиш мумкин.

Юқорида қайд этилганидек, тиристорли тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш тиристорнинг бошқариш бурчагига боғлиқдир. Тиристорни очиш учун сигнал бошқариш системаси-

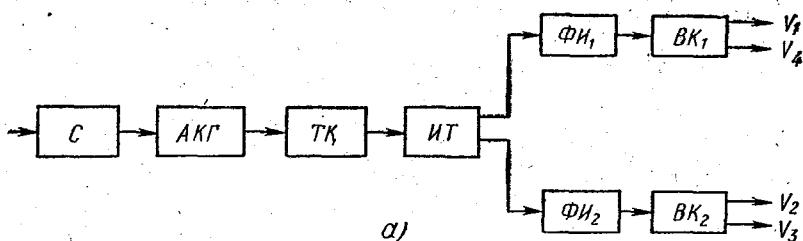


15 41- расм.

дан берилди. Бошқариш системасининг вазифаси қуйидагилардан иборат:

- импульснинг вентилни очишга етарли бўлган ток ва кучланиш амплитудасини таъминлаш;
- бошқариш импульсларининг тиклигани таъминлаш;
- бошқариш импульсларининг фазалар бўйича симметрик бўлишини таъминлаш;
- ростлашни кенг доирада амалга ошириш.

Бошқарувчи импульс тиристорнинг очилиш бурчакниги ростлайди. Тиристорнинг ёпилиши эса анод токи нолга тенг бўлганида ўз-ўзидан рўй беради. Шу сабабли, бошқариш импульслари қисқа, лекин анод токи ишлаб кетиш токига тенг бўлишини таъминлаб берадиган вақт ичида таъсир этиши керак.

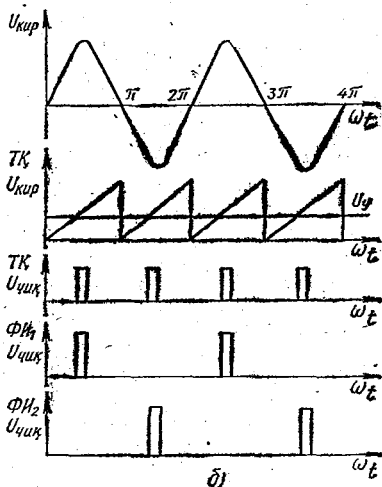


а)

Қандай элементлардан тузилганлигига қараб бошқариш системаси электромагнит ва ярим ўтказгичли системаларга бўлинади. Электромагнит системаларга импульсларда ҳосил қилувчи ва фаза силжитувчи тузилмалар сифатида ферромагнит элементлар ишлатилади. Ярим ўтказгичли системалар транзисторли ёки кичик қувватли схемалардан иборатдир.

Бошқарувчи импульслар бир ёки бир неча каналда ишлаб чиқарилишига қараб бошқариш системалари бир ва кўп каналли хилларга бўлинади.

Бошқариш системалари бошқарувчи импульснинг фазаси қандай ўзгаришига қараб горизонтал, вертикал ва рақамли системаларга бўлинади. Горизонтал бошқариш системасида



б)

15.42- расм.

бошқарувчи импульс синусоидал кучланиш нолга тенг бўлган вақтда ҳосил қилинади. Импульснинг фазаси синусоидал кучланишнинг фазасини ўзгартириш йўли билан ўзгартирилади. Вертикал бошқариш системасида бошқарувчи импульс ўзгарувчан ва ўзгармас кучланишларни таққослаш натижасидан келиб чиқиб ҳосил қилинади. Импульс мазкур кучланишлар ўзаро тенглашганида ҳосил бўлади. 15.42- расм, а да бир фазали кўприк тўғрилагични бошқарадиган вертикал бир каналли системанинг структура схемаси кўрсатилган. Тиристорлардаги кучланиш тўғри уланганда С синхронизаторнинг киришига  $U_{кр}$  кучланиш берилади. Сигнал синхронизатордан ўзгарувчан ток генератори АКГ (аррасимон кучланишлар генератори) га узатилади. АКГ аррасимон кучланиш ишлаб чиқариб, уни таққослаш қурилмасига (ТҚ) узатади. ТҚ да бу кучланиш ўзгармас кучланиш билан таққосланади. Аррасимон ва ўзгармас кучланишлар ўзаро тенглашганида ТҚ импульс ишлаб чиқаради ва уни импульсларни тақсимловчи (ИТ) га

узатади. ИТ импульсни импульс ҳосил қилувчи ИХҚ<sub>1</sub> ёки ИХҚ<sub>2</sub> га узатади. Уларда импульс шаклланиб, чиқиш каскадлари ЧҚ<sub>1</sub> ва ЧҚ<sub>2</sub> орқали тиристорларга узатилади.

Рақамли бошқариш системалари, бошқарувчи импульслар фазасини рақамли код шаклида ишлаб чиқаради. Бу код вентили ўзгартиргичнинг рақамли бошқариш системасидаги хотира қурилмасига ёзиб олинади. Сўнгра у импульслар фазасига айлантирилади. Рақамли бошқариш системаси, асосан, ўзгартиргич автоматик ростлаш системасининг бир қисми бўлганда ишлатилади.

## 15.8. ИНВЕРТОРЛАР

Кўпинча, ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантириш талаб этилади. Ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантириб берувчи қурилма *инвертор* деб аталади.

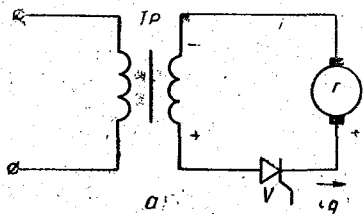
Инверторлар ўзгармас ток занжиридаги энергияни ўзгарувчан ток занжирига узатиши мумкин. Бунда инверторнинг иши манбанинг ўзгарувчан кучланиши билан белгиланади. Инвертор эса манбага боғланган дейилади. Агар инвертор истеъмолчини манба билан боғланмаган ҳолда энергия билан таъминласа, у автоном инвертор дейилади.

Инверторлаш жараёни тўғрилаш жараёнига тескаривдир. Шу боис инверторлаш жараёнини бошқариладиган ярим даврли тўғрилагич мисолида қўриб чиқиш мумкин (15.43-расм). Ўзгармас ток генератори трансформатор ТР нинг иккиламчи чулғами билан вентиль  $V$  орқали боғланган. ТР нинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш синусоидал қонун бўйича ўзгаради.  $V$  фақат  $|a_2| > |E_g|$  бўлгандагина ишлайди. Бунда ток трансформаторнинг иккиламчи чулғамидан генератор ( $G$ ) га оқиб ўтади. Бу эса тўғрилаш режимига мос келади (15.43-расм,  $a$ ). Агар генератор ЭЮК нинг қутбларини ўзаро алмаштирсак ва тиристорнинг бошқариш бурчагини  $\alpha > 180^\circ$  қилсак, ток генератордан трансформаторга оқиб ўтади. Мазкур ток фаза жиҳатдан трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш билан мос тушади. Схема инвертор режимда ишлайди (15.43-расм,  $b$ ). Бунда  $E_g > U_2$ .

Демак, ўзгартиргич тўғрилаш режимидан инверторлаш режимига ўтиши учун, биринчидан, генератор ЭЮК ининг йўналишини ўзгартириш ва  $E_g > U_2$

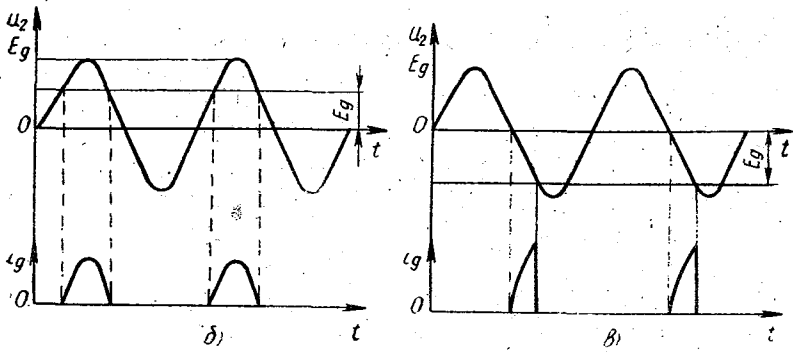
бўлишини таъминлаш, иккинчидан, тиристorni бошқарув бурчаги  $\alpha$  ни  $180^\circ$  дан катта қилиб олиш керак.

Манба билан боғланган инверторнинг ишлашини бир фаза ли инвертор мисолида кўриб чиқамиз (15.44-расм). Трансфор-



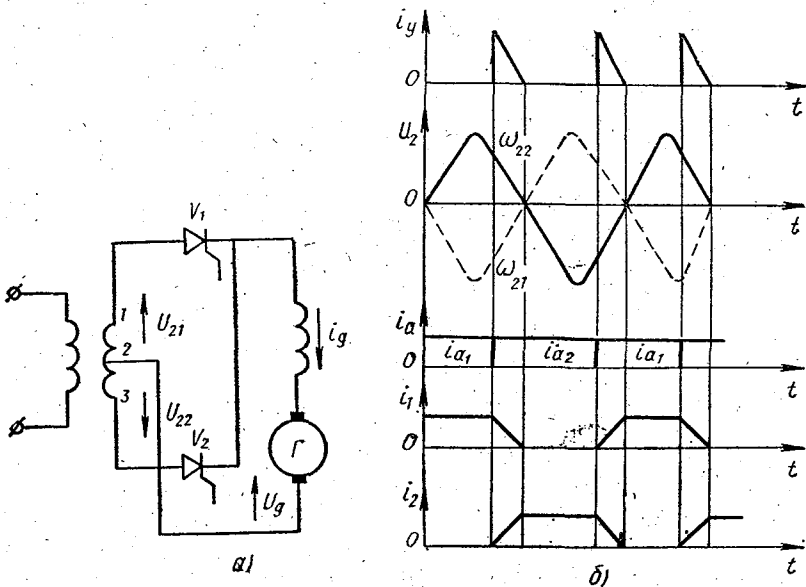
15.43- расм.





15.43- расм

маторнинг иккиламчи чулғамига иккита вентиль ( $V_1$  ва  $V_2$ ), генератор ( $\Gamma$ ) уланган. Вентиль  $V$  очик бўлиб,  $u_{21}$  кучланиш манфий қийматга эга бўлса, ток трансформаторнинг 1—2 учларига мусбат потенциалга эга бўлган учидан кириб келади. Бунда энергия генератор  $\Gamma$  дан ўзгарувчан ток манбаига узатилади. Инвертор учун чиқиш кучланиши бўлмиш  $U_g$  вентил  $V_1$  ёпилмагунича  $u_{21}$  нинг ўзгариш қонуни бўйича ўзгаради. Кейинги ярим давр ичида трансформаторнинг 2—3 учларида манфий ишорали  $u_{22}$  кучланиш бўлади. Импульс ёрдамида вентиль  $V_2$  ни очилади. Ток вентиль  $V_2$  дан ўтиб, трансформатор 2—3 чулғамининг охиридан бош учига оқиб ўтади. Бунда энергия



15.44- расм.

яна генератор Г дан манбага узатилади. Вентиль  $V_1$  га иккиламчи чулғамнинг тўлиқ кучланиши берилган бўлиб, мазкур кучланиш  $V_1$  учун тескардир. Бунда вентиль  $V_1$  ёпилади.

Ўзгартиргич инвертор режимида ишлаганида очилиши илгарилатиш бурчаги деган тушунча киритилади. Бу бурчак  $\beta$  билан белгиланади ( $\beta = \pi - \alpha$ ). Ҳар бир вентилнинг очилиш бурчаги  $u_{21}$  ва  $u_{22}$  кучланишлар нолга тенг бўлган лаҳзадан бошлаб  $\beta$  бурчагига чапга силжиган. Бунда бир вентиль беркилганида иккинчисининг бир зумда очилиши таъминланади. Шунинг ҳисобига трансформатор чулғамларидаги ток узлуксиздир. Тиристорларнинг нормал ишлаши учун  $\beta > \gamma + t_{yc}$  шарт бажарилиши керак. Бу ерда  $\gamma$  — тиристорнинг коммутация бурчаги,  $t_{yc}$  — тиристор ёпилиш хоссаларининг қайта тикланиш вақти.

Инвертор кучланишининг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{нв} = \frac{1}{\pi} \int_{-\beta}^{\beta} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = -U_{но} \cos \beta,$$

бу ерда  $U_{но} = 0,9U_2$  —  $\beta = 0$  бўлгандаги кучланишнинг ўртача қиймати.

$\beta$  ни  $\alpha$  орқали ифодаласак:

$$U_{нв} = -U_{но} \cos(\pi - \alpha) = U_{но} \cos \alpha = U_{на}.$$

Кучланишнинг ўртача қиймати тўғрилагичники каби аниқланади:

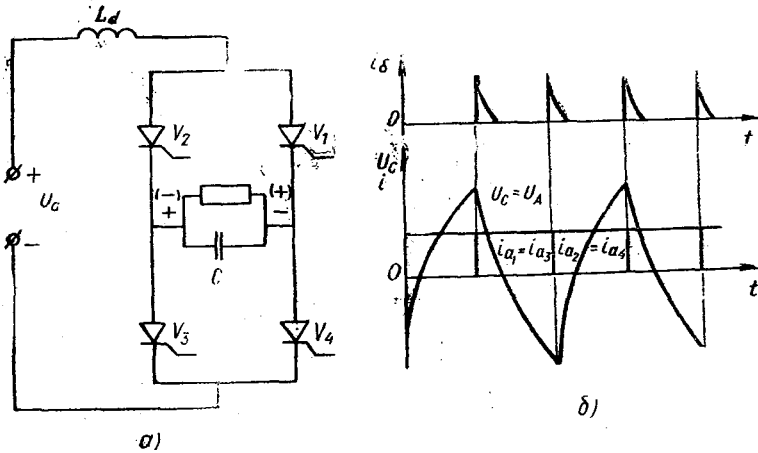
$$U_{на} = U_{но} \cos \alpha.$$

$\alpha > \frac{\pi}{2}$  бўлганда ўзгартиргич инвертор режимида ишлайди.

$\alpha < \frac{\pi}{2}$  бўлганда ўзгартиргич тўғрилаш режимида ишлайди.

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  бўлганда, ўзгартиргич фақат реактив қувват ишлаб чиқаради ( $U_{на} = 0$  бўлади).

Иккита-бир хил тиристорли ўзгартиргичларнинг очилиш бурчакларини ростлаш орқали улардан бирини тўғрилагич, иккинчисини эса инвертор сифатида ишлатса бўлади. Ўзгармас ток ЭУЛ (электр узатиш линиялари) да тўғрилагич сифатида ишловчи тиристорли ўзгартиргичлар ўрнатилади, Улар уч фазали ўзгарувчан токни пульсацияланувчи ўзгармас токка айлантириб беради. ЭУЛ орқали ўзгармас ток узатилади. Линиянинг охирида инвертор режимида ишловчи тиристорли ўзгартиргич ўрнатилади. У пульсацияланувчи ўзгармас токни уч фазали ўзгарувчан токка айлантиради. Бунда тўғрилагич ҳам,



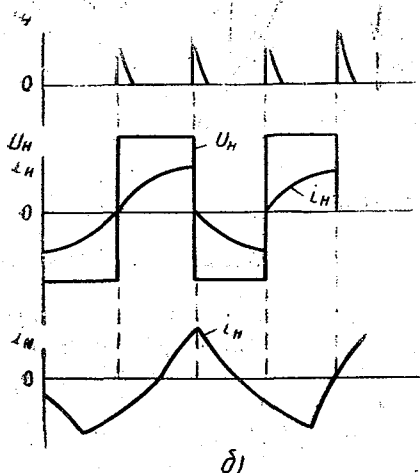
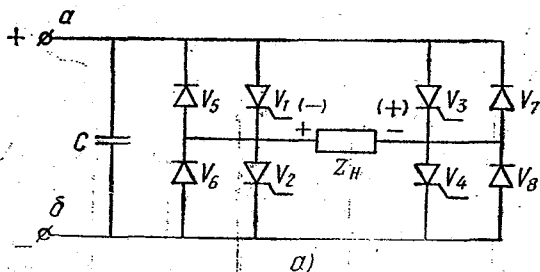
15.45- расм.

инвертор ҳам бир хил тиристорларга эга бўлиб, секциялардан ййгилади.

Тиристорли ўзгартиргичлар ўзгармас ток двигателларининг тезлигини бошқариш ва айланиш йўналишини ўзгартиришда кенг қўлланади.

Мустақил ишловчи инверторлар автоном инверторлар дейилади. Автоном инверторлар ток инверторлари ва кучланиш инверторларига бўлинади. Ток инверторлари ўзгармас ток манбаига катта индуктивликка эга бўлган дроссель орқали уланади. Ток инверторининг кириш занжиридаги токнинг қиймати ўзгармасдир. 15.45- расмда кўрсатилган ток инверторининг иш-лаши билан танишиб чиқамиз.

Киришдаги дроссель индуктивлиги  $L_d \rightarrow \infty$ . Кириш токи ўзгармас ( $i_d = I_d$ ). Вақт  $t = t_1$  бўлганда  $V_1$  ва  $V_3$  вентиллар очик бўлса, ток бу вентиллар орқали  $Z_u$  истеъмолчидан ўтади. Истеъмолчига конденсатор  $C$  параллел уланган. Бунда унинг ўнг қопламаси мусбат, чап қопламаси манфий потенциалга эга бўлади. Вақт  $t = t_2$  бўлганда  $V_2$  ва  $V_4$  вентилларга бошқариш импульси берилади. Вентиллар  $V_1$  ва  $V_3$  ёпилишга улгурмаганда конденсатор вентиллар орқали қисқа туташган бўлиб қолиб, зарядсизланади. Конденсаторнинг зарядланиш токининг йўналиши  $V_2$  ва  $V_4$  вентиллардаги токнинг йўналиши билан мос тушади,  $V_1$  ва  $V_3$  вентиллардан ўтувчи токка эса тесқаридир. Вентиллар  $V_1$  ва  $V_3$  ёпилади. Бунда  $V_2$  ва  $V_4$  вентиллардан ўтувчи ток  $i = I_d$  бўлади. Конденсатор қайта зарядланади. Энди унинг ўнг қопламаси манфий потенциалга, чап қопламаси эса мусбат потенциалга эга бўлади (15.45- расм. б). Конденсатор кучланиши ўзгарувчан бўлгани учун истеъмолчидаги кучланиш ҳам ўзгарувчан ва унинг



15.46- расм.

эффектив қиймати  $U = \frac{U_d}{0,9 \cos \psi}$  бўлади. Бу ерда  $\psi$  — инверторланган кучланиш ва инверторланган токнинг асосий гармоникалари орасидаги бурчак. Кириш кучланиши ўзгармас бўлганда чиқиш кучланиши  $U$  бурчак  $\psi$  нинг қийматига боғлиқдир. Чиқиш кучланишининг шакли истеъмолчи характерига ва  $C$  сифимнинг қийматига боғлиқдир.

Кучланиш инверторларида кириш кучланишининг ўзгармас бўлишини таъминлаш учун улар

манбага конденсатор  $C$  орқали уланади. 15.46- расмда автоном кучланиш инверторининг схемаси кўрсатилган.  $V_1$  ва  $V_4$  вентиллар очик бўлганида ток  $V_1$  вентиль,  $Z_H$  истеъмолчи ва  $V_4$  вентиллар орқали ўтади. Бу вақтда  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар ёпиқ бўлади. Истеъмолчидаги ток  $V_1$  вентилга уланган учликдан  $V_4$  вентилга уланган учликка оқиб ўтади. Агар истеъмолчи актив характерга эга бўлса, ток кучланишнинг шаклини такрорлайди. Агар истеъмолчи актив-индуктив характерга эга бўлса,  $V_1$  ва  $V_4$  вентиллар ёпилиб,  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар очилганида ток ўз йўналишини сақлаб қолишга ҳаракат қилади. Бунда у қисман  $V_4$  ва  $V_6$  вентиллар, қисман  $V_1$  ва  $V_7$  вентиллар орқали туташади ва нолга тенглашади. Манбадан келадиган ток очилган  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар орқали истеъмолчидан ўтади. Мазкур токнинг йўналиши олдинги токникага нисбатан қарама-қаршидир. Сўнгра  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар ёпилиб,  $V_1$  ва  $V_4$  вентиллар очилади ва жараён такрорланади. Бошқарилмайдиган  $V_5$ ,  $V_6$ ,  $V_7$  ва  $V_8$  вентиллар бошқариладиган вентилларни шунтлаш учун ишлатилади. Истеъмолчидаги ток

ва кучланишларнинг ўзгариш графиги 15.46-расмда кўрсатилган.

### 15.9. ЧАСТОТА ЎЗГАРТИРГИЧЛАР

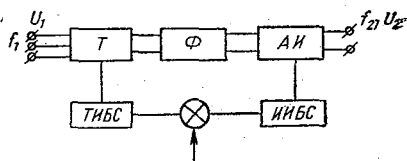
Частота ўзгартиргичлар маълум частотали ўзгарувчан токнинг частотасини ўзгартириш учун хизмат қилади. Тиристорли частота ўзгартиргичлар икки турга: оралиқда ўзгармас ток занжири бўлган ва бевосита боғланган ўзгартиргичларга бўлинади.

Оралиқда ўзгармас ток занжири бўлган ўзгартиргичлар иккита ўзгартиргичдан иборат. 15.47-расмда мазкур частота ўзгартгичнинг структура схемаси кўрсатилган. Частотаси  $f_1$  бўлган ўзгарувчан кучланиш ( $U_1$ ) тўғрилагич ёрдамида ўзгармасга айлантирилади ва Фильтр  $\Phi$  ёрдамида текисланиб, автоном инвертор (АИ), га берилади. Мазкур ўзгармас кучланиш инвертор ёрдамида частотаси  $f_2$  бўлган кучланиш ( $U_2$ ) га айлантирилади.  $U_2$  нинг қиймати тўғрилагич ёрдамида, частотаси эса АИ ёрдамида бошқарилади. ТИБС (тўғрилагичнинг ишлашини бошқариш системаси) ва ИИБС (инверторнинг ишлашини бошқариш системаси) частотани кенг оралиқда бошқариш имконини беради.

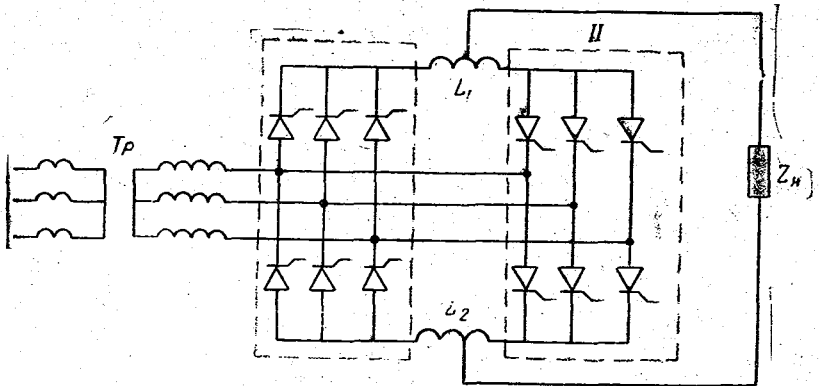
Частота ўзгартиргичлар айланиш частотаси катта оралиқда ўзгарадиган электр двигателларни таъминлашда ишлатилади. Бу ўзгартиргичларнинг тузилиши анча содда. Уларнинг асосий камчилиги иккита ўзгартириш бўғинининг мавжудлиги, ФИК нининг нисбатан кичиклиги ҳамда бошқариш системасининг катталлиги ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда бевосита боғланган ўзгартиргичлар ишлаб чиқарилмоқда. Бевосита боғланган тиристорли ўзгартгичлар чегараловчи  $L_1$  ва  $L_2$  реакторлар орқали параллел уланган икки гуруҳ тиристорлардан иборатдир. Ҳар бир тиристорлар гуруҳи гоҳ тўғрилагич, гоҳ инвертор режимида ишлайди. Маълум вақт ичида биринчи гуруҳ вентиллари очиш бурчаги  $\alpha_1 < \frac{\pi}{2}$  бўлса, бу вентиляр тўғрилагич режимида ишлайди.

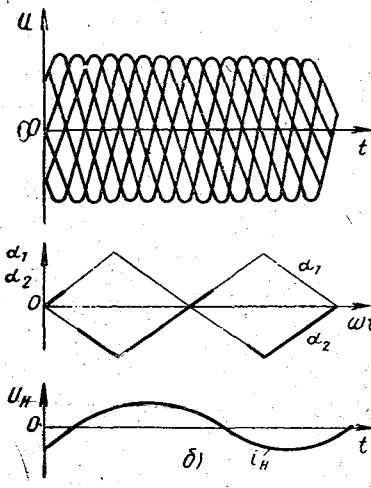
Иккинчи гуруҳ вентилярнинг очилиш бурчаги  $\alpha_2 = \pi - \alpha_1 = \beta_1$ . Улар инвертор режимида ишлайди, кейин улар алмашади. Маълум частота билан вентилярни очиш бурчагини даврий равишда ўзгартириб, тўғрилаш ва инверторлаш режимлари бошқарилса, ўзгартиргичнинг чиқинидан ўзгарувчан кучланиш олиш мумкин. Бу кучланиш асосий гармониканининг частотаси ва амплитудаси бошқариш сигналининг частота ва амплитудасига боғлиқдир:



15.47-расм.



a.



15.48- расм.

$$U_2 = U_{1 \max} \frac{m_1}{\pi} \sin \frac{\pi}{m_1} \sin \omega_2 t,$$

бу ерда:  $m_1$  — манбанинг фазалар сони;  $U_{1 \max}$  — таъминловчи кучланиш амплитудаси;  $\omega_2$  — чиқиш кучланиши асосий гармоникасининг частотаси.

15.48-расмда частота ўзгартиргичнинг схемаси ундаги кучланишнинг ўзгариш графиклари кўрсатилган. Реакторлар  $L_1$  ва  $L_2$  мувозанатловчи кучланиш таъсирида ҳосил бўладиган мувозанатловчи токни чегаралаш учун ишлатилади. Мувозанатловчи ёки тенглаштирувчи кучланиш бошқариш бурчаклари ( $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$ ) нинг даврий равишда ўзгариши ҳисобига юзага келади.

Частота ўзгартиргичларнинг афзаллиги қуйидагилардан иборат:

1. Бошқариш системасининг нисбатан ихчамлиги.
2. Чиқишдаги кучланиш амплитуда ва частотасининг текис бошқарилиши.
3. Тиристорнинг очилиш бурчагини бошқариш орқали чиқишда синусоидал кучланиш ҳосил қилиш мумкин.

Частота ўзгартиргичларнинг камчилиги сифатида реактив қувват кўпроқ истеъмол қилинишини, иш частоталарининг юқори қиймати чегараланганлигини, частота фақат камайтирилишини кўрсатиш мумкин.

## 15.10. КУЧАЙТИРГИЧЛАР

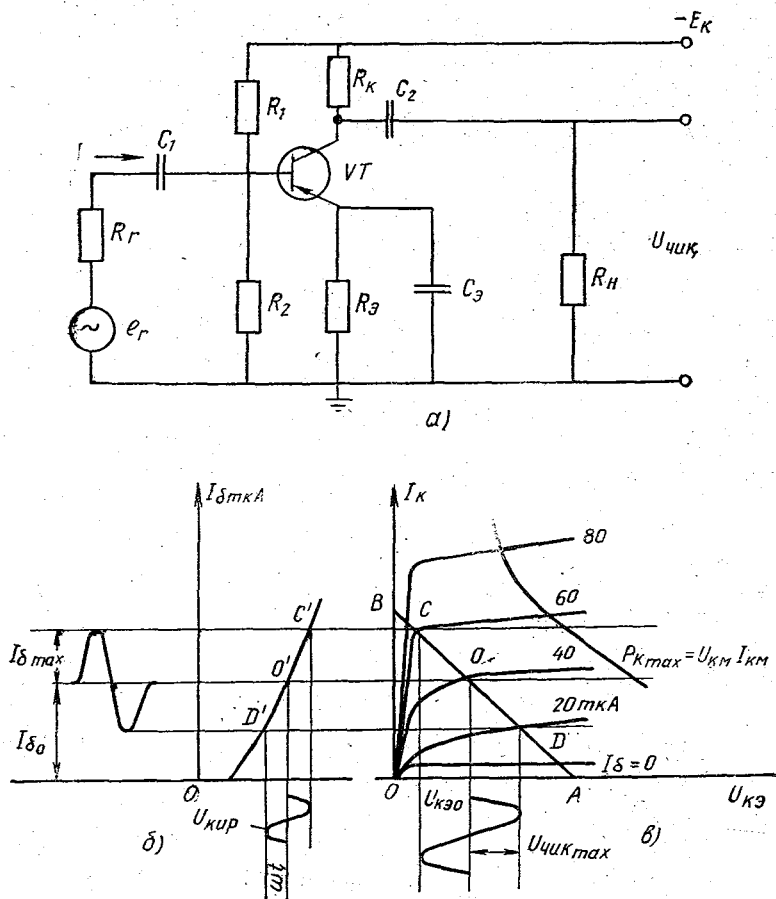
Автоматик бошқариш системалари, радиотехника, радиолокация ва бошқа системаларда кичик қувватли сигналларни кучайтириш учун кучайтиргичлардан фойдаланилади. Кичик қувватли ўзгарувчан сигналнинг параметрларини бузмасдан доимий кучланиш манбаининг қуввати ҳисобига кучайтириб берувчи қурилма кучайтиргич деб аталади.

Кучайтиргич қурилмаси кучайтирувчи элемент, резистор, конденсатор, чиқиш занжиридаги доимий кучланиш манбаи ҳамда истеъмолчидан иборат. Битта кучайтирувчи элементи бўлган занжир каскад деб аталади. Кучайтирувчи элемент сифатида қандай элемент ишлатилишига қараб кучайтиргичлар электрон, магнитли ва бошқа хилларга бўлинади. Иш режимига кўра улар чизиқли ва ночизиқли кучайтиргичларга бўлинади. Чизиқли иш режимда ишловчи кучайтиргичлар кириш сигналининг унинг шаклини ўзгартирмасдан кучайтириб беради. Чизиқли бўлмаган иш режимда ишловчи кучайтиргичларда эса кириш сигнали маълум қийматга эришганидан сўнг чиқишдаги сигнал ўзгармайди.

Чизиқли режимда ишлайдиган кучайтиргичларнинг асосий характеристикаси амплитуда частота характеристикаси (АЧХ) дир. Ушбу характеристика кучланиш бўйича кучайтириш коэффициентининг модули частотага қандай боғлиқлигини кўрсатади. АЧХ сига кўра чизиқли кучайтиргичлар товуш частоталар кучайтиргичи (ТЧК), куйи частоталар кучайтиргичи (ҚЧК), юқори частоталар кучайтиргичи (ЮЧК), секин ўзгарувчан сигнал кучайтиргичи ёки ўзгармас ток кучайтиргичи (ЎТК) ва бошқаларга бўлинади.

Ҳозирги вақтда энг кенг тарқалган кучайтиргичларда кучайтирувчи элемент сифатида икки қутбли ёки бир қутбли транзисторлар ишлатилади. Кучайтириш қуйидагича амалга оширилади. Бошқариладиган элемент (транзистор) нинг кириш занжирига кириш сигналининг кучланиши ( $u_{\text{дир}}$ ) берилади. Бу кучланиш таъсирида кириш занжирида кириш токи ҳосил бўлади. Бу кичик кириш токи чиқиш занжиридаги токда ўзгарувчан ташкил этувчини ҳамда бошқариладиган элементнинг чиқиш занжирида кириш занжиридаги кучланишдан анча катта бўлган ўзгарувчан кучланишни ҳосил қилади. Бошқариладиган элементнинг кириш занжиридаги токнинг чиқиш занжиридаги токка таъсири қанча катта бўлса, кучайтириш хусусияти шунча кучлироқ бўлади. Бундан ташқари, чиқиш токнинг чиқиш кучланишига таъсири қанча катта бўлса (яъни  $R_n$  катта), кучайтириш шунча кучлироқ бўлади.

15.49-расмда умумий эмиттерли (УЭ) кучайтириш каскадининг схемаси ҳамда кириш ва чиқиш характеристикалари кўрсатилган. Кучайтириш каскадлари УЭ, УБ, УК схемалар бўйича йиғилади. Умумий коллекторли (УК) схема ток ва қувват бўйича кучайтириш имкониятига эга. Бунда  $K_n \leq 1$ . Схе-



15.49- расм.

ма, асосан, каскаднинг юқори чиқиш қаршилигини кичик қаршиликли истеъмолчи билан мослаш учун ишлатилади ва эмиттерли такрорлагич деб аталади. Умумий базали (УБ) схема бўйича йиғилган каскаднинг кириш қаршилиги кичик бўлиб, кучланиш ва қувват бўйича кучайтириш имкониятига эга. Бунда  $K_i \leq 1$ . Чиқишдаги кучланишнинг қиймати катта бўлиши талаб этилганда, мазкур каскаддан фойдаланилади. Кўпинча, умумий эмиттерли (УЭ) схема бўйича йиғилган каскадлар ишлатилади (15.49-расм, а). Бундай каскад токни ҳам, кучланишни ҳам кучайтириш имкониятига эга. Кучайтириш каскаднинг асосий занжири транзистор (VT), қаршилмк  $R_k$  ва манба  $E_k$  дан иборат. Қолган элементлар ёрдамчи сифатида ишлатилади.  $C_1$  конденсатор кириш сигнаlining ўзгармас ташкил



этувчисини ўтказмайди ва базанинг тинч ҳолатидаги  $U_{6л}$  кучланишининг  $R_r$  қаршилиқка боғлиқ эмаслигини таъминлайди. Конденсатор  $C_2$  истеъмолчи занжирга чиқиш кучланишининг доимий ташкил этувчисини ўтказмай ўзгарувчан ташкил этувчисинигина ўтказиш учун хизмат қилади.  $R_1$  ва  $R_2$  резисторлар кучланиш бўлғич вазифасини ўтаб, каскаднинг бошланғич ҳолатини таъминлаб беради.

Коллекторнинг дастлабки токи ( $I_{кн}$ ) базанинг дастлабки токи  $I_{6л}$  билан аниқланади. Резистор  $R_1$  ток  $I_{6л}$  нинг ўтиш занжирини ҳосил қилади ва резистор  $R_2$  билан биргаликда манба кучланишининг м.сбат кутби билан база орасидаги кучланиш  $U_{6л}$  ни юзага келтиради.

Резистор  $R_3$  манфий тескари боғланиш элементи бўлиб, дастлабки режимнинг температура ўзгаришига боғлиқ бўлмаслигини таъминлайди. Каскаднинг кучайтириш коэффициенти камайиб кетмаслиги учун қаршилиқ  $R_3$  га параллел қилиб конденсатор  $C_3$  уланади. Конденсатор  $C_3$  резистор  $R_3$  ни ўзгарувчан ток бўйича шунтлайди.

Синусоидал ўзгарувчи кучланиш ( $i_{кпр} = U_{кпр} \max \sin \omega t$ ) конденсатор  $C$  орқали база — эмиттер соҳасига берилади. Бу кучланиш таъсирида, бошланғич база токи  $I_{6л}$  атрофида ўзгарувчан база токи ҳосил бўлади.  $I_{6л}$  нинг қиймати ўзгармас манба кучланиши  $E_k$  ва қаршилиқ  $R_1$  га боғлиқ бўлиб, бир неча микроамперни ташкил қилади. Берилаётган сигналнинг ўзгариш қонунига бўйсунадиган база токи истеъмолчи ( $R_{и}$ ) дан ўтаётган коллектор токининг ҳам шу қонун бўйича ўзгаришига олиб келади. Коллектор токи бир неча миллиамперга тенг. Коллектор токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси истеъмолчида амплитуда жиҳатдан кучайтирилган кучланиш пасажуви  $U_{(чик)}$  ни ҳосил қилади. Кириш кучланиши бир неча милливольтни ташкил этса, чиқишдаги кучланиш бир неча вольтга тенгдир.

Каскаднинг ишини график усулда таҳлил қилиш мумкин. Транзисторнинг чиқиш характеристикасида  $AB$  нагрузка чизигини ўтказамиз (15.49-расм, б). Бу чизик  $U_{кэ} = E_k$ ,  $I_k = 0$  ва  $U_{кэ} = 0$ ,  $I_k = \frac{E_{и}}{R_{и}}$  координатали  $A$  ва  $B$  нуқталардан ўтади.  $AB$  чизик  $I_{к \max}$ ,  $U_{кэ \max}$  ва  $P_k = U_{к \max} \cdot I_{к \max}$  билан чегараланган соҳанинг чап томонида жойлашиши керак.  $AB$  чизик чиқиш характеристикасини кесиб ўтадиган қисмда иш участкасини танлаймиз. Иш участкасида сигнал энг кам бузилишлар билан кучайтирилиши керак. Нагрузка чизигининг  $C$  ва  $D$  нуқталар билан чегараланган қисми бу шартга жавоб беради. Иш нуқтаси  $O$ , шу участканинг ўргасида жойлашади.  $DO$  кесманинг абсциссалар ўқидаги проекцияси коллектор кучланиши ўзгарувчан ташкил этувчисининг амплитудасини билдиради.  $CO$  кесманинг ординаталар ўқидаги проекцияси коллектор токининг амплитудасини билдиради. Бошланғич коллектор токи ( $I_{к0}$ ) ва кучланиши ( $U_{кэ0}$ )  $O$  нуқтанинг проекциялари билан

аниқланади. Шунингдек,  $O$  нуқта бошланғич ток  $I_{60}$  ва кириш характеристикасидаги  $O$  иш нуқтасини аниқлаб беради. Чиқиш характеристикасидаги  $C$  ва  $D$  нуқталарга кириш характеристикасидаги  $C'$  ва  $D'$  нуқталар мос келади. Бу нуқталар кириш сигналининг бузилмасдан кучайтириладиган чегарасини аниқлаб беради.

Каскаднинг чиқиш кучланиши

$$u_{\text{чик}} = i_k \cdot R_u.$$

Каскаднинг кириш кучланиши

$$u_{\text{кир}} = i_6 \cdot R_{\text{кир}};$$

бу ерда  $R_{\text{кир}}$  — транзисторнинг кириш қаршилиги.

Ток  $i_n \gg i_6$  ва қаршилик  $R_n \gg R_{\text{кир}}$  бўлгани учун схеманинг чиқишидаги кучланиш кириш кучланишидан анча каттадир. Кучайтиргичнинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти  $K_u$  қуйидагича аниқланади:

$$K_u = \frac{U_{\text{чик max}}}{U_{\text{кир max}}},$$

ёки гармоник сигналлар учун

$$K_u = \frac{U_{\text{чик}}}{U_{\text{кир}}}.$$

Каскаднинг ток бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_i = \frac{I_{\text{чик}}}{I_{\text{кир}}},$$

бу ерда:  $I_{\text{чик}}$  — каскаднинг чиқиш томонидаги токнинг қиймати;  $I_{\text{кир}}$  — каскаднинг кириш томонидаги токнинг қиймати. Кучайтиргичнинг қувват бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_p = \frac{P_{\text{чик}}}{P_{\text{кир}}},$$

бу ерда  $P_{\text{чик}}$  — истеъмолчига бериладиган қувват;  $P_{\text{кир}}$  — кучайтиргичнинг кириш томонидаги қувват.

Кучайтириш техникасида бу коэффициентлар логарифмик қиймат — децибеллда (америкалик инженер Белл шарафига қўйилган) ўлчанади.

$$K_u (\text{дБ}) = 20 \lg K_u \quad \text{ёки} \quad K_u = 10^{\frac{K_u (\text{дБ})}{2}};$$

$$K_i (\text{дБ}) = 20 \lg K_i \quad \text{ёки} \quad K_i = 10^{\frac{K_i (\text{дБ})}{2}};$$

$$K_p (\text{дБ}) = 10 \lg K_p \quad \text{ёки} \quad K_p = 10^{\frac{K_p (\text{дБ})}{1}}.$$

Одамнинг эшитиш сезгирлиги сигналининг 1 дБ га ўзгаришини ажрата олгани учун ҳам шу ўлчов бирлиги киритилган.

Ҳар бир кучайтиргич кучайтириш коэффициентларидан ташқари қуйидаги параметрларга ҳам эгадир.

Кучайтиргичнинг чиқиш қуввати (истеъмолчига сигнални бузмасдан бериладиган энг катта қувват):

$$P_{\text{чик}} = \frac{U_{\text{чик max}}^2}{R_{\text{н}}}$$

Кучайтиргичнинг фойдали иш коэффициенти

$$\eta = \frac{P_{\text{чик}}}{P_{\text{ум}}}$$

бу ерда  $P_{\text{ум}}$  — кучайтиргичнинг ҳамма манбалардан истеъмол қиладиган қуввати. Кучайтиргичнинг диңамик диапозони кириш кучланишининг энг кичик ва энг катта қийматларининг нисбатига тенг бўлиб, дБ да ўлчанади:

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{кир max}}}{U_{\text{кир min}}}$$

Частотавий бузилишлар коэффициенти  $M(f)$  ўрта частоталардаги кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти  $K_{\text{ц0}}$  нинг ихтиёрий частотадаги кучланиш бўйича кучайтириш коэффициентига нисбатидир:

$$M(f) = \frac{K_{\text{ц0}}}{K_{\text{иф}}}$$

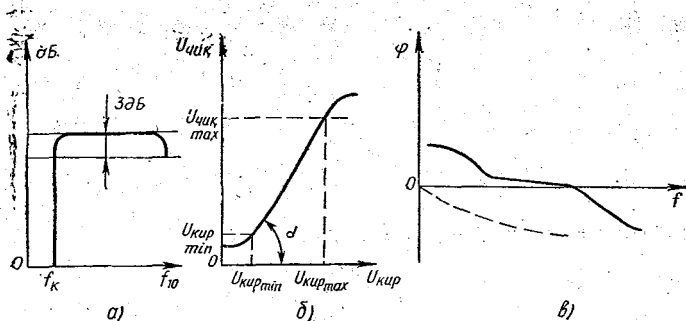
Чизиқли бўлмаган бузилишлар коэффициенти  $\gamma$  юқори частоталар гармоникаси ўрта квадратик йиғинчисининг чиқиш кучланишининг биринчи гармоникасига нисбатидир:

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_{m_1 \text{чик}}^2 + U_{m_2 \text{чик}}^2 + \dots + U_{m_n \text{чик}}^2}}{U_{m \text{чик}}}$$

Сифатли кучайтиргичлар учун  $\gamma \leq 4\%$ , телефон алоқаси учун  $\gamma \leq 15\%$ .

Кучайтиргичнинг шовқин даражаси — шовқин кучланишининг кириш кучланишига нисбатини кўрсатади. Булардан ташқари, кучайтиргичлар амплитуда, частота ва амплитуда-частота характеристикалари билан ҳам баҳоланади.

Амплитуда характеристикаси чиқиш кучланишининг кириш кучланишига қандай боғланганлигини кўрсатади ( $U_{\text{чик}} = f \times \times (U_{\text{кир}})$ ). 15.50-расмда кучайтиргичнинг амплитуда, амплитуда-частота ва фаза-частота характеристикалари кўрсатилган. Бу характеристикалар ўрта частоталарда олинадилар. Ҳақиқий кучайтиргичнинг амплитуда характеристикаси идеал кучайтиргичникидан шовқин мавжудлиги ( $A$  нуқтанинг чап қисмидаги участка) ва чиқиш кучланишининг чизиқли эмаслиги ( $B$  нуқтанинг ўнг қисмидаги участка) билан фарқ қилади (15.50-расм, а).

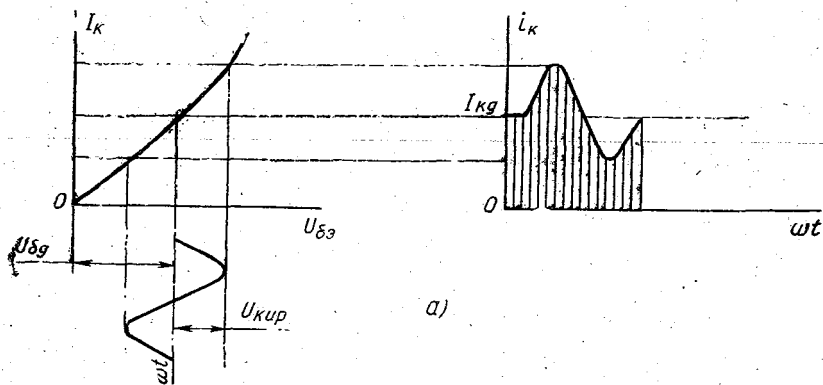


15.50- расм.

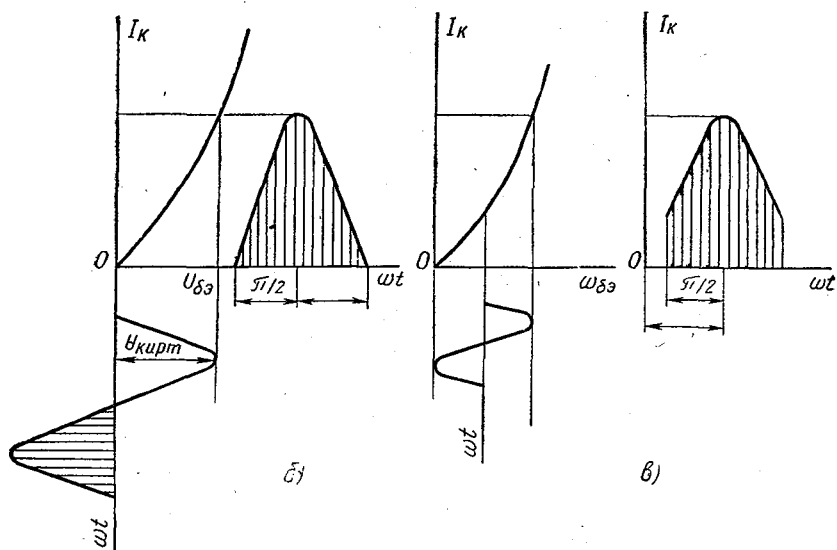
Кучайтиргичнинг частота характеристикаси кучайтириш коэффициентининг частотага боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чиқиқдир. Мазкур характеристика логарифмик масштабда қурилади (15.50 расм. б).

Кучайтиргичнинг фаза-частота характеристикаси кириш ва чиқиш кучланишлари орасидаги силжиш бурчаги  $\varphi$  нинг частотага қандай боғланганлигини кўрсатади (15.50- расм, в). Бу характеристика кучайтиргич томонидан киритилган фазавий бузилишларни баҳолайди.

Иш нуқтасининг кириш характеристикасида қандай жойлашишига қараб кучайтиргичлар  $A$ ,  $B$  ва  $AB$  режимларда ишлаши мумкин. 15.51- расмда кучайтиргичнинг иш режимларига оид графиклар кўрсатилган.  $A$  режимда, асосан, бошланғич кучайтириш каскадлари ва кичик қувватли чиқиш каскадлари ишлайди. Бу режимда ишлайдиган каскаднинг базага берилган силжиш кучланиши ( $U_{\text{бэо}}$ ) иш нуқтасининг динамик ўтиш характеристикаси чиқиқли қисмининг ўртасида жойлашишини таъминлаб беради. Бундан ташқари, кириш сигналнинг ампл-



15.51- расм.



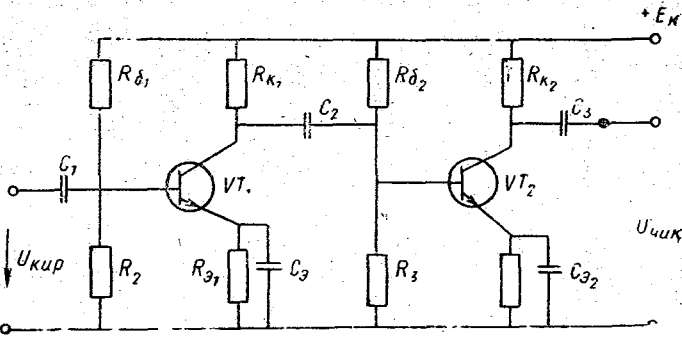
15 б1- расм.

литудаси силжиш кучланишидан кичик ( $U_{\text{кврт}} < U_{\text{бэо}}$ ) бўлиши ва бошланғич коллектор токи  $I_{\text{к0}}$  чиқиш токи ўзгарувчан ташкил этувчисининг амплитудасидан катта ёки тенглиги ( $I_{\text{к0}} \geq I_{\text{кт}}$ ) шартига амал қилинади. Натижада каскаднинг киришига синусоидал кучланиш берилганда чиқиш занжиридаги ток ҳам синусоидал қонун бўйича ўзгаради. А режимда сигналнинг чизиқли бўлмаган бузилишлари энг кам бўлади. Аммо кучайтиргич каскадининг мазкур режимдаги фойдали иш коэффициенти 20 — 30% дан ошмайди.

В режимда иш нуқтаси шундай танланадики, бунда *осойишталик токи* нолга тенг бўлади ( $I_{\text{к0}} = 0$ ). Кириш занжирига сигнал берилганда чиқиш занжирдан сигнал ўзгариш даврининг фақат ярмидагина ток ўтади. Чиқиш токи импульслар шаклида бўлиб, ажратиш бурчаги  $\theta = \frac{\pi}{2}$  бўлади. В режимда чизиқли бўлмаган бузилишлар кўп бўлади. Лекин бу режимда каскаднинг ФИК 60 — 70% ни ташкил қилади. Мазкур режимда, асосан икки тактли катта қувватли каскадлар ишлайди.

АВ режими А ва В режимлар оралиғидаги режим бўлиб, чиқишда катта қувват олиш, шунингдек чизиқли бўлмаган бузилишларни камайгириш мақсадида қўлланилади.

Кучайтиргичлар  $U = 10^{-7}$  В кучланиш ва  $I = 10^{-14}$  А тоқларни кучайтира олади. Бундай сигналларни кучайтириб бериш учун битта каскад етарли бўлмагани учун бир нечта кас-



15.52- расм.

кад ишлатилади. Улар бир нечта дастлабки кучайтириш каскади (каскад кучланишни кучайтириб берали) ва қувватни кучайтирувчи чиқиш каскадларидан иборатдир. Каскадлар бири бири билан резистор (резистив боғланиш), трансформатор (трансформаторли боғланиш), сўғим ва резистор (резистив-сўғим боғланиш) ва бошқа элементлар ёрдамида уланиши мумкин.

Резистив-сўғим боғланишли каскадларнинг ишлаши билан танишиб чиқамиз. Бу каскадлар кенг тарқалган бўлиб, микросхема шаклида ҳам ишлаб чиқарилади (15.52-расм). Кучайтиргич иккита умумий эмиттерли (УЭ) кучайтириш каскадидан иборат. Бу каскадлар  $C$  конденсатор орқали ўзаро боғланган. Мазкур конденсатор транзистор  $VT_1$  нинг коллектор занжирига, транзистор  $VT_2$  нинг база занжирига уланган. У биринчи транзистордан чиқаётган сигналнинг ўзгармас ташкил этувчисини иккинчи транзисторга ўтказмайди. Транзисторларнинг иш нуқталарини  $R_{\delta_1}$  ва  $R_{\delta_2}$  қаршиликлар таъминлаб беради. Иш нуқталарининг стабиллигини резистор ва конденсаторлар ( $R_{\delta_1}, C_{\delta_1}$  ва  $R_{\delta_2}, C_{\delta_2}$ ) таъминлаб беради.

Бир нечта каскадли кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ҳар бир каскад кучайтириш коэффициентларининг кўпайтмасига тенг:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n.$$

Керакли кучайтириш коэффициентиغا кўра ва ҳар бир УЭ ли каскад кучланиш бўйича 10 — 20 марта, қувват бўйича эса 100 — 400 марта кучайтириб беришини ҳисобга олиб, каскадлар сони аниқланганидан кейин ҳар бир каскад алоҳида ҳисобланади. Дастлабки кучайтириш каскадлари  $A$  режимда ишлайди. Каскадни ҳисоблаш қуйидаги тартибда бажарилади. Манба кучланиши  $E_k$  ва истеъмолчининг қаршилигига қараб

$$U_{кэ.ж} \geq (1,1 \div 1,3) E_k;$$

$$I_{жк} > 2I_{н \max} = 2 \frac{U_{чик \max}}{R_n},$$

бу ерда:  $k$ ,  $\varepsilon$ ,  $\beta$  — коллектор — эмиттер ўтишдаги кучланишнинг жоиз қиймати;  $I_{к.ж}$  — коллектор занжиридаги токнинг жоиз қиймати.

Юқоридаги шартларни қаноатлантирадиган транзистор танланади. Унинг чиқиш характеристикасида иш нуқтаси аниқланади. Шу дастлабки иш нуқтасини таъминлаб берувчи база токи  $I_{б0}$  ўтиш характеристикасидан аниқланади ва  $R_6$  қаршиликка боғлиқ бўлади. Бу қаршилик қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$R_{61} = \frac{U_{кэ} - (I_{кэ} + I_6) R_э}{I_{б0}}$$

$R_к$  ва  $R_э$  қаршиликларни аниқлаш учун чиқиш характеристикалардан  $R_{ум} = R_к + R_э$  аниқланади.  $R_{ум} = \frac{E_к}{I_к}$ ,  $R_э = (0,15 - 0,25) R_к$  деб ҳисоблаб,

$$R_к = \frac{R_{ум}}{1,1 \div 1,25},$$

$$R_э = R_{ум} - R_к.$$

Каскаднинг кириш қаршилиги

$$R_{кир} = \frac{2U_{кир \max}}{2I_6 \max}.$$

Агар база токи кучланиш бўлгичи орқали бериладиган бўлса, бўлгичнинг  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликлари қуйидагича аниқланади.

$$R_{12} \geq (8 \div 12) R_{кир} \text{ ва } R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ шартлардан}$$

$$R_1 = \frac{E_к R_{12}}{I_{к0} R_э}; \quad R_2 = \frac{R_1 \cdot R_{12}}{R_1 - R_{12}}$$

ларни аниқлаймиз

Ажратувчи конденсаторнинг сигими қуйидагича аниқланади:

$$C = \frac{1}{2\pi f_к \cdot k_{чик} \sqrt{M_к^2 - 1}},$$

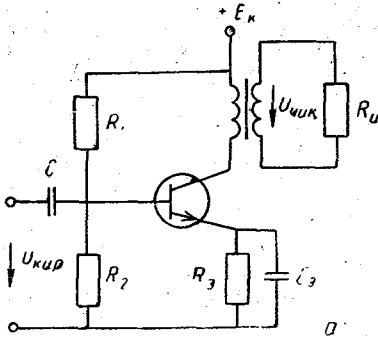
бу ерда:  $M_к$  — қуйи частоталардаги частотали бузилишлар коэффиценти;  $f_к$  — қуйи частоталар чегараси;  $R_{чик} = R_к + R_н$ .

Конденсаторнинг сигими қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$C_э \geq \frac{10}{2\pi f_к R_э}.$$

Каскаднинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффиценти:

$$K_u = \frac{U_{чик \max}}{U_{кир \max}}.$$



15.53- расм

Кучайтиргичнинг охирги каскади чиқиш каскадидир. Чиқиш каскади, асосан, қувватни кучайтириб беради ва бир тактли ёки икки тактли бўлади (15.53- расм).

Каскаднинг чиқишидаги сигнал трансформатор орқали кичик қаршиликка эга бўлган истеъмолчига узатилади. Коллектордаги кучланиш ўзиндукция ЭЮК ҳисобига  $E_{кэ}$  дан икки марта катта бўлиши мумкин. Шунинг учун

$$E_{кэ} \leq U_{кэ.ж}/2$$

қилиб олинади.

Каскаднинг чиқишидаги қувват:

$$P_{чпк\max} = 0,5U_{к\max} \cdot I_{г\max} \cdot \eta_{тр},$$

бу ерда  $\eta_{тр}$  — трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти.

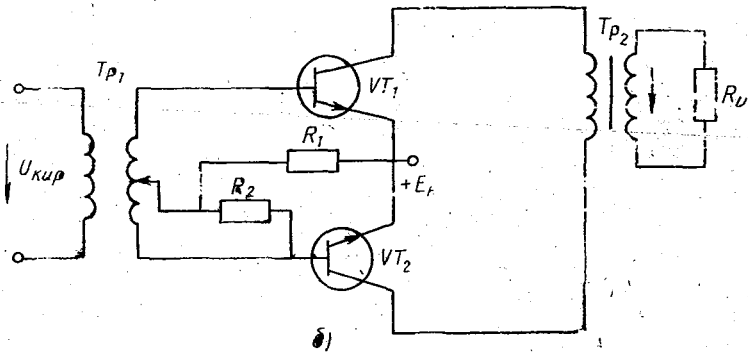
Кириш занжиридаги қувват ва кучайтириш коэффициенти:

$$P_{квр} = 0,5I_{б\max} U_{бэ\max};$$

$$K_p = \frac{P_{чпк}}{P_{квр}}$$

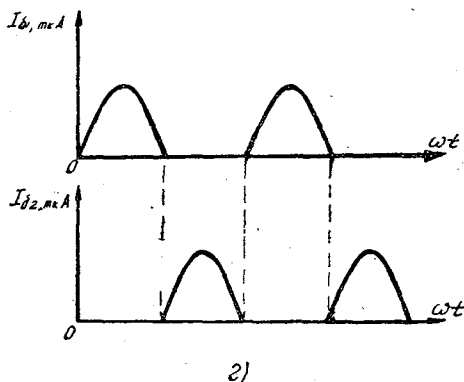
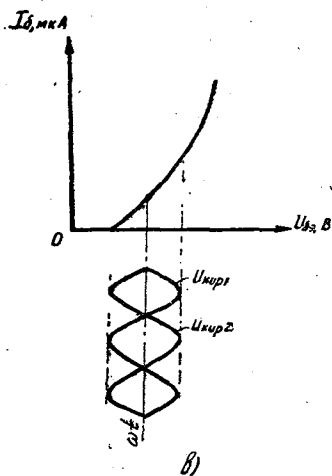
Трансформатор каскад чиқиш қаршилигининг истеъмолчининг кириш қаршилигига яхши мос тушишини ва қувватнинг узатилиши учун энг яхши шароит яратилишини таъминлайди. Трансформаторнинг трансформация коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$n = \sqrt{\frac{K_{чпк}}{R_{н}}}$$



15.53- расм.





1.53- расм.

Агар кучайтиргичнинг чиқишидаги қувват 20 Вт дан ортиқ бўлса, икки тактли симметрик схемалардан фойдаланилади. Бу схемадаги икки транзисторнинг ҳар бири *B* режимда ишлайди. Бундай схемаларнинг фойдали иш коэффициенти (70—75)% га етади. Тинч ҳолатда  $I_0 = 0$  ва бошланғич ҳолатда схема истеъмол қиладиган қувват

$$P_0 = 2E_{кэ} I_{00}$$

Биринчи ярим даврда биринчи транзистор, иккинчи ярим даврда эса иккинчи транзистор ишлайди. Битта транзисторнинг чиқишидаги қувват:

$$P'_{\text{чик}} = \frac{U_{к \text{ max}} \cdot I_{к \text{ max}}}{2} = \frac{(I_{к \text{ max}} - I_{к0}) E_{кэ}}{4}$$

Икки тактли каскаднинг чиқишидаги қувват:

$$P_{\text{чик}} = 2P'_{\text{чик}} = \frac{E_{кэ} (I_{к \text{ max}} - I_{к0})}{2}$$

Кўпинча, кучайтиргичнинг барқарор ишлашини таъминлаш учун тескари боғланишдан фойдаланилади. Чиқиш занжиридаги сигнал маълум қисмининг кириш занжирига узатилиши *тескари боғланиш* деб аталади. Тескари боғланиш манфий ва мусбат бўлиши мумкин. Мусбат тескари боғланиш генератор каскадларида қўлланади. Кучайтириш каскадларида манфий тескари боғланишдан фойдаланилади (мусбат тескари боғланиш кучайтиргичлар учун зарарлидир). Тескари боғланиш кучланиши чиқиш кучланишининг маълум қисмини ташкил қила-

ди ва тескари боғланиш коэффиценти ( $\beta$ ) билан характерланади. Тескари боғланишли кучайтиргичларда:

$$K = \frac{u_{\text{чик}}}{u_{\text{сигн}}};$$

$$u_{\text{сигн}} = u_{\text{кир}} - u_{\text{тб}} = u_{\text{кир}} - \beta u_{\text{чик}} = u_{\text{кир}} (1 - \beta K).$$

Демак,

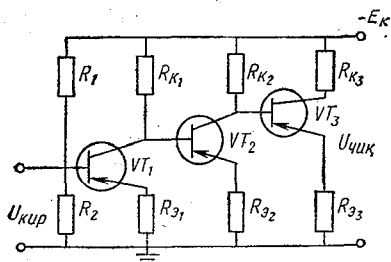
$$K_{\text{тб}} = \frac{K u_{\text{кир}}}{u_{\text{сигн}}} = \frac{K u_{\text{кир}}}{u_{\text{кир}} (1 - \beta K)} = \frac{K}{1 - \beta K}.$$

Тескари боғланиш манфий бўлганида  $\beta < 0$  бўлади ва  $K_{\text{тб}} = \frac{K}{1 + \beta K}$ , яъни кучайтириш коэффиценти камаяди. Лекин кучайтиргичнинг частота ва фаза бузилишлари камаяди.

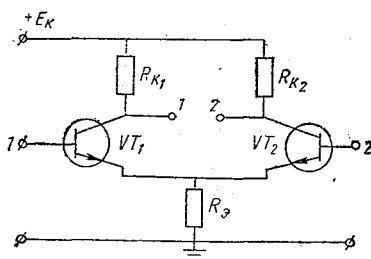
$R_3$  қаршилиги тескари боғланиш занжири бўлиб, чиқиш занжиридаги кучланишни қисман кириш занжирига узатади. Шунинг ҳисобига бошланғич иш нуқтасининг параметрлари стабиллашади. Юқорида кўриб чиқилган каскадларнинг барчаси синусоидал ўзгарувчан кучланишни кучайтириб беради. Айрим ҳолларда йўналиш жиҳатдан ўзгармай, фақат қиймати секин ўзгарувчи сигналларни ҳам кучайтириш талаб қилинади. Бундай ҳолларда гальваник боғланган ўзгармас ток кучайтиргичларидан фойдаланилади. 15.54-расмда аста-секин ўзгарувчи сигналлар кучайтиргичи кўрсатилган. Кучайтиргич уч каскаддан иборат. Ҳар бир каскад УЭ схема бўйича йиғилган. Ажратувчи конденсаторлар бўлмагани учун ҳар бир каскаднинг ўзгармас ташкил этувчиси кейинги каскаднинг базасига узатилади ва шунинг учун мазкур ташкил этувчи компенсацияланиши керак. Олдинги каскаднинг ўзгармас ташкил этувчисини компенсациялаш учун кейинги каскаднинг  $R_3$  қаршилигидан олинувчи ўзгармас кучланишдан фойдаланилади. Транзисторлар ( $VT_2$  ва  $VT_3$ ) нинг база-эмиттер нормал кучланишларини  $R_{э1}$  ва  $R_{э2}$  қаршилиқлар таъминлаб беради. Транзистор  $VT_1$  нинг осойишталик режимини  $R_1$  ва  $R_2$  кучланиш бўлғич ва  $R_{э1}$  қаршилиқлар таъминлайди.

$R_{э1}$ ,  $R_{э2}$  ва  $R_{э3}$  қаршилиқлар ток бўйича манфий тескари боғланишни ҳосил қилиб, кучайтиргич нолининг кўчишини камайтиради. Кучайтиргич нолининг кўчиши деб чиқиш сигнали кириш сигналига боғлиқ бўлмаган ўзгаришига айтилади. Кўчишининг асосий сабаби манба кучланишининг, атроф-муҳитнинг ҳарорати ва схема параметрларининг ўзгаришидир. Кўчиш кучланиши сигнал кучланиши билан тенглашиб сигналнинг анча бузилишига олиб келиши мумкин. Ноль кўчишини камайтириш мақсадида параллел-баланс ёки дифференциал каскадлардан фойдаланилади.

Икки сигнал фарқни кучайтирувчи қурилма *дифференциал кучайтиргич* деб аталади. Чиқишдаги сигнал ҳар бир ки-



15.54- расм.

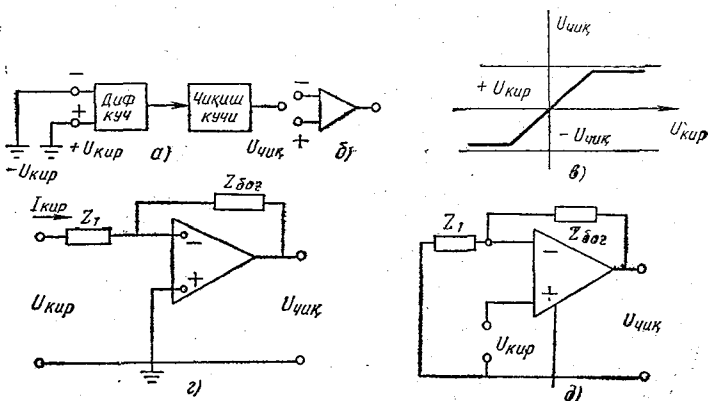


15.55- расм.

риш сигналига эмас, балки уларнинг айирмасига боғлиқдир. Энг оддий дифференциал кучайтиргич умумий эмиттер қаршилик уланган иккита бир хил транзистор асосида қурилади (15.55-расм) Кириш кучланишлари транзисторлар ( $VT_1$  ва  $VT_2$ ) нинг база-эмиттер ўтишига берилади. Бу кучланишларнинг айирмаси бир неча милливольтдан ортмаса, кучайтиргич ВАХ нинг чизикли қисмида ишлайди. Унинг кучайтириш коэффициенти 100 га яқиндир. Чиқиш қисмалари 1' ва 2' дан чиқиш кучланиши олинади. Кучайтиргичнинг узатиш коэффициенти:

$$K(p) = \frac{U_{чик1'2'}}{U_{кир1} - U_{кир2}}$$

Кучайтиргичларда бир хил транзисторларни топиш жуда қийин. Шу сабабдан микросхема асосида тузилган дифференциал кучайтиргич каскадларидан фойдаланилади. К118УЛ1 шундай схемаларнинг намунаси бўла олади. Ўзгармас ток кучайтиргичлари асосида турли математик операцияларни бажарувчи операцион кучайтиргичлар қуриш мумкин. Операцион кучайтиргичлар (ОК) юқори кучайтириш коэффициенти, катта кириш ва кичик чиқиш қаршилиги билан характерланади. ОК



15.56- расм.

кириш дифференциал кучайтиргичлардан иборатдир (15.56-расм). Кучайтиргич инверторловчи (—) ва инверсион (+) киришга эгадир. Схемаларда ОК учбурчак шаклида тасвирланади (15.56-расм, а). Сигнал қайси киришга берилганига қараб ОК инверторловчи ва ноинверсион усулларда уланади.

Инверторловчи усулда кириш кучланиши ОК нинг инверсион киришига берилади (15.56-расм, в), ноинверсион кириш эса ноль потенциалга эгадир.

Кириш токи:

$$I'_{\text{кир}} = \frac{(U'_{\text{кир}} - 0)}{Z_1}.$$

Чиқиш кучланиши:

$$U'_{\text{чиқ}} = -I'_{\text{кир}} Z_{\text{боғ}}.$$

Кучланишни узатиш коэффиценти:

$$K(p) = \frac{U'_{\text{чиқ}}}{U_{\text{кир}}} = \frac{-I'_{\text{кир}} Z_{\text{боғ}}}{I'_{\text{кир}} Z_1} = -\frac{Z_{\text{боғ}}}{Z_1}.$$

Бундай узатиш коэффиценти идеаллаштирилган ОК га ҳосилдир.  $R_{\text{кир}} = \infty$ ,  $R_{\text{чиқ}} = 0$  ва кучланишни кучайтириш коэффиценти  $K = \infty$  деб ҳисобласак, ОК идеаллаштирилган бўлади. Аслида, реал ОК ларнинг узатиш коэффиценти  $K(p)$  идеал ОК нинг  $K(p)$  идан тахминан 0,03% га фарқ қилади.

ОК ноинверсион усулда уланганда кириш кучланиши унинг ноинверсион киришига берилади (15.56-расм, з). Чиқишдан кучланиш инверсион киришга берилади. Бунда тескари боғланиш кучланиши:

$$u_{\text{тб}} = \beta u_{\text{чиқ}}, \quad \beta = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_{\text{боғ}}}.$$

ОК нинг киришидаги кучланиш:

$$u_{\text{кир}} = u'_{\text{кир}} - u_{\text{тб}}.$$

Чиқишдаги кучланиш:

$$u_{\text{чиқ}} = K(u'_{\text{кир}} - \beta u_{\text{чиқ}})$$

ёки

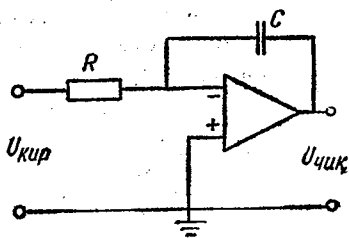
$$u_{\text{чиқ}} = \frac{Ku_{\text{кир}}}{1 + \beta K}.$$

Кучайтириш коэффиценти:

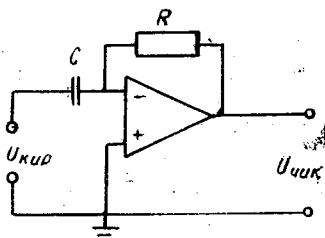
$$K = \frac{u_{\text{чиқ}}}{u_{\text{кир}}} = \frac{Ku_{\text{кир}}}{(1 + \beta K)u_{\text{кир}}} = \frac{K}{1 + \beta K} = \frac{1}{\frac{1}{K} + \beta} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta K}}$$

$\beta K \gg 1$  бўлганида

$$K' = \frac{1}{\beta}.$$



15.57- расм.



15.58- расм.

ОК лар ёрдамида сигналларни қўшиш, дифференциаллаш, интеграллаш ва улар устида бошқа математик операциялар бажариш мумкин. Кириш сигнални интегралловчи схемани кўриб чиқамиз (15.57-расм). Кириш сигнали инверторловчи киришга берилади. Кириш занжирига резисторни, тескари боғланиш занжирига эса конденсатор улаймиз. Резисторидан ўтаётган ток:

$$i = u'_{кир} / R.$$

Бу ток конденсатордан ўтиб, уни зарядлайди ва  $u_c$  кучланишни ҳосил қилади (ушбу кучланиш чиқиш кучланишидир):

$$u_c = - \frac{1}{RC} \int_0^t u'_{кир} dt.$$

Дифференциалловчи кучайтиргичда кириш занжирига конденсатор  $C$  ни, боғланиш занжирига эса резистор  $R$  ни улаймиз (15.58-расм). Кириш кучланиши конденсаторни зарядлайди ва ундаги кучланиш кириш кучланишига тенг бўлади:  $u_c = u'_{кир}$ . Конденсатордан ўтаётган ток

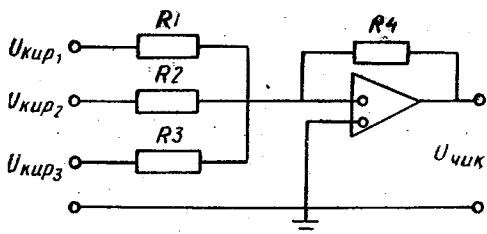
$$i = C \frac{du'_{кир}}{dt}.$$

Бу ток кучайтиргичга бормай,  $R$  қаршиликдан ўтиб, унда кучланиш пасаювини ҳосил қилади:

$$u_{чик} = -iR = -RC \frac{du'_{кир}}{dt}.$$

ОК сумматор сифатида ишлатилганда бир нечта кириш кучланишларининг йиғиндисини аниқлаш операциясини бажаради. Бунда ОК нинг инверторловчи киришига қўшилаётган сигналлар берилади, чиқишидан эса уларнинг йиғиндисини олинади. 15.59-расмда жамловчи ОК нинг схемаси кўрсатилган. Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан  $A$  тугундаги тоқлар йиғиндисини нолга тенг:

$$i_{кир1} + i_{кир2} + i_{кир3} - i_4 = 0.$$



15.59- расм.

Токларни кучланишлар орқали ифодаласак,

$$\frac{u_{кир1}}{R_1} + \frac{u_{кир2}}{R_2} + \frac{u_{кир3}}{R_3} = \frac{u_{чик}}{R_4} = 0.$$

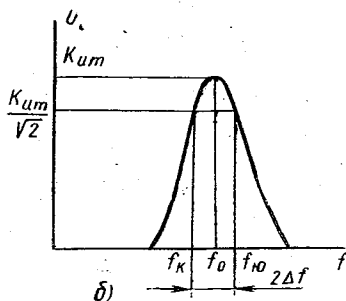
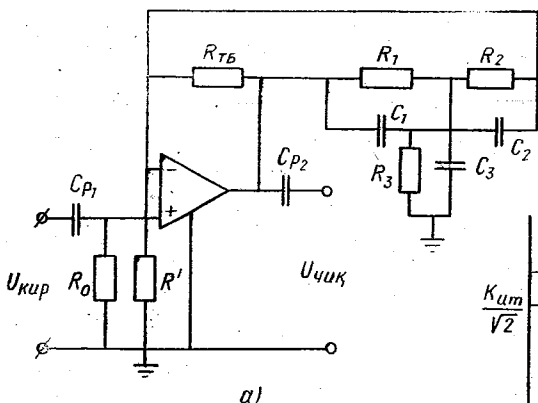
Бундан

$$u_{чик} = \frac{u_{кир1}}{R_1} \cdot R_4 + \frac{u_{кир2}}{R_2} \cdot R_4 + \frac{u_{кир3}}{R_3} \cdot R_4.$$

Булардан ташқари, ОК лар логарифмлаш, потенцирлаш ва бошқа операцияларни ҳам бажара олади. Улар радиоэлектроника схемаларида ҳам кенг қўлланади.

ОК нинг тескари боғланиш занжирига иккиланган  $T$ -симон  $RC$  кўприкли занжир ўрнатилса, схема юқори частота ажратиш хусусиятига эга бўлади. 15.60-расмда частота кучайтиргичнинг схемаси ва амплитуда-частота характеристикаси кўрсатилган. Созлаш частотаси деб аталувчи  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$  частота

тада кучланишни узатиш коэффициенти  $\beta = \frac{u_{чик}}{u_{кир}}$  камайиб кетади. Бунда тескари боғланиш таъсири камайиб, кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ( $K_{и\tauб}$ ) шу каскаднинг тескари боғланишда бўлмагандаги коэффициенти ( $K_{и\max}$ ) га тенг-



15.60- расм.

лашади. Созлаш частотаси ( $f_0$ ) дан фарқ қилувчи частоталарда тескари боғланиш коэффициентлари бирга яқинлашиб, чиқишдаги сигнал бутунлай киришга берилади. Кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти жуда кичик бўлади. Айрим частоталар ва частоталар доирасида кучайтирувчи кучайтиргичлар частота ажратувчи кучайтиргичлар дейилади. Бундай кучайтиргичларнинг юқори ва қуйи частоталар нисбати  $f_{y0}/f_0$  бирга яқин, яъни 1,001 дан 1,1 гача бўлади (15.49-расм, б). Частота ажратувчи кучайтиргичлар радиотехника, телевидение, кўп каналли алоқа системаларида кенг қўлланилади.

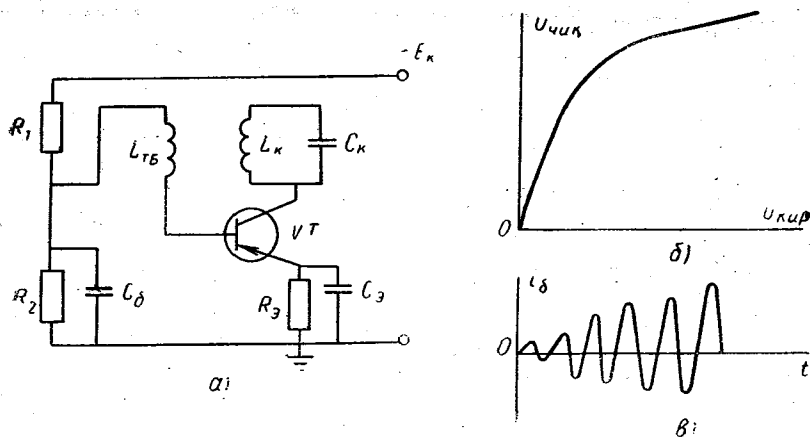
Манбадан тарқаладиган электр сигналлар (товуш, видеоимпульслар) частотасига созланган частота ажратувчи кучайтиргич фақат шу частотадаги сигналнигина кучайтириб беради. Юқорида кўриб чиқилган схемамиз товуш ва саноат частоталарида ишлайди ва частота ажратиш учун унинг  $RC$  занжири параметрлари  $R_1 = R_2 = R$ ,  $R_3 = \frac{R}{2}$ ,  $C_1 = C_2 = C$  ва  $C_3 = 2C$  шартларни қаноатлантириши керак.

Юқори частотали ажратувчи кучайтиргичларда оддий кучайтиргичнинг коллектор занжирига  $LC$  контур уланади.  $LC$  контур резонанс режимда ишлайди.  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  частотада кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти максимал қийматга эга бўлади.

## 15.11. ЭЛЕКТРОН ГЕНЕРАТОРЛАР

Электрон генераторлар ўзгармас кучланиш (ток) манбаидан фойдаланиб, маълум частота ва шаклдаги электр тебранишларни ҳосил қилади. Улар радио аппаратлар, ўлчов техникаси, автоматика қурилмалари ва ЭҲМ ларда кенг қўлланилади ва тебранишлар шаклига, частотаси ва уйғотиш турига қараб бир неча хилга бўлинади.

Электрон генераторлар мусбат тескари боғланишли кучайтиргичлар асосида қурилади. Мусбат тескари боғланиш берилган частотада схеманинг ўз-ўзидан уйғотилишини таъминлайди. Бундай схемаларда ўз-ўзидан уйғотиш юзага келиши учун икки шарт бажарилиши керак. Биринчидан, кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ва тескари боғланиш коэффициенти модулларининг ўзаро кўпайтмаси бирдан катта бўлиши керак, яъни  $|K| \cdot |\beta| > 1$ . Иккинчидан, кучайтиргич ва тескари боғланиш занжиридан киритилган фазовий силжиш бурчакларнинг йиғиндис  $2\pi$  га қаррали бўлиши керак, яъни  $\varphi_k + \varphi_{\beta} = 2\pi$ . Шунда кучайтиргичнинг чиқишидаги кучланиш мусбат тескари боғланиш занжири орқали киришига берилади. Киришдаги кучланиш билан қўшилиб, янада кучаяди. Мисол учун  $LC$  типдаги синусоидал кучланишлар генераторининг ишлашини кўриб чиқамиз (15.61-расм). Тебраниш контурида



15.61- расм.

керакли частотадаги тебранишлар ҳосил бўлади. Транзистор тескари боғланиш занжири орқали киришга берилган кучланишни кучайтиради. Мусбат тескари боғланиш занжири схемасининг чиқишидаги кучланишни керакли миқдор ва фазада киришга узатади. Ўзгармас ЭЮК манбаининг энергияси контурининг тебранма энергиясига айланади. Контурдаги конденсатор  $C_k$  манба  $E$  га уланганда резистор  $R_3$ , транзисторнинг эмиттери, базаси, коллектори  $C_k - E$  занжир орқали зарядланади. Конденсатор  $C_k$  ва индуктив ғалтак ўзаро параллел бўлган тебраниш контурини ҳосил қилади. Конденсатор  $C_k$  маълум энергияга эга бўлганидан кейин  $f_0$  частотали эркин тебранишлар ҳосил бўлади. Частота  $f_0$  контурнинг параметрларига боғлиқдир:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}$$

$L_k$  ва  $L_{тб}$  ғалтаклар ўзаро индуктив боғланган. Ғалтак  $L_{тб}$  да контур частотасидаги ўзгарувчан кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш транзисторнинг эмиттер-база участкасига берилади. Коллектор токи ҳам частота  $f_0$  билан ўзгаради. Тескари боғланиш мусбат бўлгани учун коллектор токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси контурдаги тебранишларни кучайтиради. Натижада транзистор киришидаги ўзгарувчан кучланиш амплитудаси ортади, коллектор токи эса яна ортади ва ҳоказо. Коллектор токи ўзгарувчан ташкил этувчисининг ортиши чегараланган, чунки транзисторнинг кириш ва чиқиш кучланишлари автогенераторнинг тебраниш характеристикаси билан аниқланади.

Контурда сўнмас тебранишлар ҳосил қилиш учун мусбат тескари боғланишни таъминлаш кифоя қилмайди. Контурдаги



энергия исрофи манба энергияси ҳисобига тўла компенсацияланган бўлиши керак. Демак, контурла сўнмас тебранишлар ҳосил бўлиши учун икки шарт бажарилиши зарур (бу икки шарт *ўз-ўзидан уйғониш шарти* деб аталади):

1. Фазалар балансининг шарти (мусбат тескари боғланиш орқали таъминланади).

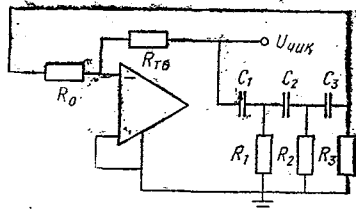
2. Амплитудалар балансининг шарти (тескари боғланиш коэффициентининг  $\beta$  га боғлиқ).

*LC* типдаги автогенераторлар юқори частоталарда ишлатилади, паст частоталарда ишлатилганда эса тебраниш контурининг конструкцияси қўпол бўлади. Қуйи частотали синусоидал тебранишлар ҳосил қилиш учун анча содда ва арзон, *RC* типдаги автогенератордан фойдаланилади. 15.62-расмда *RC* занжирли генераторнинг схемаси кўрсатилган. Схемага тебранма конгур ўрнига резистор  $R$  уланади. Мусбат тескари боғланиш учта *RC* бўғиндан ташкил топган фаза бурғичдан иборат. Схеманинг чиқиш учини унинг кириш учи билан бевосита боғлаб, *ўз-ўзидан уйғониш шартлари* бажарилса, генерацияланаётган тебранишлар синусоидал бўлмайди. Ҳосил бўладиган тебранишлар синусоидал бўлиши учун мусбат тескари боғланиш косинусоидал тебранишларнинг аниқ бир гармониясига мўлжалланади. Шу функцияни фазабурғич *RC* занжир бажаради. Занжир параметрлари шундай танланадики, коллектор токи ва коллектор потенциали ортганда база потенциали камаяди. Бошқача қилиб айтганда, коллектор ва базадаги кучланишлар қарама-қарши фазада бўлиши керак. Фазалар баланси шартини шундан иборатдир.

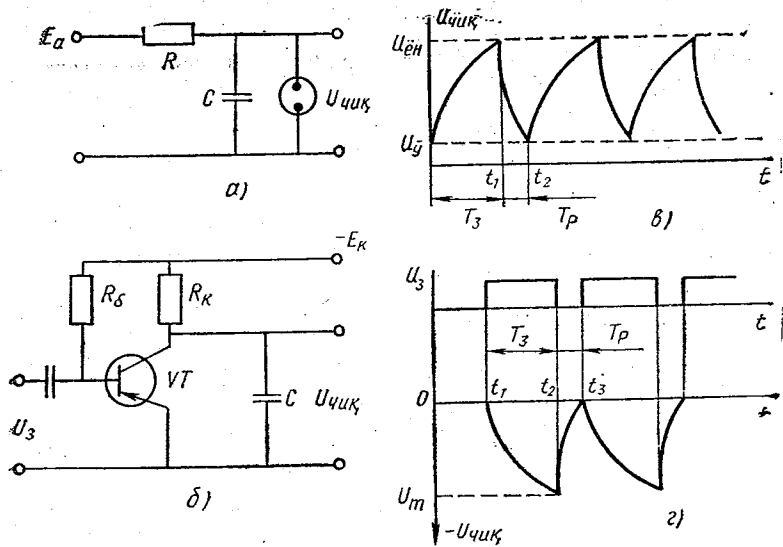
Уч звеноли *RC* занжирнинг тескари боғланиш коэффициентини аниқлаймиз. Агар  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  ва  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ , кириш ва чиқиш кучланишлари орасидаги бурчак  $180^\circ$  бўлса, *ўз-ўзидан уйғониш*  $f_0 = \frac{1}{15,4RC}$  частотада содир бўлади.

Узатиш коэффициентининг модули  $\beta$  эса тахминан  $1/29$  га тенг. Амплитудалар баланси кучайтиргичнинг коэффициентини 29 дан кам бўлмаганида бажарилади.

*RC* автогенератор бир неча камчиликларга эга. Чунончи, тескари боғланиш кучайтиргич каскадини шунглайди ва кучайтириш коэффициентини камайтиради. Натижада, ҳосил бўлган тебранишлар беқарор бўлади. Бунинг олдини олиш мақсадида чиқиш ва тескари боғланиш занжирларининг орасига электр такрорлагич қўйилади. Шунингдек, генерацияланган тебранишларнинг шакли бузилган ҳамда *ўз-ўзидан уйғониш шартлари* фақат частота  $f_0$  га яқин бўлган гармоникалар учун бажарилади.



15.62- расм.



15.63- расм.

Генерацияланган тебранишлар шаклининг бузилишини йўқотиш учун кучайтиргичга манфий тескари боғланиш киритилади. Бунинг учун эмиттер занжирига  $R_3$  резистор уланади.

Чизиқли ўзгарувчи (аррасимон) кучланиш генератори 15.63-расм, б да кўрсатилган шаклидагидек кучланишни ҳосил қилади. Бу кучланиш осциллографларда, телевизион ва радиолокацион индикаторларда электрон нурни ёйиш учун ишлатилади.

Чизиқли ўзгарувчи кучланиш (ЧЎК) конденсаторнинг зарядланиши ёки зарядсизланиши ҳисобига ҳосил бўлади. Оддий аррасимон кучланиш генератори неонли лампа асосида қурилади (15.63-расм, а). Схема  $E_a$  манбага уланганда конденсатор  $C$  резистор  $R$  орқали зарядланади ва ундаги кучланиш ортиб боради ( $T_3$  давр ичида). Вақт  $t = t_1$  бўлганда (15.63-расм, б) конденсатордаги кучланиш неонли лампанинг ёниш кучланиши  $U_{ен}$  га тенглашади. Лампанинг қаршилиги кескин камаяди ва  $C$  конденсатор қисқа муддат ичида лампанинг ўчиш кучланиши  $U_{уқ}$  гача зарядсизланади ( $T_p$  вақт ичида). Вақт  $t = t_2$  бўлганда лампалардаги газ разряди тугаб, лампанинг қаршилиги кескин ортади. Сўнгра конденсатор яна  $U_{ен}$  кучланишигача зарядланади ва ҳоказо. Схеманинг чиқишидан эса аррасимон кучланиш олинади. Конденсаторнинг зарядланиши экспоненциал қонун бўйича ўзгаради. Резистор  $R$  орқали  $C$  конденсатор  $\tau_3 = RC$  вақт ичида зарядланади.  $t_3 = (3 \div 4)\tau_3$  вақт ичида бу жараён тугайди. Зарядланганда конденсатордаги кучланиш асимптотик равишда  $E_a$  га, зарядсизланганда эса

нолга яқинлашади. Бу схеманинг асосий камчилиги лампанинг ёниш ва ўчиш кучланишларининг барқарор эмаслиги ҳамда резистор  $R$  ва конденсатор  $C$  параметрларининг тарқоқлигидир. Бу эса конденсаторнинг зарядланиш  $T_3$  ва зарядsizланиш  $T_p$  вақтларининг ўзгаришига олиб келади.

$$\tau_3 = RC, \quad \tau_p = R_i C,$$

бу ерда  $R_i$  — лампанинг зарядsizланиш вақтидаги ички қаршилиги.

ЧўК генераторининг стабиллигини таъминлаш учун ташқи уйғонишли генераторлардан фойдаланилади. Транзистор асосида тузилган ЧўК нинг схемаси 15.63-расм, *в* да кўрсатилган. Бошланғич ҳолатда транзистор очиқ ва тўйинган. Унинг коллекторидаги ва конденсатордаги кучланиш нолга яқин. Вақт  $t = t_1$  бўлганида  $V1$  транзисторнинг базасига ишга туширувчи мусбат импульс берилади. Бунда транзистор ёпилади. Конденсатор эса  $+E_k, C, R, -E_k$  занжир орқали зарядланади. Демак, ишга туширувчи импульс таъсир этаётган вақт ( $T_3$ ) ичида конденсатордаги кучланиш ортиб борали. Бу импульс таъсири йўқолганидан кейин ( $t = t_2$ ) транзистор очилиб, конденсатор транзистор  $V1$  орқали тез зарядsizланади. Вақт  $t = t_3$  бўлганида конденсатор яна зарядланади ва жараён такрорланади. Бу ерда кучланиш чизиқли бўлиши учун конденсатор  $E_k$  (манба) кучланишидан анча кичик бўлган  $U_m$  кучланишгача зарядланади. Бунда манба кучланишининг тўлиқ ишлатилмаслиги мазкур схеманинг асосий камчилигидир. Мукамалроқ схемаларда конденсатор зарядланиш тоқининг барқарорлигини таъминлаб берувчи элементлардан фойдаланилади.

## 15.12. ИМПУЛЬСЛИ ВА РАҚАМЛИ ТЕХНИКА

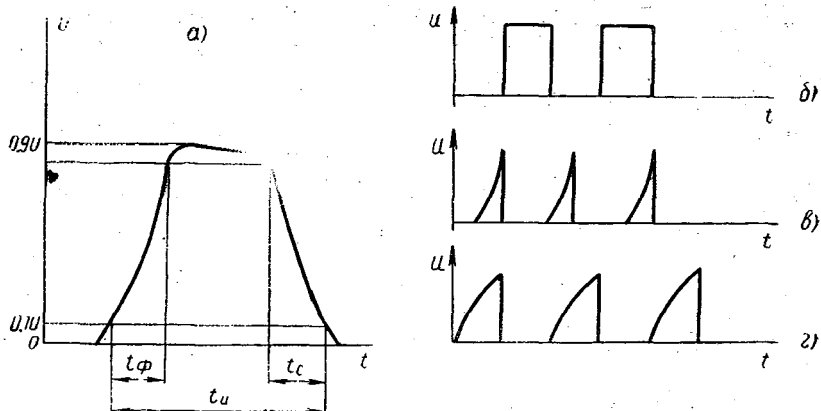
Радиотехника, автоматика, телемеханика ва ЭҲМ ларда импульсли режимда ишлайдиган импульс қурилмалар кенг қўлланилади. Бу қурилмаларнинг ишида қисқа муддатли сигналлар паузалар билан алмашиб туради. Импульсли иш режими узлуксиз иш режимига қараганда бир қанча афзалликларга эга:

1. Импульсли режимда ишлаганда кичик қувватли қурилма ёрдамида импульс таъсир этаётган қисқа муддат ичида катта қувватга эришиш мумкин.

2. Импульсли режимда ишлаганда ярим ўтказгичли схемалар „калит“ режимда ишлайди, яъни қурилма икки ҳолатдан („уланган“ ёки „узилган“) бирида бўлади. Натижада ярим ўтказгичли асбоблар параметрларининг ўзгаришига ҳароратнинг таъсири камаяди.

3. Импульсли режимда сигнални халақитлардан (бузилишлардан) ажратиш осонроқдир.

Мураккаб импульс қурилмалар интеграл микросхемаларга жамланган элементлардан тузилади.



15.64- расм.

Электр импульси деб қисқа вақт ичида ўзгармас қийматдан фарқ килувчи ток ёки кучланишга айтилади. Импульс қуйидаги параметрлар билан характерланади: импульс амплитудаси ( $A$ ); импульс давомийлиги  $t_n$ . Импульс қиймати  $0,1 \text{ A}$  га тенг бўлган қийматдан аниқланади (15.64- расм,  $a$ ). Бунда  $t_\phi$  — импульс қийматининг  $0,1 \text{ A}$  дан  $0,9 \text{ A}$  гача ўсиш вақти  $t_c$  — импульс қийматининг  $0,9 \text{ A}$  дан  $0,1 \text{ A}$  гача камайиш вақти,  $\Delta A$  — импульс чўққисининг пасайиши.

Агар импульслар бир хил вақт оралиғи билан кетма-кет келса, бундай импульслар *даврий кетма-кетликдаги импульслар* дейилади.

Бир секунд ичидаги импульслар сони *импульс частотаси* ( $F$ ) дейилади:

$$F = \frac{1}{T},$$

бу ерда  $T$  — импульс даври.

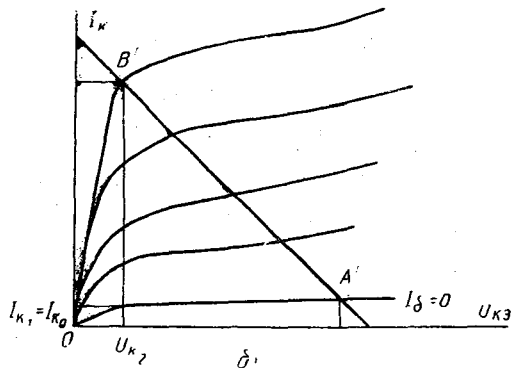
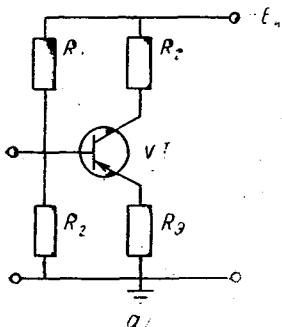
Даврнинг импульс давомийлигига нисбати *импульснинг чуқурлиги* дейилади:

$$q = \frac{T}{t_n}.$$

$2 \leq q \leq 10000$  бўлиши мумкин.

Шаклига қараб импульслар тўғри бурчакли, трапецидал, экспоненциал, аррасимон ва бошқа турларга бўлинади (15.64- расм,  $b$ ,  $v$  ва  $z$  лар).

Аксарият импульс қурилмалари таркибига электрон калитлар, яъни „жалит“ режимда ишловчи элементлар киради. Электрон калит сифатида диодлар, электрон лампалар, транзисторлар ишлатилиши мумкин. Бунда элемент фақат („уланган“ ва „узилган“) ҳолатда бўлиши мумкин. „Уланган“ ҳолатда элементнинг қаршилиги  $R = 0$ , „узилган“ ҳолатда эса  $R =$

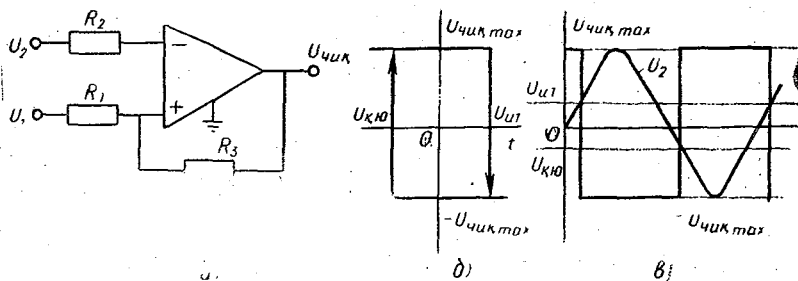


15.65- расм.

$= \infty$  деб ҳисобланади. Шунга қараб чиқишда сигнал „бор“ ёки „йўқ“ дейиш мумкин. Аслида қаршилиқ  $R$  нолдан ҳам, чексизликдан ҳам фарқ қилади. Калитнинг сифати „уланган“ калитдаги кучланиш пасаюви  $u_3$ , „узилган“ калитдаги ток  $I_p$  ва калитнинг бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиш вақти  $t_{\text{ут}}$  билан характерланади. Бу қийматлар қанча кичик бўлса, калитнинг сифати шунча яхшидир. Транзисторли калитнинг иш-лашини кўриб чиқамиз (15.65- расм). Транзисторнинг уланиш схемаси кучайтиргич каскадидаги каби бўлиб,  $VT$  транзистор „калит“ режимда ишлайди. Бу режим транзистор ёки узиш, (отсечка) ёки тўйиниш режимда бўлиши мумкинлиги билан характерланади. Узиш режимда база токи  $I_{b1} = 0$ , потенциали эса манфий бўлиб, коллектор токи катта эмас ( $I_{k1} = I_{k0}$ ).  $R_k$  қаршилиқдаги кучланишнинг пасаюви жуда кичик ва коллектордан олинаётган кучланиш  $U_{k1} \approx E_k$  (характеристикадаги  $A$  нуқта) бўлади.

Тўйиниш режимда базага мусбат потенциал берилади, база токи  $I_{b2} = \frac{u_{\text{кпр}}}{R_6}$ , коллектор токи  $I_{k2} = \frac{E_k}{R_k}$ , коллектор потенциали эса  $U_{k2} \approx 0$ . Узиш режимдан тўйиниш режимга ўтиш тез рўй беради ва база потенциали (кириш кучланиши  $U_{\text{кпр}}$ ) нинг ортиши коллектор потенциали (чиқиш кучланишини) нинг камайишига олиб келади. Бундай „калит“ *инверторловчи* дейилади. Эмиттер такрорловчилардан такрорловчи „калит“ яшаш мумкин. Бундай калитларда кириш сигнаlining ортиши, чиқиш сигнаlining ортишига олиб келади.

Электрон калитлар турли ўзгартиргичларда кенг қўлланади. Импульсли режимда ишловчи қурилмалардан бири компаратордир. Компаратор икки сигнални ўзаро таққослаш учун ишлатилади (15.66- расм). Компаратор импульсли режимда ишлайдиган ОК лар асосида қурилади. Бу режимда ОК амплитуда характеристикасининг *чиқиқсиз* қисмида ишлайди ва ку-



15.66- расм.

чайтиргичнинг чиқиш кучланиши  $+U_{\text{чик,мах}}$  ва  $-U_{\text{чик,мах}}$  қийматларга эга бўла олади. Компараторнинг киришига икки (таянч ва ўлчанадиган) кучланиш берилади. Таянч кучланиш ўзгармас бўлади. Кириш кучланишининг қиймати таянч кучланишга тенглашганда ОК нинг чиқишидаги кучланиш ўз кутбланишини ўзгартиради. Компараторнинг оддий схемаси билан танишиб чиқамиз (15.66-расм, а). Компараторнинг ноинверсион киришига мусбат тескари боғланиш берилган, ОК дан иборат узатиш характеристикаси гистерезис характеристикасига ўхшайди. Компараторнинг чиқишидаги кучланиш  $+U_{\text{чик,мах}}$  ва  $-U_{\text{чик,мах}}$  қийматларга эга бўлиб, унинг характеристикасида ишга тушиш  $U_{\text{и,т}}$  ва қўйиб юбориш  $U_{\text{к,ю}}$  бўсагалари мавжуддир.  $u_{\text{кир}}$  кучланишни нолга тенг, деб ҳисоблаб, ишга тушиш бўсағасини аниқлаймиз:

$$U_1 \frac{R_3}{R_1 + R_3} + U_{\text{чик}} \frac{R_1}{R_1 + R_3} = 0;$$

$$U_1 = -U_{\text{чик}} \frac{R_1(R_1 + R_3)}{(R_1 + R_3)R_3} = -U_{\text{чик}} \frac{R_1}{R_3}.$$

Бинобарин,

$$U_{\text{и,т}} = -\frac{R_1}{R_3} (-U_{\text{чик,мах}}) = \frac{R_1}{R_3} U_{\text{чик,мах}};$$

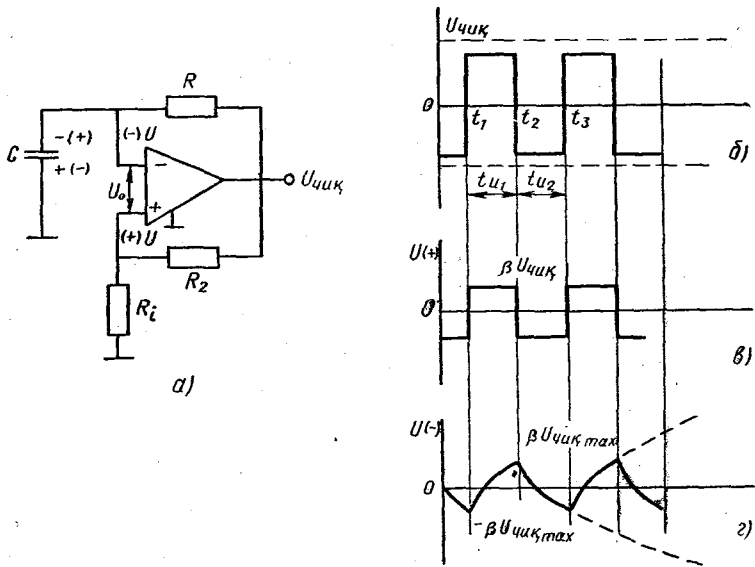
$$U_{\text{к,ю}} = -\frac{R_1}{R_3} U_{\text{чик,мах}}.$$

Компараторнинг ишлашини тушунтирувчи диаграмма (15.66-расм, в) таянч кучланиши ўзгармас ва нолга тенг бўлган ҳолат учун қурилган. Таққосланаётган кучланиш  $U_2$  модуль жиҳатдан таянч кучланиш ва нолдан катта, яъни  $|U_2| > |U_1|$ ,  $U_2 > 0$  бўлса, чиқиш кучланиши  $+U_{\text{чик,мах}}$  да  $-U_{\text{чик,мах}}$  га уланади. Агар  $U_2 < 0$  бўлса,  $-U_{\text{чик,мах}}$  дан  $+U_{\text{чик,мах}}$  га қай-

та уланади. Гистерезис соҳаси  $U_2 = U_{н.т} - U_{к.ю} = 2 \frac{R_1}{R_3} U_{чик}$  га тенг бўлиб, тескари боғланишнинг чуқурлиги билан аниқланади. Демак, компаратор икки барқарор ҳолат ( $+U_{чик\max}$  ва  $-U_{чик\max}$ ) га эга бўлади ва бу ҳолатларнинг бири кириш кучланишлар айирмаси ишга тушиш кучланишидан кичик ва қўйиб юбориш кучланишидан катта бўлган оралиқда сақланиб қолади. Компараторлар ЭҲМ ларда, турли ўзгартиригичларда сигналларни таққослаш учун ишлатилади.

Компараторлар асосида мультивибраторлар қурилади. Мультивибратор деб тўғри бурчакли носинусоидал тебранишлар генераторига айтилади. Тўғри бурчакли тебранишлар кўп сонли оддий гармоник тебранишлар йиғиндисидан иборатдир. Мультивибраторлар импульс техникасида, ЭҲМ ва автоматик қурилмаларда бошқарувчи, ишга туширувчи генератор сифатида ишлатилади.

Мультивибраторлар симметрик, носимметрик вибраторларга бўлинади. Мультивибраторлар ўз-ўзини уйғотиш режимда ишлайди. Симметрик мультивибраторнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.67-расм). Компаратор сифатида ишлаётган ОК нинг инверторловчи киришига  $RC$  занжирни киритиш йўли билан компараторнинг чиқишидаги сигналнинг давомийлиги бошқарилади Вақт  $t = t_1$  бўлганда ОК нинг киришларидаги сигнал  $u_0 > 0$  бўлса, чиқиш кучланиши  $u_{чик} = -U_{чик\max}$ , ноинверсион киришдаги кучланиш  $u_+ = -\beta U_{чик\max}$  бўлади. Бу



15.67- расм.

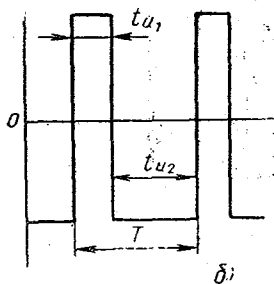
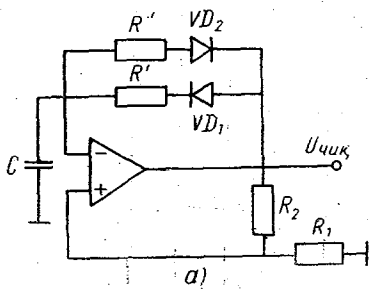
ерда  $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_3}$  — мусбат тескари боғланиш коэффициенти.

Чиқишдаги кучланиш таъсирида конденсатор  $C$  резистор  $R$  орқали зарядланади. Инверторловчи киришдаги кучланиш конденсатордаги кучланишга тенг ва  $u_2 = -\beta U_{\text{чик\max}}$  қийматга эришганда  $u_0 = 0$  бўлиб қолади. Натижада ОК нинг чиқишдаги кучланишнинг қутбланиши ўзгаради ва  $u_{\text{чик}} = +U_{\text{чик\max}}$ ,  $u_+ = \beta U_{\text{чик\max}}$  бўлади. Чиқиш кучланиши  $u_{\text{чик}} = U_{\text{чик\max}}$  бўлгани учун конденсатор қайта зарядланади ва инверторловчи киришдаги кучланиш яна ноинверсион киришдаги кучланиш ( $u_+$ ) га тенг бўлиб қолганида  $u_0 = 0$  бўлиб, чиқишдаги кучланишнинг қутбланиши  $u_{\text{чик}} = +U_{\text{чик\max}}$  дан  $u_{\text{чик}} = -U_{\text{чик\max}}$  га ўзгаради. Жараён бир маромда такрорланиб туради. Мусбат импульслар давомийлиги манфий импульслар давомийлиги билан тенглашади. Импульслар частотаси қуйидагича бўлади:

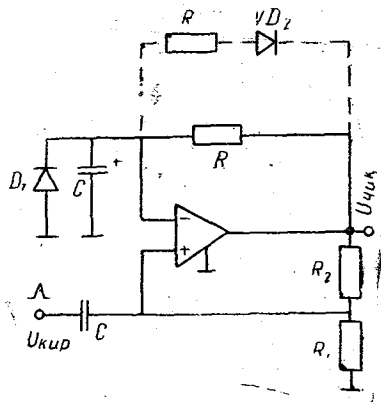
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_{u_1} + t_{u_2}} = \frac{1}{2t_{u_1}}$$

Импульснинг давомийлиги занжирга уланган  $R_1$  қаршилиқлар ва  $C$  конденсаторнинг сифимига боғлиқ.

ОК нинг инверторловчи киришига кетма-кет уланган резистор ва диоддан иборат икки шохбачани ўзаро параллел конденсатор билан кетма-кет улаш орқали носимметрик мультивибратор ҳосил қилиш мумкин (15.68-расм). Конденсатор  $C$



15.68-расм.



15.69-расм.

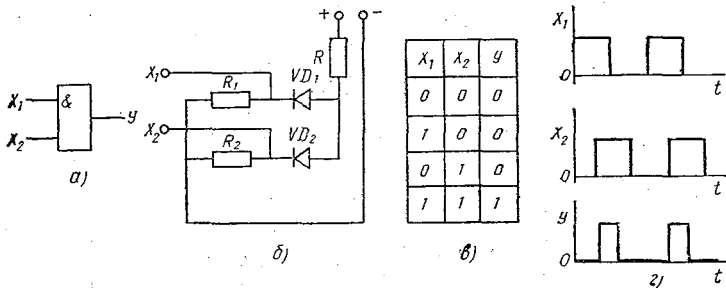


чиқишдаги кучланишнинг бир қутбланишида резистор  $R_1$  ва диод  $VD_1$  орқали зарядланади. Кучланиш тескари қутбланганда конденсатор резистор  $R_2$  ва диод  $VD_2$  орқали зарядланади. Диодлар қаршилигини ҳисобга олмасак, мусбат ва манфий импульсларнинг давомийлиги  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликларга пропорционал бўлади (15.68-расм, б). ОК нинг инверторловчи киришидаги конденсаторга параллел диод бириктириб бир импульсли вибратор ҳосил қилиш мумкин (15.69-расм). Бир импульсли вибратор кутувчи режимда ишловчи мультивибратордир. Мультивибратор иккита беқарор ҳолатга эга бўлса, бир импульсли вибратор битта беқарор ва битта барқарор ҳолатга эга. Барқарор ҳолатда вибраторга қисқа ишга туширувчи импульс берилса, у беқарор ҳолатга ўтади. Чиқиш занжирда тўртбурчак импульс ҳосил бўлади. Конденсаторнинг зарядланиши тугаши билан бир импульсли вибратор яна барқарор ҳолатга ўтади.

### 15.13. МАНТИҚИЙ ФУНКЦИЯЛАР ВА ЭЛЕМЕНТЛАР

Рақамли ахборотдан фойдаланувчи қурилмалар мантиқий ва хотира элементлари асосида қурилади. Мантиқий элементнинг кириш ва чиқишидаги сигнал фақат икки қийматга эга бўлиши мумкин. Бу қийматлар „1“ ва „0“ тарзда белгиланади. Мантиқий элементнинг киришидаги миқдор мантиқий алгебра ёки Буль алгебраси қоидалари асосида чиқишдаги миқдорга айлантирилади. Буль алгебраси ахборотнинг физик хусусиятларини ҳисобга олмай, унинг фақат „тўғри“ (мантиқий „1“) ёки „нотўғри“ (мантиқий „0“) лиги томонидан қарашга имконият беради. Мантиқий элементлар ёрдамида бир неча оддий мантиқий функциялар бажарилиши мумкин.

Асосий мантиқий функциялар — дизъюнкция (мантиқий қўшиш функцияси), конъюнкция (мантиқий кўпайтириш), инверсия (мантиқий инкор этиш) функцияларидир. Мантиқий қўшиш функцияси „ЁКИ“ деб аталади. Функционал схемаларда эса 15.71-расм, а да кўрсатилгандек тасвирланади. Унинг бажарилиш қоидаси қуйидагича. Киришга берилган сигналлардан

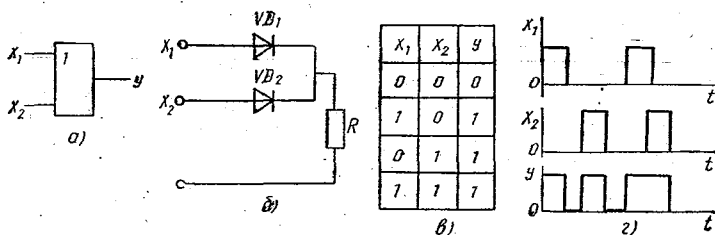


15.70- расм.

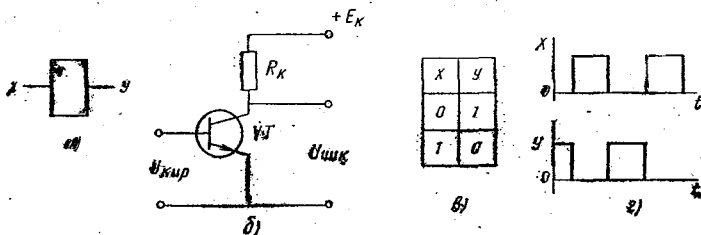
лоақал биттаси мантиқий „1“ га тенг бўлса, чиқишдаги сигнал ҳам „1“ га тенг. „ЁКИ“ операциясини бажариш қондаси 15.71-расм, в ва диаграммаси 15.71-расм, г да кўрсатилган. Шу функцияларни бажариб берувчи оддий схема бўлиниш схемаси бўлиб, 15.71-расм, б да кўрсатилган.  $VD_1$ , ёки  $VD_2$  диоддан ёки иккала диоддан ток ўтгандагина қаршилик  $R_k$  да кучланиш ҳосил бўлади.

Конъюнкция ёки мантиқий кўпайтириш функцияси „ҲАМ“ операцияси деб аталади. 15.70-расмда унинг функционал схемаси, бажарилиши қондаси ва диаграммалари кўрсатилган. Иккала киришда ҳам мантиқий „1“ бўлгандагина чиқишда ҳам „1“ бўлади. Киришдаги бирор сигнал мантиқий „0“ га тенг бўлса, чиқишдаги сигнал ҳам „0“ га тенг бўлади. Шу операция 15.70-расм, б да кўрсатилган схема бўйича бажарилади. Иккала диоднинг киришига „0“ сигнал берилса, диодлар очик бўлиб, резистор ва диодлардан ток ўтади. Манба кучланишининг каттагина қисми қаршилик  $R$  даги кучланиш пасаюви билан мувозанатлашиб, чиқишдаги сигнал жуда кичик, яъни „0“ бўлади. Агар иккала диоднинг киришига „1“ сигнал берилса, диодлар ёпилади, резистор  $R$  дан ток ўтмайди ва чиқишдаги кучланиш манба кучланишига тенглашади.

Инверсия ёки мантиқий инкор этиш функцияси „ЙЎҚ“ операцияси деб аталади. Бу операциянинг функционал тасвири, бажарилиш қондаси ва диаграммалари 15.72-расмда кўрсатилган. Мазкур операцияни бажариш қондаси қуйидагича. Киришдаги сигнал „1“ бўлса, чиқишда „0“ бўлади, киришда „0“ бўлса, чиқишда „1“ бўлади. 15.72-расм, б да кўрсатилган



15.71-расм-



15.72-расм.

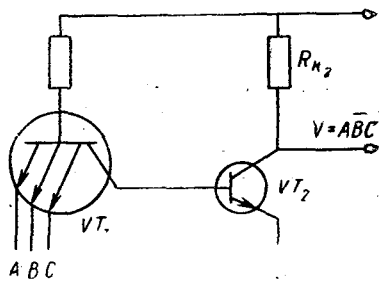
схема „ЙЎҚ“ операциясини бажаради. Киришдаги кучланиш „0“ га тенг бўлганда транзистор ёпиқ,  $E_k$  кучланиш чиқишдаги кучланишга тенг, яъни „1“ бўлади. Киришга сигнал берилганда транзистор очилиб, ундан ва қаршилик  $R_k$  дан ток ўтади ва  $R_k$  қаршиликда кучланиш пасаюви ҳосил бўлади. Чиқишдаги кучланиш  $U_{чик} = E_k - I_k R_k$  нинг қиймати кичик, яъни „0“ бўлади.

Шу уч асосий мантиқий элемент ёрдамида ҳар қандай мантиқий функцияларни бажариш мумкин. Бу элементлар энг оддий элементлар ҳисобланади. Шунингдек, комбинацияланган, яъни 2 ва ундан ортиқ операция бажара оладиган (масалан ЁКИ — ЙЎҚ, ҲАМ — ЙЎҚ ва бошқалар) элементлар ҳам бор.

Ҳозирги вақтда ЭҲМ ларда мантиқий элементлар системасидан кенг фойдаланилади. Функционал тўлиқ бўлган мантиқий элементлар тўплами *мантиқий элементлар системаси* деб аталади. Бу тўпламдаги элементлар умумий эмпирик, конструктив ва технологик параметрларга эгадир. Уларнинг ахборотни тасвирлаш усули ҳам бир хил бўлади.

Қандай элементлардан ҳосил қилинганлигига қараб мантиқий элементлар резистор-транзисторли мантиқ (РТМ), диод-транзисторли мантиқ (ДТМ), транзистор-транзисторли мантиқ (ТТМ) ва МОЯ (металл, оксид, ярим ўтказгич)-транзисторли мантиқ (ТМ) ларга бўлинади. 15.73-расмда кўрсатилган ТТМ элементнинг схемасини кўриб чиқамиз. Бу элемент ҲАМ—ЙЎҚ операциясини бажаради.

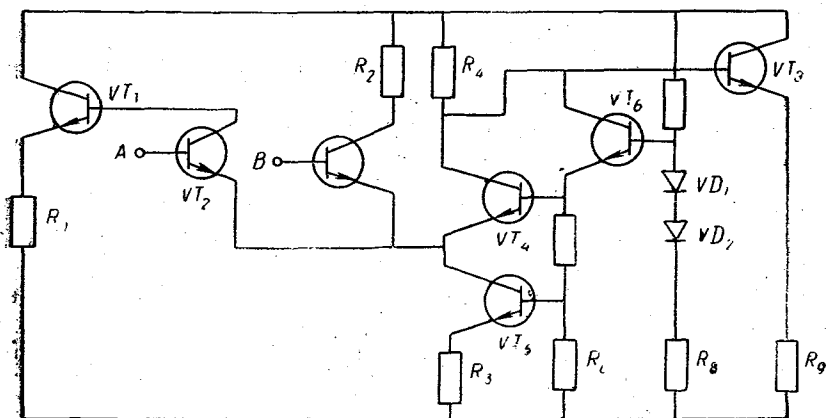
15.73-расмда кўп эмиттерли транзистор асосида қурилган ТТМ элементнинг схемаси кўрсатилган. Схема кўп эмиттерли  $VT_1$  транзистор ва  $VT_2$  транзистордан иборат.  $VT_1$  транзисторнинг  $A, B, C$  киришларига 0 ёки 1 қийматга эга бўлган сигналлар берилади. „0“ деб тўйиниш режимида ишлаётган транзисторнинг  $U_{кэ}$  кучланишига тенг бўлган кучланиш қиймати тушунилади. Агар схеманинг бирор киришига „0“ сигнал берилса, база манба кучланиши  $E_k$  билан резистор  $R_{к2}$  орқали улангани учун транзистор  $VT_1$  тўйиниш режимига ўтади. Бунда  $I_{к1}$  коллектор токи катта эмас ва  $I_{б2}$  токига тенгдир.  $U_{бэ2}$  кучланиш эса  $VT_2$  транзисторни ишга тушириш учун етарли эмас. Элементнинг чиқишидаги кучланиш  $E_k$  га, яъни чиқишдаги сигнал „1“ га тенгдир. Агар кириш занжирларининг барчасига „1“ га тўғри келадиган сигнал, яъни  $E_k$  тенг бўлган кучланиш берилса,  $VT_1$  транзистор инверсион режимда ишлай бошлайди. Транзистордаги коллектор ва эмиттернинг вазифалари ўзаро ўрин



15.73- расм.

алмашади. Инверсион режимда транзисторнинг узатиш коэффициенти ва эмиттер токининг вазифасини бажарувчи коллектор токи кичикдир. Резистор  $R_{61}$  ва  $VT_2$  транзисторнинг эмиттер ўтишидан ўтаётган ток  $VT_2$  транзисторни тўйиниш режимига ўтказидади. Чиқиш кучланиши транзистор  $VT_2$  нинг  $U_{кэ}$  кучланишига, яъни чиқишдаги сигнал „0“ га тенгдир. ТТМ типдаги схемалар ўртача тезкорликка эгадир. Улардаги сигналнинг кечикиш вақти 10—30 нс га тенг. ТТМ типдаги ҳар бир элементнинг чиқишига 10 тадан мантиқий схема улаш мумкин. ТТМ элементлари микросхемаларда бажарилган бўлиб, белгиланишидаги ЛИ ҳарфлар унинг функционал вазифасини мантиқий „ХАМ“. Бу элементлар манба кучланиши 5 вольт бўлганда ишлайди. Улар учун „1“ нинг қиймати  $U^1 \approx 2,4$  В; „0“ нинг қиймати  $U^0 = 0,4$  В.

Эмиттер боғланишли мантиқий (ЭБМ) элементларнинг ишлаш принципи кириш кучланиши бироз ўзгарганда тоқларнинг қайта уланишига асосланади. „ЁКИ“ ёки „ЁКИ — ЙЎҚ“ операциясини бажарувчи ЭБМ типдаги элементнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.74-расм). Кириш сигналлари  $A$  ва  $B$  транзисторлар  $VT_2$  ва  $VT_3$  нинг киришига берилади. Транзисторлар  $VT_2$ ,  $VT_3$  ва  $VT_4$  дифференциал кучайтиргични ҳосил қилади ва схеманинг кириш қаршилиги катта бўлишини таъминлайди. Транзистор  $VT_5$  токнинг барқарор бўлишини таъминлайди. Транзистор  $VT_4$  нинг базисидоги ўзгармас таянч кучланишни транзистор  $VT_6$  ва қаршиликлар ( $R_7$ ,  $R_8$ ) даги кучланиш бўлгичларни ҳосил қилади. Диодлар  $VD_1$  ва  $VD_2$  таянч кучланишининг температуравий барқарорлигини таъминлаб беради. Транзисторлар  $VT_1$  ва  $VT_7$  чиқиш қаршиликларининг кичик бўлишини таъминлайди. Агар транзистор  $VT_5$  нинг кириш занжирига „0“ га мос тушадиган сигнал берилса,  $VT_2$  ва  $VT_3$  транзисторлар узиш режимда бўлиб,  $VT_6$  транзистор-



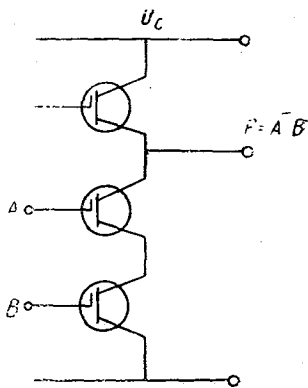
15.74-расм.

нинг токи  $VT_4$  транзистор орқали ўтади. Бунда коллектор занжири учун нагрузка бўлган  $R_4$  резисторда кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш эмиттерли такрорлагич бўлмиш  $VT_7$  транзистор ёрдамида такрорланади.

Агар кириш занжирига „1“ сигнали берилса,  $VT_4$  транзисторнинг токи  $VT_2$  ва  $VT_3$  транзисторлар занжирига қайта уланади. Транзистор  $VT_4$  эса ёпилади,  $R_2$  қаршиликда ҳосил бўлган кучланиш  $VT_1$  эмиттерли такрорлагич орқали чиқишга берилади. Схема ЁКИ — ЙУҚ операциясини бажаради. ЭБМ типдаги элемент юқори тезкорликка эгадир. Ушбу элементнинг икки чиқиши (тўғри ва инверсион) бўлиб, уларга 25 — 30 та элемент улаш мумкин.

Бироқ бу элементларга халақитлар таъсири кучли бўлади. Ундан ташқари, истеъмол қиладиган қуввати ҳам катта. ЭБМ типдаги элементларда сигналнинг кечикиш вақти 1 — 5 нс (наносекунд). Шу сабабдан улар, асосан, тезкор системаларда кенг қўлланилади.

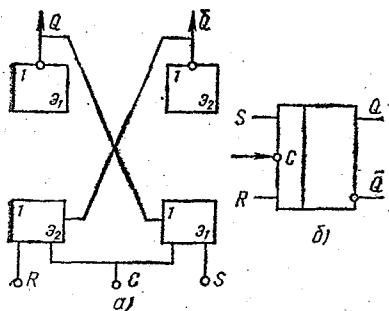
МОП транзисторлар асосида қурилган интеграл схемалар ТТМ ва ЭБМ элементларга қараганда секинроқ ишлайди. Сигналнинг кечикиш вақти 50 — 100 нс. Бу элементлар истеъмол қиладиган қувватнинг нисбатан кичиклиги, чиқишига уланадиган элементлар сонининг кўплиги билан фарқ қилади. Шунингдек, микросхемада эгаллайдиган юзаси ҳам кичикдир. ҲАМ — ЙУҚ операциясини бажарувчи МОЯ элементининг ишлашини кўриб чиқамиз. 15.75-расмда бир қутбли транзисторлар асосида қурилган мантиқий элементнинг схемаси кўрсатилган. Схема учта бир қутбли транзистордан иборат.  $VT_1$  ва  $VT_2$  транзисторларга кириш сигнали берилади. Транзистор  $VT_3$  эса истеъмолчи транзистордир. Кириш сигналлари яъни  $VT_1$  ва  $VT_2$  транзисторларга берилади. Агар иккала киришга,  $VT_1$  ва  $VT_2$  ларнинг тамбасига (затворига) „1“ сигнали (тамбалар потенциали манфий) берилса,  $VT_1$  ва  $VT_2$  транзисторлар очик,  $VT_3$  транзисторда кучланиш пасаяди, чиқишда эса „0“ сигнал бўлади. „0“ сигналнинг қиймати  $U_n$  кучланишга яқин бўлиши учун  $VT_1$  ва  $VT_2$  очик транзисторларнинг натижавий қаршилиги  $VT_3$  транзисторнинг қаршилигидан анча кичик бўлиши керак. Схеманинг чиқишига 10 тадан 20 тагача элемент улаш мумкин.



15.75- расм.

#### 15.14. ЭЛЕКТРОН ҲИСОБЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ АЙРИМ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

*Триггер* икки барқарор ҳолатга эга бўла оладиган импульсли режимда ишловчи қурилмадир. Триггер бир барқарор ҳо-



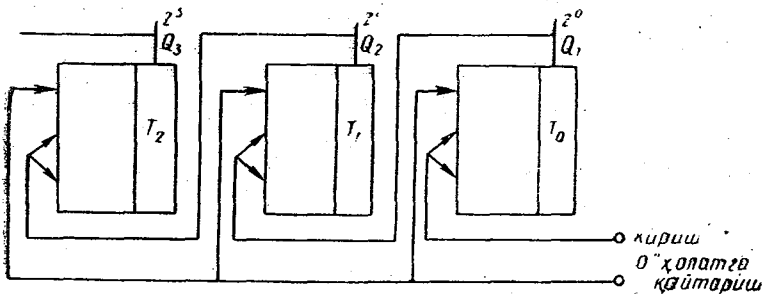
15.76-расм.

латдан иккинчисига ташқи кучланишлар таъсирида ўтади. Ташқи таъсир этувчи кучланишлар узилгандан сўнг триггер узоқ муддат (янги сигнал келгунча) ичида шу барқарор ҳолатини сақлаб қолади. Янги сигнал келганида триггер янги барқарор ҳолатга ўтади. Триггерлар бoshқарилиш турига қараб асинхрон ва тактли хилларга бўлинади. Вазифасига қараб триггерларни  $R-S$ ,  $D$ ,  $T$ ,  $I-K$

турларга бўлиш мумкин. Триггерлар асосан  $\mathcal{E}\text{КИ} - \mathcal{Y}\mathcal{U}\mathcal{Q}$  ёки  $\mathcal{E}\text{КИ} - \mathcal{Y}\mathcal{U}\mathcal{Q}$  мантиқий элементлардан иборат бўлади.  $\mathcal{E}\text{КИ} - \mathcal{Y}\mathcal{U}\mathcal{Q}$  мантиқий элементлардан қурилган тактли  $R-S$  триггернинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.76-расм). Триггер учта кириш  $R$ ,  $S$ ,  $Q(\bar{Q})$  ва иккита чиқиш  $Q$ ,  $\bar{Q}$  га эга. Киришга „1“, „0“ ва ҳисоблаш (такт) импульси берилади, чиқишдан „ноль“ ёки „бир“ ни олиш мумкин. Агар триггернинг  $S$  киришига „1“  $R$  киришига „0“ берсак, ноинверсион чиқиш  $Q$  да „1“ сигнали ҳосил бўлади ва бу ҳолат тескари боғланиш туфайли узоқ муддат сақланиб қолади. Триггерни бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга тактли киришига берилган сигнал ёрдамида ҳам ўтказиш мумкин.

Интеграл микросхемаларда триггер ва унинг киришларини бoshқарувчи схема корпусга жойлаштирилган ягона кремний пластинкасида бажарилади ва  $T\text{T}$ ,  $T\text{P}$ ,  $T\text{Л}$  ҳарфлар билан белгиланади.

Триггерлар асосида импульс ҳисоблагичлар қурилади. Ҳисоблагич кириш сигналларни ҳисоблаб беради. Ҳисоблагичлар жамловчи, айирувчи ва реверсив турларга бўлинади. Триггер асосида тузилган жамловчи ҳисоблагичнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.77-расм). Бошланғич ҳолатда барча триггерлар



15.77-расм.

„0“ ҳолатда бўлади. Триггер  $T_0$  нинг киришига импульс берилади ва триггер „1“ ҳолатга ўтади. Бунда триггерлар  $T_1$ ,  $T_2$  дастлабки ҳолатда бўлади. Кейинги импульсдан сўнг триггер  $T_0$  нинг чиқишида триггер  $T_1$  га импульс узатилади, триггер  $T_0$  эса „0“ ҳолатга ўтади. Учинчи импульс  $T_0$  триггерини „1“ ҳолатга ўтказиши, триггер  $T_1$  „1“ ҳолатда, триггер  $T_2$  „0“ ҳолатда бўлади. Тўртинчи импульс триггер  $T_0$  ни „0“ ҳолатга ўтказиши, унинг чиқишидаги импульс триггер  $T_1$  ни „0“ ҳолатга ўтказиши, триггер  $T_1$  нинг чиқишидан импульс триггер  $T_2$  га ўтиб, уни „1“ ҳолатга ўтказиши ва ҳоказо. Триггерлар ҳолатини 9-жадвал кўринишида ифодалаш мумкин.

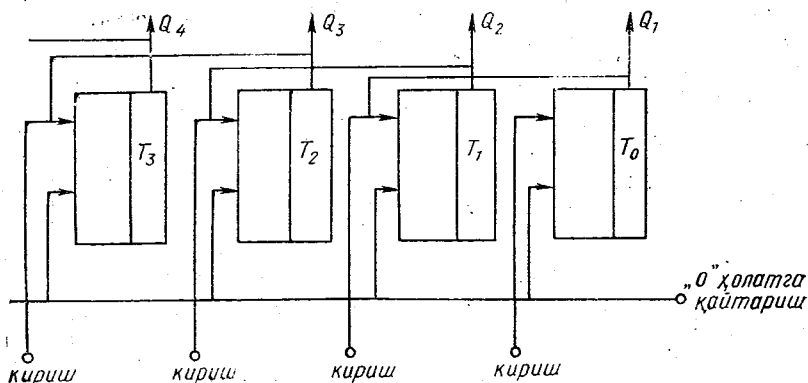
Демак, триггерларнинг ҳолати иккили санок системасидаги импульс ар сонининг ёзилишига мос тушади. Триггерлар сонига қараб ҳисобланиши мумкин бўлган импульслар сони аниқланади. Агар триггерлар сони  $n = 3$  бўлса, импульслар  $N = 2^n = 2^3 = 8$ . Ҳисоблагичлар (счётчиклар) 4, 8, 12 разрядли бўлади. Иккили санок системада ишлайдиган ҳисоблагичлардан ташқари ўнли ва бошқа санок системаларида ишлайдиган ҳисоблагичлар ҳам бор. Улар иккили санок системасида ишлайдиган ҳисоблагичлардан триггерлар сони ҳамда инвертор-

9-жадвал

Импульсларнинг тартиби №	Триггерларнинг ҳолати		
	$T_1$	$T_2$	$T_0$
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

ловчи чиқиши ва кириш занжири орасида тескари боғланишнинг мавжудлиги билан фарқ қилади.

Регистр деб ахборотни ёзиб олувчи, сақловчи ва чиқариб берувчи қурилмага айтилади. Регистрлар асосан иккита рақамни хотирага олиш учун ишлатилади. Бир сон ёзилганидан кейин иккинчи сон ёзилмагунча регистр биринчи сонни эслаб туради. Регистрлар ҳам триггерлар асосида қурилади (15.78-расм). Иккили сонининг ҳар бир разряди ўз триггерига ёзилади. Триггерлар сони регистрнинг разрядларини аниқлаб беради. Тўрт разрядли сурувчи регистрнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.78-расм). Масалан, регистрга 3 рақамини ёзиш керак бўлсин. Бу рақам иккили санок системасида 0011 деб ёзилади. Дастлабки ҳолатда ҳамма триггерлар „0“ ҳолатда бўлади. Кириш занжирига 0011 рақамига мос келувчи импульс-



15.78-расм.

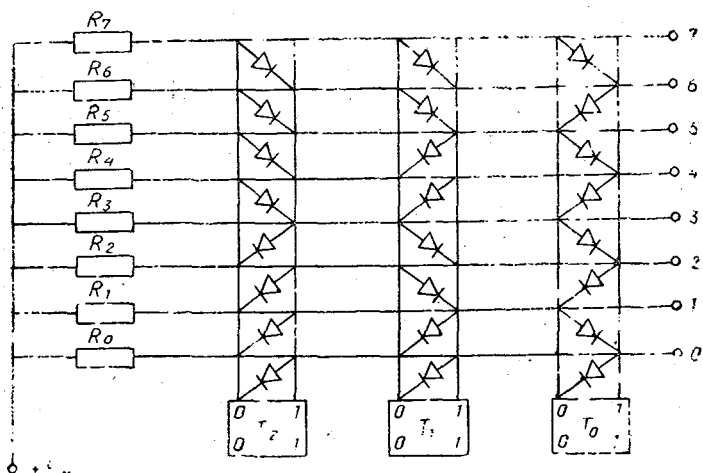
лар серияси бериледи. „Сурувчи“ киришига сурувчи импульслар бериледи. Сурувчи импульслар кичик разрядли триггердан юқори разрядли триггерга импульс ўтиши учун рухсат беради ва кичик разрядли триггерни яна „0“ ҳолатга ўтказеди. Триггерлар ҳолати 3 рақами ёзилганида қуйидагича ифодаланади (10-жадвал).

10-жадвал

Сурувчи импульслар сони	Триггерларнинг ҳолати			
	$T_3$	$T_2$	$T_1$	$T_0$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1

Керак бўлган сон ёзилгандан кейин сурувчи импульсларни бериш тўхтатилади ва ахборот ёзилиб қолади. Регистр ахборотни кетма-кег қабул қилиб олади. Мазкур ахборотни триггердан кетма-кег ва параллел ҳолда чиқариб олиш мумкин. Ахборот параллел ҳолда чиқариб олинганида у ҳамма триггерларнинг чиқишидан бирварақайига олинади. Регистрда ахборотни ўнгга ёки чапга суриб, иккили санок системасида ёзилган рақамни 2 га бўлиш ёки кўпайтириш мумкин. Бундан ташқари, регистрларда иккили кодда ёзилган иккита сонни кўпайтириш ёки бўлиш мумкин. Кўпайтириш операцияси разрядлар бўйича сурилган сонларни қўшиш операцияси билан алмаштирилади. Бўлиш операцияси эса айириш операцияси билан алмаштирилади.



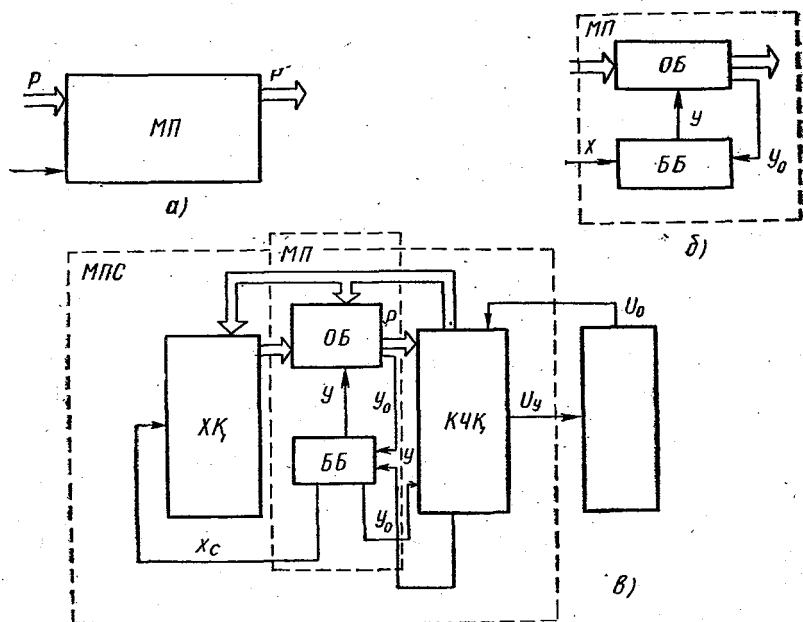


15.79- расм.

Дешифратор деб турли кодли ахборотни ажрата олувчи қурилмага айтилади. Уч элементли кодни ажрата оладиган дешифраторнинг тузилиш принципини кўриб чиқамиз. Киришлаган занжирлар сони  $n = 3$  бўлгани учун чиқишлар  $N = 2^3 = 8$  шина бўлиши керак. Уловчи линиялар тўплами *шина* деб аталади. Ахборотни ёзиб олиб, сақлаш учун учта триггер ва бир неча „ҲАМ“ элементлари керак (15.79- расм). Триггерларнинг ҳар бир чиқиш шинаси диод ва резистордан ташкил топган „ҲАМ“ элементининг чиқиш шиналари ўзининг кириш шиналари билан кесишиб ўтиб, матрица шаклида бўлади ва бундай дешифратор диодли-матрицали деб аталади. Триггернинг кириш занжирига 4 рақами (100) берилса, фақат тўртинчи чиқиш шинаси  $n = E$  кучланишни олиш мумкин. 7 сигнали (111) берилганда еттинчи шинадаги кучланиш  $E$  га тенг бўлади ва ҳоказо. Дешифратор тезкор бўлиб, асосий камчилиги нисбатан кўп элемент талаб этишидadir.

### 15.15. МИКРОПРОЦЕССОРЛАР

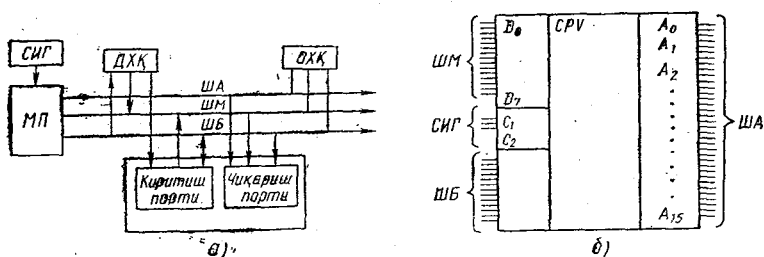
Ҳозирги замон илм-техника тараққиёти КИС — микропроцессорларнинг ишлаб чиқилиши билан боғлиқдир. Ахборот устида арифметик ва мантиқий операцияларнинг тугалланган кетма-кетлигини бажарадиган қурилма *микропроцессор* деб аталади. Шунингдек, микропроцессор ахборотни хотирада сақлаб, уни ташқи қурилма билан алмашиб туради. Унинг вазифаси ЭҲМ процессорининг вазифасига ўхшайди, лекин имкониятлари униқидан камроқ.



15.80- расм.

Микропроцессор (МП) нинг функционал тузилиши ва иш-лаш принципи билан танишиб чиқамиз (15.80-расм). МП нинг киришига маълумотлар массиви  $D$  берилиб, бу массивга маълум ( $x$ ) программа асосида ишлов берилади ва чиқишда  $D'$  маълумотлар массиви олинади.  $D$  массивга ишлов бериш учун МП га иккита асосий қисм: операциялар блоки (ОБ) ва бошқарув блоки (ББ) киритилади. ОБ берилган маълумотлар устида турли операциялар (қўшиш, айириш, кўпайтириш ва ҳоказо) ни бажаради. ОБ нинг тўғри ишлашини ББ таъминлаб туради. Бунинг учун ББ да  $x$  программанинг бажарилиш кўрсатмалари бошқарувчи сигнал  $y$  га айлантирилади. ОБ нинг ҳолатини текшириш учун  $y_0$  сигнали ҳосил бўлиб,  $y$  ББ томонидан кузатилади.

МП нинг асосий вазифаси бирор объектни (масалан, дисплей, шахсий ЭХМ клавиатураси, дастур асосида бошқариладиган дастгоҳлар ва бошқаларни) бошқаришдан иборат бўлиб, бошқариш объекти (БО) билан боғланиш учун киритиш-чиқариш қурилмаси (КЧҚ) га эга. Дастур ва дастлабки маълумотлар хотира қурилмаси (ХҚ) да сақланади. БО дан КЧҚ га узлуксиз сигнал берилади. КЧҚ да сигнал рақамли ахборотга айлантирилади ва ББ га узатилади. Хотирловчи қурилмаси, микропроцессор ва киритиш-чиқариш қурилмасидан иборат система *микропроцессор системаси* (МПС) деб аталади. МПС системада ахборот КЧҚ дан МП га ва ХҚ га берилиши мум-



15.81- расм.

кин. Бунда ахборот алмашуви мавжуд бўлиб, у сақланиб қолиши ҳам мумкин. МПС даги барча блок ва қурилмаларнинг созланишини бир хил частоталар генератори ишлаб чиқарадиган синхронлаш импульслари таъминлаб беради.

Дастур асосида ишлайдиган қурилмаларнинг барчасини (бир кристалли микроконтролердан торғиб, микро ЭХМ гача) 15.81-расм. а даги структура схемаси тарзида ифодалаш мумкин. Бунда СИГ — стандарт импульслар генератори; ДХҚ — доимий хотира қурилмаси; ОХҚ — оператив хотира қурилмаси; АШ — адреслар шинаси; МШ — маълумотлар шинаси; БШ — бошқарув шинаси.

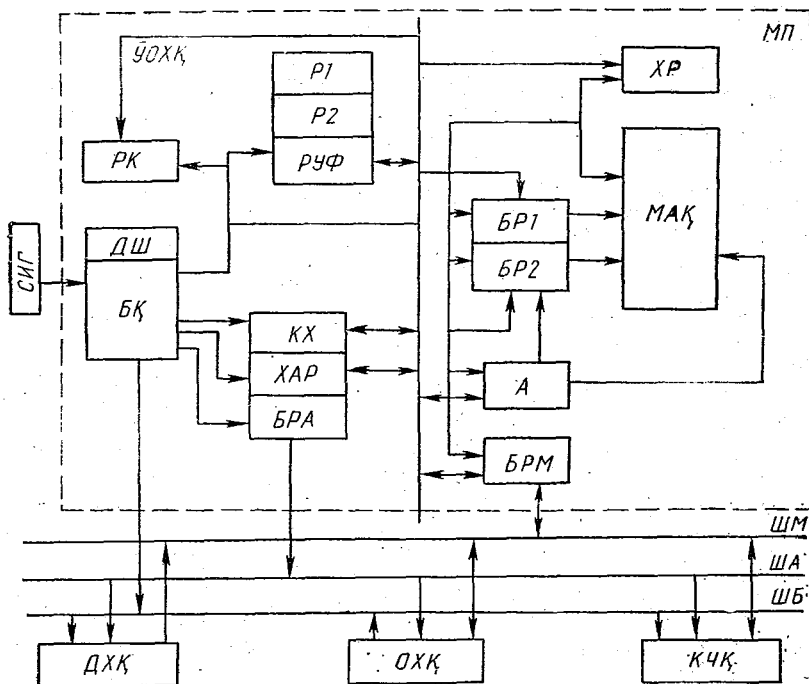
МШ информацияни МП дан ташқи қурилмаларга ва, аксинча, ташқи қурилмалардан МП га узатиш учун хизмат қилади.

БШ бошқарув сигналларни узатиш учун хизмат қилади.

Шиналарлаги линия (сим) лар сони МП нинг турига боғлиқ. Масалан, кенг тарқалган микропроцессор К580 да АШ16 та адрес линияси (АО — А15), МШ да 8 та маълумот линияси ва БШ да 12 бошқарув линияси бор. 15.81-расмда К580 микропроцессоридаги чиқиш симларининг схемаси кўрсатилган. Қиритиш-чиқариш схемаларида (улар портлар деб аталади) ахборотни вақт бўйича кетма-кет ёки параллел узатиш мумкин.

МП, ХҚ ва КЧҚ лар орасида ахборот алмашувини таъминлаб берувчи қўшимча қурилмалар ва шиналар ЭХМ интерфейсини ташкил қилади.

МП да маълумотлар қуйидаги тартибда ёзилади.  $t = t_0$  вақтда АШ га МП маълумотлар ёзилиши керак бўлган ОХҚ катагининг адресини „олиб чиқади“.  $\Delta t_1$  вақтдан сўнг кўрсатилган адрес бўйича ОХҚ га ёзилиш керак бўлган МП маълумотлари МШ га узатилади.  $\Delta t_2$  вақтдан сўнг БШ га ёзиш линиясига рақам ёзишни рухсат этувчи сигнал берилади.  $\Delta t_3$  вақт ичида рақам ОХҚ га ёзилади ва ёзиш линиясига тақиқлаш сигнали берилади. Ахборотни ўқиш ҳам шу тартибда ўтказилади, фақат рухсат сигнали ўқиш линиясига берилади. МП учта режим (синхрон, асинхрон ва хотирага тўғри мурожаат этиш) да ишлаши мумкин. Синхрон режимда МП нинг



15.82- расм.

мурожаатлари орасидаги вақт бир хил ва энг катта қийматга эга. Асинхрон режимда олдинги операция тугаши билан маълумот алмашуви давом этади. Хотирага тўғри мурожаат этиш режими бажарилаётган операцияни тугамасидан тўхтатиб, хотирага мурожаат этиш имкониятини беради.

МП нинг структура схемасини (15.82- расм) батафсилроқ кўриб чиқамиз. МП нинг таркибига уч гуруҳ регистрлар киради. Аккумулятор А, буфер регистрлар БР1, БР2. БРМ ва аломатлар регистри РА дан иборат бўлган маълумотларга ишлов бериш жараёнини таъминлаб берувчи регистрлардан иборат гуруҳ кўрсатмалар регистри РК, кўрсатмалар ҳисоблагичи КХ, хотира адреси регистри ХАР, адреснинг буфер регистри АБР дан иборат бўлган маълумотларга ишлов бериш жараёнини бошқарувчи гуруҳ ва умумий фойдаланишдаги регистрлар (УФР) гуруҳи.

Операциялар блоки (ОБ) нинг асосини мантиқий арифметик қурилма (МАҚ) ҳосил қилади. МАҚ икки рақамга ишлов беради. Бу рақамларнинг бири БР1 регистрда иккинчиси А аккумуляторда жойлашади. Ишлов натижаси аккумуляторга киритилади. МП нинг ишончлилигини БР2 регистр таъмин-

лайди. Аккумулятордаги рақам операция бошланишидан лодин БР2 га ўтказилади. Рақамлар устидаги операциялар натижаси АР томонидан баҳоланади. БРМ ва БРА регистрлар кучайтиргичлар бўлиб, АШ ва МШ шиналар истеъмолчиларини МП билан мослаштириш учун хизмат қиладилар.

ББ да бошқарув сигналлари ишлаб чиқарилади. Кўрсатмалар регистрдан дешифратор (ДШ) га кўрсатмалар берилиб, бошқарув сигналлари аҳамиятини олади.

$Y = |(X_1 + X_2) \cdot X_3 + X_1| \cdot X_3$  мантиқий операцияни бажариш мисолида МП нинг ишлашини кўриб чиқамиз.

+ мантиқий қўшишни, · мантиқий кўпайтиришни

билдиради. Операцияни бажариш учун ЁКИ ва ҲАМ элементлари керак бўлади. Операция бажарилишидан олдин  $X_1 \rightarrow P_1$ ,  $X_2 \rightarrow P_2$ ,  $X_3 \rightarrow P_3$  га киритилади. Дастур АХК га ёзилади. Уни аниқлаш учун қуйидаги дастур бажарилиши керак:

$P_p A P_1$ ; МҚА ва  $P_2$ ; МКА ва  $P_3$ ; МҚА ва  $P_1$ ;  
МКА ва  $P_3$ ; ЧиҚА КЧҚ<sub>i</sub> га.

Бу ерда  $P_p$  — регистрдаги маълумотни аккумуляторга узатишни билдиради; МҚ — мантиқий қўшиш; МК — мантиқий кўпайтириш. ЧиҚА КЧҚ<sub>i</sub> га —  $i$ - номердаги чиқишга аккумулятор ичидаги маълумот чиқарилишини кўрсатади.

Бошланғич ҳолатда КХ га ОХҚ даги биринчи кўрсатма адреси ёзилади. Биринчи кўрсатма 0 адрес бўйича ёзилган бўлса,  $KX := 0$ . МП нинг ишлашига рухсат этувчи сигнал келса, 0 адресдаги кўрсатма коди ОХҚ дан КХ га МШ БРМ, Ш занжир орқали ўтади. Бу оралиқда регистрлар ҳолати қуйидагича бўлади:

$KX := 0$ ;  $XAP := 0$ ;  $KX := P_p AP_1$ .

Кейинги лаҳза ДШ ёрдамида кўрсатма коди очилиб, ББ бошқарув импульсларни ишлаб чиқади. Регистрлар тўлатилган ҳолатга келади:

$KX := KX + 1$ ;  $XAP := P_1$ ;  $A := P_1$ .

Кўрсатмалар ҳисоблагичи 1 га ортиб кейинги кўрсатма адресини аниқлайди. ХАР га  $X$  соннинг адреси берилади ( $P_1$ ). Кейин аккумулятор  $A$  га киритилади. Шу иккала оралиқ „танлаш — бажариш“ машина циклини ҳосил қилади. Бу цикл СИГ дан импульс берилиши билан бошланади. Иккинчи циклда регистрлар қуйидаги ҳолатда бўлади.

- 1)  $KX := 1$ ;  $XAP := 1$ ;  $PK := (MKA \text{ ва } P_2)$  — „танлаш“;
- 2)  $KX := KX + 1 = 2$ ;  $XAP := P_2$ ;  $BP_1 = P_2$ ;  $BP_2 = A$ ;  
 $A := (BP_1) \vee (BP_2)$  — бажариш.

Олтинчи цикл

$KX := 5$ ;  $XAP := 5$ ;  $PK := (\text{чиҚА } A - \text{КЧҚ}_i \text{ га})$  — „танлаш“  
 $KX := KX + 1 = 6$ ;  $XAP := \text{КЧҚ}_i$ ;  $\text{КЧҚ}_i := A$  — „бажариш“

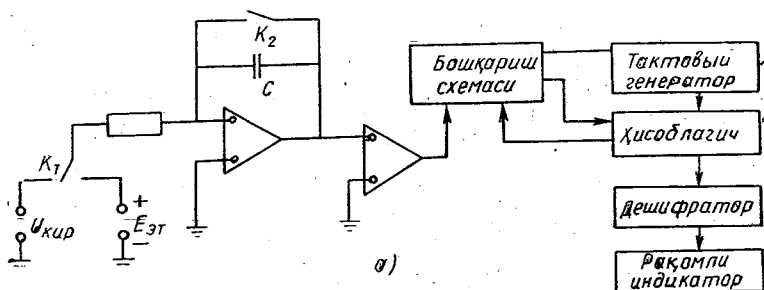
Олтинчи цикл натижасида  $i$ - номерли чиқариш қурилмасида аккумуляторнинг ичидаги ахборот пайдо бўлади.

### 15.16. ЭЛЕКТРОН ВОЛЬТМЕТР

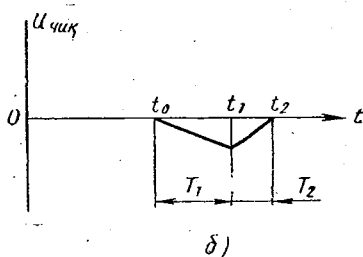
Аналог рақамли ўзгартиргич. Кўпинча температура, босим ва шунга ўхшаш бошқа катталикларни ЭХМ да ишлов бериш учун рақамли миқдорларга айлантириш зарур бўлади. Бу вазифани аналог-рақамли ўзгартиргичлар (АРЎ) бажаради.

АРЎ лар ўзгартириш тезлигига қараб параллел кодлаш АРЎ ҳамда икки тактли интеграллаш АРЎ ва бошқаларга бўлинади. Агар тезкорлик талаб қилинмаса, икки тактли интеграллаш АРЎ дан фойдаланилади. Бундай АРЎ ларда кучланиш вақт оралиғига айлантирилади.

АРЎ нинг схемаси 15.83- расмда келтирилган. Бошланғич ҳолатда  $K$  калит очик,  $K$  калит ёпиқ бўлади.  $t = t_0$  вақт ичида калит  $K_1$  схемани кириш кучланиши  $U_{кир}$  га улайди. Калит очилади ва ОК (операцион кучайтиргич) интегратор сифатида ишлайди. Кириш кучланиши интегралланиб, аррасимон манфий чиқиш кучланишига айлантирилади.  $t = t_1$  вақтда калит  $K$  интеграторни  $E_{эт}$  кучланишга улайди.  $|E_{эт}| < |U_{кир}|$  ва  $E_{эт}$  нинг ишораси манфий бўлгани учун чиқишдаги кучланиш мусбат нишабга эга.  $T_2 = t_2 - t_1$  вақтда нишабнинг тиклиги



$T_1 = t_1 - t_0$  вақтдагидан катта-роқ. Интеграторнинг чиқишидаги кучланиш  $U_{чик} = 0$  бўлганида компаратор режимида ишловчи иккинчи операцион кучайтиргич чиқиш кучланишининг қутбланишини ўзгартиради. Бу кучланиш бошқариш схемасига узатилади. Бу схема эса, ўз навбатида  $K_1$  ва  $K_2$  калитларнинг ҳолатини бошқаради, сўнг жараён давом этади.



15.83- расм.

Чиқиш кучланишини аниқлаймиз:

$$u_{\text{чик}}(t_1) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} u_{\text{кир}} dt$$

$$u_{\text{чик}}(t_2) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_2} u_{\text{кир}} dt + \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} E_{\text{эт}} dt$$

Интеграллашдан сўнг

$$-U_{\text{кир}} T_1 + E_{\text{эт}} T_2 = 0$$

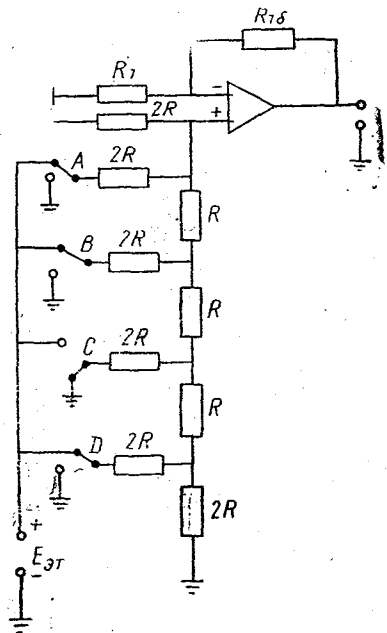
ҳосил бўлади. Бундан

$$U_{\text{кир}} = \frac{E_{\text{эт}} T_2}{T_1}$$

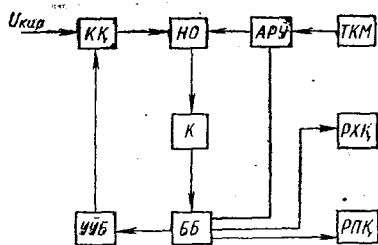
келиб чиқади.

Агар  $T_1$  ва  $E_{\text{эт}}$  — ўзгармас миқдорлар бўлса,  $U_{\text{кир}} = kT_2$ .  $T_2$  нинг қийматини эса ҳисоблагичга дешифратор орқали уланган рақамли индикатор кўрсатади. Ҳисоблагичнинг ишини бошқариш схемаси ростлайди. Бундан ташқари, бошқариш схемаси тактли генератор ва ҳисоблагичнинг ишини шундай ростлайдики,  $T_1$  вақт ичида ҳисоблагич такли импульслар ҳисобининг тўла циклини тугаллайди. Вақт  $t_1$  да ҳисоблагич „0“ ҳолатдадир.  $t_2$  вақт ичида эса ҳисоблагичнинг чиқишида  $T_2$  ораликқа пропорционал бўлган  $N_2$  сон бўлади. Кириш кучланиши ўзгарувчан бўлгани учун интеграллаш натижасида кириш кучланишининг ўртача қиймати олинади.

**Рақам-аналогли ўзгартиргич.** Рақамли ахборотни аналогли ахборотга айлантиришда рақам-аналогли ўзгартиргичлар кенг қўлланади. Бундай ўзгартиргичларнинг тури кўп бўлиб, улардан кенг тарқалгани операцион кучайтиргич ҳамда  $R-2R$  типдаги „нарвонсимон“ бўлувчи асосида қурилган ўзгартиргичдир (15.84-расм).  $A, B, C, D$  калитлар  $2R$  резисторларни ё эталон кучланиш манбаига, ё ноль потенциалга (ерга) улайди. Агар иккили соннинг мос разряди 1 га тенг бўлса,  $2R$  резистор эталон кучланишга, агар „0“ га тенг бўлса ноль потенциалга уланади. Масалан, агар ўзгартиргичнинг кириш занжирига 1101 сигнал бе-



15.84- расм.



15.85- расм.

рилса,  $A, B, D$  калитлар  $E_{эт}$  кучланишга уланади,  $C$  калит эса „ер“ га уланади. Операцион кучайтиргичнинг тўғри киришига  $\frac{E_{эт}}{3} + \frac{E_{эт}}{6} + \frac{E_{эт}}{24}$  кучланиш берилди, яъни  $B$  калитнинг  $E_{эт}$  кучланишга уланиши  $A$  калитнинг уланишидан 2 марта,  $C$  калитнинг уланишидан 4 марта,  $D$  калитнинг уланишидан 8 марта кичик кучланишни ҳосил қилади.

Чиқиш кучланиши ўзгартирилиши керак бўлган иккили кодга тўғри пропорционалдир. Келтирилган мисолдаги 1101 коди 13 сонга тўғри келади.

$$u_{чик} = \frac{E_{эт}}{24} (1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0) = \frac{E_{эт} \cdot 13}{24}.$$

Демак, чиқиш кучланиши 13 га пропорционалдир. Умуман,

$$u_{чик} = \frac{E \cdot R}{R_{г}} X,$$

бу ерда  $X$  — берилган код.

Электрон вольтметрлар ўзгармас ва турли частотадаги кучланишларни, айрим ҳолларда қаршиликни улаш учун ишлатилади. Ҳозирги пайтда код-импульсга ўзгартиргичли рақамли вольтметрлар кенг қўлланилади. 15.85- расмда электрон вольтметрнинг структура схемаси келтирилган. Ўлчанаётган кучланиш  $u_{кир}$  кириш қурилмасига берилади. Кириш қурилмасининг чиқишидан, кириш кучланишининг қийматидан қатъи назар, маълум чегарада ўзгарувчи (масалан,  $0 \div 1$  В) кучланиш олинади. Бу кучланиш  $u_{об}$  органга (НО) узатилади. НО нинг иккинчи киришига АРЎ дан кучланиш узатилади. АРЎ эса таянч кучланиш манбаи (ТКМ) дан таъминланади. Нормаллаштирилган, ўлчанаётган ва АРЎ дан берилаётган компенсацион кучланишлар айирмаси кучайтиргич  $K$  нинг киришига берилади ва кучайтирилиб бошқариш блоки (ББ) га узатилади. У, ўз навбагида, сигнални чегараларни ўзгартириш блоки (ЧЎБ) ва АРЎ га узатади.

Қурилмада ўлчанаётган қийматнинг миқдорига қараб ўлчаш чегарасини автоматик равишда ўзгартириш имконияти бор. Ўлчанаётган кучланиш таъминланган чегаранинг ичида бўлганида бошқариш қурилмаси сигнални ҳисоблаш ёки чоп этиш қурилмасига узатади.



## М У Н Д А Р И Ж А

Сўз боши	3
Кириш	4
<b>1- боб. Ҳзгармас ток электр занжирлари</b>	
1.1. Умумий тушунчалар	6
1.2. Электр занжирининг асосий қонунлари	9
1.3. Манба ва истеъмолчи қисмларидаги кучланишлар	11
1.4. Электр токининг иши ва қуввати	12
1.5. Электр токининг иссиқлик таъсири	13
1.6. Электр занжирида қувватлар мувозанати	14
1.7. Электр занжиридаги қаршиликларни улаш схемалари	15
1.8. Электр занжирининг иш режимлари	19
1.9. Электр занжирларини ҳисоблаш усуллари	21
<b>2-боб. Бир фазали ўзгарувчан ток занжирлари</b>	
2.1. Ҳзгарувчан ток турлари	35
2.2. Синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ни ҳисоб қилиш	36
2.3. Синусоидал ўзгарувчан функцияни характерловчи катталиклар	39
2.4. Синусоидал ўзгарувчан функциянинг таъсир этувчи ва ўртача қийматлари	41
2.5. Синусоидал ўзгарувчи катталикларни айланувчан векторлар ёрдамида ифодалаш	43
2.6. Актив қаршилик, индуктив ғалтак ва конденсатор уланган ўзгарувчан ток занжири	46
2.7. Актив ва реактив қаршиликлари ўзаро кетма-кет уланган занжир	50
2.8. Актив ва реактив қаршиликлари ўзаро параллел уланган занжир	52
2.9. Ҳзгарувчан ток занжирларидаги энергетик жараён	54
2.10. Ҳзгарувчан ток занжирининг қуввати ва қувват коэффициенти	57
2.11. Қучланишлар резонанси	59
<b>3- боб. Уч фазали ўзгарувчан ток занжирлари</b>	
Умумий тушунчалар	62
3.1. Уч фазали ЭЮК, кучланиш ва тоғ системасини ҳисоб қилиш	63
3.2. Манба ва истеъмолчиларни тўрт сингли юдауз усулида улаш	65
3.3. Манба ва истеъмолчиларни уч сингли юдауз усулида улаш	68
3.4. Истеъмолчиларни уч бурчак усулида улаш	69
3.5. Уч фазали занжирларнинг қуввати	71
<b>4- боб. Магнит занжирлари ва электромагнит кучи</b>	
4.1. Умумий тушунчалар	73
4.2. Ферромагнит материаллар ва уларнинг хусусиятлари	75

4.3. Үзгармас МЮК таъсиридаги магнит занжирлари	77
4.4. Үзгарувчан МЮК таъсиридаги магнит занжирлари	80
4.5. Феррорезонанс ҳодисаси	81
4.6. Магнит кучайтиргичлар	83
<b>5- боб. Трансформаторлар</b>	
5.1. Умумий тушунчалар	85
5.2. Трансформаторнинг тузилиш ва ишлаш принципи	87
5.3. Трансформаторнинг иш режимлари	88
5.4. Трансформаторни салт ишлаш ва қисқа туташув режимларида ишлатиш тажрибалари	93
5.5. Трансформатордаги қувват исрофлари ва унинг фойдали иш коэффициенти	95
5.6. Трансформаторнинг номинал катталиклари	96
5.7. Трансформаторнинг ташқи характеристикаси ва ундаги кучланишнинг ўзариши	96
5.8. Ҳч фазали трансформаторлар	97
5.9. Ҳч фазали трансформаторларнинг чулғамларини улаш схемалари ва турқумлари	98
5.10. Трансформаторларнинг параллел ишлаши	101
5.11. Автотрансформаторлар	102
5.12. Ҳлчаш трансформаторлари	103
5.13. Пайвандлаш, трансформатори	105
<b>6- боб. Электр Ҳлаш асбоблари</b>	
6.1. Асосий тушунчалар	106
6.2. Электр Ҳлчаш асбобларига қўйиладиган техник талаблар	107
6.3. Бевосита баҳолайдиган электр Ҳлчаш асбобларининг таснифи	109
6.4. Электр Ҳлчаш асбобларининг механизмлари	112
6.5. Логометрлар	127
6.6. Рақамли электр Ҳлчаш асбоблари тўғрисида асосий тушунчалар	130
<b>7-боб. Электр Ҳлчашлар</b>	
7.1. Электр Ҳлчаш усуллари	132
7.2. Ҳлчаш хатолиги	133
7.3. Ток ва кучланишни Ҳлчаш	135
7.4. Қувват ва электр энергияни Ҳлчаш	135
7.5. Қаршиликни Ҳлчаш, Ҳзгармас ток кўприги	144
7.6. Сигим ва индуктивликни Ҳлчаш, Ҳзгарувчан ток кўприги	149
7.7. Компенсация Ҳлчаш усули, Потенциометрлар	152
7.8. Нозлектр катталикларни электр усулида Ҳлчаш	157
<b>8- боб. Ҳзгармас ток машиналари</b>	
Умумий тушунчалар	168
8.1. Ҳзгармас ток машинасининг тузилиши ва ишлаш принципи	169
8.2. Ҳзгармас ток ҳосил қилишда коллекторнинг аҳамияти	170
8.3. Ҳзгармас ток машинасининг чулғамлари	172
8.4. Якорда индукцияланган ЭҲК	174
8.5. Тормозловчи ва айлантирувчи моментлар	175
8.6. Якорь реакцияси	176
8.7. Якорь коммутацияси	178
8.8. Магнит майдони уйғотиш усулига кўра Ҳзгармас ток генераторларини таснифлаш	179
8.9. Ҳзгармас ток генераторларининг ўз-ўзида уйғотилиши	180
8.10. Параллел уйғонишли Ҳзгармас ток генераторининг характеристикалари	182
8.11. Кетма-кет уйғотишли генератор	185
8.12. Аралаш уйғотишли генератор	186

8.13. Ўзгармас ток двигателлари	188
8.14. Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателининг характеристикалари	191
8.15. Қетма-қет уйғонишли ўзгарма ток двигателининг характеристикалари	193
8.16. Аралаш уйғотишли ўзгармас ток двигателининг характеристикалари	194
8.17. Ўзгармас ток двигателларининг номинал катталиклари ва ФИК	196

### 9- боб. Асинхрон машиналар

9.1. Асинхрон двигателнинг тузилиши	197
9.2. Уч фазали ток системаси ёрдамида айланувчан магнит майдонининг ҳосил бўлиши	200
9.3. Асинхрон двигателнинг ишлаш принципи Ротор ва отатор чулғамларидаги электр юрутувчи қуч ва тоқлар	204
9.4. Асинхрон двигатель магнит юрутувчи кучининг тенгламаси	205
9.5. Асинхрон двигателнинг алмаштириш схемаси ва вектор диаграммаси	207
9.6. Асинхрон двигателнинг электромагнит қуввати ва айлантирувчи моменти	208
9.7. Асинхрон двигателнинг механик характеристикаси	210
9.8. Асинхрон двигателнинг паспортидаги маълумотлар бўйича механик характеристикаси қуриш	214
9.9. Асинхрон двигателнинг энергетик диаграммаси ва фойдали иш коэффициенти	215
9.10. Асинхрон двигателнинг иш характеристикаси	216
9.11. Асинхрон двигателларни ишга тушириш Чуқур пазли ва қўш чулғамли асинхрон двигателларни ишга тушириш	218
9.12. Асинхрон машинанинг генератор ва электромагнит тормоз режимлари	219
9.13. Асинхрон двигателнинг айланиш тезлигини ростлаш ва айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш)	223
9.14. Асинхрон двигателларнинг қувват коэффициентини ошириш	226
9.15. Асинхрон двигателларнинг турлари	227

### 10- боб. Синхрон машиналар

10.1. Умумий тушунчалар. Синхрон машиналарнинг ишлаш принципи	230
10.2. Синхрон генераторнинг салт ишлаши. Нагрузкали иш режими. Якорь реакцияси	233
10.3. Синхрон генераторнинг электр ҳолати тенгламаси ва содалаштирилган вектор диаграммаси	236
10.4. Синхрон генераторнинг тармоқ билан параллел ишлаши	238
10.5. Синхрон машинанинг электр тармоғи билан параллел ишлаши	240
10.6. Синхрон машинанинг айлантирувчи моменти	243
10.7. Синхрон машинанинг двигатель режимида ишлаши. Двигателни синхрон қилиб ишга тушириш	245
10.8. Синхрон двигателдаги уйғотувчи токнинг тармоқ тоқига таъсири. Двигателнинг $U$ симон характеристикалари	248
10.9. Синхрон двигателнинг иш характеристикаси ва асосий солиштирма кўрсаткичлари	250
10.10. Синхрон компенсатор	252

### 11- боб. Кичик қувватли электр машиналар

11.1. Бир фазали асинхрон двигателлар	254
11.2. Икки фазали ижрочи асинхрон двигателлар	255

11.3.	Асинхрон тахогенераторлар	270
11.4.	Буриллиш трансформаторлари	272
11.5.	Асинхрон боғланган индукцион машиналар	274
11.6.	Синхрон микромашиналар	278
11.7.	Ўзгармас ток ижроси двигателлар	282
11.8.	Универсал коллекторли двигателлар	284

**12- боб. Бошқариш ва ҳимоя аппаратлари. Электр юритмани бошқариш**

12.1.	Умумий тушунчалар	285
12.2.	Қўл билан бошқариладиган аппаратлар	285
12.3.	Электромагнит контакторлар, магнитли ишга туширгичлар	290
12.4.	Тиристорли контакторлар	298
12.5.	Ҳимоя аппаратлари	300
12.6.	Электр тузилма ва элементларнинг схемада тасвирланиши	311
12.7.	Электр двигателларнинг автоматик бошқариш, схемаларидан намуналар	315

**13- боб. Электр юритма асослари**

13.1.	Умумий тушунчалар	322
13.2.	Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси	323
13.3.	Электр юритманинг механик характеристикалари	326
13.4.	Электр юритмадаги ўтиш жараёнлари	328
13.5.	Электр юритманинг нагрузка диаграммаси	332
13.6.	Двигателларнинг қизиши ва совиши	334
13.7.	Электр двигателларнинг қувватичи танлаш	337
13.8.	Электр юритма учун двигатель турини танлаш	341
13.9.	Электр юритмани тиристор билан бошқариш	344

**14- боб. Саноат корхоналарининг электр таъминоти**

14.1.	Электр энергияни ишлаб чиқариш	347
14.2.	Электр тармоқлари	350
14.3.	Саноат корхоналарининг электр таъминоти	354
14.4.	Электр таъминоти системасининг ҳисобий қуввати	360
14.5.	Ўтказгичнинг кундаланг кесимини танлаш	363
14.6.	Электр хавфсизлиги асослари	367

**15- боб. Электроника асослари**

15.1.	Умумий тушунчалар. Оддий электровакуум ва ярим ўтказгич асбобларининг ишлаши	372
15.2.	Кўп электродли электровакуум ва ярим ўтказгич асбоблар. Триодлар ва транзисторлар	378
15.3.	Импульс билан бошқариладиган электрон ва ярим ўтказгич диодлар. Газотрон, тиритрон, тиристор	386
15.4.	Микроэлектроника элементлари	391
15.5.	Фотоэлектрон асбоблар	394
15.6.	Ўзгарувчан токни тўғрилаш занжирлари	399
15.7.	Тиристорли ўзгартиргичлар	409
15.8.	Инверторлар	414
15.9.	Частота ўзгартиргичлар	419
15.10.	Қучайтиргичлар	421
15.11.	Электрон вольтметр	437
15.12.	Импульсли ва рақамли техника	441
15.13.	Манتيкий функциялар ва элементлар	447
15.14.	Электрон ҳисоблаш машиналарининг айрим элементлари	451
15.15.	Микропроцессорлар	455
15.16.	Электрон вольтметр	460

Каримов Анвар Саидабдуллаевич, Мирҳайдаров Мирсобиди Мирхусанович, Шоёкубов Гафур Рустамович, Абдуллаев Баҳтиёр, Сергей Григорьевич Блейхман, Бурхонхўжаев Обитхўжа Муротович, Қашқаров Абдали Азимович, Турсунхўжаева Нафиса Убайдуллаевна, Каримова Светлана Абдурахмановна.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

Олий ўқув юрти талабалари учун дарслик

Тошкент «Уқитувчи» 1995

Муҳаррирлар Ш. Аъзамов, Д. Аббосова

Техн. муҳаррир Т. Ф. Скиба

Бадий муҳаррир Ф. Неққадамбоев

Мусаҳҳиҳ М. Иброҳимова

Теризга берилди 5.03.93. Босишга рухсат этилди 26.01.95. Формати 60×90/16. Ли-  
ат. гарнитураси. Кегли 10 шпонсиз. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л.  
5. Нашр. л. 28,5. 4000 нусхада. Буюртма 2920.

«Уқитувчи» нашриёти. 700129. Навоий кўчаси. 30. Шарнома № 11-194-92.

Область газеталарининг М. В. Морозов номидаги бирлашган нашриёти ва босма-  
си. Самарқанд ш., У. Турсунов кўчаси, 82. 1995.

31.21  
Э 45

Электротехника ва электроника асослари:  
Олий ўқув юрт. талаблари учун дарслик. —  
Т.: Уқитувчи, 1995.—468 б.

31.21+32.85