

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАХИРЛИГИ  
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**



**«ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ»  
ЎҚУВ ФАНИДАН**

**МАЪРУЗАЛАР МАТНИ**

Тузувчилар: Пирматов Н.Б., Мустафакулова Г.Н.

Тошкент 2016

## 1-майруза.

### Кириш. Электр машиналарига (ЭМ) оид умумий маълумотлар.

#### **Режа:**

*Электр машиналарининг халқ хўжалигидаги ўрни ва аҳамияти*

*Энергетикада трансформаторларнинг ўрни ва аҳамияти.*

*Электр машиналарига қўйиладиган умумий техник талаблар.*

#### **Электр машиналарининг халқ хўжалигидаги аҳамияти.**

Электр машина механик энергияни электр энергияга (*электр генераторлари*) ёки электр энергияни механик энергияга (*электр моторлари*) айлантира оладиган электромеханик ўзгартгич (ЭМЎ)дир. Электр машиналарида энергиянинг электромеханик ўзгартирилиши магнит майдон воситасида амалга оширилиб, *электромагнит индукция қонунига асосланган*; шунинг учун ҳам уларни *индуктив электр машиналари* дейилади. Ўзгарувчан ток кучланишини ўзгартириб берувчи **трансформаторлар** ҳам индуктив электр машиналари-нинг ўзига хос туридир.

*Электр-машинавий ўзгартгичлар* (масалан, ўзгарувчан ток частотасини ва фазалар сонини ўзгартира оладиган) ва кам қувватли электр сигналлар во-ситасида нисбатан катта қувватли объектларни бошқаришга имкон берувчи *электр-машинавий кучайтиргичлар* ҳам ЭМЎ ҳисобланади.

Саноат электроникасининг жадал равишда ривожланиши туфайли ярим ўтказгич (транзистор, тиристор)ли ўзгартгичлар ва кучайтиргичлар саноатда кенг қўлланилмоқда. Натижада электр-машинавий ўзгартгичлар ва кучайтиргичларни амалда қўллаш соҳалари анча камайган.

**Электр машиналарининг таснифи.** Айланувчи қисмли электр машина-лари токнинг турига кўра *ўзгарувчан* ва *ўзгармас ток* машиналарига бўлина-ди. *Ўзгарувчан ток электр машиналари* ишлаш принципига боғлиқ ҳолда **асинхрон**, **синхрон** ва *коллекторли* машиналарга бўлинади (К.1-расм).

**Асинхрон машиналар.** Тузилиши, ишга тушириш ва техник хизмат кўр-сатишнинг оддийлиги ҳамда юксак ишончлилиги каби афзалликлари туфайли турли хўжалик соҳаларида асосан электр моторлари сифатида ишлатилади.

**Синхрон машиналар** электр станцияларида саноат частотали ( $f = 50$  Гц) ўзгарувчан ток ишлаб чиқарувчи генераторлар ва мустақил электр энергия ис-теъмолчилари (самолётлар, катта кемалар ва бошқ.) учун юқори частотали генераторлар сифатида қўлланилади.

**Ўзгарувчан ток коллекторли машиналари** асосан электр моторлари сифатида ишлатилади. Уларнинг конструкцияси мураккаб ва чўтка–коллектор қурилмасининг тез-тез профилактик кўздан кечириш (ёки таъмирлаш) заруратининг туғилиб туриши туфайли улардан амалда кам фойдаланилади. Автоматика қурилмаларида ҳамда маиший хизмат ва уй хўжалиги электр ускуналарида универсал, яъни ўзгарувчан ва ўзгармас тоқларда ишлай оладиган коллекторли машиналар қўлланилади.

**Ўзгармас ток машиналари** кўпчилик ҳолларда электр моторлари си-фатида айланиш частотаси кенг кўламда ўзгартирилиши талаб қилинадиган электр юритма қурилмаларида ишлатилиб, автоматик ростлаш системаларида эса ижрочи моторлар ва тахогенераторлар сифатида кенг фойдаланилади.

#### **Энергетикада трансформаторларнинг ўрни ва аҳамияти.**

**Трансформатор** – ўзгарувчан ток кучланишини ўзгартирадиган (бу жа-раёнда частота  $f = const$ ) статик (айланувчи қисми бўлмаган) электромагнит ўзгартгичдир. Лекин трансформаторнинг ишлаш принципи ҳам электр маши-налариники сингари электромагнит индукция ҳодисасига асосланганлиги ва ўзгарувчан ток машиналаридаги физик жараёнлар кўп жиҳатдан трансформа-тордагига ўхшаганлиги учун ушбу курсда

трансформаторлар назарияси асосларини ўрганиш, ўзгарувчан ток машиналари назариясининг янада чуқурроқ тушуниб олишга имкон беради.

*Электр машиналари қуйидагича таснифланади, яъни қувватига кўра:*

- 1)  $P_H < 500 \text{ Вт}$ . гача – *электр микромашиналари*; 2)  $0,5 < P_H \leq 10 \text{ Вт}$ . – *кам қувватли*; 3)  $10 < P_H \leq 200 \text{ Вт}$ . – *ўрта қувватли*; 4) қуввати  $P_H > 200 \text{ Вт}$ . – *катта қувватли*; айланиш частотасига кўра:

а)  $n = 300$  айл/мин. гача – *кичик тезликли*; б)  $n_H = 300 \div 1500$  айл/мин – *ўрта тезликли*; в)  $1500 < n_H \leq 6000$  айл/мин – *катта тезликли*; г)  $n_H > 6000$  айл/мин – *ўта катта тезликли* электр машиналари.

Электр машиналарида ротор ва статор ҳосил қилган *магнит майдонларининг бир бирига нисбатан ўзаро қўзғалмас эканлиги* ҳамда электр машиналарининг *генератор ва мотор режимларида ишлаш мумкинлиги* электр машиналари назариясининг *асосий қоидаларидир*.

**Электр машиналарига қўйиладиган умумий техник талаблар**

Умумий мақсадли электр машиналарига қўйиладиган *асосий талаблар* давлат стандарти томонидан белгиланади. Улар қуйидагилардан иборат:

- 1) ишда ишончлилиги юксак бўлиши; 2) энергетик кўрсаткичлари юқори бўлиши; 3) габарит ўлчамлари, массаси ва нархи имкон қадар минимал бўлиши; 4) конструкцияси ишлаб чиқаришда оддий ва уларга техник хизмат кўрсатиш ҳамда ишлатишда осон бўлиши зарур.

Ҳар қайси электр машина эксплуатациянинг аниқ шароитларида (юкланиш режимини, рухсат берилган ўта юклама, кучланиш, ўзгарувчан ток час-тотаси, айланиш частотаси, совитиш муҳитининг харорати, денгиз сатҳидан баландлиги, намлик ва бошқаларда) ишлашга ҳисобланган бўлади. Бу шароитларда машина белгиланган (даврий таъмирлашлар орасидаги) вақт мобайнида авариясиз ва носозликларсиз номинал қувватда ишлай олиши зарур.

Машинанинг ишда ишонччилигини таъминлаш мақсадида уни лойиҳалашда ҳисобга олиш, ишлаб чиқаришда юксак сифатли технологияни қўллаш ва ишлатишни тўғри ташкил қилиш (лойиҳада белгиланган режимда ишлатиш ва профилактик таъмирларни ўз вақтида бажариш) зарур бўлади.

Электр генераторининг ишлаш принципини инглиз олими Фарадей кашф қилган (1831 й.) *электромагнит индукция қонунига* асосланган.

Агар ўтказгич магнит майдонда ташқи куч  $F$  таъсирида ҳаракатга кел-тирилса, ўтказгичда ЭЮК ҳосил бўлади. Агар ўтказгич майдонни перпендикуляр равишда кесиб ўтса, ҳосил бўлган ЭЮК нинг қиймати қуйидагига тенг бўлади

$$E = B \cdot l \cdot v, \quad (1)$$

бунда  $E$  – ўтказгичда ҳосил бўлган ЭЮК, [V];  $B$  – магнит индукция, [Т];  $l$  – ўтказгичнинг актив, яъни магнит майдони кесиб ўтиши натижасида ЭЮК ҳосил қилинадиган қисмининг узунлиги, [м];  $v$  – ўтказгич ҳаракатланиш тезлиги, [м/с].

Бу ЭЮК нинг йўналишини аниқлашда «ўнг қўл» қонидасидан фойдаланилади. Бунинг учун ўнг қўл кафтини шундай жойлаштириладики, унда кафтга магнит майдони куч чизиқлари перпендикуляр йўналсин, бош бармоқ очик ҳолида ўтказгич ҳаракати йўналишини кўрсатса, қолган тўртта очик бармоқлар ЭЮКнинг йўналишини кўрсатади. Ташқи куч таъсирида ўтказгич ўнгдан чапга ҳаракатлантирилганда ЭЮК биз томонга йўналган бўлади.

Агар ўтказгичнинг учлари ташқи қаршиликка уланса, ЭЮК таъсирида берк занжирда йўналиши ЭЮК ники билан бир хил бўлган ток пайдо бўлади. Шундай қилиб, магнит майдондаги ўтказгични бу ҳолда *энг оддий генератор* дейиш мумкин.

Ўтказгичдаги ток  $I$  билан магнит майдоннинг ўзаро таъсири натижасида Ампер қонунига биноан ўтказгичга таъсир этувчи электромагнит куч  $F_{em}$  ҳосил бўлади. Бу кучнинг қиймати қуйидаги формула билан аниқланади

$$F_{em} = B \cdot l \cdot I \quad (2)$$

Бу кучнинг йўналишини «чап қўл» қоидаси ёрдамида аниқлаш мумкин. Бу-нинг учун чап қўлни магнит майдондаги ўтказгичга параллел қилиб тутганда майдон куч чизиқлари кафтга томон йўналиб, тўртта бармоқ ўтказгичдаги токнинг йўналишида очилса, ўтказгичга перпендикуляр очилган бош бармоқ электромагнит кучнинг йўналишини кўрсатади. Бу куч ўтказгичнинг ҳаракат-ланишига тескари йўналган бўлиб, *генераторда тормозловчи таъсир қилади.*

Ўтказгичнинг ҳаракати бир текис бўлганда ташқи ҳаракатлантирувчи куч  $F$  электромагнит куч  $F_{em}$  га тенг бўлади

$$F = F_{em}. \quad (3)$$

(3) тенгликнинг иккала қисмини ўтказгич тезлиги  $v$  га кўпайтирамиз:

$$F \cdot v = F_{em} \cdot v. \quad (4)$$

(2) дан  $F_{em}$  нинг қийматини (К.4) га қўйиб қуйидагига эга бўламиз:

$$F \cdot v = B \cdot l \cdot I \cdot v = E \cdot I. \quad (5)$$

(5) тенгликнинг чап қисми ( $F \cdot v$ ) ўтказгични магнит майдонда ҳара-катлантириш учун механик қувватни, ўнг қисми ( $E \cdot I$ ) эса ёпиқ занжирда ток  $I$  ҳосил қилган электр қувватни кўрсатади. Шундай қилиб, ташқаридан бери-лаётган *механик қувват генераторда электр қувватга айланади.*

Агар ўтказгичга ташқи куч қўймай, унга электр энергия манбасидан К.2,*b*-расмда кўрсатилгандек йўналишдаги ток берилса, у ҳолда ўтказгичга фақат электромагнит куч  $F_{em}$  таъсир этади, холос. Ўтказгич шу куч таъсирида магнит майдонда ўнгдан чапга ҳаракатлана бошлайди, ўтказгичда ҳосил бўладиган ЭЮК эса олдингига нисбатан тескари бўлади. Ўтказ-гичга манбадан қўйилган кучланишнинг асосий қисми ундаги ҳосил бўлган ЭЮК билан мувозанатлашади, жуда ҳам кам қисми эса ўтказгичдаги куч-ланиш тушишини қоплайди, демак, электр занжири учун Кирхгофнинг II қонуни қуйидагича ёзилади:

$$U = E + I r, \quad (6)$$

бунда  $r$  – ўтказгичнинг электр қаршилиги.

(К.6) тенгликнинг иккала қисмини ток  $I$  га кўпайтирамиз:

$$U I = E I + I^2 r. \quad (7)$$

(К.1) формуладан ЭЮК  $E$  нинг қийматини (К.7) га қўйиб, (К.2) ни ҳам **ҳисобга олган ҳолда қуйидагини ҳосил қиламиз:**

$$U I = B l v \cdot I + I^2 r = F_{em} \cdot v + I^2 r. \quad (8)$$

*Бундан:* ўтказгичга кирувчи электр қувватнинг асосий қисми механик қувват ( $F_{em} \cdot v$ ) га айланади, жуда ҳам кам қисми эса ўтказгичдаги электр ис-рофлари ( $I^2 r$ )ни қоплашга сарфланар экан. *Шундай қилиб*, магнит майдонга жойлашган токли ўтказгични *энг оддий электр мотори* деб қараш мумкин.

Электр машина ишлашининг зарурий шарти ўтказгичлар ва магнит май-доннинг мавжуд бўлишидир. Бунда электр машина генератор сифатида ҳам, мотор сифатида ҳам ишлаши мумкин. Электр машинанинг бу хусусияти улар-нинг *қайтарлиги* деб аталади (буни Э.Ленц 1833 й. кашф қилган).

## 2-маъруза

**Тузилиши ва ишлаш принципи. Чулғамлар электр юритувчи ва магнит юритувчи куч тенгламалари.**

*Режа:*

---

*Тузилиши: магнит ўзаклари ва магнит ўзакларнинг тузилиши; трансформатор чулғамлари ва уларнинг тузилиши.*

*Ишлаш принципи.*

*Чулғамлар электр юритувчлар тенгламалари.*

*Магнит юритувчи куч тенгламалари.*

## **Магнит ўзаклари ва магнит ўзакларнинг тузилиши**

*Магнит ўтказгич трансформаторнинг муҳим таркибий қисми бўлиб, у чулғамлараро магнит боғланишни кучайтиришдан ташқари, чулғамлари ва ёрдамчи қисмларини ўрнатиш ҳамда маҳкамлаш учун конструктив асосдир.*

*Ўзгарувчан токда ( $f = 50 \text{ Hz}$ ) уюрма тоқлар туфайли ҳосил бўладиган энергия исрофларини камайтириш мақсадида трансформаторларнинг магнит ўтказгичлари 0,35 ва 0,30 мм қалинликлардаги совуқ ҳолатда жўваланган ани-зотропли (магнит хоссалари яхшиланган, масалан, 3404÷3406 маркали) элек-тротехник пўлат пластиналари махсус лок ва оксид пардалари билан қоплан-ган ҳолда изоляция қилиниб йиғилади. Бундай пўлатни қўллаш магнит ўтказ-гичдаги индукцияни 1,6÷1,65 Т гача оширишга (иссиқ ҳолатда жўваланган пўлатда эса магнит индукцияни 1,4÷-1,45 Т дан ошириб бўлмас эди) имкон яратиб, трансформаторнинг актив (магнит ва электр ўтказувчи) материаллари массасини ҳамда энергия исрофларини кескин камайтиришга имкон берди.*

*Магнит системанинг чулғам жойлаштирилган қисмини «стержень», улар-ни улаб, берк магнит занжир ҳосил қиладиган қисмини «ярмо» дейилади.*

### **Уч фазали трансформаторларнинг магнит ўзаклари**

*Уч фазали ток ва кучланишларни магнит ўтказгичи умумий бўлган бит-та уч стерженли уч фазали трансформатор воситасида ўзгартирилади. Агар учта бир фазали трансформаторни 2.1,а-расмда кўрсатилгандек жойлашти-рилса, унда магнит ўтказгичнинг ўзакларини конструктив жиҳатдан битта умумий ўзакка алмаштириш мумкин. Уч фазали системада синусоидал магнит оқимлар оний қийматларининг йиғиндисини нолга тенг бўлганлигидан умумий ўзакда магнит оқими бўлмайди, шунинг учун бу ўзакка зарурат ҳам қолмайди.*

*Мазкур конструкцияни соддалаштириш учун учта стерженни битта те-кисликка жойлаштириб, устки ва остки ярмолар билан уланса, уч фазали учта стерженли ясси шаклли магнит ўтказгич ҳосил бўлади (2.1,с-расм).*

*Барча ўзак ва ярмоларнинг бўйлама ўқлари битта текисликда жойлашган бўлса, трансформатор магнит ўтказгичини ясси шаклли, агар ҳар хил текисликларда жойлашган бўлса – фазовий шаклли дейилади. Ўзакларнинг ярмолар билан бирикишига кўра магнит системалар стерженли, зирҳ-стерженли ва зирҳли турларга бўлинади.*

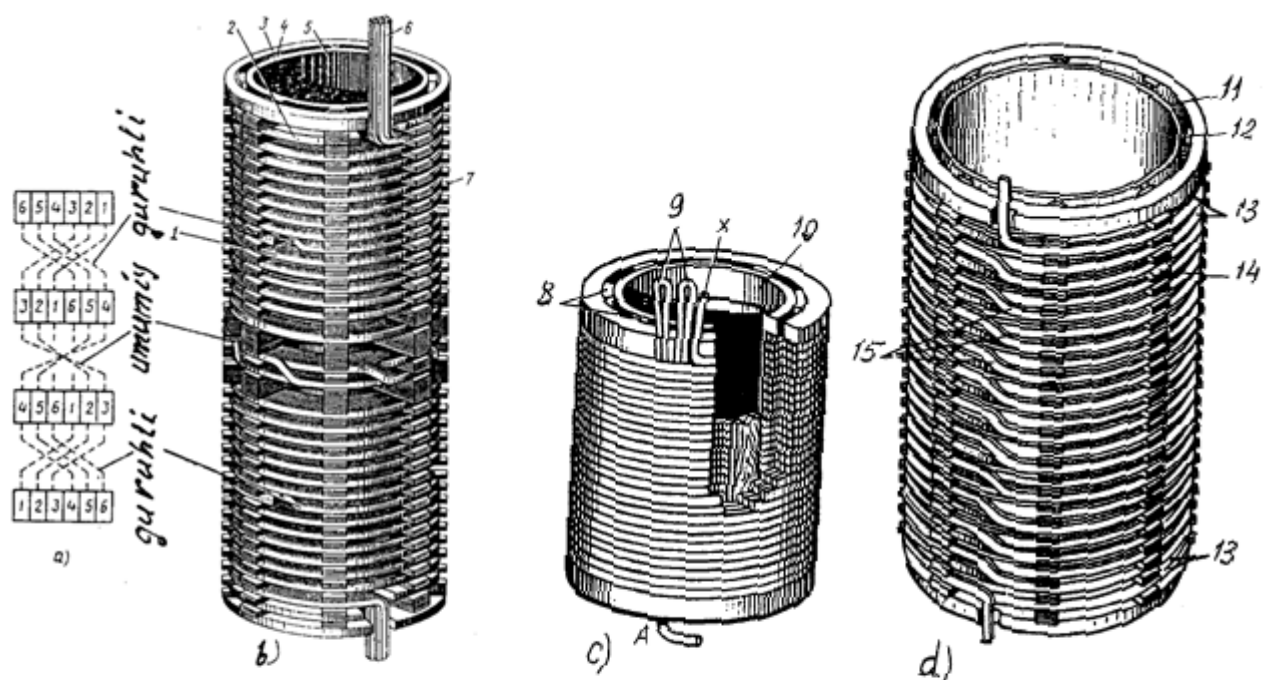
### **Трансформатор чулғамлари ва уларнинг тузилиши**

*Чулғамлар трансформаторнинг муҳим таркибий қисми бўлиб, улар электр энергияни ўзгартириш учун зарур бўлган магнит майдонни вужудга келтиришни ҳамда трансформаторни амалда ишлатиш учун муҳим бўлган ЭЮК лар ҳосил қилишни таъминлайди.*

*Чулғамларни тайёрлашдаги сарфланадиган материаллар нархи ва уларни ўраш учун тўланадиган иш ҳақи трансформатор нархининг тахминан 50 фо-изини ташкил этади. Трансформаторнинг хизмат муддати унинг оғир шароит-ларда ишлайдиган чулғамларининг хизмат муддати билан аниқланади.*

*Ўзакда жойлашишига кўра чулғамлар концентрик ва алмашинувчи тур-ларга бўлинади. Алмашинувчи чулғамларда ЮК ва ПК ғалтаклар ўзак баланд-лиги бўйича навбатма-навбат ўзаро алмашинган бўлади. Алмашинувчи чул-ғамлар асосан махсус трансформаторлар учун қўлланилади. Умумий мақсадли куч трансформаторларида ва махсус трансформаторларнинг айримларида,*

одатда, *концентрик* чулғамлар қўлланилади. Бунда ўзак яқинига ПК чулғам, унинг ташқарисига эса ЮК чулғам жойлаштирилади. *Конструкцияси ва ўраш усулига кўра* концентрик чулғамлар *цилиндрик, ғалтакли ва винтсимон* турларга бўлинади. Катта қувватли трансформаторларда параллел симларнинг сони бир неча ўнларгача етиши мумкин. Шу сабабли бундай трансформаторларнинг ПК чулғами учун бир неча тўғрибурчак кесимли симлардан параллел бажарилган *кўп йўлли винтсимон чулғамлар* қўлланилади. Винтсимон чулғамда (2.4,b-расм) параллел симлар концентрик равишда чулғам ўқидан ҳар хил узоқликда жойлашганлиги туфайли ўзакка яқинроқ жойлашган симларга нисбатан ундан узоқда жойлашганлари узунроқ бўлади. Бу фарқ шу симлар актив ва индуктив қаршиликларининг тенгсизлигини вужудга келтиради ва уларда тоқлар бир текис тақсимланмайди.



Кучли трансформаторнинг: *a)* винтсимон чулғамда ўтказгичларнинг ўрин алмашиш (транспозиция) схемаси; *b)* бир йўлли винтсимон чулғам: (1-ўрамлар; 2-тенглаштирувчи сегментлар; 3-устки таянч халқаси; 4-вертикал совутиш каналлари; 5-изоляцияцион цилиндр; 6-параллел ўтказгичлар; 7-кистирма); *c)* кўп қатламли цилиндрик чулғам (8-вертикал рейкалар; 9-челғам боши ва кети; 10-изоляцияцион цилиндр); *d)* 35 kV кучланиш учун узлуксиз ғалтакли чулғам: (11-изоляцияцион цилиндр).

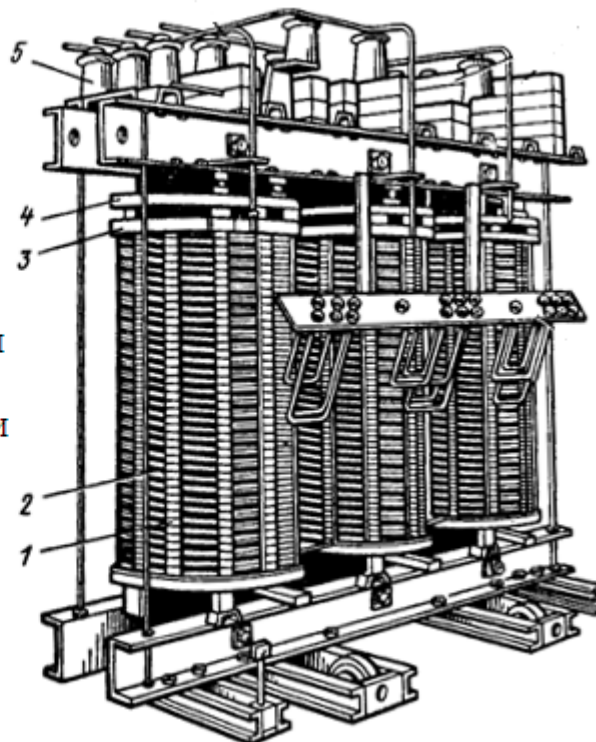
Винтсимон чулғамларда параллел симлардаги токнинг бир текис тақсимланиши учун бир ўрамни ҳосил қилувчи симларни маълум схемада ўрин ал-маштириб (транспозиция қилиб) жойлаш талаб қилинади (2.4,a-расм). Бунда ҳар битта сим битта ўрам чегарасида мумкин бўлган ҳамма ҳолатларни нав-батма-навбат эгаллаши лозим бўлади.

Қуввати  $S_N \leq 630 \text{ кV} \cdot \text{А}$  ва кучланиши  $U_N \leq 35 \text{ кV}$  гача бўлган трансформаторларда ПК чулғам учун думалоқ кесимли симдан ясалган *кўп қатламли цилиндрик чулғамлар* қўлланилади (2.4,c-расм).

Узлуксиз ғалтакли чулғамда битта ғалтакдан иккинчисига симни узмасдан ўтилади (2.4,d-расм). Бундай чулғамнинг *афзалликларига* таянч юзаси-нинг катталиги сабабли қисқа туташувда вужудга келадиган бўйлама кучларга нисбатан катта чидамлилиқ ва совитиш юзасининг катталиги киради. Шу аф-залликлари туфайли *узлуксиз чулғам* кенг кўламда қўлланилади.

Трансформатор чулғамларининг учлари бак қопқоғида ўрнатилган мах-

Қуввати 320 кV.А бўлган курук кучли трансформаторнинг қопламасиз кўриниши: 1-вертикал тортиш шпилькаси; 2-юқори кучланиш чулғами; 3-чулғамларни пресслаш чинни таглиги; 4-прессловчи пўлат халка; 5-изоляциярлар.



сус чинни изоляторлар ичидан ўтган кесим юзаси нисбатан катта бўлган ўт-казгичларга уланиб ташқарига чиқарилади.

Мой билан совитиладиган («мойли») ва ҳаво билан табиий равишда совитиладиган («курук») трансформаторларнинг чулғамлари А (105 °С) кизишга

чидамлилиқ классдаги кабель қоғози тасмаси билан изоляцияланган ПБ маркали мис ва АПБ маркали алюминий ўров симларидан ҳамда мис ва алюминий тасмасидан ёки ўлчами чулғам баландлигига тенг бўлган фольгадан тайёрланади. Курук трансформаторларда (2.5-расм) «В» ва «F» классларига кирувчи изоляцияли ўров симларини ҳам кенг қўллайдилар.

Чулғамларнинг йўл қўйиладиган (меёрий) хароратси трансформатор мойининг хароратси (105 °С) билан, яъни «А» классдаги изоляция билан белгиланганлиги сабабли, бундан катта хароратга мўлжаллаб тайёрланган изоляцион материал мойли трансформаторларда қўлланилмайди.

Замонавий трансформаторсозликда кучланиш класслари 110÷1200 кV бўлган сўнгги йилларда ишлаб чиқилган трансформаторларда ЮК чулғам учун *тўқима чулғамлар* кенг қўлланила бошланди.

Тўқима чулғамда қўшни ўрамлар орасидаги кучланишлар фарқи узлуксиз чулғамникига нисбатан  $n/2$  марта катта. Бунда қўшни ғалтаклар орасидаги кучланиш пасаяди, бу ҳолда экранловчи ўрамлар ва айрим ғалтакларни қўшимча изоляция қилиш талаб қилинмайди.

**Трансформатор ишлаш принципи.**

Электромагнит индукцияси ҳодисаси трансформаторлар назариясининг асосини ташкил қилади. Фарадей буни қуйидагича таърифлаган. «Вақт бўйича ўзгармас бўлган магнит майдон куч чизиқларини бирор тезлик билан кесиб ўтаётган ўтказгичда ҳосил бўлган ЭЮК нинг қиймати магнит индукция  $B$  га, ўтказгич узунлиги  $l$  га ва унинг ҳаракат тезлиги  $v$  га тўғри пропорционал бўлади, яъни  $E = Blv$ ». Ва бунинг акси - электромагнит индукцияси қўзғолмас ўтказгич ва ҳаракатдаги магнит майдони (ўзгарувчан магнит майдони) бўлганда ҳам содир бўлиши мумкин. Бу ҳодисани Максвелл таърифлаган - «Магнит оқими билан илашган берк ўтказгичдаги ЭЮК нинг қиймати магнит оқими ўзгариш тезлигининг катталигига тенг, яъни  $e = -d\Phi/dt$ ».

1-расмда оддий бир фазали икки чулғамли кучланишни пасайтирувчи трансформатор магнит ўтказгич ва унинг ўзакларига жойлаштирилган ўрамлар сони  $w_1$  бўлган ЮК (бирламчи) ва ўрамлар сони  $w_2$  бўлган ПК чулғамларни тасвирлаш осон бўлиши учун улар ҳар хил ўзакда жойлаштирилган ҳолда кўрса-тилган. Реал трансформаторларда магнит боғланишни яхши таъминлаш учун ПК ва ЮК чулғамлар битта ўзакда жойлаштирилади.

Иккиламчи чулғами юкламадан узилган трансформатор бирламчи чулғами ўзгарувчан ток манбаига уланса, бирламчи чулғамдан юксиз ишлаш токи  $I_1 = I_0$  оқиб ўтади.

Унинг реактив ташкил этувчиси  $I_{0,r} \approx I_0$  шу чулғамда магнит юритувчи куч

(МЮК)  $I_{0,r}w_1$  ни вужудга келтириб, у эса ўз навбатида, асосий ( $\Phi$ ) ва тарқоқ ( $\Phi_{\sigma 1}$ ) магнит оқимни ҳосил қилади ( $\Phi_{\sigma 1}$  тўла магнит оқимнинг тахминан  $0,1 \div 0,25$  фоизини ташкил қилади).

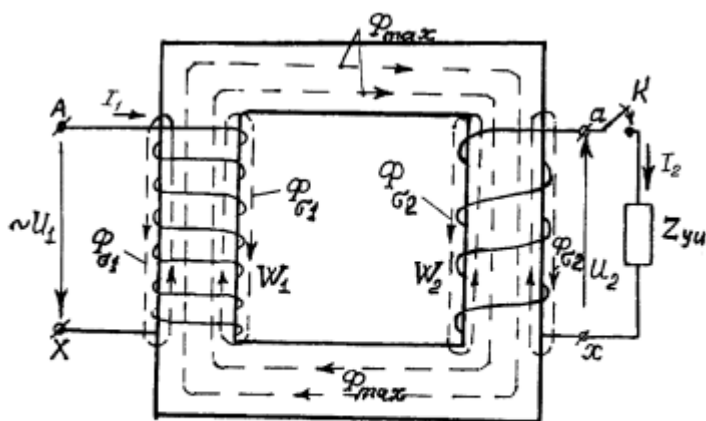
**Юксиз ишлаётган трансформатор ЭЮКлари.** Асосий магнит оқим  $\Phi$  нинг куч чизиқлари бирламчи ва иккиламчи чулғам ўрамлари билан илашиб электромагнит индукция қонунига асосан бирламчи чулғамда ўзиндукция ЭЮК  $e_1$  ва иккиламчи чулғамда ўзаро индукция ЭЮК  $e_2$  ларни ҳосил қилади. Уларнинг оний қийматлари электромагнит индукция таърифига мувофиқ қуйидагича ифодаланади

$$\begin{aligned} e_1 &= -w_1(d\Phi/dt) = -d\psi_1/dt; \\ e_2 &= -w_2(d\Phi/dt) = -d\psi_2/dt, \end{aligned} \quad (3.1)$$

бунда  $\psi_1 = w_1\Phi$ ;  $\psi_2 = w_2\Phi$  – мос равишда бирламчи ва иккиламчи чулғам магнит оқим илашишлари, [Vb].

Магнит оқимининг шакли синусоидал бўлгандаги, яъни  $\Phi = \Phi_{max}\sin\omega t$ , (3.1) қийматга қўйиб, дифференцияллагандан сўнг,  $\cos\omega t = -\sin(\omega t - \pi/2)$  эканлиги эътиборга олиниб, қуйидаги натижани олиш мумкин

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \omega w_1 \Phi_{max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{1max} \sin(\omega t - \pi/2); \\ e_2 &= \omega w_2 \Phi_{max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{2max} \sin(\omega t - \pi/2), \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$



Бир фазали трансформаторнинг электромагнит схемаси



бу ерда  $E_{1\max} = \omega w_1 \Phi_{\max}$  ва  $E_{2\max} = \omega w_2 \Phi_{\max}$  – мос равишда бирламчи ва иккиламчи чулғам ЭЮК ларининг максимал қийматлари, [V].

(3.2) дан қуйидаги хулоса келиб чиқади. Трансформатор чулғамларидаги ҳосил бўлган  $e_1$  ва  $e_2$  ЭЮК ларнинг вақт бўйича ўзгариш фазаси магнит оқим  $\Phi_{\max}$  дан  $\pi/2$  бурчакка кечикар экан, яъни  $90^\circ$  га орқада қолади.

Электротехника назарий асослари фанидан маълум бўлишича, (3.2) даги синусоидал шаклда ўзгараётган ЭЮК ўзининг максимал қийматида  $\sin(\omega t - \pi/2) = 1$  да эришади. ЭЮКларнинг максимал ( $E_{1\max}$  ва  $E_{2\max}$ ) қийматларини  $\sqrt{2}$  га бўлиб, (3.2) га  $\omega = 2\pi f$  қўйилса, ЭЮК ларнинг таъсир этувчи (эффektiv) қийматларини аниқлаш аналитик ифодасига эга бўламиз

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_{1\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) \cdot f w_1 \Phi_{\max} = 4,44 f w_1 \Phi_{\max} ; \\ E_2 &= E_{2\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) \cdot f w_2 \Phi_{\max} = 4,44 f w_2 \Phi_{\max} . \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Тарқоқ магнит оқим куч чизиқлари асосан магнит қаршилиги катта бўлган ҳаво, мой, чулғамнинг мис ёки алюминий симлари ва изоляциялар орқали туташганлигидан у мазкур чулғам МЮК га мутаносиб равишда ўзгаради.

Тарқоқ магнит оқими  $\Phi_{\sigma 1}$  куч чизиқлари фақат бирламчи чулғам ўрамларини кесиб ўтганлиги сабабли уларда ( $\psi_{\sigma 1} = \Phi_{\sigma 1} w_1$ ) ЭЮК  $e_{\sigma 1}$  ҳосил бўлади. Унинг оний қиймати қуйидагига тенг

$$e_{\sigma 1} = -w_1 (d\Phi_{\sigma 1} / dt) = -d\Psi_{\sigma 1} / dt. \quad (3.4)$$

У реактив характерга эга бўлиб, ток  $i_0$  га нисбатан  $90^\circ$  га орқада қолади.

Тарқоқ ЭЮК ( $e_{\sigma 1}$ ) нинг қиймати чулғамдаги токка мутаносиб равишда ўзгаради. Шу туфайли мазкур ЭЮК ни унга эквивалент бўлган кучланиш пасаюви орқали ифодалаш мумкин. Унинг оний  $e_{\sigma 1}$  ва таъсир этувчи (эффektiv)  $E_{\sigma 1}$  қийматлари қуйидагича аниқланади

$$e_{\sigma 1} = -jI_0 x_1; E_{\sigma 1} = -jI_0 x_1, \quad (3.5)$$

бунда  $x_1$  – тарқоқ магнит оқим туфайли ЮК чулғамда ҳосил бўладиган индуктив қаршилиқ.

Юксиз ишлаш режими учун (индекс «0») кучланиш ва ЭЮК лар мувозанат тенгламаси қуйидагича ёзилади

$$U_{1,0} = -E_1 + I_0 x_1 + I_0 r_1. \quad (3.6)$$

Куч трансформаторининг юксиз ишлашида бирламчи чулғамдаги кучланиш пасаюви  $\Delta U = jI_0 x_1 + I_0 r_1$  кучланиш  $U_{1N}$  нинг 0,5 фоизидан ошмаганлигидан уларни эътиборга олмаган ҳолда, (3.6) ни қуйидагича ёзиш мумкин

$$U_{1,0} \approx -E_1 = w_1 d\Phi / dt. \quad (3.7)$$

Бундан: чулғамга берилган кучланиш  $U_1$  шу чулғамда ҳосил бўлган ЭЮК  $E_1$ га миқдор жиҳатдан тенг, фаза жиҳатдан эса  $180^\circ$  га силжиган эканлиги келиб чиқади.

Кучланиш ва ЭЮК лар таъсир этувчи қийматларини миқдор жиҳатдан таҳлил қилинган ҳолларда  $U_1 \approx E_1$  деб ҳисоблаш мумкин бўлади.

Трансформатор юксиз ишлаганда ( $I_2 = 0$ ) иккиламчи чулғам кучланиши  $U_{2,0} = E_2$  бўлади. Демак,

$$U_{1,0} \approx E_1; U_{2,0} = E_2. \quad (3.8)$$

Бундан, (3.3) ни ҳам ҳисобга олган ҳолда қуйидаги нисбатлар тенглигини ёзиш мумкин:

$$U_{1.0}/U_{2.0} \approx E_1/E_2 = w_1/w_2. \quad (3.9)$$

Бу нисбатни **трансформациялаш коэффициенти (к)** дейилади.

(3.9) дан **амалий аҳамиятга эга бўлган** қуйидаги хулоса келиб чиқади: *агар  $U_1$  кучланиш берилган бўлса чулғамларнинг  $w_1$  ва  $w_2$  ўрамлар сонини танлаш йўли билан кучланиш  $U_2$  нинг зарурий қийматини олиш мумкин экан.*

Трансформациялаш коэффициенти ГОСТ бўйича қуйидагича аниқланади

$$k = E_{YK} / E_{PK} = W_{YK} / W_{PK} \approx U_{YK} / U_{PK}, \quad (3.10)$$

бундаги  $U_{YK}$  ва  $U_{PK}$  кучланишлар юксиз ишлаш режимининг номинал қийматларидир.

Реал трансформаторнинг юксиз ишлаш режимини характерлайдиган тенгламаларни вақт бўйича синусоидал шаклда ўзгараётган кучланиш, ЭЮК ва тоқлар учун комплекс шаклида қуйидагича ёзилади

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{E}_1 + j\underline{l}_0 \cdot X_1 + \underline{l}_0 \cdot r_1, \\ \underline{U}_{2.0} &= \underline{E}_2, \\ \underline{l}_1 &= \underline{l}_0 = \underline{l}_{0.r} + \underline{l}_{0.a}, \\ \underline{l}_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

**(3.11) ифодаларнинг биринчи ва иккинчи тенгламалари ЭЮК мувозанат тенгламалари, учинчи тенглама МЮК мувозанат тенгламаси дейилади.**

#### Назорат саволлари

1. Магнит ўтказгичнинг тузилиши ва аҳамияти нимадан иборат?
2. Магнит ўтказгичи умумий бўлган уч фазали трансформаторнинг магнит тизими қандай ҳосил қилинган?
3. Чулғамларнинг қандай турлари мавжуд?
4. Нима учун винтсимон чулғамнинг симлари транспозиция қилинади?
5. Трансформатор ишлаш принципи нимага асосланган?

#### 3-майруза

**Трансформаторнинг юксиз ишлаш ва қисқа туташув режимларида рўй берадиган электр магнит жараёнлар.**

##### **Режа:**

*Трансформаторнинг юксиз ишлаш режимидаги электромагнит жараёнлар.*

*Трансформаторнинг қисқа туташув режимидаги электромагнит жараёнлар.*

**Трансформаторнинг юксиз ишлаш режимидаги электромагнит жараёнлар.**

Юқорида баён қилинган бир фазали трансформаторлар назарияси уч фазали трансформаторларда симметрик режими учун асос бўла олади.

Умумий ҳолда трансформатор чулғамларидаги ЭЮК ва тоқларининг вақт бўйича ўзгариши носинусоидал бўлганлигидан қуйидаги таҳлилларда 1-гар-моника ва юқори гармоникалардан энг катта қийматга эга бўлгани фақат 3-гармониканинг таъсири кўриб чиқилади. [Изоҳ: *гармоникалар тартибини кичик қавс ичига олинган «(1)» ёки «(3)» индекслар орқали белгиланган*].

ЭЮК нинг биринчи гармоникалар

$$e_{A(1)} = E_{(1)\max} \sin \omega t, \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$e_{B(1)} = E_{(1)\max} \sin(\omega t - 120^\circ),$$

$$e_{C(1)} = E_{(1)\max} \sin(\omega t + 120^\circ)$$

ва 3-гармоникалари

$$e_{A(3)} = E_{(3)\max} \sin 3\omega t,$$

$$e_{B(3)} = E_{(3)\max} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t,$$

$$e_{C(3)} = E_{(3)\max} \sin 3(\omega t + 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t. \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad (3.13)$$

(3.13) дан кўринишича, ЭЮК ларнинг 3-гармоникалари барча фазаларда қиймат жиҳатдан ўзаро тенг ва бир хил йўналган экан.

ЭЮК 3-гармоникасининг трансформатор ишига таъсири фазавий чулғамларининг уланиш схемасига боғлиқ бўлади. Агар уч фазали трансформаторнинг бирламчи (масалан, ЮК) чулғами «юлдуз» схемасига уланган бўлса фазавий ЭЮК ларининг 3-гармоникаси линиявий ЭЮК ларининг 3-гармоника-сини ҳосил қилмайди, чунки «юлдуз» схемасида учинчи ва уч қаррали гармо-никалар «юлдуз»ни ташкил этувчи иккита [ 1) А-Х-У-В ва 2) В-У-З-С] кон-турнинг ҳар биттасида ўзаро қарама-қарши таъсир қилади, яъни фазавий ЭЮК ларининг 3-гармоникалари учта фазада ҳам бир хил йўналган бўлгани учун улардан исталган жуфтнинг айирмаси 0 га тенг бўлади.

Трансформатор линиявий ЭЮК ларининг ўзгариш эгрилигида 3-гармо-

никалар бўлмаганлигидан, улар линиявий кучланиш  $U_1$  ларнинг вақт бўйича

ўзгариш шаклида ҳам, бинобарин, линиявий ( $I_1$ ) ва фазавий ( $I_{\phi 1}$ ) тоқларининг ўзгариш шаклида ҳам бўлмайди.

Магнитловчи ток  $I_{0,r}$  нинг вақт бўйича ўзгариш шаклида 3-гармоника ( $I_{0,r(3)}$ ) нинг йўқлиги уни синусоидал шаклга яқинлаштиради, чунки 5 ва 7-гармоникаларнинг амплитудаси 1-гармоника амплитудасига нисбатан анча кичик ҳамда 5-гармоника тескари кетма-кетликни ҳосил қилади. Бу ҳол магнит

оқими  $\Phi$  нинг вақт бўйича ўзгариш шаклини носинусоидал қилади, яъни

унинг таркибида 3-гармоника бўлади.

3-гармоника магнит оқимлари фаза жиҳатдан бир-бирига мос йўналган-лиги туфайли уч стерженли магнит ўтказгичда туташа олмайди. Бу оқимлар трансформаторни совитиш сифатида ишлатиладиган муҳит орқали ва транс-форматор бакиннинг металл деворлари орқали туташади. Улар ўтадиган йўл-нинг магнит қаршилиги катта бўлганлиги туфайли қиймати кичик бўлади. Магнит оқимининг 3-гармоникаси  $\Phi_{0(3)}$  трансформатор баки деворларида уюр-ма токни вужудга келтириб қўшимча исрофларни ҳосил қилади. Масалан, магнит индукция  $B = 1,4$  Т бўлса бу исрофлар магнит ўтказгичдаги исрофларнинг 10 фоизини,  $B = 1,6$  Т бўлганда эса 50÷65 фоизини ташкил қилиб, бу ҳолдаги трансформаторнинг ортиқча қизиши амалиёт учун салбий ҳолдир.

Уч фазали трансформаторнинг бирламчи чулғами «учбурчак» схемасига уланганда ЭЮК нинг 3-гармоникалари учта фазавий чулғамда ҳам мос таъсир этиб, шу чулғамларнинг берк контурида токнинг 3-гармоникасини ҳосил қи-лади. Юксиз ишлаш токида 3-гармоника бўлса, у ҳолда магнит оқимининг ўзгариш шакли ва, бинобарин,  $E_1$  ва  $E_2$  ЭЮК ларнинг вақт бўйича ўзгариш шакли синусоидага яқинлашади.

## Юксиз ишлаш тажрибаси ва тавсифлари

Бирламчи чулғами синусоидал кучланиш  $[u_1=U_{(1)\max}\cdot\sin\omega t]$ га уланган трансформаторнинг ферромагнит ўзагида магнит оқими синусоидал ( $\Phi_1= \Phi_{(1)\max}\cdot\sin\omega t$ ) ўзгарса ҳам ферромагнит ўзакнинг магнит тўйиниши сабабли унинг магнитланиш тавсифси эгри чизиқли бўлгани туфайли магнитловчи ток  $I_{0,r}$  нинг вақт бўйича ўзгариши  $I_{0,r} = f(\omega t)$  синусоидал бўлмайди.

Юксиз ишлаш тажрибаси иккиламчи чулғамга юклама уланмаган ( $I_2 = 0$ ) ҳолда 3.3,*a*-расмда кўрсатилган схема бўйича ўтказилади. Трансформаторнинг битта чулғамига ростлагич воситасида бериладиган кучланиш  $U_1$  ни 0 дан  $U_1=1,2U_{1N}$  қийматгача ошириб кучланиш  $U_1$ , юксиз ишлаш токи  $I_0$  ва юксиз ишлаш қуввати  $P_0$  ўлчаб олинади ва уларга асосан қувват коэффиценти  $\cos\varphi_0$  ҳисобланади. Тажрибадан олинган ва ҳисобланган маълумотлар асосида қурилган  $I_0 = f(U_1)$ ,  $P_0 = f(U_1)$  ва  $\cos\varphi_0 = f(U_1)$  боғланишларни *юксиз ишлаш тавсифлари* дейилади (3.3,*b*-расм).

Уч фазали трансформаторда  $U_1$  ва  $I_0$  ларнинг қийматлари ҳар қайси фаза учун алоҳида ўлчаб олинади ва уларнинг ўртача қийматлари бўйича юксиз ишлаш тавсифлари қурилади.

Ўзақлари битта текисликда жойлашган транс-форматор фазаларидаги юксиз ишлаш тоқлари бир хил бўлмайди, чунки ўрта фазадаги магнит оқим куч чизиқлари ўтадиган оралик, чекка фазаларининг шун-дай ораликларига нисбатан кам (2.1,*c*-расм). Шу туфайли ўрта стерженда жойлашган фазанинг МЮК ва токи  $I_{0,B}$  чеккадаги фазаларга нисбатан кам ( $I_{0,B} < I_{0,A} = I_{0,C}$ ) бўлади.

$I_0=f(U_1)$ . Трансформаторга берилган кучланиш  $U_1$  оширилиши билан унинг магнит оқими  $\Phi$  ошади, чунки  $U_1 \approx E_1 = 4,44fW_1\Phi_{\max}$ . Кучланишнинг кам қийматларида магнит занжир тўйинмаган бўлиб, ток  $I_0$  тўғри чизиқли ўзгаради. Кучланишнинг  $U_1 = (0,5 \div 0,6) U_{1N}$  қийматларидан бош-лаб *магнит ўтказгич тўйина бошлайди* ва шу туфайли трансформаторнинг  $Z_0$ ,  $x_0$  ва  $r_0 \approx r_m$  қаршиликлари камая боради. Натижада, юксиз ишлаш тоқининг реактив ташкил этувчиси  $I_{0,r}$  кучланиш  $U_1$  га нисбатан тез ошади (3.3,*b*-расм).

Юксиз ишлаш токи  $I_0$  реактив ( $I_{0,r}$ ) ҳамда актив ( $I_{0,a}$ ) ташкил этувчилардан иборат бўлади:  $I_0 = I_{0,a} + I_{0,r}$ . Одатда куч трансформаторларида  $I_0 < 0,08 I_{1N}$ , унинг актив ташкил этувчиси  $I_{0,a}$  эса  $I_0$  нинг тахминан  $10 \div 0,5$  фоизини ташкил қилади. Куч трансформаторларининг номинал қувватлари ошган сари  $I_0$  нинг номинал токка нисбатан фоиздаги қийматлари камая боради.

$P_0 = f(U_1)$ . Юксиз ишлаётган трансформатор бирламчи чулғамининг токи ва электр исрофлари жуда ҳам камлигидан бирламчи чулғамдаги электр ис-рофларни эътиборга олмаган ҳолда, трансформаторга берилган актив қувват магнит ўтказгичдаги гистерезис ва уюрма тоқлар туфайли вужудга келадиган магнит исрофларни қоплашга сарфланади, деб ҳисобланади.

Магнит ўтказгичдаги исрофлар  $P_m \sim B^2$  га ва частотанинг тахминан 1,3-даражасига боғлиқ бўлади.  $U_1 = \text{const}$  ва  $f = \text{const}$  бўлганда, магнит исроф-ларининг боғлиқлигини тахминан қуйидагича ёзиш мумкин:

$$P_m \approx P_0 = \text{const.} \quad (3.14)$$

Қуввати  $10 \div 1000000$  кВ·А бўлган замонавий куч трансформаторларида юксиз ишлаш исрофлар номинал юкламадаги қувват исрофларига нисбатан те-гишлича  $1,5 \div 0,05$  % ни ташкил этса ҳам, *мавсумий юклама билан ишлаётган трансформаторнинг йиллик фойдали иш коэффиценти қийматига сезиларли таъсир кўрсатади*, чунки юксиз ишлаш тавсифлари юклама қийматига боғлиқ бўлмай, балки  $P_0 \sim U_1^2$  туфайли трансформаторнинг тармоққа уланган вақтининг давомийлигига боғлиқ бўлади.

Юксиз ишлаш тажрибасида номинал кучланиш ( $U_{1N}$ )га тўғри келган му-ҳим параметрларидан юксиз ишлаш токи  $I_{0,N}$  ва исрофлари  $P_{0,N}$  стандарт билан

меъёрланган бўлади.

$\cos\varphi_0 = f(U_1)$ . Қувват коэффициенти  $\cos\varphi_0$  уч фазали трансформатор учун тегишлича қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\cos\varphi_0 = P_0 / (\sqrt{3} U_{10}), \quad (3.15)$$

бунда  $P_0$  – уч фазанинг актив қуввати,  $W$ .

Юксиз ишлаш режимда магнит ўтказгичнинг тўйиниши оша борган сари  $I_0$  нинг реактив ташкил этувчиси  $I_{0,r}$  кучланишга нисбатан тез ошиб, актив ташкил этувчиси  $I_{0,a}$  эса кам ўзгаради. Натижада, кучланиш  $U_1$  ва ток  $I_0$  век-торлари орасидаги бурчак  $\varphi_0$  ошиши туфайли  $\cos\varphi_0$  камая боради.

Юксиз ишлаш тажрибасидан олинган маълумотлар бўйича *трансформатор учун муҳим бўлган параметрлар*  $U_{1N}$  даги қийматлар асосида аниқланади:

1) трансформациялаш коэффициенти  $\kappa \approx U_{1N} / U_{2,0}$ , бунда  $U_{1N}$  – ЮК чулғам номинал кучланиши;  $U_{2,0}$  – бирламчи чулғам кучланиши  $U_{1N}$  даги ПК чулғам кучланиши; 2) юксиз ишлаш исрофлари  $P'_0$ ; 3) юксиз ишлаш токининг қиймати  $i_{0(\%)} = (I_0 / I_{1N}) \cdot 100$ ; 4) магнитловчи занжирнинг актив қаршилиги  $r_0$ . Трансформаторнинг бирламчи чулғам актив қаршилиги  $r_1$  магнитловчи зан-жирнинг ҳисобий актив қаршилиги  $r_m$  га нисбатан бир неча юз марта кичик ( $r_m \gg r_1$ ) бўлгани учун  $r_1 \approx 0$  деб ҳисоблаганда  $r_0 \approx r_m$  бўлади.

Трансформатор магнитловчи контурининг тўла  $Z_0$ , ҳисобий актив  $r_0 \approx r_m$  ва индуктив  $x_0$  қаршиликлари қуйидагича аниқланади:

а) бирламчи чулғами "Y" схемага уланган уч фазали трансформатор учун:

$$Z_0 = U_1 / (\sqrt{3} I_0), \quad r_0 = P_0 / (3I_0^2), \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}; \quad (3.16)$$

б) бирламчи чулғами "Δ" схемага уланган уч фазали трансформатор учун

$$Z_0 = \sqrt{3} U_1 / I_0, \quad r_0 = P_0 / I_0^2, \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}. \quad (3.17)$$

Трансформаторнинг юксиз ишлаш режими учун алмаштириш схемаси (3.4-расм)дан кўринишича, унинг  $Z_0$ ,  $r_0$ ,  $x_0$  параметрлари қуйидаги йиғинди-лардан иборат бўлади

$$Z_0 = Z_1 + Z_m; \quad r_0 = r_1 + r_m; \quad x_0 = x_1 + x_m. \quad (3.18)$$

Ғамларга алоҳида-алоҳида ўзгармас ток бериб аниқланади.

Трансформатор чулғамларининг  $r_1$  ва  $x_1$  қаршиликлари унинг юксиз иш-лаш қаршиликлари ( $r_0$  ва  $x_0$ ) га нисбатан бир неча юз марта кичик. Шу са-бабли ўрта ва катта қувватли трансформаторларнинг юксиз ишлашидаги ал-маштириш схема параметрларини магнитловчи контур параметрларига тенг деб ҳисоблаш мумкин, яъни:  $Z_0 \approx Z_m$ ;  $r_0 \approx r_m$ ;  $x_0 \approx x_m$ .

### Трансформаторнинг қисқа туташув режимидаги электромагнит жараёнлар

Бирламчи чулғами кучланиш  $U_{1N}$  га уланган трансформаторнинг икки-ламчи чулғам томонидан қисқа туташувнинг содир бўлиши *авария режими* бўлади. Бундай режимда чулғамлардан ўтадиган тоқлар номинал токка нисба-тан бир неча ўн марта катта бўлганлигидан трансформатор учун хавфлидир.

*Қисқа туташув тажрибаси муҳим амалий аҳамиятга эгадир*, чунки ун-дан қисқа туташув исрофлари  $P'_{qt}$  ва кучланиши  $U_{qt}$  ҳамда алмаштириш схе-манинг параметрлари аниқланади. Бу тажрибани ўтказиш учун ПК томонидан уч фазалида фазавий чулғам учларини қисқа туташтириб (4.3,a-расм), ЮК чулғамга пасайтириб бериладиган кучланиш  $U_{qt}$  ни 0 дан бошлаб чулғамдаги токнинг қиймати номиналга етгунча оширилади. Қисқа туташув токи  $I_{qt} = I_{1N}$  бўлгандаги кучланишни *қисқа туташув кучланиши*  $U_{qt}$  деб аталади ва у трансформаторнинг *муҳим параметрларидан биридир*. Куч трансформаторла-рида  $U_{qt}$  номинал кучланиш  $U_{1N}$  нинг 4,5÷14,5 фоизини ташкил этади. Бу тажрибада кучланиш  $U_{qt}$ , ток  $I_{qt}$  ва қувват  $P_{qt}$  лар ўлчаб олинади. Бу қий-матлардан қисқа туташувдаги қувват коэффициенти  $\cos\varphi_{qt}$  ҳисоблаб топила-ди. Трансформаторнинг қисқа туташув тавсифлари:  $I_{qt} = f(U_{qt})$ ,  $P_{qt} = f(U_{qt})$  ва  $\cos\varphi_{qt} = f(U_{qt})$  4.2,b-расмда кўрсатилган.

$I_{qt} = f(U_{qt})$ . Бу тажрибада куч трансформаторлари чулғамига бериладиган кучланишнинг қиймати  $U_N$  га нисбатан анча кам бўлганлигидан, унинг магнит ўтказгичи тўйинмаган бўлади ва ток  $I_{qt}$  нинг ўзгариши тўғри чизиқли бўлади.

$P_{qt} = f(U_{qt})$ . Икки чулғамли куч трансформаторларида,  $U_{qt}$  кичик бўлганлигидан қисқа туташувдаги магнит исрофлари ( $P'_m$ )  $U_{1N}$  даги магнит исрофларга нисбатан анча кичик бўлади. Бу ҳолда магнитловчи ток ( $I_m \approx I_0$ ) ни ҳамда магнит исрофлари ( $P'_m$ ) ни эътиборга олмаса ҳам бўлади ва бирламчи чулғамга берилган қувват  $P_{qt}$  иккала чулғам электр исрофларини қоплашга сарфланади ( $P_{qt} \approx P'_e$ ), деб ҳисобланади.

Чулғамлардан номинал ток  $I_{qt} = I_{1N}$  ўтгандаги қисқа туташув исрофлари  $P'_{qt.N}$  трансформаторнинг муҳим параметрларидан бири ҳисобланади ва уни қуйидаги формула орқали ҳисоблаш мумкин:

$$P'_{qt.N} \approx P_{e1} + P_{e2} = m l^2_{1.N} r_1 + m (I'_{2.N})^2 r_2 = m l^2_{qt.N} r_{qt}. \quad (4.20)$$

Бу режимдаги асосий энергия исрофлари токнинг квадрати ( $I^2_{qt}$ ) га мутаносиб равишда ўзгарганлиги туфайли қисқа туташув қуввати  $P_{qt}$  нинг ўзгариши парабола шаклига яқин бўлади.

$\cos \varphi_{qt} = f(U_{qt})$ . Қисқа туташув тажрибасида магнит занжир тўйинмаганлиги туфайли кучланишнинг актив ва реактив ташкил этувчилари нисбати ўзгармас бўлади, яъни қисқа туташув кучланишлари тўғри бурчакли учбурчак ABC нинг катетлари бир хил нисбатда ўзгариб қисқа туташув кучланиши  $U_{qt}$  ва токи  $I_{qt}$  векторлари орасидаги силжиш бурчак  $\varphi_{qt}$  ўзгармас бўлади. Шу сабабли қувват коэффициентини  $\cos \varphi_{qt}$  қисқа туташув режимида ўзгармас ( $\cos \varphi_{qt} = \text{const}$ ) бўлиб, уни уч фазали трансформаторлар учун тажрибадан олинган қисқа туташув маълумотларидан фойдаланиб қуйидагича аниқланади:

$$\cos \varphi_{qt} = P_{qt} / (\sqrt{3} U_{qt} I_{qt}). \quad (4.21)$$

Қисқа туташув тажрибасидан олинган маълумотлар бўйича трансформатор алмаштириш схемасининг параметрлари: тўла ( $Z_{qt}$ ), актив ( $r_{qt}$ ) ва индуктив ( $x_{qt}$ ) қаршиликлари қуйидагича аниқланади:

а) бирламчи чулғами "Y" схемасига уланган уч фазали трансформатор учун:

$$Z_{qt} = U_{qt} / (\sqrt{3} I_{qt}), \quad r_{qt} = P_{qt} / (3 I_{qt}^2), \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}; \quad (4.22)$$

б) бирламчи чулғами "Δ" схемасига уланган уч фазали трансформатор учун:

$$Z_{qt} = \sqrt{3} U_{qt} / I_{qt}, \quad r_{qt} = P_{qt} / I_{qt}^2, \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}. \quad (4.23)$$

Одатда бирламчи ва келтирилган иккиламчи чулғамларнинг тўла ( $Z_1, Z'_2$ ), актив ( $r_1, r'_2$ ) ва индуктив ( $x_1, x'_2$ ) қаршиликлари тахминан қуйидагига тенг

$$Z_1 \approx Z'_2 \approx 0,5 Z_{qt}; \quad r_1 \approx r'_2 \approx r_{qt} / 2; \quad x_1 \approx x'_2 \approx x_{qt} / 2, \quad (4.24)$$

деб ҳисобланади.

Қисқа туташув кучланиши  $U_{qt}$ , унинг актив ( $U_{qt.a}$ ) ва реактив ( $U_{qt.r}$ ) ташкил этувчилари номинал кучланишларга нисбатан фоизларда қуйидагича аниқланади:

$$\left. \begin{aligned} u_{qt}(\%) &= (I_N Z_{qt} / U_{1N}) \cdot 100, \\ u_{qt.a}(\%) &= (I_N r_{qt} / U_{1N}) \cdot 100, \\ u_{qt.r}(\%) &= (I_N x_{qt} / U_{1N}) \cdot 100. \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

Стандартга биноан  $U_{qt}$  ва  $U_{qt.a}$  ларни аниқлашда  $r_{qt}$  ва  $Z_{qt}$  қаршиликлар А, Е, В иссиққа чидамлилиқ классдаги изоляцияли трансформаторлар учун  $75^\circ \text{C}$  ўрта ҳисобий хароратга қуйидагича келтирилади:

$$r_{qt(75^\circ)} = r_{qt} [1 + 0,004 (75^\circ - \vartheta)], \quad (4.26)$$

бунда  $\vartheta$  – чулғам қаршилигини ўлчаган пайтдаги харорат.

Қисқа туташув кучланиши трансформаторнинг ички қаршилигини ифода-лайди ва кучланиш тушиши ( $\Delta U$ )га, қисқа туташув токи ( $I_{qt}$ )га ва ташқи ха-

рактикаларига таъсир кўрсатади.

Трансформаторнинг қисқа туташувдаги кучланиш ва ЭЮК лар ҳамда тоқлар мувозанат тенгламалари қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_{1qt} \underline{Z}_{1qt}; \\ 0 &= \underline{E}'_2 - \underline{I}'_{2qt} \underline{Z}'_{2qt}; \\ \underline{I}_{1qt} &= -\underline{I}'_{2qt}. \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

Актив, индуктив ва тўла қаршиликлардаги кучланиш пасайишлари векторлари қисқа туташув учбурчаги (ОВК) ни ҳосил қилади (4.4,*a*-расм).

Бу режим учун алмаштириш схема оддий кўринишга эга бўлади, чунки қисқа туташувда берилаётган кучланиш  $U_{qt}$  унинг номинал қийматига нисбатан жуда ҳам камлигидан, (4.17) даги трансформатор тоқларининг мувозанат тенгла-масида магнитловчи ток  $I_m \approx I_0$  ни ҳисобга олмаслик мумкин. Бу ҳолда трансформаторнинг Т-симон алмаштириш схемасида магнитловчи занжир ва унинг қаршиликлари ( $r_m$  ва  $x_m$ ) чиқариб ташланса, қисқа туташув режими учун алмаштириш схемаси келиб чиқади (4.4,*b*-расм).

Мазкур схемада бирламчи ва иккиламчи чулғам қаршиликлари кетма-кет уланган бўлиб, уларни қисқа туташувдаги тўла қаршилик ( $\underline{Z}_{qt} = r_{qt} + jx_{qt}$ ) кўри-нишида ҳам кўрсатса бўлади. Трансформаторнинг қисқа туташувдаги тўла қаршилик  $\underline{Z}_{qt}$  га эквивалент кўринишида ифодаланиши амалий ҳисобларида

**кенг қўлланилади.**

*Назорат саволлари*

1. Трансформаторнинг ишлаши нимага асосланган?
2. Уч фазали трансформаторлар юксиз ишлаш режимининг ўзига хос хусусиятлари нималардан иборат?
3. Юксиз ишлаш тажрибасидан қандай параметрлари аниқланади?
4. Қисқа туташув тажрибаси нима мақсадда ўтказилади?

#### 4-маъруза

**Трансформаторнинг иккиламчи чулғам электр параметрларини бирламчи чулғам ўрамлар сонига келтириш ва унга симметрик юклама уланганда рўй берадиган электромагнит жараён.**

**Режа:**

*Келтирилган трансформатор. ЭЮК ларининг мувозанат тенгламалари.*

*Алмаштириш схемаси ва вектор диаграмма.*

*Ташиқи тавсифи, қувват исрофлари ва ФИК. Кучланишни ростлаш усуллари.*

**Келтирилган трансформатор. Алмаштириш схемаси ва вектор диаграмма.**

Умумий ҳолда трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи чулғам ток-лари, кучланишлари, ЭЮК ва қаршиликлари бир-биридан миқдор жиҳатдан анча фарқ қилади. Бу ҳолда трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи чулғам электр катталикларини вектор диаграммада бир хил масштабда тасвир-лашнинг имконияти бўлмайди.

Бу ноқулайликларни бартараф этиш мақсадида ўзига хос *ҳисобий усулдан фойдаланилади*, яъни бирламчи ва иккиламчи чулғам ўрамлари сони ҳар хил ( $w_1 \neq w_2$ ) бўлган реал трансформатор, иккиламчи чулғам ўрамлари сони бирламчи чулғам ўрамлари сонига тенг ( $w'_2 = w_1$ ) бўлган эквивалент трансформатор билан (*ҳаёлан*) алмаштирилади. Бундай трансформаторни *келтирилган трансформатор* дейилади. 4.2-расмда бундай трансформаторнинг эквивалент («*a*») ва алмаштириш («*b*») схемалари кўрсатилган.

Келтирилган электр катталикларидан фойдаланиш трансформатордаги электромагнит жараёнларни таҳлил қилишни соддалаштиради, вектор диа-граммалар

қуришни осонлаштиради, чулғамлар орасидаги магнит боғланиш ўрнига электр боғланиш ишлатиладиган алмаштириш схемасини қуришга им-кон яратади.

Келтирилган трансформатордаги барча электромагнит жараёнлар реал трансформаторники билан бир хил бўлишини, яъни МЮК, магнит оқим ҳам-да трансформациялаш коэффициенти «  $k$  » га боғлиқ бўлмаган актив ва реактив қувватларнинг ўзгармас бўлишини таъминлаш зарур бўлади. Бундан, келтирилган кучланиш ва тоқларнинг фаза силжиши ўзгармас бўлиши талаб қилинади. Шу мақсадда «келтирилган» иккиламчи чулғам электр параметрлари-ни аниқлаш тартиби қуйида кўрсатилган.

1. Магнит оқими  $\Phi$  ни ўзгармас қилиш учун иккиламчи чулғам (уч фаза-ли трансформатор учун фазавий чулғам) МЮК  $w'_2 = w_1$  бўлган трансформаторда қуйидагича мувозанатда бўлиши керак:

$$I_2 w'_2 = I_1 w_1. \quad (4.9)$$

Мазкур шарт (яъни мувозанат) бажарилиши учун келтирилган ва реал чулғамларнинг шакли, демак, бўйлама кесими ҳам бир хил бўлиши керак. Бу эса келтирилган чулғамдаги ҳар битта ўрам кесимининг «  $k$  » марта ўзгаришига олиб келади.

(4.9) дан «келтирилган» чулғамнинг токи  $I_2$  ни топамиз:

$$I_2 = I_1 (w_1 / w'_2) = I_1 / k, \quad (4.10)$$

бунда  $k = w_1 / w_2$  – трансформациялаш коэффициенти;  $w'_2 = w_1$ .

2. Магнит оқими ўзгармас бўлганда чулғамдаги ЭЮК чулғамнинг ўрам-лари сонига тўғри муносибда бўлади ва келтирилган иккиламчи чулғамда ЭЮК  $E'_2$  нинг қиймати «  $k$  » марта ошади. Унинг қиймати келтирилган ва реал чулғамлар электромагнит қувватларини ўзаро тенглаб ( $E'_2 I_2 = E_2 I_1$ ) аниқланади:

$$E'_2 = E_2 (I_1 / I_2) = k E_2. \quad (4.11)$$

3. Келтирилган ва реал чулғамларнинг тўла қувватларини тахминан ўзаро тенглаб ( $U'_2 I_2 \approx U_2 I_1$ ), ундан «келтирилган» чулғам кучланиши  $U'_2$  топилади:

$$U'_2 = U_2 (I_1 / I_2) = k U_2. \quad (4.12)$$

4. Келтирилган чулғам ўрамлари сони ва ўрам кесими «  $k$  » марта ўзгарганлиги сабабли унинг актив қаршилиги «  $k$  » марта катта бўлади. Мазкур актив қаршилиқ ( $r'_2$ )ни аниқлашда келтирилган ва реал чулғамлардаги исрофлар тенглиги  $[(I'_2)^2 r'_2 = I_1^2 r_1]$  дан фойдаланилади [бунда (4.10)га кўра  $I'_2 = I_1 / k$ ]:

$$r'_2 = (I_1 / I'_2)^2 r_1 = k^2 r_1, \quad (4.13)$$

5. Келтирилган чулғамнинг геометрик ўлчамлари реал чулғамники билан бир хил бўлганда келтирилган чулғамнинг  $x'_2$  индуктив қаршилиги ўрамлар сони квадрати ( $w'_2$ )га боғлиқ бўлади. Унинг қиймати келтирилган ва реал чулғамлар реактив қувватлари тенглиги  $[(I'_2)^2 x'_2 = I_1^2 x_1]$ дан фойдаланилади:

$$x'_2 = (I_1 / I'_2)^2 x_1 = k^2 x_1. \quad (4.14)$$

6. Трансформатор иккиламчи чулғамининг келтирилган тўла қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$Z'_2 = r'_2 + jx'_2 = k^2 (r_1 + jx_1) = k^2 Z_1. \quad (4.15)$$

7. Иккиламчи чулғам чиқиш учларига уланган юкларнинг келтирилган тўла қаршилиги ҳам (4.15) га ўхшаш ҳолда топилади:

$$Z'_{yu} = k^2 Z_{yu}. \quad (4.16)$$

Келтирилган трансформатор учун кучланишлар ва тоқлар тенгламалари комплекс (яъни вектор катталиқ) кўринишида қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 = -\underline{E}_1 + j\underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1, \\ \underline{U}'_2 &= \underline{E}'_2 - \underline{I}'_2 \underline{Z}'_2 = \underline{E}'_2 - j\underline{I}'_2 x'_2 - \underline{I}'_2 r'_2, \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_0 + (-\underline{I}'_2). \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$



**Вектор диаграммалари.** (4.17) тенгламалар системаси ёрдамида юклама уланган келтирилган трансформаторнинг вектор диаграммаларини маълум масштабда куриб, улар ёрдамида трансформаторнинг кучланиши, ЭЮК ва тоқларини аниқлаш мумкин. Диаграмманинг курилиш кетма-кетлиги трансформатор иш режимининг қандай катталикларда берилгани ва диаграммани куриб ундан қандай катталиклар қийматларини топиш талаб қилинганига боғ-лиқ бўлади. Айтайлик, иккиламчи ток  $I_2$  ва амалиётда кўп учрайдиган аралаш актив-индуктив юклама қаршилиги  $Z'_{yu} = r'_{yu} + jx'_2$  (индуктив юкламада  $x'_{yu} > 0$ , сиғимий юкламада эса  $x'_{yu} < 0$ ) маълум бўлган ҳолда, икки-ламчи кучланиш  $U'_2$ , бирламчи чулғам ЭЮК  $E_1$ , магнитловчи тоқи  $I_1$  ва куч-ланиши  $U_1$  ларни топиш талаб қилинган бўлсин.

Вектор диаграммани куришда магнит оқим  $\Phi_{max}$  ва ундан  $90^\circ$  орқада қоладиган йўналишда  $E_1 = E'_2$  вектори қўйилади (4.1-расм), чунки вақт бўйича синусоидал шаклда ўзгараётган ЭЮК лар ўзларининг ноль қийматларидан магнит оқим  $\Phi_{max}$ га нисбатан чорак давр ( $90^\circ$ )га кечикиб ўтади. *Электро-техниканинг назарий асосларига кўра* иккита вектор катталикдан соат мили-нинг ҳаракати томонига силжиган векторни орқада қолган ҳисобланади.

Магнит ўтказгичдаги ва бирламчи чулғамдаги электр исрофларни компенсация қилиш учун ток  $I_{0,a}$  га мутаносиб равишда ўзгарадиган актив қувват ( $P_0 \sim I_{0,a}$ )ни электр тармоғидан олгани туфайли трансформаторнинг юксиз иш-лаш тоқи  $I_0$  магнит оқим вектори  $\Phi_{max}$  дан  $\alpha$  бурчакка олдин келади.

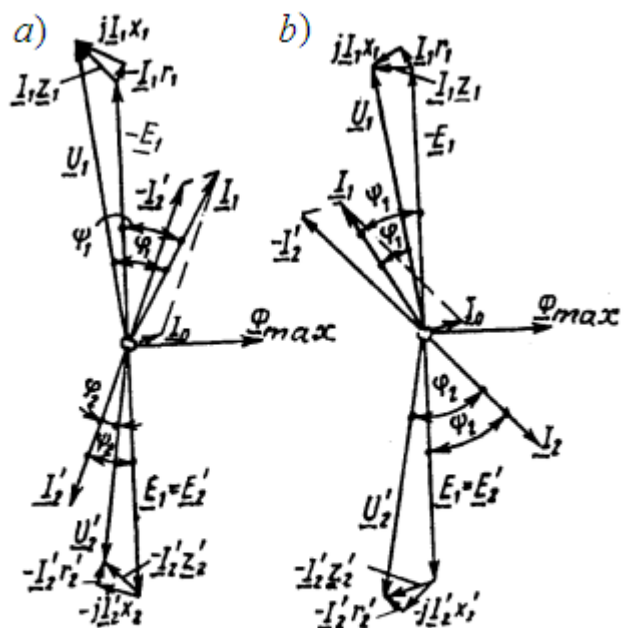
Иккиламчи чулғам тоқи  $I'_2$  актив-индуктив юкламада шу чулғам ЭЮК  $E'_2$  дан  $\psi_2$  бурчакка, кучланиши  $U'_2$  дан эса  $\varphi_2$  бурчакка орқада қолади. Бу бурчаклар қуйидагича аниқланади:

$$\psi_2 = \arctg(x'_2 + x'_{yu}) / (r'_2 + r'_{yu}); \quad (4.18)$$

$$\varphi_2 = \arctg(x'_{yu} / r'_{yu}). \quad (4.19)$$

Иккиламчи кучланиш вектори  $U'_2$  ни куриш учун  $E'_2$  векторидан ик-киламчи чулғамнинг реактив қаршилигидаги ( $j I'_2 x'_2$ ) ва актив қаршилигидаги ( $I'_2 r'_2$ ) кучланиш пасайишларини айирамиз. Индуктив қаршилигидаги кучла-ниш пасайиши ( $j I'_2 x'_2$ ) вектори ток вектори  $I'_2$  дан  $90^\circ$  олдинда бўладиган йўналишда чизилади. Шу сабабли  $E'_2$  вектори учидан  $I'_2$  векторига перпенди-куляр йўналишда ( $-I'_2 x'_2$ ) векторини, унинг учидан эса ( $-I'_2 r'_2$ ) векторини  $I'_2$  векторига параллел равишда йўналтириб, ( $-I'_2 r'_2$ ) ва  $E'_2$  векторлари учларини бирлаштирганда иккиламчи чулғам ички кучланишлар пасайиши учбурча-гининг гипотенузаси ( $-I'_2 Z'_2$ ) ни олаемиз. ( $-I'_2 r'_2$ ) вектори учини «0» нуқта билан бирлаштириб  $U'_2$  векторини аниқлаймиз. Кучланиш вектори  $U'_2$  иккилам-чи ток вектори ( $I'_2$ ) дан  $\varphi_2$  бурчакка олдинда бўлади.

Бундан кейин тоқлар мувозанат тенгламасидан фойдаланиб бирламчи ток вектори  $I_1$  ни ҳосил қилаемиз. Бунинг учун  $I'_2$  векторига қарама-қарши йўна-лишида ( $-I'_2$ ) векторни йўналтираемиз.  $I_0$  ва ( $-I'_2$ ) векторларни геометрик қў-шиш натижасида  $I_1$  вектори ҳосил қилинади.



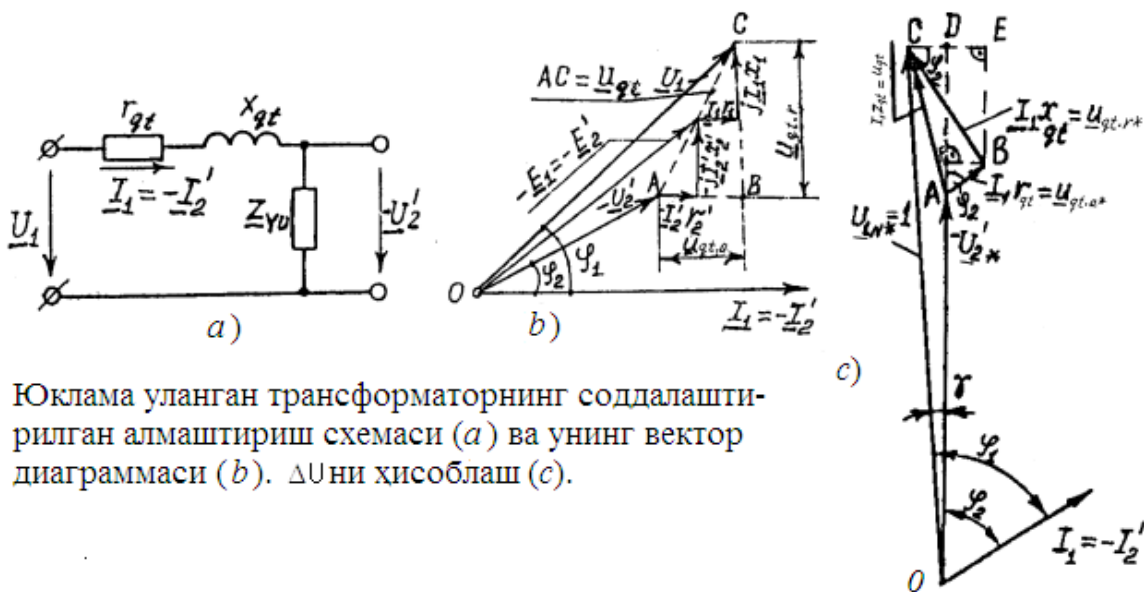
Трансформатор актив-индуктив (a) ва актив-сиғим (b) юкламалари учун вектор диаграммалари

Бирламчи кучланиш вектори  $\underline{U}_1$  ни куриш учун  $\underline{E}_1 = \underline{E}'_2$  векторига тенг ва қарама-қарши йўналтириб  $(-\underline{E}_1)$  вектори чизилади. Унга бирламчи чулғам актив кучланиш пасайиши  $(\underline{I}_1 r_1)$  векторини  $(-\underline{E}_1)$  вектори учидан  $\underline{I}_1$  ток векторига параллел, реактив кучланиш пасайиши  $(j\underline{I}_1 x_1)$  векторини эса  $\underline{I}_1$  векторидан  $90^\circ$  олдинда бўладиган йўналишда қўйилади ва унинг учини 0 нукта билан бирлаштирилганда  $\underline{U}_1$  векторини беради.  $\underline{U}_1$  вектори ток  $\underline{I}_1$  дан  $\varphi_1$  бурчакка олдин кетади.

Трансформаторнинг иккиламчи занжирига уланган катта сиғимли актив-сиғимий юклама ( $Z_{yu} = r_{yu} - jx_{yu}$ ) да вектор диаграммани куриш тартиби олдин-гидек бўлади-ю, лекин унинг умумий кўриниши анча ўзгаради. Бу ҳолда  $\underline{I}'_2$  ток вектори  $\underline{E}'_2$  дан  $\varphi_2 = \arctg(x'_{yu} - r'_{yu}) / (r'_{yu} + r'_2)$  бурчакка олдин кетади.

### Ташқи тавсифи, қувват исрофлари ва ФИК.

Вектор диаграммалар юклама уланган трансформаторнинг барқарор режимдаги иш



Юклама уланган трансформаторнинг соддалаштирилган алмаштириш схемаси (a) ва унинг вектор диаграммаси (b).  $\Delta U$ ни ҳисоблаш (c).

жараёнини тўла акс эттиради, лекин улар бўйича амалда тахминий текширишлар учун ҳисоб ўтказиш қийин. Шу сабабли катта қувватли трансформаторларда  $I_0$  токининг жуда ҳам камлигидан уни 0 га тенглаганда тоқларнинг мувозанат тенгламаси ( $\underline{I}_1 \approx -\underline{I}'_2$ ) ҳамда юклама уланган трансформаторнинг алмаштириш схемаси анча содда кўринишга эга бўлади

(5.1,a-расм) ва трансформатор иш жараёнини тахминий ҳисоблашни анча осонлаштиради. Бундай ҳолдаги вектор диаграммани соддалаштирилган вектор диаграмма дейилади ва у амалда кенг фойдаланилади (5.1,b-расм).

Актив-индуктив юклама учун қурилган соддалаштирилган вектор диаграммани куриш учун ток  $\underline{I}_1 = -\underline{I}'_2$ , кучланиш  $\underline{U}'_2$  ва улар орасидаги бурчак  $\varphi_2$  ҳамда трансформатор чулғамларининг қаршиликлари ёки қисқа туташув кучланиши  $u_{qt*}$ , унинг актив ( $u_{qt.a*}$ ) ва реактив ( $u_{qt.r*}$ ) ташкил этувчилари маълум бўлиши лозим.

**Трансформаторда кучланиш ўзгариши.** Трансформаторнинг бирламчи чулғамига берилган кучланиш  $U_1 = U_{1N} = \text{const}$  ва ток частотаси ҳам  $f = f_N = \text{const}$  бўлганда юксиз ишлашидаги ва юклама токининг номинал қийматидаги икки-ламчи чулғам кучланишлари айирмасига трансформатор кучланишининг ўзга-риши ( $\Delta U$ ) дейилади. Умумий мақсадли куч трансформаторлари асосан актив-индуктив юкламада ишлагани туфайли, мазкур ўзгариш кучланиш туши-ши кўринишида намоён бўлади. Бу катталик трансформаторни ишлатишда муҳим тавсифлардан биридир.

$\Delta U$  ни аниқлаш формуласи бирламчи чулғамга берилган кучланиши  $U_1=U_{1N}$  ва иккиламчи чулғам токи  $I'_2=I'_{2N}=I_{1N}$  бўлган ҳол учун нисбий бир-ликларда қурилган соддалаштирилган вектор диаграмма (5.1,b-расм)дан кел-тириб чиқарилади.

Иккиламчи чулғамда  $\Delta U$  нинг қиймати номинал кучланишга нисбатан фоизларда қуйидагича аниқланади:

$$\Delta U_N(\%)=100(U_{2,0}-U'_2)/U_{2,0}=100(U_{1N}-U'_2)/U_{1N}, \quad (5.1)$$

бунда,  $U'_{2,0}=U_{1N}$  – келтирилган трансформатор учун.

Одатда  $\Delta U$  (5.1,b-расмда – AD) қисқа туташув кучланишининг актив  $u_{q.t.a}(\%)$  ва реактив  $u_{q.t.r}(\%)$  ташкил этувчилари орқали фоизларда ҳисобланади:

$$\Delta U\% \approx u_{q.t.a}(\%)\cos\varphi_2 + u_{q.t.r}(\%)\sin\varphi_2. \quad (5.2)$$

Бу формула бўйича юклама номинал қийматга тенг бўлгандаги кучланиш тушишини аниқлаш мумкин, юкламанинг ихтиёрий қиймати учун эса (5.2) нинг ўнг томонини юклама коэффициенти ( $K_{yu}=I_2/I_{2N}$ )га кўпайтириш керак, яъни

$$\Delta U\% = K_{yu}(u_{q.t.a}(\%)\cos\varphi_2 + u_{q.t.r}(\%)\sin\varphi_2). \quad (5.3)$$

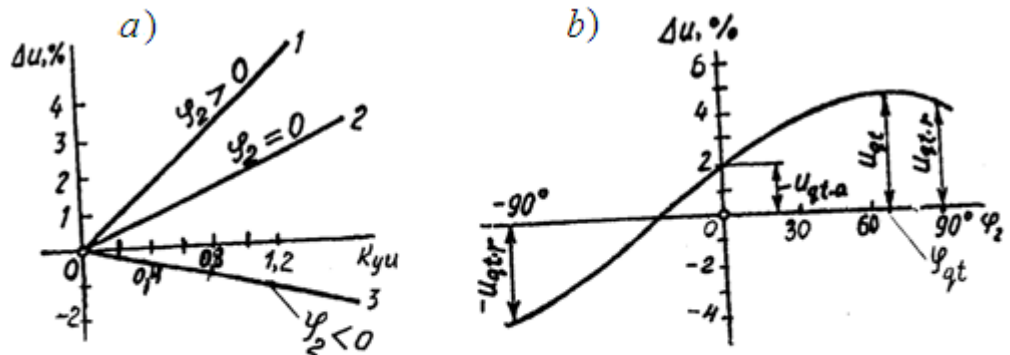
**Хулоса.** (5.3) дан кўринишича, иккиламчи чулғам кучланишининг ўзга-риши юкламанинг қийматига ва характериға боғлиқ бўлар экан (5.2-расм).

$\Delta U = u_{qt}$  нинг энг катта ўзгариши  $\varphi_2 = \varphi_{qt}$  бурчакка тўғри келади, чунки бунда  $\cos(\varphi_{qt} - \varphi_2) = 1$ .

Кучланиш ўзгариши  $\Delta U$  юкламанинг ҳар хил характерида қуйидагиларга тенг бўлади:

- 1) соф актив ( $\varphi_2 = 0$ ) юкламада  $\Delta U = u_{q.t.a}$ ;
- 2) соф индуктив ва сифимий ( $\varphi_2 = \pm 90^\circ$ ) юкламаларда эса  $\Delta U = \pm u_{q.t.r}$ .

### Трансформаторнинг ташқи тавсифлари.



Уч фазали трансформатор иккиламчи чулғамида кучланиш ўзгаришининг юкланиш коэффициентига (a) ва юклама характериға боғлиқлиги (b)

Бирламчи чулғамга берилган кучланиш  $U_1 = U_{1N}$ , токнинг частотаси  $f = f_N$  ва юкламанинг қувват коэффициенти  $\cos\varphi_2$  ўзгармаган ҳолда трансформаторнинг иккиламчи кучланиши  $U_2$  нинг шу чулғамдан ўтадиган юклама токи  $I_2$  га ёки юклама коэф-фициенти  $K_{yu}$  га боғлиқлиги  $U'_2 = f(K_{yu})$  – трансформаторнинг ташқи харак-теристикаси дейилади (5.3-расм). Трансформаторнинг бирламчи чулғамига номинал кучланиш бериб иккиламчи чулғамига юклама уланмаган ( $I_2 = 0$ ) ҳолдаги кучланиш унинг ЭЮК га тенг ( $E_{2,0} = U_{2N}$ ) бўлади ва уни иккиламчи

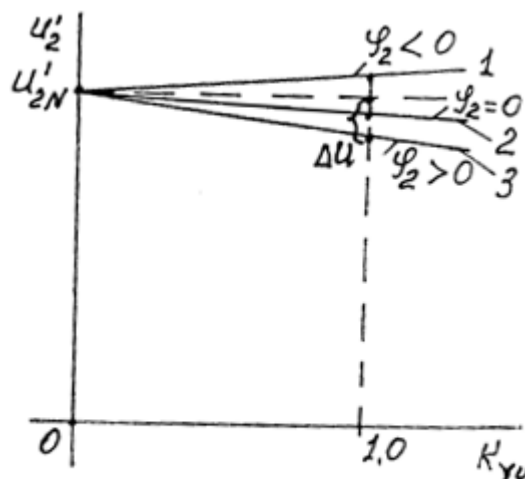
чулғам номинал кучланиши деб қабул қилинади.

Юклама уланганда иккиламчи чулғамдан ток ўтиб Ленц қондасига биноан бирламчи чулғамдаги ток ҳам ошади. Бу тоқлар чулғамларнинг актив ва индуктив қаршилиқларида кучланиш пасайишлари-ни вужудга келтиради.

#### Соддалаштирилган алмаштириш схемага биноан ёзилган

$$-U'_2 = U_1 - I_1 Z_1 \quad (5.4)$$

мувозанат тенгламадан ҳамда актив-индуктив ва актив-сиғимий характерли юкламалар учун курилган вектор диаграммалардан (4.1-расм) кўринишича иккиламчи чулғам кучланишининг ўзгаришига юкламанинг қиймати ва характери таъсир қилади, яъни актив-индуктив юкламада ток  $I'_2$  нинг ошиши билан кучланиш  $U'_2$  нисбатан камайиши (5.3-расм), катта сиғимли актив-сиғим юкламада эса бир оз ошиши мумкин.



Трансформаторнинг ташқи  
тавсифлари

#### Кучланишни ростлаш усуллари.

Трансформаторларнинг иш жараёнида иккиламчи чулғам кучланишини ростлаш зарурати қуйидагиларга биноан вужудга келади.

1. Электр узатиш линиясидаги кучланишнинг пасайишидан вужудга келадиган ҳолда бирламчи кучланиш қийматини кам ( $5 \div 10\%$ ) миқдорда ўзгартириб, иккиламчи кучланиш  $U_2$  нинг қийматини ўзгартирмай ( $U_2 = \text{const}$ ) туриш.

2. Бирламчи кучланиш  $U_1 = \text{const}$  бўлганда иккиламчи кучланиш  $U_2$  нинг қийматини кенг кўламда ростлаш.

Бу иккала ҳолда ҳам иккиламчи чулғам кучланиши  $U_2$  трансформациялаш коэффициентини « $k$ » ни ўзгартириш йўли билан ростланади.

**1-ҳолда**  $U_2$  ни ростлаш учун бирламчи чулғамнинг ўрамлар сони  $w_1$  ни ёки иккиламчи чулғам ўрамлар сони  $w_2$  ни ўзгартириш мумкин.

Масалан, тармоқ кучланишини пасайтирувчи трансформаторларда  $U_1$  пасайганда  $w_1$  ни мос равишда шундай камайтириш керакки, бунда битта ўрамга тўғри келган ЭЮК  $E_0 = E_1 / w_1 \approx U_1 / w_1 = \text{const}$  бўлиши, яъни ўзгармай қолиши керак. Бунда  $w_2$  ўзгармаганлигидан иккиламчи чулғам ЭЮК ҳам ўзгармайди ва, шу сабабли бирламчи кучланиш  $U_1$  ошса, мос равишда  $w_1$  ни ошириш зарур бўлади.

**2-ҳолда**, яъни  $U_1 = \text{const}$  бўлганда иккиламчи чулғам кучланиши  $U_2$  ни ростлаш учун  $w_2 = w_{\text{ЮК}}$  ни ўзгартирадилар. Бу ҳолда  $w_1$  ни ўзгартириш мумкин эмас, чунки бунда трансформатор магнит оқими  $\Phi$  нинг қиймати ўзгариб, зарарли ҳол вужудга келади.

*Кучланишни ростлаш воситаларининг қуйидаги турлари мавжуд:*

1. *Трансформаторни тармоқдан узиб* бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ростлаш учун мўлжалланган шохобча поғонасини ўзгартириш йўли билан кучланишни ростлаш (МДХ – мустақил давлатлар ҳамдўстлиги худудида буни қисқача «ПБВ – переключение без возбуждения» деб юритилади). Бу-нинг қайта улагичи 5.4-расмда кўрсатилган.

2. *Трансформаторни тармоқдан узмай* унинг кучланишини ростлаш. Бу-ни МДХ худудида қисқача «РПН (регулирование под нагрузкой)» дейилади.

Чулғам ўрамлари сонини ўзгартириш контактли қайта улагич ёрдамида амалга оширилади. У бакнинг ичига жойлаштирилади, бошқариладиган қисми

эса ПБВ турида бак қопқоғига чиқарилган бўлади. РПН турида қайта улагич махсус юритма ёрдамида бошқарилади.

ПБВ турида умумий мақсадли катта қувватли куч трансформаторининг ЮК чулғам томонида 5 та (+5, +2,5, 0, -5, -5 %) ростлаш поғонаси бўлиб, бунда кучланиш номинал қийматиға нисбатан  $\pm 5\%$  га ростланади. Кучланишнинг ЮК чулғам томонида ростланишиға сабаб шуки, бу ҳолда ЮК чулғамда паст кучланишлиға нисбатан ток анча кам бўлиб, контактларнинг иши энгиллашади, яъни уларнинг хизмат муддатли ошади.

Кўпчилик ҳолларда «юлдуз» схемаси бўйича уланган ҳар битта фаза чулғамининг «ноль» нуқтасида бажарилади. 5.4,*a*-расмдаги схема қуввати 160 кV·А гача бўлган трансформаторларда, қуввати 250 кV·А ва ундан катта бўлган ҳолда 5.4,*b*-расмдаги схема қўлланилади. 5.4,*c*-расмдаги схема номинал кучланиши 38,5 кV бўлган чулғамлар учун, 5.4,*d*-расмдаги схема эса чулғамнинг кучланиши 220 кV гача бўлган трансформаторлар учун бажарилади ва чулғамни ўрашда унинг битта ярми ўнг ўралса, иккинчи ярми чап ўралади.

Кучланишни ростлашнинг РПН турида истеъмолчини энергия билан таъминлашнинг узилмаслиги, унинг ПБВ туриға нисбатан катта афзаллигидир, лекин РПН туридаги қайта улагичнинг мураккаблиги ва, шу билан бирга, таннархининг қимматлиги унинг камчилигидир. Қуввати 400÷630000 кV·А бўлган замонавий трансформаторларда ишлатиладиган кучланишни ростлашнинг РПН турида ростланиши  $\pm(10\div 16)$  фоизларда амалға оширилади.

РПН билан таъминланган бир фазали куч трансформаторининг ташқи кўриниши ва уч фазалининг актив қисми 5.5-расмда кўрсатилган.

#### *Назорат саволлари*

1. Трансформаторнинг ташқи тавсифларини таҳлил қилинг.
2. Кучланиш тушиши  $\Delta U$  қандай ҳисобланади?
3. Трансформаторнинг кучланиши қандай усуллар билан ростланади?

### **5-майруза**

#### **Трансформатор чулғамлари уланиш гуруҳлари. Параллел улаш шартлари.**

##### ***Режа:***

*Трансформатор чулғамлари уланиш гуруҳлари.*

*Уч фазали трансформаторлар параллел ишлаш шартлари.*

*Шартлар тўла бажарилмаганда параллел уланган трансформаторлар иш режимлари.*

#### **Трансформатор чулғамлари уланиш гуруҳлари.**

Берилган расмда бир фазали трансформаторнинг битта ўзагида жойлаштирилган иккита (1 ва 2) чулғамни бир хил магнит оқим ( $\Phi$ ) куч чизиқлари томонидан кесиб ўтаётган ҳол кўрсатилган. Агар чулғамларнинг ўралиш йўналиши ва учларининг белгиланиши бир хил бўлса (*a*-расм), уларда ҳосил бўлган ЭЮК лар (масалан, текшириляётган пайт учун чулғамнинг охиридан бошиға) бир хил йўналган бўлади ва, демак, фаза бўйича мос тушади.

Агар шу чулғамлардан биттасида, масалан, ПК (2) чулғам учларининг белгиланиши алмаштирилса, ундаги ҳосил бўлган ЭЮК нинг чулғам учлари-ға нисбатан йўналиши тескариға ўзгаради, яъни бу ҳолда «*a*» дан «*x*» га йўналган бўлиб, ЮК ва ПК чулғамлар ЭЮК лари  $E_1$  ва  $E_2$  фаза бўйича  $180^\circ$  га силжиган бўлади.

Чулғам учларини ўзгартирмасдан бирорта (масалан, ПК) чулғамнинг ўралиш йўналишини ўзгартирганда ҳам  $E_1$  ва  $E_2$  ЭЮК ларнинг ўзаро силжиш

фазаси  $180^\circ$  бўлади. Шундай қилиб, *ЮК ва ПК фазавий чулғамлар ЭЮК лари орасидаги фаза силжиши шу чулғамлар учларининг белгиланишига ҳамда ўралиши йўналишига боғлиқ бўлади*. Мазкур чулғамлар битта ўзақда жойлаш-тирилганда бу силжиш  $0$  ёки  $180^\circ$  га тенг бўлиши мумкин.

*Уч фазали трансформаторларда чулғамларнинг уланиш гуруҳлари ЮК ва ПК чулғамларга тегишли бир хил линиявий кучланишлари векторларининг ўзаро силжиш бурчагини ифодалайди.*

Чулғамларнинг уланиш гуруҳини соат циферблатининг айланасида  $1 \div 12$  рақамлар кўрсатилганда аниқлаш усули амалда қулай ҳисобланади (бу усул *стандартда ҳам белгиланган*). Бунинг учун, даставвал, соатни тасвирловчи айлана чизилиб, унинг рақамлари айланага тенг тақсимлаб белгиланади.

Уч фазали трансформаторнинг уланиш гуруҳи ЮК ва ПК чулғамлар линия ЭЮК векторлари орқали аниқланганлигидан айланага ЮК чулғам учун ЭЮК лар вектор диаграммаси чизилади.

*Буни қуйидаги схемалар учун кўриб чиқамиз:*

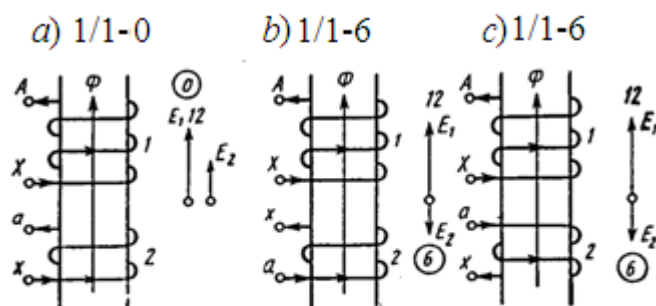
**1. Трансформатор чулғамлари Y/Y схемали уланганда** ЮК чулғам фазавий ЭЮК ларининг вектор диаграммаси бир-бирдан фаза жиҳатдан  $120^\circ$

силжиган учта бир хил вектордан иборат бўлиб, уларнинг учлари ўзаро тўғри чизиклар билан уланганда томонлари линия (фазалараро) кучланишни берадиган тенг томонли учбурчак ҳосил бўлади.

Учбурчакнинг битта (масалан, АВ) томони ЮК чулғамнинг линиявий ЭЮК векторига модуль жиҳатдан тенг ( $AB = E_{AB}$ ) ва соатнинг «12» рақамига доимий равишда йўналтирилган бўлиши керак. Шу сабабли ЮК чулғамининг вектор диаграммасига оид учбурчакни доиранинг марказидан «12» рақамга йўналтирилган АВ радиусни чизишдан бошланади. Шу учбурчакка оид бошқа икки томонининг ҳолатини аниқлаш учун узунлиги АВ радиусга тенг бўлган ВС ватарни В нуқтадан ўтказамиз. А, В ва С нуқталарни ўзаро тўғри чизиклар билан бирлаштириб тенг томонли учбурчак ҳосил қилинади. Бу учбурчак медианаларининг кесишган нуқтасидан унинг учларигача бўлган оралиқ (чизмада вектор) ЮК чулғам фазавий ЭЮК ларни беради.

ЮК чулғам учун аниқланган фазавий ЭЮК векторлари трансформатор-нинг ПК чулғами учун вектор диаграммани куришда зарур бўлади. Бунда ЮК ва ПК чулғамларнинг ўралиш йўналиши ҳамда фазавий чулғамларнинг боши ва охирилариининг белгиланиши бир хил бўлганида бир ўзақка жойлаштирилган чулғамларни битта фаза магнит оқимининг куч чизиклари кесиб ўтганлиги туфайли чулғамларнинг ЭЮК лари фазавий чулғамларининг охиридан бо-шига бир хил (мусбат) йўналган ҳолати текширилади.

Иккиламчи чулғам линиявий ЭЮК вектори  $E_{ab}$  (бир фазали трансформаторда фа-



**Бир фазали трансформатор чулғамлари уланиш гуруҳлари**

завий ЭЮК вектори  $E_{xa}$ ) ЮК чулғамнинг линиявий ЭЮК вектори  $E_{AB}$  га (бир фазали учун фазавий ЭЮК вектори  $E_{XA}$  га) нисба-тан 0 дан  $360^\circ$  орали-

ғида бурчакларга сил-жигани учун  $360^\circ$  ни 12 га бўлгандан чикқан натижа (30<sup>9</sup>) уланиш гуруҳининг бирлиги қилиб қабул қилинади. «Юлдуз» схемасига уланган ПК чулғам ЭЮК лари вектор диаграммасини қуриш

учун ЮК чулғамнинг А фазавий чулғам ЭЮК вектори  $E_{XA}$  билан мос ту-шадиган йўналишда ёрдамчи MN пунктир чизик чизилади (6.2-расм) ва унинг доирадан юқори қисмида бирорта нуктани белгилаб, шу нуктадан ПК чулғамнинг фазавий ЭЮК векторлари ( $E_{xa}$  ва  $E_{yb}$ ) ни ЮК чулғам «А» ва «В» фазаларининг тегишли ЭЮК векторлари ( $E_{XA}$  ва  $E_{YB}$ ) га мос равишда йў-налтирилади. Уларнинг учларини бирлаштириб, линиявий ЭЮК вектори  $E_{ab}$  ҳосил қилинади. Гуруҳни аниқлаш учун шу векторнинг йўналишини аниқлаш кифоя бўлади.

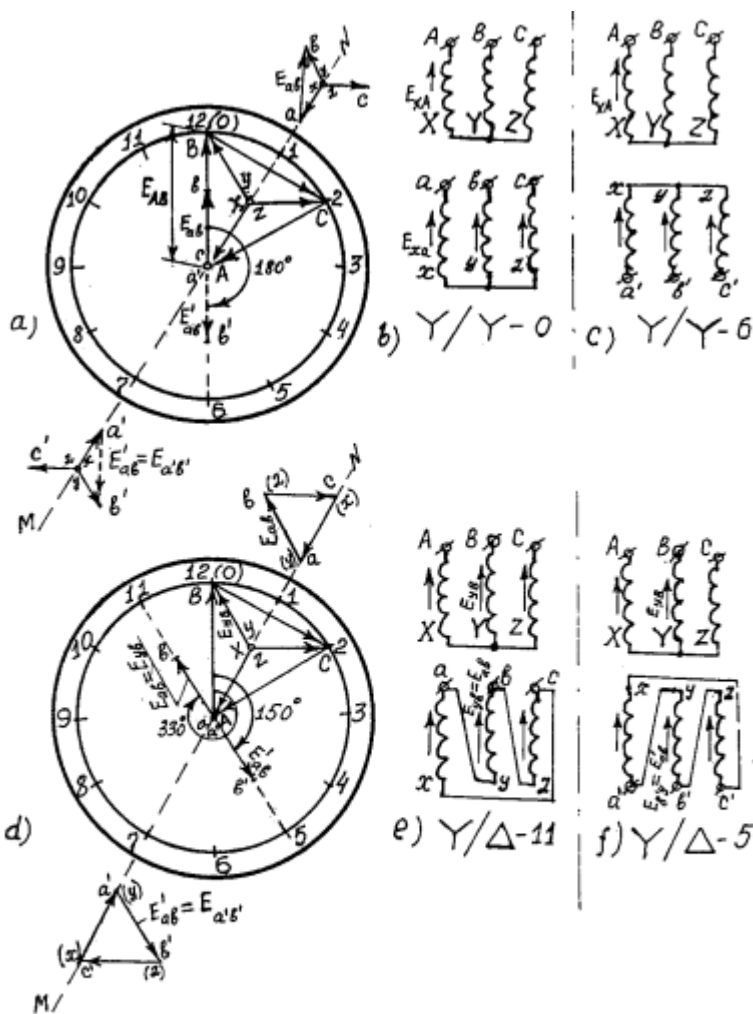
ПК чулғам линиявий ЭЮК вектори  $E_{ab}$  нинг ЮК чулғам линиявий ЭЮК вектори  $E_{AB}$  га нисбатан силжишини аниқлаш мақсадида ПК чулғам учун қу-рилган вектор диаграмманинг  $E_{ab}$  векторини ўзига параллел равишда доира-нинг ичидаги ЮК чулғам вектор диаграммаси томон силжитишда унинг «а» нуктаси  $E_{AB}$  векторнинг «А» нуктаси устига тушиши зарур.

$E_{XA}$  ва  $E_{xa}$  фазавий ЭЮК векторлар MN чизиғи устида ётганлигидан «а» нуктани «А» нукта томон суришда жуда ҳам қулайлик яратади.

Чулғамлар Y/Y уланган ҳол учун қурилган вектор диаграммалар шу тар-тибда бирлаштирилганда ПК чулғамнинг линиявий ЭЮК вектори  $E_{ab}$  ЮК чулғамнинг линиявий ЭЮК вектори  $E_{AB}$  билан устма-уст тушади. Уларнинг орасидаги силжиш

бурчаги 0 бўлгани учун чулғамларнинг уланиш гуруҳи 0 ( $0 : 30^\circ = 0$ ) бўлади (мазкур усулдаги санок системаси 0 дан бошланиши учун «12» ни «0» билан алмаштириш тавсия қилинади). Уч фазали трансформаторнинг уланиш гуруҳини соат ёрдамида аниқлаш усулида ПК чулғам линия-вий ЭЮК вектори ( $E_{ab}$ ) соатнинг кичик мили билан белгиланади ва чулғам-нинг уланиш гуруҳларига қараб, соатнинг бу мили 12 (0) дан 11 гача бўлган турли бутун сонларни кўрсатиши мумкин (6.2-расм).

2. Трансформаторнинг ЮК чулғами «юлдуз», ПК чулғами эса «учбурчак» схемаси (6.2,е-расм) бўйича уланганда ЮК чулғамида ўзгариш бўлмагани туфайли бу чулғам учун вектор диаграмма 6.2,а-расмдаги билан бир хил бў-лади (6.2,d-расм).



"Юлдуз-юлдуз" (b, c) ва "юлдуз-учбурчак" (e, f) схемалар учун уч фазали трансформатор чулғамларининг уланиш гуруҳлари

Чулғамлари бир хил йўналишда ўралган, фазавий чулғамлари учларининг белгиланиши ва бу чулғамлардаги ЭЮК ларнинг йўналишлари ҳам бир хил бўлган ПК чулғамда линиявий ЭЮК  $E_{ab}$  микдор жиҳатдан шу чулғам фазавий ЭЮК  $E_{yb}$  га тенг ( $E_{ab} = E_{yb}$ ), тескари кетма-кетликда улаб «учбурчак» схемаси ҳосил қилинганда эса  $E_{ab'} = E_{b'y}$  бўлади).

6.2,d-расмдаги *ПК чулғам учун вектор диаграммани қуришда* ёрдамчи MN чизиғининг доирадан юқори қисмида биронта нуқтадан ЮК чулғамнинг «В» фазавий ЭЮК вектори  $E_{yB}$  га параллел қилиб, унга мос йўналишда  $E_{ab} = E_{yB}$  вектори чизилади. Бошқа фазаларга оид ЭЮК векторларни ҳам шундай тартибда чизиш мумкин. Сўнгра ПК чулғам линиявий ЭЮК вектори  $E_{ab}$  ни ўзига параллел қилиб, унинг «а» нуқтаси ЮК чулғам линиявий ЭЮК вектори  $E_{AB}$  нинг MN чизиғи устидаги А нуқтаси билан устма-уст тушгунга қадар сил-житилади. Бу ҳолда  $E_{ab}$  вектор соатнинг «11» рақамига йўналган ҳолатни эгаллайди. Демак, трансформатор чулғамларининг уланиш гуруҳи 11 экан.  $E_{AB}$  векторидан бошлаб соат милининг айланиши бўйича бурчакни ўлчаб, уни  $30^\circ$  га бўлганда ҳам шу натижа ( $330^\circ : 30^\circ = 11$ ) олинади.

### **Уч фазали трансформаторлар параллел ишлаши.**

Икки (ёки ундан кўп) трансформаторларнинг бирламчи чулғамлари битта электр тармоғидан (манбаидан) энергия билан таъминланиб, иккиламчи чулғамлари эса умумий истеъмолчига (ёки тармоққа) уланган ҳолдаги ишини трансформаторларнинг *параллел ишлаши* дейилади.

Трансформаторларни параллел ишлатиш истеъмолчиларни электр энергия билан узлуксиз таъминлашда *катта амалий аҳамиятга эгадир*. Масалан, параллел ишлаётган трансформаторлардан бирортасида авария ҳолати содир бўлса ёки таъмирлаш учун уни манбадан ажратганда ҳам энергия таъминоти узилмайди, чунки бу ҳолда истеъмолчилар электр энергияни параллел ишла-ётган бошқа трансформатор(лар)дан олади.

Подстанциянинг умумий юкламаси ошганда параллел ишлаётган трансформаторларнинг сони оширилиб, юклама камайганда эса трансформаторларнинг бир қисми тармоқдан ажратиб қўйилади. Трансформаторлар юкла-масининг шу тарзда оптималланиши, уларнинг энергетик кўрсаткичлари (ФИК ва  $\cos\phi$ )ни яхшилайди.

**Трансформаторларни параллел ишлашга улаш шартлари.** Трансформаторларни параллел ишлашга улашда уларнинг чулғамларида тенглашти-рувчи тоқларнинг вужудга келмаслиги ва умумий юклама параллел уланган трансформаторларнинг қувватига мос ҳолда тақсимланиши зарур бўлади. Бунинг учун қуйидаги шартлар бажарилиши талаб қилинади:

1) параллел уланадиган ва ишлаб турган трансформаторларнинг бирламчи номинал кучланишлари ўзаро тенг ( $U_{1,N(I)} = U_{1,N(II)} = \dots$ ) ва иккиламчи номинал кучланишлари ҳам тенг бўлиши, яъни линиявий трансформациялаш коэффициентлари ( $k_t$ ) бир хил бўлиши лозим:

$$k_{t,I} = k_{t,II} = k_{t,III} = \dots \quad (6.5)$$

2) параллел уланадиган ва ишлаб турган трансформаторларнинг қисқа тугашув кучланишлари бир хил бўлиши керак, яъни

$$u_{qt, I} = u_{qt, II} = u_{qt, III} = \dots \quad (6.6)$$

3) трансформаторлар чулғамларининг уланиши битта гуруҳга тааллуқли бўлиши лозим.



Иккита бир фазали куч трансформаторларини параллел ишлашга улаш схемаси 6.5,a-расмда ва параллел ишлашга уланган иккита уч фазали куч трансформаторининг схемаси 6.5,b-расмда кўрсатилган.

Трансформациялаш коэффициентлари  $k_1$ , уларнинг ўрта-ча арифметик қийматларидан фарқи  $\pm 0,5$  фоизгача, қисқа туташув кучланишлари  $u_{qt}$  эса

( $\pm 10$ ) фоизгача фарқли бўлган ҳолларда ҳам трансформаторларни параллел ишлатиш мумкинлиги стандартда белгиланган. Ундан ташқари параллел иш-лайдиган трансформаторлар номинал кувватларининг фарқи уч мартадан ошмаслиги керак, чунки трансформаторнинг қисқа туташув кучланиши  $u_{qt}$  унинг номинал куввати ва кучланиши ошган сари ошиб боради.

Чулғамларининг уланиш гуруҳлари ҳар хил бўлган ҳолда трансформаторларни параллел улаш мумкин эмас, чунки бу ҳолда уларнинг чулғамларидан қиймати тахминан қисқа туташув токининг қийматиغا етадиган тенглаштирувчи тоқлар ўтади. Бу эса трансформаторлар учун хавфлидир.

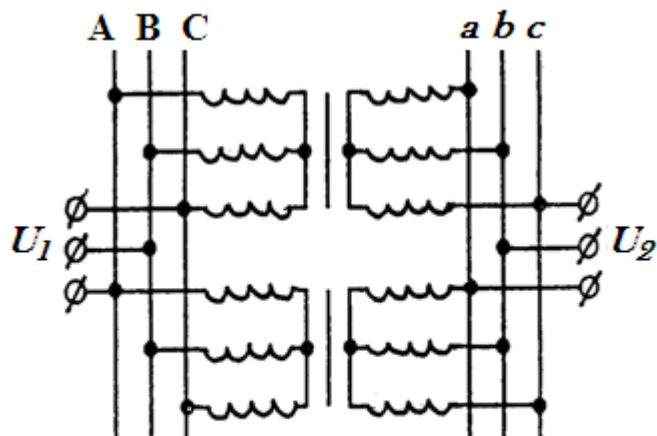
Юқорида кўрсатилган шартлардан бирортаси тўла бажарилмаган ҳолларда трансформаторларнинг параллел ишлашини кўриб чиқамиз.

**Уланиш шартлар тўла бажарилмай параллел уланган трансформаторлар иш режимлари.**

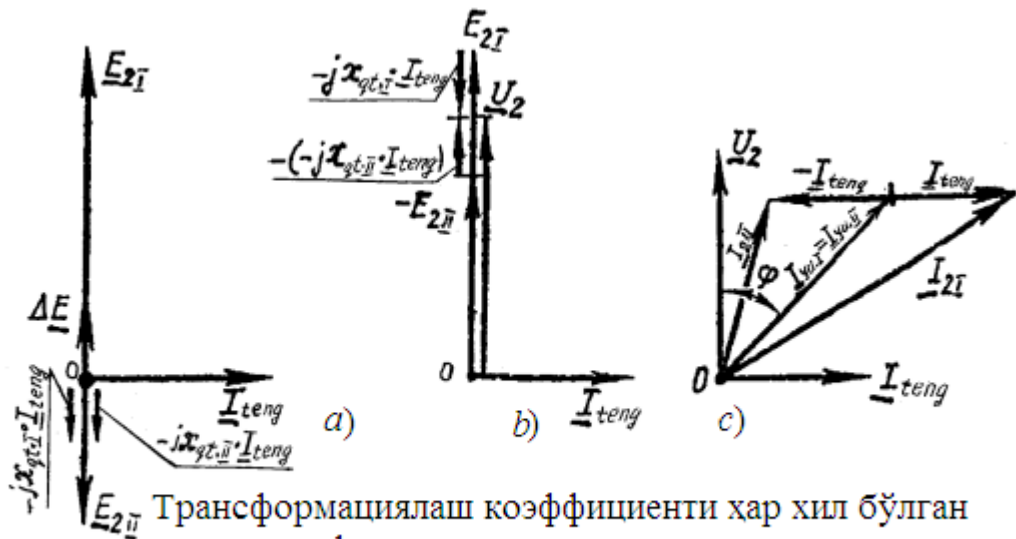
Трансформациялаш коэффициентлари ҳар хил бўлган трансформаторларнинг параллел ишлаши. Параллел ишлаётган трансформаторлар ик-киламчи чулғамларидаги ЭЮК лар ( $E_{2.1}$ ,  $E_{2.2}$ ) қарама-қарши уланган бўлгани учун вектор диаграммада уларнинг векторлари ўзаро тескари йўналтириб чи-зилади (6.6,a-расм). Агар трансформаторларнинг бирламчи чулғам ЭЮК лари шартга кўра тенг бўлса, унда трансформациялаш коэффициентлари  $k_{1.1} < k_{1.2}$  бўлганда иккиламчи чулғам ЭЮК лари  $E_{2.1} > E_{2.2}$  бўлади ва қарама-қарши йўналган бу ЭЮК ларнинг вектор йиғиндиси туфайли натижавий ЭЮК  $\Delta E = E_{2.1} + E_{2.2}$  ҳосил бўлиб, у трансформаторлар чулғамлари орасида тенглашти-рувчи ток  $I_{teng}$  ни вужудга келтиради:

$$I_{teng} = \Delta E / (Z_{qt.1} + Z_{qt.2}), \quad (6.7)$$

бу ерда  $Z_{qt}$ — тўла қисқа туташув қаршилиги; «I» индекс биринчи трансформаторга, индекс «II» эса иккинчи трансформаторга тегишли. Одатда катта қувватли трансформаторларда ( $x_{qt.1} + x_{qt.2} \gg (r_{qt.1} + r_{qt.2})$ ) бўлганлигидан  $r_{qt.1}$  ва  $r_{qt.2}$  қаршиликларини эъти-борга олмаса ҳам бўлади. Бу ҳолда тенглаштирувчи ток  $I_{teng}$  ЭЮК  $\Delta E$  дан чорак давр ( $90^\circ$ ) га орқада қолади. Бу ток қиймати катта бўлган ЭЮК  $E_{2.1}$  га нисбатан индуктив бўлиб, қиймати кичик бўлган ЭЮК  $E_{2.2}$  га нисбатан эса сиғимийдир.



Параллел ишлаш учун уланган уч фазали икки трансформатор электр схемаси



Трансформациялаш коэффициентлари хар хил бўлган икки трансформаторнинг параллел ишлагандаги вектор диаграммалари

Юклама уланганда  $I_{teng}$  ток юклама токи  $I_{yu}$  га геометрик қўшилади. Иккиламчи чулғам ЭЮК  $E_{2,I}$  унинг кучланиши  $U_{2,I}$  дан катта ( $E_{2,I} > U_{2,I}$ ) бўлган 1-трансформатор ( $T_I$ ) токи куйидагига тенг:  $I_{2,I} = I_{yu,I} + I_{teng}$ .

Агар текшириляётган пайтда 1-трансформаторда  $I_{teng}$  ток чулғам бошидан унинг охирига ўтаётган бўлса, 2-трансформаторда эса у чулғам охиридан унинг бошига ўтади ва, шу сабабли 2-трансформатор ( $T_{II}$ ) нинг токи куйида-ги тенглама билан аниқланади, яъни  $I_{2,II} = I_{yu,II} + I_{teng}$ .

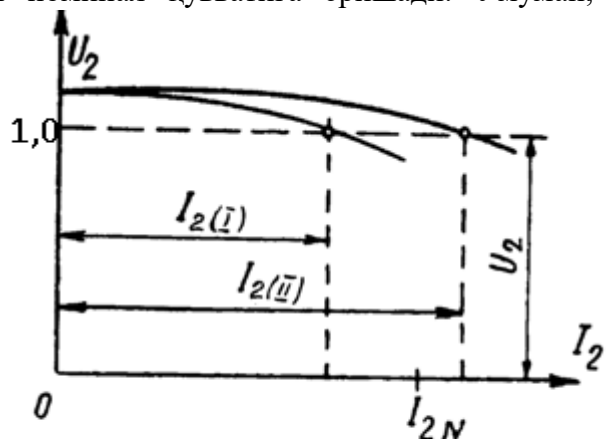
$I_{teng}$  токнинг таъсири туфайли трансформаторларда тоқлар тенгсизлиги ( $I_{2,I} > I_{2,II}$ ) ҳосил бўлади. Бундай шароитда 1-трансформатор  $T_I$  ўта юкланиб, 2-трансформатор  $T_{II}$  нинг юкласи эса меъеридан кам бўлади.

Трансформатор ( $T_I$ ) иккиламчи чулғаида  $I_{teng}$  токи вужудга келтирган кучланиш пасайиши ( $-jx_{qt,I} \cdot I_{teng}$ ) ЭЮК  $E_{2,II}$  га қарама-қарши йўналган, трансформатор ( $T_{II}$ ) иккиламчи чулғаида тенглаштирувчи ток туфайли вужудга келган кучланиш пасайиши вектори ( $-jx_{qt,II} \cdot I_{teng}$ ) эса ЭЮК вектори  $E_{2,II}$  билан мос йўналган. Натижада трансформаторларнинг иккиламчи чулғамларида  $E_{2,I} > U_2 > E_{2,II}$  бўлган ҳолда умумий кучланиш  $U_2$  барқарор бўлади (6.6,b-расм).

**Қисқа туташув кучланиши бир хил бўлмаган трансформаторларнинг параллел ишлаши.** Агар  $k_{\epsilon,I} = k_{\epsilon,II}$  ва чулғамларининг уланиш гуруҳлари бир хил бўлиб, қисқа туташув кучланишлари тенг бўлмаган ( $u_{qt,I} \neq u_{qt,II}$ ) иккала трансформаторни параллел ишлашга улаганда юклама оширилса, қисқа ту-ташув кучланиши кам бўлган трансформатор иккинчисига нисбатан олдин номинал қувватига эришади. Умуман, параллел ишлаётган трансформаторлар орасида юклама уларнинг қисқа туташув кучланишларига тескари мутано-сибликда тақсимланади:

$$(S_I / S_{I,N}) : (S_{II} / S_{II,N}) = u_{qt,II} / u_{qt,I} \quad (6.8)$$

$T_{II}$  ни ҳам номинал қувватгача юклаш мақсадида умумий юклама яна ҳам оширилганда  $T_I$  нинг юкласи меъердан ошиб кетади. Бу эса амалиёт учун салбий ҳолдир. Параллел ишлатиладиган трансформаторлар номинал



Қисқа туташув кучланишлари бир хил бўлмаган трансформаторларнинг параллел ишлаши

куватларининг нисбати 3 : 1 дан катта бўлмаслиги керак.

Демак, қисқа туташув кучланишлари ҳар хил бўлган трансформаторларни параллел ишлатишда уларнинг ўрнатилган қувватидан тўла фойдаланиб бўлмас экан.

Агар ташқи тавсифлари маълум бўлса, берилган иккиламчи чулғам кучланиши катталиги бўйича параллел ишлаётган трансформаторлар токини график усулда аниқлаш мумкин.

Умумий юклама уланганда қисқа туташув кучланиши  $u_{qt}$  катта бўлган трансформаторнинг кучланиш пасайиши кўп бўлиб, унинг ташқи тавсифи абсциссалар ўқиға кўпроқ оғади. Агар ординатаси номинал кучланишга тенг бўлган нуқтадан абсциссалар ўқиға ўтқа-зилган параллел чизиқ ташқи тавсифлар билан кесишиш нуқталари изланаётган токларнинг қийматини беради, масалан,  $u_{qt.I} < u_{qt.II}$  бўлганда  $I_{2.I} > I_{2.II}$  га эга бўламиз.

**Чулғамларнинг уланиш гуруҳлари ҳар хил бўлган трансформаторларнинг параллел ишлатиши.** Айтайлик, чулғамлари  $Y/Y-0$  ва  $Y/\Delta-11$

уланган бирламчи ва иккиламчи номинал кучланишлари бир хил ( $U_{1N.I}=U_{1N.II}$ ;  $U_{2N.I}=U_{2N.II}$ ) бўлган иккита трансформатор параллел ишлаш учун уланган. Унда иккиламчи чулғамлар мос фазаларининг ЭЮК лари  $E_{2.I}$  ва  $E_{2.II}$  катталиги жиҳатдан тенг, лекин фазаси  $30^\circ$  силжиган. Иккиламчи чулғамлар уланган контурда бу ЭЮК ларнинг айирмаси таъсир қилиб, унинг катталиги

$$\Delta E = 2 E_2 \sin(30 / 2) \approx 0,52 E_2. \quad (6.9)$$

Ҳосил бўлган  $\Delta E$  таъсирида трансформаторлар иккиламчи чулғамларидан тенглаштирувчи ток  $I_{teng.2}$  ўтиб, бу эса, бирламчи чулғамлардан ҳам тенглаштирувчи ток  $I_{teng.1}$  ўтишига сабабчи бўлади. Унинг катталиги

$$I_{teng} = \Delta E / (Z_{qt.I} + Z_{qt.II}). \quad (6.10)$$

Агар ишлаётган иккита трансформатор қувватлари бир хил ва нисбий бирликлардаги тўла қисқа туташув қаршиликлари ва кучла-нишлари  $Z_{qt.I*} = Z_{qt.II*} = u_{qt.I*} = u_{qt.II*} = 0,05$  бўлса, унда  $I_{teng} / I_N$  нисбат қуйидагига тенг бўлади:  $I_{teng} = 0,52 / (2 \cdot 0,05) \approx 5,2$ . Демак, юксиз ишлаш режимда ҳам  $I_{teng}$  ток номинал токка нисбатан тахминан 5,2 марта катта бўлар экан. Бу эса қисқа туташув ҳолати билан барабардир. Демак, ҳар хил гуруҳдаги трансформаторларни параллел ишлашга улаш мумкин эмас экан.

### Назорат саволлари

1. Уч фазали трансформаторда уланиш гуруҳи қандай аниқланади?
3. Уланиш гуруҳи тажриба йўли билан қандай аниқланади?
4. Трансформаторларни параллел ишлатишнинг аҳамияти нимада?
5. Қандай шартлар бажарилганда трансформаторларни параллел улаш мумкин?

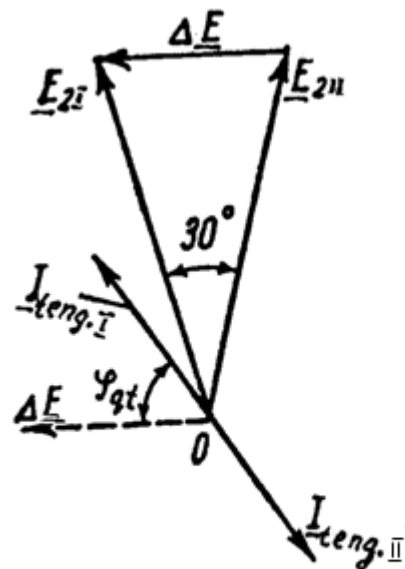
### 6-майруза

#### Махсус трансформаторлар турлари. Ўлчов трансформаторлари. Пайвандлаш трансформаторлари.

##### Режа:

Махсус трансформаторлар турлари.

Ўлчов трансформаторлари.



Уланиш гуруҳлари  $Y/\Delta-11$  ва  $Y/Y-0$  бўлган трансформаторлар параллел ишлатишдаги вектор диаграмма

*Пайвандлаш трансформаторлари.*

**Махсус трансформаторлар турлари.**

**Автотрансформаторлар.**

Чулғамлари электромагнит боғланишдан ташқари электр боғланишга ҳам эга бўлган трансформаторнинг бир турига **автотрансформатор** деб аталади.

Трансформаторда бирламчи чулғамдан иккиламчи чулғамга тўла энергия электромагнит воситасида берилса, автотрансформатор (АТ)да тўла энергиянинг бир қисмигина шу йўл билан узатилиб, энергиянинг бошқа қисми эса унинг бирламчи ва иккиламчи занжирлари электр жиҳатдан уланганлиги туфайли бевосита берилади. Бу АТ да электр энергияни узатиш усулининг ўзига хос хусусияти ҳисобланади.

АТ лар кучланишни *пасайтирувчи ва оширувчи, бир фазали ва уч фаза-ли, икки чулғамли ва уч чулғамли* турларга бўлинади. Агар АТ чулғамининг "АХ" учларини тармоққа улаб, унинг "ах" қисмига истеъмолчи уланса – *пасайтирувчи АТ* (7.4-расм), агарда "ах" қисмини тармоққа улаб, "АХ" уч-ларига истеъмолчи уланганда – *оширувчи АТ* бўлади.

Кам қувватли (масалан, кучланишни ростлагич) АТ нинг битта чулғами бўлиб, унинг бир қисми иккиламчи (ёки бирламчи) чулғам вазифасини ба-жаради. Бу ҳолда чулғам сиртидан сирпанувчи контактлар ёрдамида икки-ламчи чулғам ўрамлари сонини ўзгартириб кучланиш ростланади. Катта қув-ватли юқори кучланишли АТ лар учун чулғамларнинг бундай конструкцияси

тўғри келмайди, чунки контактлар катта ток юкласига бардош бера олмайди. Шу сабабли катта қувватли АТ ларда электр жиҳатдан уланган ўзакда бир хил баландликда жойлаштирилган иккита чулғами бўлади.

АТ ни амалиётда бажарадиган вазифаси нуктаи назардан ўрганиш муҳим аҳамият касб этади, *чунки бунда уларнинг ўзига хос хусусиятлари тўла ра-вишда намоён бўлади.*

*И ш л а ш п р и н ц и п и.* АТ нинг юксиз ишлаш режимидаги электромагнит жараён одатдаги трансформаторникидан фарқ қилмайди. Юклама уланмаган пасайтирувчи АТ нинг "АХ" чулғамига (ўрамлар сони  $W_{AX}$ ) ўзгарувчан кучланиш  $U_1$  берилганда ундан юксиз ишлаш токи  $I_{0.A}$  ўтиб, трансформатордаги сингари ўзиндукция ЭЮК  $E_1$  ни ҳосил қилади. Юксиз иш-лашда шу чулғамнинг юклама уланадиган (ўрамлар сони  $W_{ax}$ ) қисмидаги ЭЮК  $E_{ax}$  келиб чиқишига кўра ўзиндукция ЭЮК бўлиб,  $E_{AX}$  нинг бир қисмини ташкил этади (*Изоҳ: Трансформатор иккиламчи чулғамида эса ўзаро индукция ЭЮК ҳосил бўлади.*)

Юксиз ишлаш режимдан АТ нинг трансформациялаш коэффициенти  $k_A$ , юксиз ишлаш токи  $I_{0N.A}$ , исрофлари  $P_{0N.A}$  ва алмаштириш схемасининг пара-метрларини аниқлаш мумкин.

*АТ нинг трансформациялаш коэффициенти  $k_A$  куйидагича аниқланади*

$$k_A = E_{YK} / E_{PK} = W_{AX} / W_{ax} \approx U_1 / U_2 . \quad (7.7)$$

Пасайтирувчи АТ га юклама уланганда чулғамининг бирламчи занжири-дан  $I_1$ , иккиламчи занжиридан эса  $I_2 > I_1$  ток ўтади. Бу ҳолдаги АТ нинг МЮК мувозанат тенгламаси куйидагича ёзилади

$$I_1 w_1 + I_2 w_2 = I_0 w_1, \quad (7.8)$$

бу ерда  $I_0$  – «А-Х» чулғамдан ўтувчи магнитловчи ток.

$I_1 = I_0 - I_2 / k_A$  ток чулғамнинг фақат "А-а" қисмидан ўтиб, иккала чулғам учун умумий бўлган "а-х" қисмидан эса  $I_1$  ва  $I_2$  тоklarнинг геометрик йи-гиндисига тенг бўлган

$$I_{ax} = I_1 + I_2 = I_0 - I_2 \cdot k_A + I_2 = I_0 + I_2 (1 - 1/k_A) \quad (7.9)$$

ток ўтади.  $I_1$  ва  $I_2$  тоklar фаза жиҳатдан деярли  $180^\circ$  бўлгани сабабли ( $I_0 \approx 0$ ) уларни алгебраик айирма кўринишида ёзиш мумкин:

$$I_{ax} = I_2 - I_1 . \quad (7.10)$$

Бундан кўринишича, пасайтирилган АТ чулғамининг умумий қисми "а-х" бўйича ўтаётган ток  $I_{ax}$  бирламчи занжир токи  $I_1$  га тесқари, иккиламчи зан-жир токи  $I_2$  билан эса мос йўналган бўлади.

Агар АТ нинг трансформациялаш коэффициенти 1 га яқин бўлса,  $I_1$  ва  $I_2$  тоқлар бир-биридан кам фарқ қилиб, уларнинг айирмаси кичик қийматни ташқил этади. Бу ҳол АТ чулғамининг умумий (а-х) қисмини *кесим юзаси кичик бўлган симдан тайёрлашга имкон беради*.

АТ да чулғам иккиламчи занжирининг чиқишидаги тўла қувват  $S_2$  ни "ўтувчи қувват ( $S_{ot}$ )" дейилади. Бундан ташқари, бирламчи занжирдан иккиламчисига магнит майдони воситасида узатиладиган ҳисобий ( $S_h = S_{em}$ ) қувват ҳам мавжуддир. Буни *ҳисобий қувват дейилишига сабаб шуки*, АТнинг габа-рит ўлчамлари ва оғирлиги шу қувват катталигига боғлиқ бўлади.

Демак, АТ да ҳисобий қувват ўтувчи қувватнинг бир қисмини ташқил этиб, қолган қисми эса электр боғланиш ҳисобига чулғамнинг бирламчи зан-жирдан иккиинчисига узатилади, яъни

$$S_{ot} = S_e + S_h . \quad (7.11)$$

### Ўлчов трансформаторлари.

Бундай трансформаторлар ўзгарувчан ток занжирларида электр ўлчаш ас-боблари (вольтметр, амперметр, ваттметр ва бошқ.)нинг ўлчаш чегараларини кенгайтириш ва юқори кучланиш тармоқларида мазкур асбоблар билан ишлаш хавфсизлигини таъминлаш мақсадларида ишлатилади. Бундан ташқари релели ҳимоя асбобларини улашда ҳам фойдаланилади. Бундай трансформаторларни **ўлчов трансформатори** дейилади. Уларнинг қуввати 5 V·А дан бир неча юз V·А гача бўлади. Ўлчов трансформаторлари кучланиш ва тоқларни ўзгартирганда хатолик мумкин қадар кам бўлишининг зарурлиги *уларга қўйиладиган асосий талабдир*.

#### **Кучланишни ўлчаш схемалари учун трансформаторлар.**

Бундай трансформаторлар кучланиши 0,38÷1150 кV бўлган ўзгарувчан ток тармоқлари кучланишини ўлчаш схемаларида ишлатилади. Шу сабабдан уларни *"кучланиш трансформаторлари"* дейилади. Мазкур трансформатор пасайтирувчи бўлиб, бирламчи чулғамда кучланиш номинал (масалан, 3; 6; 10; 35; 110кV ва бошқ.) бўлганда иккиламчи кучланиши 100,  $100/\sqrt{3}$  ёки  $100/3$  V бўладиган қилиб бажарилади. Унинг иккиламчи занжирига вольтметр ҳамда ваттметр, частота ўлчагич, энергия ҳисоблагич (счётчик) ва фазометрларнинг кучланиш чулғамлари уланади.

Бу ўлчаш асбобларининг электр қаршилиги катта (тахминан 1000 Ω) бўлиб, кучланиш трансформаторларининг иш режими юксиз ишлаш режимига яқин бўлади. Бу ҳолда  $\underline{U}_1 = \underline{E}_1$ ;  $U_0 = E_{2N}$ , деб ҳисоблаш мумкин бўлади, лекин  $E_1 = (w_1/w_2)E_2$  бўлгани учун

$$U_1 = (w_1/w_2)U_2 = kU_2, \quad (9.2)$$

бунда  $k = w_1/w_2$  - трансформациялаш коэффициенти.

Кучланиш трансформаторининг хатолиги бирламчи ( $U_1$ ) ва иккиламчи ( $U_2$ ) чулғам кучланиш векторлари орасидаги силжиш фазасига боғлиқ ҳолда ўзгаради. Кўчирилмайдиган (стационар) кучланиш трансформаторларини учта (0,5; 1 ва 3), лаборатория кучланиш трансформаторларини эса 4 та (0,05; 0,1; 0,2; ва 0,5) аниқлик классга бўладилар.

Кучланиш трансформаторлари бир фазали ва уч фазали қилиб тайёрланади. Кучланиш  $U = 3000$  V гача қуруқ қилиниб,  $U > 3000$  V бўлганда эса мойли (мой билан совитиладиган) қилинади. 9.5-расмда НОМ-35 типли кучланиш трансформатори (*b*) ва уни тармоққа улаш схемаси (*a*) кўрсатилган.

Электр хавфсизлигини таъминлаш мақсадида трансформатор иккиламчи чулгамининг чиқиш учларидан бири ва трансформатор қопламаси (кожухи) заминланади, яъни ерга туташтирилади.

#### **Токни ўлчаш схемалари учун трансформаторлар.**

Бундай трансформаторлар катта қийматли токларни оддий амперметр билан ўлчаш учун ҳамда ваттметр, энергия ҳисоблагич (счётчик) ва фазометр-ларнинг ток чулғамларини улашда ишлатилади. Шу сабабдан уларни "*ток трансформаторлари*" дейилади. Ток трансформаторининг бирламчи чулғами кесим юзаси катта бўлган ўтказгич (стержень)дан ясалиб, тармоққа кетма-кет уланади (9.7-расм). Чулғамлардаги ўрамлар шундай танланадики,

бунда бирламчи чулғамнинг токи номиналга тенг бўлганда, иккиламчи занжирдаги ток 5 А бўладиган қилиб бажарилади.

Ток трансформаторларининг иш режими қисқа туташув режимига яқин бўлади ва улар учун токлар тенгламаси куйидагича ёзилади:

$$I_1 = -I_2 = -(w_2/w_1)I_2 = I_2/k. \quad (9.3)$$

Демак, иккиламчи ток  $I_2$  ва трансформациялаш коэффициентини  $k$  маълум бўлганда бирламчи ток  $I_1$  ни аниқлаш мумкин экан.

Ток трансформаторларини 5 та аниқлик классига бўладилар: стационар (кўчмайдиган) турлари – 0,2; 0,5; 1; 3 ва 10, лаборатория ток трансформаторлари эса – 0,01; 0,02; 0,05; 0,1 ва 0,2. Бу келтирилган рақамлар токнинг номинал қийматидаги ток хатолигидир.

Номинал кучланиш  $U \geq 220$  кV бўлганда ток трансформатори каскад схемаси бўйича, яъни икки поғонали қилиб бажарилади (9.6,*d*-расм). Бу расмда кўрсатилган каскадли ток трансформаторининг ҳар битта поғонасини

кучланиши  $250/\sqrt{3}$  кV бўлган ток трансформатори ташкил этади.

Биринчи поғонадаги иккиламчи чулғам иккинчи поғонанинг бирламчи чулғамини ток билан таъминлайди. Юқори кучланишда икки поғонали ток трансформаторининг бир поғоналига нисбатан таннархининг тахминан 2 марта камлиги унинг афзаллиги бўлса, каскад схемада чулғамлар қаршилиқла-рининг ошиши туфайли ток трансформатори хатолигининг кўпайиши эса унинг камчилиги ҳисобланади. Ток трансформаторини тармоққа улашда унинг қопламаси (кожухи) ва 2-чулғамининг чиқиш учларидан бири ерга уланади. Ток трансформатори нормал ишлаш жараёнида, унинг иккиламчи чулғами узиб қўйилмаслиги керак, акс ҳолда иккиламчи чулғам токи  $I_2=0$  бўлиб, бир-

ламчи чулғам токи  $I_1$  эса ўзининг илгариги катта қийматини ўзгартирмай унинг ҳосил қилган магнит оқими иккиламчи чулғамда катта ЭЮК ҳосил қилади. Бу эса магнит исрофларининг ошиб кетиши сабабли ток трансформаторининг меъёридан ортиқ қизиби кетишига олиб келади.

Ток трансформаторини тармоқдан узишда, дастлаб унинг иккиламчи чулғами шунт қилиниб, ўлчаш асбоблари ажратилади.

#### **Пайвандлаш трансформаторлари.**

Электр ёйи воситасида пайвандлаш учун ишлатиладиган махсус мақсадли трансформаторларни одатда *пайвандлаш трансформаторлари* деб юритилади.

Пайвандлаш трансформаторлари кучланиши 220 ёки 380 V бўлган электр энергияни метални ёйли пайвандлаш учун зарур бўлган юксиз ишлашдаги кучланиши 60 V бўлган электр энергияга ўзгартириб беради. Реактор (дроссель) – магнит занжири ҳаво оралигини ўзгартириш йўли билан пайвандлаш токини ростлашга мўлжалланган.

Металлни пайвандлашда СТН-500-1 типли пайвандлаш трансформатори (9.2,*b*-расм) амалда кўп қўлланилади:  $U_1=380$  ва 220 V,  $U_{2,0}=60$  V, пайвандлаш токи 500 А, бу ток ростлаш жараёнида 800 А гача ошиши мумкин. Чиқишидаги қуввати 15 кW, тармоқдан оладиган қуввати 33 кV·А.

### Назорат саволлари

1. Автотрансформаторнинг ўзига хос хусусиятлари нималардан иборат?
2. Автотрансформаторнинг афзалликлари нималардан иборат?

### 3. Пайвандлаш трансформаторининг тузилиши ва ишлаш принципини сўзлаб беринг.

4. Электр ўлчаш схемалари учун трансформаторнинг аҳамияти нимадан иборат?
5. Автоматик қурилмаларда қандай махсус трансформаторлар ишлатилади?

### 7-маъруза.

#### Ўзгарувчан ток машиналарининг умумий масалалари.

##### Режа:

Асосий турлари

Актив қисмларига оид умумий маълумотлар.

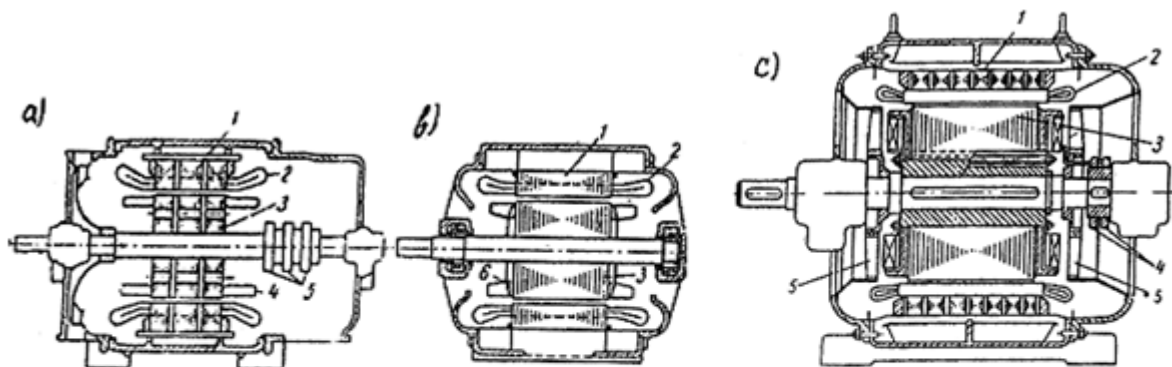
##### Асосий турлари.

Ўзгарувчан ток машиналари иккита турга, яъни *асинхрон* ва *синхрон* машиналарга бўлинади. Бу машиналар қўзғалмас қисми *статор* ва унинг ичига подшипник қалқонлари воситасида маҳкамланиб айланиш имкониятига эга бўлган *ротордан* иборат. Статор ва ротор бир-биридан *ҳаво оралиғи* билан ажратилган бўлади. Ҳаво оралиғининг ўлчами машинанинг иш хоссаларига жиддий таъсир қилади. Масалан, синхрон машиналарда у ўта юкланиш қобилиятини оширса, асинхрон машиналарда ҳаво оралиқнинг катта бўлиши уларнинг қувват коэффициенти  $\cos\varphi$  ни ва айлантирувчи моменти  $M_{ни}$  кескин камайтиради.

Анъанавий ўзгарувчан ток машиналари – асинхрон ва синхрон машиналар бир-биридан роторининг тузилиши билан фарқ қилса ҳам, *уларнинг статорлари асосан бир хил конструкцияга эга бўлиб* (Ш.1-расм), ишлаш принципи ва назариясида анчагина ўхшашлик жиҳатлари мавжуддир. Булардаги физик жараёнларнинг умумийлиги уларнинг назарияси ўхшашлигини, кўп фазали ўзгарувчан ток чулғамлари конструкцияси ҳамда асинхрон ва синхрон машиналар статорларининг тузилиши принципининг ўхшашлигини келтириб чиқаради.

##### Актив қисмлари

*Магнит ўтказгич ва чулғамлар* ўзгарувчан ток машиналарининг *актив қисмлари* ҳисобланади. ўзгарувчан магнит оқими ўтадиган машинанинг магнит ўтказгичи, яъни



Уч фазали ўзгарувчан ток машиналарининг конструктив схемалари: *фаза роторли* (a) ва *қисқа туташган роторли* (b) асинхрон моторлар (буларда: 1 – статор ўзаги; 2 – уч фазали статор чулғами; 3 – ротор ўзаги; 4 – роторнинг фаза чулғами; 5 – ишга тушириш қаршилигига ўлаш учун контакт халқалар; 6 – роторнинг қисқа туташган чулғами) ҳамда *аён қутбلى синхрон генератор* (c) (бунда: 1 – статор ўзаги; 2 – уч фазали статор чулғами; 3 – ўзгармас ток чулғамли ротор қутблари; 4 – ўзгармас ток манбаи билан ўлаш учун халқалар; 5 – вентиляторлар)

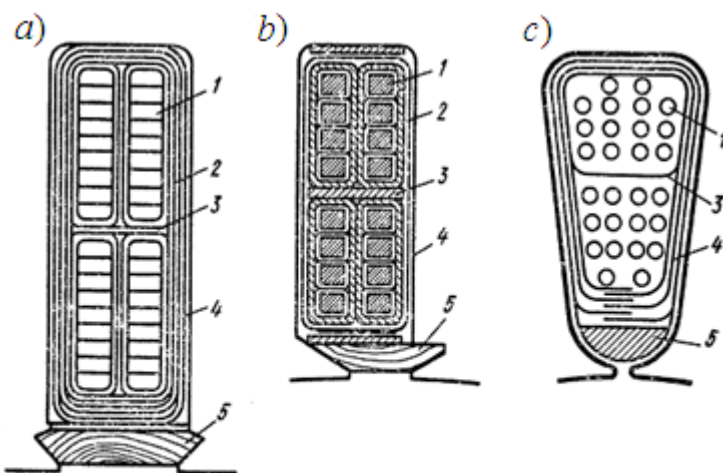
асинхрон машинанинг статор ва ротор ҳамда синхрон машинанинг статор пўлат ўзаклари электротехник изотропли (яъни магнит ўтказувчанлиги пўлатнинг жўваланиш йўналишига деярли боғлиқ бўлмаган) совуқлайин жўваланган пўлат тунука (лист)ларидан

йиғилади. Статор ўзагининг ички (ҳаво оралиғига яқин) томонига *чулғам жойлаштириш* учун штампланган станогига воситасида пўлат листларга бир хил андозали пазлар ўйилади.

Электр машиналарининг ротори валга маҳкамланган подшипниклар воситасида айланади. Қуввати 1000 кВт гача бўлган электр машиналарида подшипник қалқонида жойлаштириладиган *шарикли ва роликли думалаш под-шипниклари*,  $P \geq 1000$  кВт бўлганда эса машина корпусидан ташқарида жой-лаштириладиган таянчда *сирпаниш подшипниклари* қўлланилади.

Асинхрон машинанинг ротор ўзаги унинг валига (катта қувватли машиналарда эса ротор втулкасига) прессланади ва махсус сиқувчи шайбалар билан маҳкамланади. Ротор пўлат ўзагининг машина ҳаво оралиғи томонидаги пазларда ротор чулғами жойлашади.

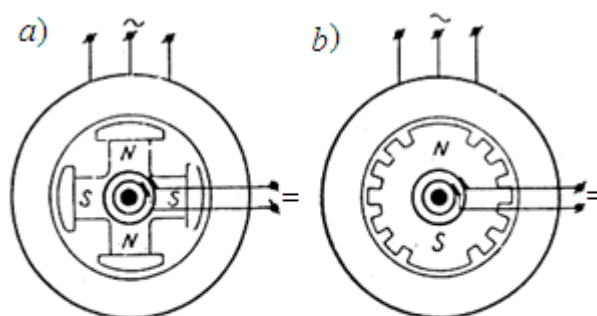
Пўлат ўзак тишлари ва пазларининг шакллари машина типига ва унинг қувватига боғлиқ бўлади. *Катта қувватли* машиналарда статор ва ротор чулғамларини тўғрибурчак кесимли ўтказгичлардан бажарилади; бу ҳолда ўтказгичларни пазда яхши жойлаштириш ва ишончли изоляциялашни таъминлаш имконияти яхшилангани сабабли тўғрибурчак шаклли *очиқ пазлар* қўлланилади. *Кам ва ўрта қувватли* электр машиналарида ротор ва статор чулғамлари одатда думалок кесимли симлардан ясалиб, бундай машиналарда овал (тухумсимон чўзиқ) ёки трапеция шаклдаги *ярим ёпиқ* пазлар қўлланилади. Айрим ҳолларда тўғрибурчак кесимли сим ишлатилганда *ярим очиқ* пазлар қўлланилади.



Статорнинг очиқ (a), яримочиқ (b) ва ярим берк (c) шаклдаги пазлари.

Синхрон машиналар роторининг конструкциясига кўра: аён кутбли ва ноён кутбли турларга бўлинади.

*Ноён кутбли* синхрон машина (СМ)ларда ротор массив (яхлит куйилган) қилиб бажарилади (10.3,b-расм), чунки унинг пазларида магнит оқими роторга нисбатан қўзғалмас бўлган қўзғатиш чулғамли кутблар жойлашган. *Машина ҳаво орлигида магнит индукциянинг тахминан синусоидал тарқалишини таъминлаш мақсадида*, қўзғатиш чулғами ўтказгичлари ротор доирасининг 2/3 қисмидаги пазларда тақсимланган ҳолда жойлаштирилган бўлади. Шу мақсадда *аён кутбли* синхрон машиналарда кутб учлигига махсус шакл берилади, яъни унинг чеккаларидаги ҳаво оралиқ  $\delta_{max}$  кутб ўр-тасидаги  $\delta$  га нисбатан  $1,5 \div 2$  баравар катта қилиб тайёрланади. Аён кутбли синхрон машиналарда роторнинг марказдан қочирма кучлари катта бўлганлигидан кутблар сони нисбатан кам ( $2p \geq 4$ ) қилиб тайёрланади (10.3,a-расм), чунки  $n = n_1 = 60 f / p$  ифодага биноан умумий қўлланиш-даги ўзгарувчан ток частотаси  $f_1 = 50 \text{ Hz} = \text{const}$  бўлиши учун роторнинг айланиш частотаси кам бўлган ҳолларда кутблар сонини ошириш зарур бўлади.



Синхрон машинасининг асосий турлари: a) аён кутбли; b) ноён кутбли



## 8-майруза.

### Ўзгарувчан ток машиналарининг статор чулғами қисмлари, схемалари ва ЭЮК.

#### Режа:

*Статор чулғами қисмлари.*

*статор чулғами схемалари.*

*статор чулғами ЭЮКлари.*

#### Статор чулғами қисмлари.

Ўзгарувчан ток машиналарида статор чулғами пўлат ўзак пазларига маълум тартибда жойлаштирилади. Бир хил пазларда жойлашган ўрамлар бир-бири билан кетма-кет уланиб *галтак (секция)ларни* ҳосил қилади (10.4,*a*-расм). Қўшни пазларда жойлашган ғалтаклар кетма-кет уланиб *галтаклар гуруҳини* ҳосил қилади. Улар машинанинг битта фазаси ва жуфт кутбига тўғри келади. Чулғамнинг ҳар бир фазаси АХ, ВУ, СZ бир неча параллел (фаза токи катта бўлган ҳолларда) ёки кетма-кет уланган ғалтаклар гуруҳидан таш-кил топади.

Ўзгарувчан ток чулғамларини тушунтиришда методик мулоҳазалар нуқ-таи назаридан китобда фазавий чулғам учларининг бошлари А,В,С, охирлари эса Х,У, Z лотин ҳарфлари билан белгиланади. Таъкидлаш лозимки, бундай услубий ёндашиш чулғамларни назарий ўрганишда яққолликни таъминлайди (амалда эса стандартда белгиланганларга риоя қилинади).

Илгари уч фазали статор чулғамининг учлари қуйидагича: С1–С4 (1-фаза), С2–С5 (2-фаза), С3–С6 (3-фаза) белгиланган. Халқаро стандартга мос-лаштириб ишлаб чиқилган стандарт (ГОСТ 26772-85)га мувофиқ 1.01.1987 дан бошлаб МДХ мамлакатлари электр машинасозлиги заводларида ишлаб чиқарилаётган ўзгарувчан ток машиналари статор чулғами фазаларининг бо-ши ва охирларига очиқ схема учун янгича белгиланиш жорий қилинган, яъни: U1–U2 (1-фаза), V1–V2 (2-фаза), W1–W2 (3-фаза), бошқа белгиланишлар эса 10.1-жадвалда келтирилган. Статорнинг фазавий чулғамлари юлдуз (У) ёки учбурчак (Δ) усулида уланиши мумкин, шу мақсадда клеммалар қутичасида чулғам учларининг боши ва охири маълум тартибда жойлаштирилади.

Чулғамнинг *энг оддий элементи ўрам* (10.4,*a*- расм) ҳисобланади. Ўрам бир-биридан якорь айланасида чулғам қадами «у» га тенг бўлган масофадаги пазларда жойлашган иккита ўтказгич (сим)нинг кетма-кет уланишидан ҳосил бўлади. Бу масофа тахминан кутб бўлинмаси  $u \approx \tau = \pi D / (2p)$  га тенг бўлади (бу ерда: D – статорнинг ички диаметри; 2p – кутблар сони).

Кутб бўлинмаси  $\tau$  ни пазлар сони Z орқали ҳам аниқлаш мумкин, бу ҳолда чулғам қадами:

$$u = \tau = Z / (2p), \quad (10.1)$$

Агар  $u = \tau$  бўлса, чулғам *диаметрал* ёки *тўла* қадамли,  $u < \tau$  бўлса – *қисқартирилган қадамли*,  $u > \tau$  бўлганда эса *узайтирилган қадамли чулғам* дейилади.

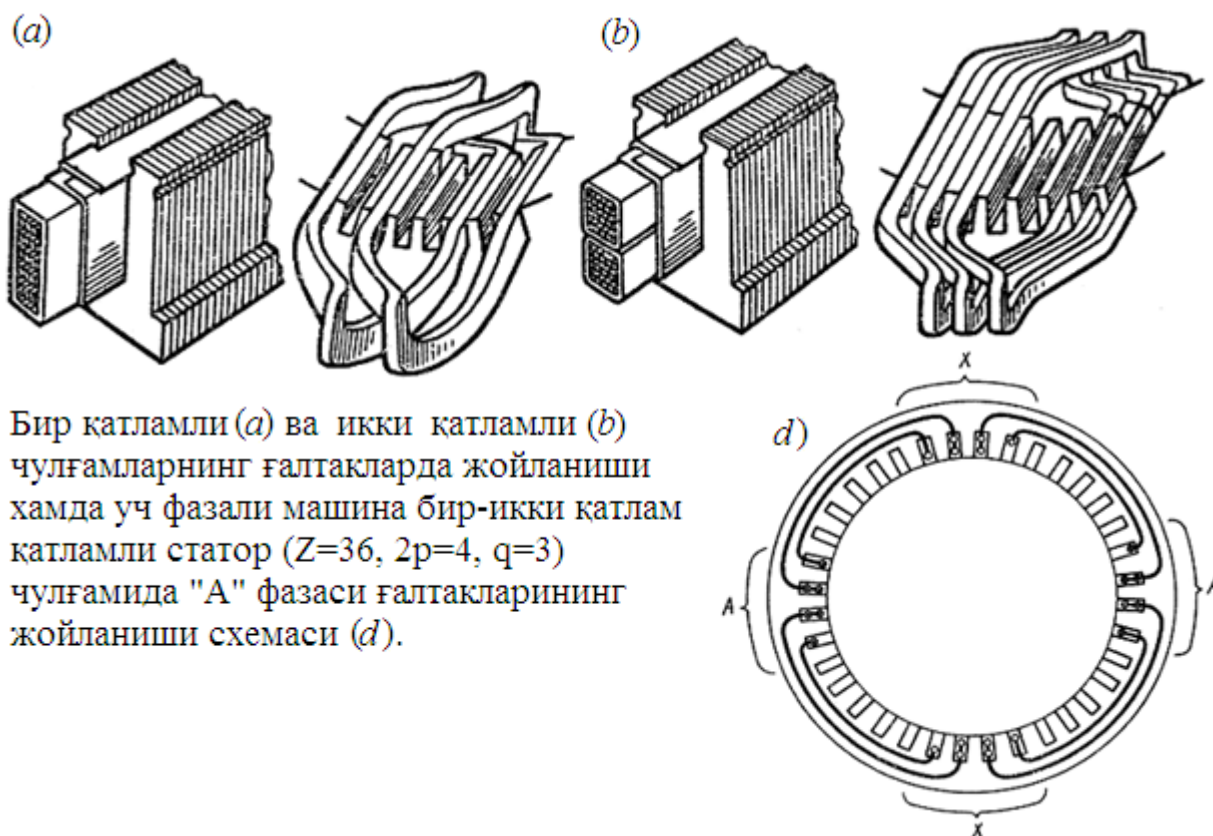
Қўшни пазларда жойлашган битта ғалтак гуруҳидаги ғалтак томонлари q та пазларни эгаллаб фазовий силжиш бурчаги

$$\alpha = 2\pi \cdot p \cdot q / Z \quad (10.2)$$

билан фаза зонасини ҳосил қилади:

$$q = Z / (2p \cdot m), \quad (10.3)$$

бу ерда m – фазалар сони.



Бир қатламли (a) ва икки қатламли (b) чулғамларнинг ғалтакларда жойланиши ҳамда уч фазали машина бир-икки қатлам қатламли статор ( $Z=36$ ,  $2p=4$ ,  $q=3$ ) чулғамида "А" фазаси ғалтакларининг жойланиши схемаси (d).

Расмда кўрсатилган статор чулғамининг ҳар бир фазаси AX, BY, CZ учта ғалтакдан ташкил топган бўлиб, томонлари учта пазларда жойлашган, яъни  $q=3$ . Умуман уч фазали чулғамда битта қутб бўлинмасида  $3q$  пазлар жойлашган бўлади,  $q=1$  бўлганда эса ҳар бир қутб тагида бир фазанинг битта ғалтаги жойлашган бўлади.

Секция томонларининг пазларда жойлашиш тартиби ва пазлардан ташқари қисмининг жойлаштирилишига қараб чулғамлар *бир қатламли*, *икки қатламли* ва *бир-икки (комбинацияланган) қатламли* бўлади. Агар пазда секциянинг фақат битта томони жойлашган бўлса – *бир қатламли*, пазда секциянинг юқорги қатлами ва бошқа секциянинг пастки қатлами уст-ма-уст жойлашган бўлганда эса – *икки қатламли* чулғам дейилади. *Бир-икки қатламли* концентрик чулғамларда бир қатламли чулғам ғалтакларини пазларга жойлаштиришда механизацияни қўллашнинг энгиллиги ва икки қатламли чулғамларда эса қисқартирилган қадам қўллаш мумкинлиги каби афзалликларини ўзида мужассамлаштирган. Бундай чулғамлар куввати  $15 \div 100$  кВт ( $q \leq 6$ ) бўлган машиналарда қўлланилади.

Бир қатламли чулғамни қисқартирилган қадамли қилиб бўлмайди, бу уларнинг *асосий камчилиги* ҳисобланади. Чулғам қадами қисқартирилмаган бўлса машина ҳаво оралиғидаги магнит майдоннинг шаклида юқори гармоникаларнинг бўлиши қўшимча

исрофларнинг ошишига, механик тавсифда ўпирилиш (яъни кескин пасайиш)лар вужудга келишига ва ғувилла-шининг ошишига олиб келади.

Лекин ўзининг оддийлиги, арзонлиги ва чулғам секцияларини пазларга жойлаштириш технологиясида механизацияни тўла қўллаш мумкинлиги туфайли бир қатламли чулғамлар кам қувватли (яъни қуввати 10÷15 кВт гача бўлган) машиналарнинг статор чулғами учун кенг қўлланилмоқда. 10.6-расм-да бир қатламли чулғамнинг амалда кенг қўлланиладиган тури, яъни бир қатламли концентрик чулғам схемаси кўрсатилган ( $Z = 24$ ,  $2p = 4$ ,  $q = 2$ ,  $a = 1$ ). Ўзгарувчан ток электр машиналарининг чулғамлари фазалар сонига кўра бир, икки ва уч фазали бўлиши мумкин; секцияларининг шаклига ва уланишига кўра эса *сиртмоқсимон* ва *тўлқинсимон* турларга бўлинади; уларнинг кадамлари тегишлича расмларда кўрсатилган.

### Статор чулғами схемалари

**Икки қатламли сиртмоқсимон чулғамлар** турбогенераторларда ва уму-мий мақсадли ўзгарувчан ток электр машиналарида кенг қўлланилади.

Машинанинг ҳар битта кутбига ва фазасига тўғри келадиган пазлар со-ни  $q$  бутун сонга тенг бўлган сиртмоқсимон чулғам умумий мақсадли ўзгарувчан ток машиналарида кенг қўлланишини эътиборга олиб қуйидаги мисолда кўриб чиқамиз.

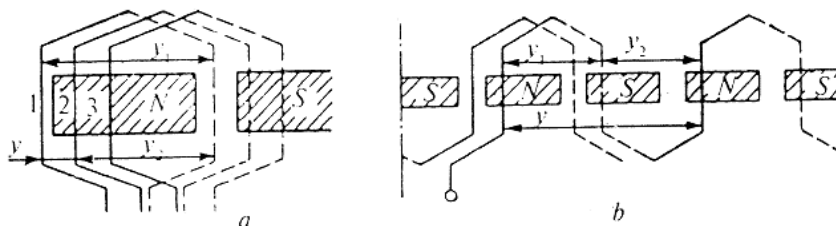
**10.1-мисол.** Берилганлар, яъни: пазлар сони  $Z=24$  ва кутблар сони  $2p=4$  бўлган уч фазали ( $m=3$ ) чулғамни ҳисоблаш, ёйма схемасини чизиш ва унинг асосида параллел шохобчалар ҳосил қилиш ҳамда чулғамнинг пазлардаги ЭЮК лар юлдузини куриш талаб этилади.

10.7-расм. Сиртмоқсимон

(a) ва тўлқинсимон (b)

чулғамларнинг

секциялари



Бу ҳолда машинанинг ҳар битта кутбига ва фазасига тўғри келадиган пазлар сони « $q$ » қуйидагича топилади:

$$q = Z / (2p \cdot m) = 24 / (4 \cdot 3) = 2. \quad (10.4)$$

Тиш бўлинмасида ифодаланган кутб бўлинмаси қуйидагича топилади:

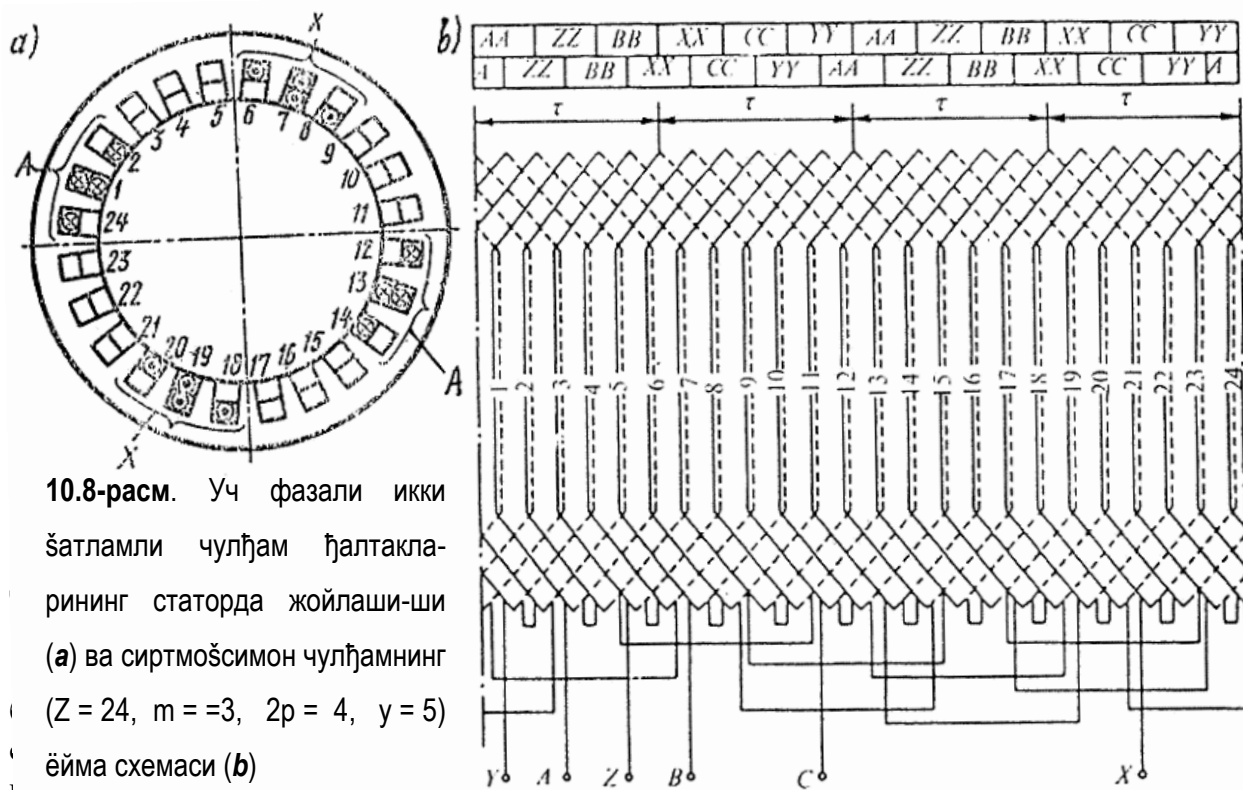
$$\tau = Z / (2p) = 24 / (2 \cdot 2) = 6. \quad (10.5)$$

Ўзгарувчан ток машинада МЮК (ёки ЭЮК) нинг ўзгариш шаклини си-нусоидал шаклга яқинлаштириш мақсадида чулғамнинг қадами тахминан  $y \approx 0,833 \cdot \tau$  га тенг бўлган қисқартирилган қадам танланади. Шу сабабли чулғамнинг тиш бўлинмасида ифодаланган қадами қуйидагига тенг бўлади:

$$y = 0,833 \cdot \tau = 0,833 \cdot 6 = 5.$$

Бу чулғамнинг схемаси 10.8-расмда кўрсатилган. Бу чулғам схемасининг тузилиши қуйидагича тушунтирилади: даставвал пазларнинг устида жойлашган ғалтаклар томонларини ҳар қайси зонада иккита пазда жойлашган томон-ни ( $q=2$ ) фаза зоналари бўйича тақсимлаб чиқамиз. Агар 1 ва 2-пазларни «А» фаза зонаси учун ажратилса, у ҳолда «В» фаза зонасига 5 ва 6-пазларни ажратиш керак бўлади, чунки «В» фаза «А» фазага нисбатан  $120^\circ$  га силжи-ган бўлади, яъни 2 та зона  $60^\circ$  дан ёки 4 та ( $120^\circ / \alpha = 120^\circ / 30 = 4$ ) пазга силжиган бўлиши керак ( $1+4=5$ ;  $2+4=6$ ). "С" фаза зонаси ҳам "В" фаза зонасига нисбатан  $120^\circ$  га силжиб,  $5+4=9$  ва  $6+4=10$  пазларни эгаллайди. Кейинги қўш кутб бўлинмаси давомида ҳам (пазлар  $13 \div 24$ ) «А», «В» ва «С» зоналарнинг алмашиб келиши шундай тартибда амалга ошади («А» фаза зонасига 13, 14-пазлар; «В» фаза зонасига 17,

18-пазлар; «С» фаза зонасига 21, 22-пазлар тўғри келади). Демак, устки қатлам шу тарзда тақсимланади.

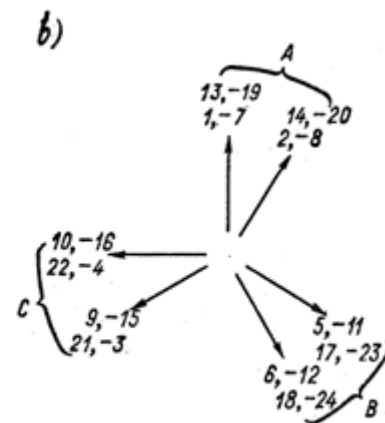
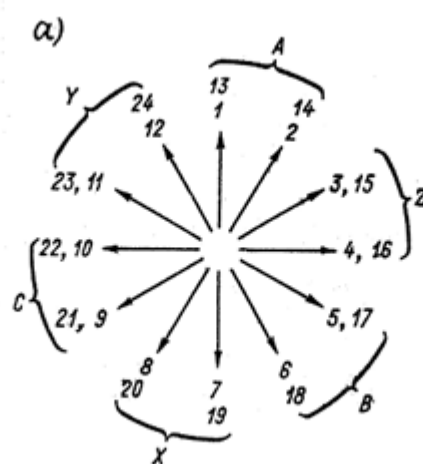


$9+6=15$ ,  $10+6=16$ ,  $21+6=27-24=3$ ,  $22+6=28-24=4$ -пазларни ажратамиз. Шу тарзда пазларнинг устки қатламидаги ғалтаклар томонларини фазалар зонаси бўйича тарқалишига эга бўламиз.

«А», «В», «С» ва «Х», «У», «Z» зоналар орасидаги фарқ шундаки, ғалтакларнинг томонларидаги ЭЮК лар фаза бўйича  $180^\circ$  силжиган бўлади, чунки улар магнит майдонда бир ёки тоқ сон қутб бўлинмасига силжиган бўлади. Кўраётган мисолимизда қадам бир тиш бўлинмасига қисқартирилган, шунинг учун пазларнинг пастки қатламидаги ғалтаклар томонлари, 10.8-расм юқори қисмининг пастки қаторида кўрсатилганидек, чап томонга бир тиш бўлинмасига силжийди. Пастки томонларни зоналар бўйича бўлиб чиқмаса ҳам бўлади, чунки ғалтакларнинг пазлардан ташқари қисмларини чизганда ўз-ўзидан келиб чиқади.

Шуни таъкидлаш лозимки, 10.8-расмдаги «А», «Z», «В», «Х», «С», «У» зоналарнинг ҳар бир зонада  $q$  та паз билан қўш қутб бўлинмаси давомида алмашиб келиши фаза зонаси  $60^\circ$  бўлган ҳар қандай уч фазали чулҳам учун тааллуқли бўлиб, юқоридаги ҳисоблашларга ҳожат йўқдир.

10.9-расм. 10.8-  
 расмда  
 тасвирланган  
 чулғам-нинг  
 пазлардаги ўтказ-  
 гичлар ЭЮК лари



Фаза бўйича пазларнинг тарқалишини чулғам пазларидаги ғалтак (ёки ўтказгич)ларнинг ЭЮК лари юлдузи (10.9-расм) ёрдамида ҳам амалга ошириш мумкин.

Кўшни пазлар ўтказгичларидаги ЭЮК ларнинг фаза бўйича силжиш бурчаги  $\alpha$  кўрилатган мисолда қуйидагича топилади:  $\alpha = p \cdot 360^\circ / Z = 2 \cdot 360^\circ / 24 = 30^\circ$ .

Пазлардаги ғалтаклар томонлари ЭЮК ларининг векторлари кўш кутб бўлинмаси давомида айланиб келиши (1+12 векторлар) ЭЮК векторларининг юлдузи  $q$  бутун сон бўлганда, мос келувчи пазларнинг (1 ва 1+12=13 ҳам-да шунга ўхшашлар) ЭЮК лари устма-уст тушганлиги учун фаза бўйича такрорланади. Агарда биринчи икки векторни «А» зонаси учун (1; 2 ва 13; 14-векторлар) ажратсак, у ҳолда «В» ва «С» зоналардаги векторлар «А» зона векторларига нисбатан  $120^\circ$  ва  $240^\circ$  га силжиган бўлади. «Х», «У», «Z» зоналарининг векторлари эса «А», «В», «С» зоналар векторларига нисбатан  $180^\circ$  га силжиган бўлади. Натижада 10.8-расмдаги юқори қаторда кўрсатилган зоналар бўйича пазларнинг тарқалишига эга бўламиз.

Схемада ҳар бир паз учун иккита ўтказгич (ғалтак томон-лари) чизилган. Уларнинг чап томонлари юқори қатламга, ўнг томонлари эса пастки қатламга жойлашган деб ҳисоблаймиз. ғалтакларни юқори томонла-ридан бошлаб номерлаб чиқамиз. Кўшни пазлардаги ғалтакларнинг ЭЮК лари ҳам  $30^\circ$  га силжиган бўлади, демак, пазлардаги ғалтаклар ўтказгичла-рининг ЭЮК лари юлдузини (10.9,a-расм) ғалтаклар ЭЮК лари юлдузи (10.9,b-расм) деб қараш мумкин. Ҳар бир ғалтак гуруҳлари чегарасида  $q = 2$  ғалтаклар кетма-кет уланади.

Шундай қилиб, «А» фаза учун (10.9,a-расм) 4 та, яъни 1–2, 7–8, 13–14 ва 19–20 ғалтаклар гуруҳига эга бўламиз. Барча гуруҳ ЭЮК лари бир-бири билан кўшилиши учун улар кетма-кет уланган, 7–8 ва 19–20 гуруҳлар эса 1–2 ва 13–14 (1–2 гуруҳ охирлари 7–8 гуруҳ охирлари билан уланган) гуруҳ-ларга нисбатан тескари бўлади (10.9,b-расмда *минус* «–» ишорали паз рақамлари). Бошқа фазалардаги гуруҳларнинг уланиши ҳам худди шундай усул билан амалга оширилади.

«Х», «У», «Z» зоналардаги ғалтак гуруҳларининг чулғамда тескари ула-ниши шу зоналардаги ғалтак ЭЮК векторларининг  $180^\circ$  га бурилганига эквивалент (тенг кучли)дир. Бунда 10.9,a-расм ўрнига 10.9,b-расмдаги ғалтаклар ЭЮК лари диаграммасига эга бўламиз. Бу диаграмма учта сектордан тузилган бўлиб,  $q = 2$  ёй ва фаздаги ғалтаклар сонига мос ҳолда  $2p \cdot q = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$  вектордан иборат. Ҳар бир фазадаги ЭЮК лар мос сектордаги ғалтаклар ЭЮК лари векторларининг йиғиндисига тенг. Демак, ҳамма фазадаги ЭЮК лар бир бирига тенг ва фаза бўйича  $120^\circ$  га силжиган бўлади.

10.8-расмда «А», «В» ва «С» фазаларнинг бош учлари ўрнида бир-бири-га нисбатан  $120^\circ$  га силжиган 1, 5 ва 9 ғалтакларнинг бош учлари олинган. «Х», «У» ва «Z» фазаларнинг охири учлари ўрнида 19, 23 ва 3 ғалтаклар-нинг бошланиши мос келади.

Фаза зонаси  $\alpha = 60^\circ$  бўлган икки қатламли чулғамнинг ҳар битта фаза-сидаги ғалтаклар гуруҳларининг сони кутблар сони  $2p$  га тенг. Ҳар битта кутбга ва фазага тўғри келган пазлар сони  $q$  бутун сон бўлса  $a = 2p$  гача бўлган бир хил қийматли ва фазалари мос бўлган ЭЮК лар ҳосил бўладиган параллел шохобчалар ( $a$ ) ни бажариш мумкин. Масалан, кўрилатган ( $2p=4$ ) чулғамда  $a = 1$ ; 2 ёки 4 та параллел шохобча бажариш мумкин (10.10-расм).

**Статор чулғами ЭЮКлари.** Синхрон ва асинхрон машиналарда айланма магнит майдон ҳосил қилиш усуллари ҳар хил бўлса ҳам (масалан, *синхрон генераторда* ротор билан бир-га айланадиган кўзғатиш чулғамига ўзгармас ток бериб айланма магнит майдон ҳосил қилинса, *уч фазали асинхрон моторда* эса бундай майдон статор чулғамидан уч фазали ток ўтганда ҳосил бўлади), статор чулғамида *электро-магнит индукция қонунига* асосан айланма магнит майдон туфайли ЭЮК лар-нинг ҳосил бўлиш жараёни бир хил кечади.

*Синхрон генераторларнинг* статор чулғами ўтказгичларига (ўрамларига ҳам) нисбатан ҳар хил кутбийликдаги (ишорадаги) кутблар навбатма-навбат ўтиши туфайли ҳосил бўладиган ЭЮК ўз йўналишини ўзгартириб туради, яъни ўзгарувчан бўлади. Магнит майдон бир марта айланганида ўтказгичдаги ЭЮК нинг даври « $p$ » га, « $n$ » та айланганида эса « $pn$ » га тенг бўлади; демак, унинг частотаси:  $f_1 = pn / 60$ .

Машина ҳаво оралиғининг « $\alpha$ » нуқтасидаги ўтказгич ЭЮК нинг оний қийматини аниқлаш формуласи умумий ҳол учун қуйидагича ёзилади:

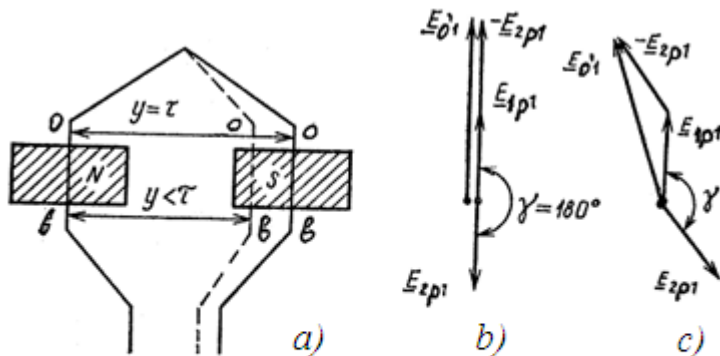
$$e_{o'_{тк.х}} = B_{\delta x} l_{\delta} v. \quad (10.7)$$

Бундан, роторнинг бурчак тезлиги  $v$  ни ўзгармас қилинганда ва статор чулғами ўтказгичининг актив (магнит майдон таъсиридаги) узунлиги  $l_{\delta} = \text{const}$  бўлганлиги туфайли, ЭЮК магнит майдонга мутаносиб равишда ўзгариб, унинг вақт бўйича ўзгариш шакли машина ҳаво оралиғидаги магнит индукция  $B_{\delta}$  нинг қўш кутб бўлинмаси ( $2\tau$ )даги тақсимланишини такрорлайди.

Умумий ҳолда индукциянинг тақсимланиш шакли носинусоидал харак-терда бўлади. Индукциянинг эгри чизиги абсциссалар ўқиға ва кутблар ўқиға нисбатан симметрик бўлганлиги туфайли, бу эгри чизикни Фурье қаторига ёй-ганда, унда фақат ток гармоникалар бўлади (10.12-расм). Уларни *фазовий гармоникалар* дейилади, чунки бу гармоникалар индукциясининг тақсимла-ниши фазовий координаталарга боғлиқ бўлиб, вақтга эса боғлиқ эмас. Бу гар-моникаларга оид кутблар сонининг ошиши ва мос равишда кутблар бўлинма-

сининг камайиши уларнинг тартибига боғлиқ бўлади; *бу эса уларнинг ўзига хос хусусияти ҳисобланади.*

Магнит майдон 1-гармоникасининг ўт-казгичда ҳосил қилган ЭЮК нинг 1-гармоникаси ( $e_{o'_{тк1}}$ ), унинг амлитудаси ( $E_{o'_{тк.max1}}$ ) ва таъсир этувчи ( $E_{o'_{тк1}}$ ) қийматлари қуйи-дагиларга тенг бўлади:



Бир ўрамнинг (а) ЭЮКни аниқлаш; бунда "b" - ўрам боши ва "к" - ўрам кети, чулғам (b) диаметрал ( $y = \tau$ ), қисқартирилган

$$e_{o'tk.1} = E_{o'tk.max1} \sin \omega t; \quad (10.8)$$

$$E_{o'tk.max1} = B_{\delta max1} \cdot l_{\delta} \cdot \nu; \quad (10.9)$$

$$E_{o'tk.1} = E_{o'tk.max1} / \sqrt{2} = (B_{\delta max1} / \sqrt{2}) \cdot l_{\delta} \cdot \nu, \quad (10.10)$$

бу ерда:  $B_{\delta max1}$  – машина ҳаво оралиғидаги магнит майдон индукциясининг 1-гармоникаси, Т;  $l_{\delta}$  – ўтказгичнинг актив магнит майдон таъсиридаги узун-лиги, м;  $\nu$  – айланма магнит майдоннинг бурчак тезлиги, м/с.

ЭЮК ни ҳисоблашда кутб бўлинмасидаги магнит оқим  $\Phi_{\delta}$  дан фойдаланиш маъқул ҳисобланади. Унинг 1-гармоникаси қуйидагига тенг:

$$\Phi_{\delta 1} = B_{\delta (o'rt).1} \cdot \tau \cdot l_{\delta}, \quad (10.11)$$

бу ерда:  $B_{\delta (o'rt).1}$  – магнит индукциянинг ўртача қиймати;  $\tau = \pi D_1 / (2p)$  – кутб бўлинмаси;  $D_1$  – статорнинг ички диаметри.

Синусоида учун  $B_{\delta (o'rt).1} = (2/\pi) \cdot B_{\delta max1}$  бўлганлиги туфайли (10.11) фор-муладан қуйидагига эга бўламиз:

$$B_{\delta max1} = \pi \Phi_{\delta 1} / (2\tau \cdot l_{\delta}). \quad (10.12)$$

$B_{\delta max1}$  нинг бу қийматини (10.10) га қўйиб ва

$$\nu = \pi D_1 \cdot n_1 / 60 = \tau \cdot 2p \cdot n_1 / 60 = 2\tau \cdot f$$

тенгликни ҳисобга олган ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$E_{o'tk.1} = 2 [\pi / (2\sqrt{2})] \cdot f \Phi_{\delta 1} = 2,22 f \Phi_{\delta 1}. \quad (10.13)$$

Магнит майдон шакли носинусоидал бўлганда ўтказгичдаги ЭЮК қуйи-даги формула бўйича ҳисобланади:

$$E_{o'tk} = 2 k_B f \Phi_{\delta}; \quad (10.14)$$

бу ерда:  $k_B = B_{\delta max1} / B_{o'rt}$  – магнит майдон шаклининг коэффиценти. Магнит майдон синусоидал шаклга эга бўлганда  $k_B = \pi / (2\sqrt{2}) = 1,11$  га тенг.

Таксимланган чулғамда қўшни пазларда жойлашган ўтказгичлар ўзаро фазовий (геометрик) бурчак ( $\alpha = 360^\circ / Z$ ) га силжиганлигидан, уларнинг ЭЮК лари фаза жиҳатдан мос тушмайди. Қўшни пазлардаги ўтказгичлар ЭЮК ларининг векторлари бир-биридан ўзаро

$$\alpha_e = 360 p / Z = \alpha p$$

электр бурчакка силжиган бўлади.

**Ғалтак ўрамнинг ЭЮК.** Агар ғалтак ўрамлари бир-биридан кутб бў-линмасига тенг ( $y = \tau$ ) бўлган масофадаги пазларда жойлашган ўтказгичлар-дан ясалган бўлса, улардаги ЭЮК лар ўзаро  $180^\circ$  га силжиган бўлади, чунки ўрамнинг актив томонлари (ўтказгичлари) қарши уланган, яъни чап томон-даги ўтказгичнинг охири ўнг томондаги ўтказгич охири билан бирлаштирилган. Шу сабабли ўрамнинг ЭЮК ( $E_{o'r.1}$ ) ўтказгичлардаги ЭЮК ларнинг геометрик (вектор) айирмасига тенг бўлади. Бу вектор диаграммадан кўринишича, чулғам қадами диаметрал ( $y = \tau$ ) бўлганда ўтказгичлар ЭЮК ларининг геометрик айирмаси ( $E_{o'r.1(d)}$  – ўрам ЭЮК) уларнинг арифметик йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$E_{o'r.1(d)} = 2 E_{o'tk.1} = 4,44 f \Phi_{\delta 1}. \quad (10.15)$$

Чулғам қадами қисқартирилган ( $y < \tau$ ) бўлганда ўтказгичлар ЭЮК лари-нинг геометрик айирмаси ( $E_{o'r.1(qis)}$  – ўрам ЭЮК), чулғам қадами диаметрал бўлгандаги уларнинг арифметик йиғиндисидан кичик ( $E_{o'r.1(qis)} < E_{o'r.1(d)}$ ) бўлади:

$$E_{o'r.1(qis)} = 2 E_{o'tk.1} \cdot \sin(\beta\pi/2) = 4,44 f \Phi_{\delta 1} k_{qis.1}, \quad (10.16)$$

$$\text{бу ерда} \quad k_{qis.1} = \sin(\beta\pi/2) \quad (10.17)$$

– чулғам қисқартириш коэффицентининг 1-гармоникаси;

$\beta = (y / \tau)$  – чулғамнинг нисбий қадами.

Қисқартириш коэффиценти  $\nu$ -гармоника учун қуйидагича ёзилади:

$$k_{qis.\nu} = \sin(\nu\beta\pi/2). \quad (10.18)$$

Ўрамлар сони  $w_s$  бўлган статор чулғами секцияси (ғалтаги)да ҳосил бўладиган ЭЮК нинг қиймати қуйидагига тенг бўлади:

$$E_{s,1(qis)} = w_s \cdot E_{o'r,1(qis)} = 4,44 f \Phi_{\delta 1} w_s \cdot k_{qis,1}. \quad (10.19)$$

**Ғалтаклар гуруҳининг ЭЮК.** Агар ғалтаклар гуруҳидаги барча секциялар бир-биридан чулғам қадами  $y = \tau$  масофада жойлашган иккита пазга тўпланса, у ҳолда ЭЮК лар фаза жиҳатдан мос тушар, барча секциялар гуруҳининг ЭЮК эса, шу гуруҳни ҳосил қилувчи секциялар ЭЮК ларининг арифметик йиғиндисига тенг бўлар эди. Лекин, амалда статорларнинг тақсимланган ҳолдаги, яъни ғалтаклар гуруҳи қўшни пазларда жойлашган  $q$  та бир хил ғалтак (секция)ларидан ташкил топган чулғами ишлатилади. Уларда ҳар қайси ғалтаклар гуруҳидаги секцияларнинг актив томонлари ҳар битта кутб остидаги  $q > 1$  пазни эгаллайди. Шунинг учун ғалтаклар гуруҳининг секцияларида ҳосил бўладиган ЭЮК лар фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан қўшни пазлар орасидаги  $\alpha_e$  бурчакка силжиган бўлади.

Секциялар гуруҳининг ҳамма секциялари ўзаро кетма-кет уланганлиги сабабли секциялар гуруҳининг ЭЮК лари йиғиндиси  $E_{g1}$  алоҳида секциялар ЭЮК ларининг геометрик йиғиндиси ( $E_{g,1} = \sum_1^q E_{s,1(qis)}$ )га тенг бўлади (10.14, b-расм). Бу йиғинди чулғам диаметрал қадамли бўлгандаги уларнинг арифметик йиғиндиси ( $E_{g1(d)} = q E_{s,1(d)}$ )дан кичик бўлади. Бу ЭЮК ларнинг нисбати:

$$k_{t,1} = E_{g1} / E_{g1(d)} = \sin(q\alpha_e/2) / [q \sin(\alpha_e/2)], \quad (10.20)$$

– чулғам тақсимланиш коэффициентининг 1-гармоникаси дейилади.

Тақсимланиш коэффициенти  $\nu$ -гармоника учун қуйидагича ёзилади:

$$k_{t,\nu} = \sin(q\nu\alpha_e/2) / [q \sin(\nu\alpha_e/2)]. \quad (10.21)$$

Секциялар гуруҳининг ЭЮК  $E_{g1}$  қуйидаги формула билан аниқланади:

$$E_{g1} = q E_{s,1} k_{t,1} = 4,44 f \Phi_1 w_s \cdot q k_{qis,1} k_{t,1}. \quad (10.22)$$

**Чулғам фазасининг ЭЮК.** Ҳозирги замонда ўзгарувчан ток машинаси статор чулғами учун икки қатламли қисқартирилган қадамли тақсимланган чулғам тури кенг қўлланилмоқда. Аввал таъкидлаб ўтилганидек, фаза чулғами секциялар гуруҳларидан таркиб топган; бу гуруҳлар ҳам, ўз навбатида, битта кутблар жуфти остида жойлашган « $q$ » та секциядан иборат. Демак, барча гуруҳлар бир хил магнит шароитларда бўлган бир хил сондаги секциялардан ташкил топади.

Бундай электр машинанинг фаза чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК шу фазанинг таркибидаги барча ғалтаклар (секциялар) ЭЮК ларининг йиғиндисига тенг бўлади. Фазанинг икки қатламли чулғами  $2p$  та ғалтаклар гуруҳидан, бир қатламли эса  $p$  та гуруҳдан иборат бўлади. Ғалтаклар гуруҳлари ўзаро кетма-кет, параллел ёки аралаш (кетма-кет ва параллел биргаликда) уланиши мумкин. Агар секция (ғалтак) гуруҳлари, ўрамлар сони  $w_s$  бўлган  $q$  та секциядан иборат бўлиб, улар кетма-кет уланганда чулғамнинг ҳар битта шохобчаси ( $a$ ) ва фазасида ҳосил бўладиган ЭЮК таъсир этувчи қийматининг 1-гармоникаси қуйидагига тенг бўлади:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \cdot k_{qis,1} \cdot k_{t,1} \cdot \Phi_1 = 4,44 f w_1 \cdot k_{ch,1} \cdot \Phi_1, \quad (10.23)$$

$$\text{бунда} \quad k_{ch,1} = k_{qis,1} \cdot k_{t,1} \quad (10.24)$$

– ўрта ва катта кувватли машиналар чулғам коэффициентининг 1-гармоникаси.

## 9-маъруза.

**Ўзгарувчан ток машинаси чулғамларининг магнит юритувчи кучлари (МЮК) ва магнит майдонлари.**

**Режа:**



*Йиғилган (сосредоточенная), тарқоқ (распределенная) ва қадами қисқарган чулғамларнинг МЮК ва магнит майдонлари.*

*Пульсланувчи, эллипс шаклидаги ва айлана шаклидаги айланувчи магнит майдон.*

**Йиғилган (сосредоточенная), тарқоқ (распределенная) ва қадами қисқарган чулғамларда МЮК тақсимланиши.**

Ўзгарувчан ток машинаси ҳаво оралиғидаги индукция статор айланаси бўйлаб магнит юритувчи кучнинг тақсимланиши билан аниқланади. Машинанинг статорида ёки роторида жойлашган барча ўзгарувчан ток чулғамларининг натижавий магнит юритувчи кучлари (МЮК) ҳаво оралиғида айланма магнит майдонини ҳосил қилиши лозим. Шунинг учун синусоидал кучланиш берилаётган ҳар бир чулғам, фазода синусоидал тақсимланган МЮК га эга бўлиши керак. Агар бу шартлар бажарилмаса (берилаётган кучланиш носинусоидал ёки МЮК носинусоидал тақсимланган бўлса), у ҳолда магнит майдони таркибида юқори гармоникалар бўлиб, улар машинанинг энергетик кўрсаткичларини ёмонлаштиради.

Ўзгарувчан ток машинаси статор чулғамлари МЮКларини таҳлил қи-лишда куйидаги фаразлар асос қилиб олинади:

1) ўзгарувчан ток чулғамининг МЮКи вақт бўйича ўзгаради ва фазода (статор айланаси бўйлаб) тақсимланган бўлади, деб фараз қилинади;

2) статор чулғамидаги токнинг вақт бўйича ўзгариши синусоидал шаклда, демак, чулғам МЮК ҳам синусоидал шаклда ўзгаради, деб фараз қилинади;

3) машина ҳаво оралиғи статор периметри бўйича ўзгармас, яъни ротор ўзаги цилиндрик шаклда, деб ҳисобланади;

4) ротор чулғамида ток йўқ, демак, ротор магнит майдонни ҳосил қил-майди, деб фараз қилинади.

**Йиғилган чулғамнинг МЮК.** МЮК нинг тақсимланишини йиғилган чулғамли икки қутбли машина мисолида кўриб чиқамиз.

Бунда АХ фаза чулғамининг ҳамма ўрамлари диаметрал юзада жойлаш-ган иккита пазда жойлашган. Агар ток фаза чулғамининг боши А дан охири Х га йўналган бўлса, куч чизиқлари расмда кўрсатилгандек йўналган икки қутбли магнит оқими ҳосил бўлади. Бу оқимнинг ҳар битта куч чизиғи фаза ғалтагининг ҳамма ўрамлари ( $w = w_{g'}$ ) билан қуршалади, шу сабабли ғалтак ҳосил қилган МЮК  $F_{g'} = I \cdot w$  га тенг бўлади. Ток максимал қийматга эга бўлганда МЮК ҳам максимал қийматга эришади.

$$F_{g'.\max} = I_{\max} \cdot w = \sqrt{2} I w, \quad (10.25)$$

бунда  $I_{\max}$ ,  $I$  – токнинг максимал ва эффе́ктив қийматлари.

Агар магнит занжири ферромагнит қисмларининг магнит қаршилигини нолга тенг деб қабул қилинса, у ҳолда МЮК нинг тақсимланиши статор айланаси бўйлаб тўғри бурчакли тўртбурчак шаклида бўлади.

Статорнинг йиғилган чулғами иккита пазда жойлашганлиги туфайли, унинг МЮК иккита (мусбат ва манфий) тўғрибурчак кўринишида бўлади. Улардан ҳар бирининг қиймати магнит занжирининг битта ҳаво оралиғидан магнит оқимини ўтказиш учун зарур бўлган МЮК га мос келади, яъни:

$$F = F_{g'.\max} / 2 = (\sqrt{2} \cdot I \cdot w) / 2 = (\sqrt{2} / 2) \cdot I \cdot w, \quad (10.26)$$

Тўғри бурчакли тўртбурчак шаклидаги МЮКни Фурье қаторига ёйиб синусоидалар йиғиндисини кўринишида ёзиш мумкин:

$$F_x = (\sqrt{2} / 2) \cdot I \cdot w \cdot (4 / \pi) \cdot [\cos(\pi x / \tau) + (1 / 3) \cdot \cos(3\pi x / \tau) + (1 / 5) \cdot \cos(5\pi x / \tau) + \dots + (1 / n) \cdot \cos(n\pi x / \tau)], \quad (10.27)$$

бу ерда: «х» – чулғам симметрия ўқи (фаза ўқи)дан текширилаётган нуктагача бўлган масофа;  $(\sqrt{2}/2) \cdot I \cdot w = F$  – машина магнит занжирида битта ҳаво ора-лиғидан магнит оқимини ўтказиш учун зарур бўлган МЮК.

Ток максимал қийматга эга бўлганда, йиғилган чулғам МЮК нинг би-ринчи гармоникаси қуйидагига тенг бўлади:

$$F_1 = (2 \cdot \sqrt{2} / \pi) \cdot I \cdot w = 0,9 \cdot I \cdot w. \quad (10.28)$$

Демак, йиғилган чулғамнинг МЮК синусоида шаклдан анча фарқ қилар экан, шу сабабли бундай чулғамлар амалда кам ишлатилади.

**Тақсимланган чулғамнинг МЮК.** Магнит майдоннинг тақсимланиш эгри чизиғини синусоидага яқинлаштириш мақсадида, ҳар бир фаза ғалтак-лари бир нечта пазларга жойлаштирилади. Бунда чулғамнинг совитилиши ҳам яхшиланади.

6 та пазга ( $q = 3$ ) жойлаштирилган икки кутбли машина чулғами кўрсатилган. Бундай чулғам МЮК нинг тақсимланиш шакли поғона-симон бўлади. Тақсимланган чулғамнинг МЮК ўрамлар сони  $w = w' / 3$  бўлган ва фазода  $\alpha = \pi\beta/\tau$  бурчакка (бунда  $\beta$  – кўшни пазлар ўқлари орасидаги масофа) силжиган учта йиғилган чулғам МЮК ларининг геометрик йиғин-дисидан иборат бўлади.

Тақсимланган чулғам МЮК 1-гармоникаси қуйидагича ифодаланади:

$$F_{t,1} = 0,9 \cdot I \cdot w \cdot k_{t,1}, \quad (10.29)$$

бунда  $k_{t,1} = \sin(q\alpha/2) / [q \sin(\alpha/2)] \quad (10.30)$

– *биринчи гармоника учун чулғамнинг тақсимланиш коэффициенти* ( $q = 3$ ).

**10.16-расм.** Икки кутбли машинага оид икки қатламли тақсимланган статор чулғамининг кўндаланг қирқими (**a**), чулғам МЮК нинг тақсимланиш диаграммаси (**b**) ва статор паз-ларида тақсимланган ғалтаклар МЮК ларининг 1-гармоника векторларини кўшиш диаграммаси (**c**) [ $F_{p11}$ ,  $F_{p21}$ ,  $F_{p31}$  – тегишлича 1, 2 ва 3-паз («р»)лардаги ўтказгичлар МЮК лари).

Умумий ҳолда  $v$ -гармоника учун чулғамнинг *тақсимланиш коэффициенти* қуйидагича топилади:

$$k_{t,v} = \sin(qv\alpha/2) / [q \sin(v\alpha/2)], \quad (10.31)$$

бунда  $v\alpha$  – алоҳида ғалтаклар МЮК ларининг  $v$ -гармоника ташкил этувчилари орасидаги силжиш бурчаги.

Чулғам ғалтакларини пазлар бўйича тақсимлаб жойлаштириш, унинг на-тижавий МЮК эгри чизиғидаги юқори гармоникалар амплитудаларини анча камайтиради ва машина ҳаво оралиғидаги майдон шаклини синусоидага яқин-лаштиради.

**Қадами қисқартирилган чулғамнинг МЮК.** Тақсимланган чулғамда МЮКнинг 5, 7-гармоникаларнинг таъсири анча камаяди, лекин айрим гармоникалар жуда оз миқдорда камаяди. Шунинг учун тақсимланган чулғамда чулғам қадами қисқартирилади ( $y < \tau$ ). Бу ҳолда чулғам икки қатламли қилиб ўралади, ҳар бир секциянинг бир томони пазнинг пастки қисмида, иккинчи томони эса бошқа пазнинг устки қисмида ётади.

Икки кутбли машина статор пазларида  $q = 3$  бўлганда жойлаштирилган икки қатламли қадами қисқартирилган чулғам берилган бўлсин. Берилган ҳолда ҳар битта фаза чулғами олтига ғалтакдан иборат. Биринчи, иккинчи ва учинчи ғалтак томонлари 1, 2, 3 пазларнинг пастки қатламларида ва 2', 3', 4' пазларнинг устки қатламларида, тўртинчи, бешинчи ва олтинчи ғалтак томонлари эса – 2, 3, 4 пазларнинг устки қатламларида ва 1', 2', 3' пазларнинг пастки қатламларида ётади.

Қадами қисқартирилган тақсимланган чулғамнинг МЮКни ҳисоблашда ўрамлар сони  $w' = w/2$ , диаметрал қадамли, тақсимланган, бир-бирига нисбатан  $\pi(1-\beta)$  бурчакка (бунда  $\beta = y/\tau$  – *нисбий қадам*) силжиган 2 та чулғам МЮК ( $F'_x$  ва  $F''_x$ ) ларининг геометрик йиғиндиси орқали аниқланади. Бу чулғамлардан биттаси 1–1', 2–2', 3–3' пазларнинг пастки қатламларида жойлашган учта ғалтакдан, иккинчи чулғами эса 2–2', 3–3' ва 4–4' пазларнинг устки қатламларида жойлашган учта ғалтакдан иборат. Нативий

МЮК 1-гармоникасининг амплитудаси кўрсатилган чулғамларнинг  $F'_1$  ва  $F''_1$  МЮК лари биринчи гармоника амплитудаларини вектор қўшиш йўли билан аниқланади. Фаза токининг қиймати максимал бўлганда бу МЮК лар  $F'_1 = F''_1 = 0,45 I w k_{r1}$  бўлади.

Демак, пазларда тақсимланган қадами қисқартирилган чулғам МЮК 1-гармоникасининг қиймати қуйидагича топилади:

$$F_1 = 2 F'_1 \cos(\pi\beta/2) = 0,9 \cdot I w \cdot k_{r1} \cdot k_{qis1}, \quad (10.32)$$

бу ерда  $k_{qis.1} = \cos(\pi\beta/2)$  (10.33)

– биринчи гармоника учун чулғамнинг қисқартириш коэффициентини дейилади.

Юқори ( $\nu$ ) гармоника учун қисқартириш коэффициенти қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$k_{qis.\nu} = \cos(\nu\beta / 2). \quad (10.34)$$

Шундай қилиб, чулғам қадами қисқартирилганда МЮК ва индукциянинг тақсимланиши синусоидал шаклга яқинлашар экан.

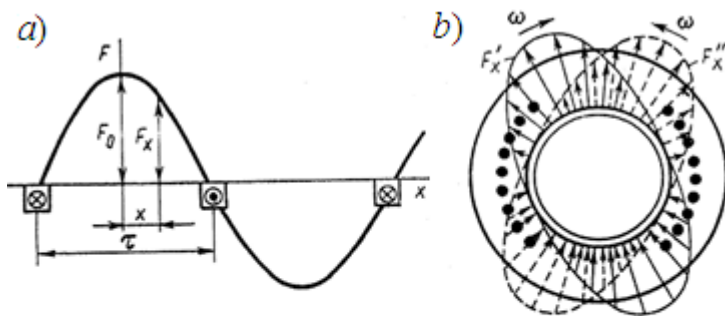
### Пульсланувчи, эллиптик ва айлана шаклдаги айланувчи магнит майдон.

**Бир фазали чулғамнинг магнит майдони.** Бир фазали чулғам ўзгарув-чан ток манбаига уланса, вақт бўйича ток частотаси  $f_1$  билан ўзгарадиган *пульсланувчи магнит майдон* ҳосил бўлади. Бу ҳолда МЮК синусоидал тақ-симланган бўлса чулғам ўқидан бирор «х» масофада жойлаш-ган ҳаво оралиғининг ҳар бир нуқтасига қуйидаги МЮК тўғ-ри

$$F_x = F_0 \cos(\pi x / \tau) = F_{max} \sin \omega t \cos(\pi x / \tau), \quad (10.35)$$

келади. бунда:  $F_0 = F_{max} \sin \omega t$  - чулғам ўқида жойлашган нуқтадаги МЮК.

Бу ифодани қуйидагича ёзиш мумкин



Ҳаво оралиғида МЮКнинг тақсимланиш графиги (a) ва пульсланувчи майдонда ўзаро тенг ва тескари йўналган магнит оқимлар (b)

$$F_x = 0,5 F_{max} \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{max} \sin(\omega t + \pi x / \tau). \quad (10.36)$$

Тенгламанинг ўнг томонидаги ҳар қайси ташкил этувчиси айланувчи МЮК нинг тенгламасини ифодалайди. Демак, фазода синусоидал тақсимланган пульсланувчи магнит майдон, бир-бирига нисбатан тескари томонга айланувчи иккита ( $F'_x$  ва  $F''_x$ ) МЮК йиғиндисидан иборат экан, яъни

$$F'_x = 0,5 F_{max} \sin(\omega t - \pi x / \tau); \quad F''_x = 0,5 F_{max} \sin(\omega t + \pi x / \tau). \quad (10.36)$$

МЮК нинг  $F'_x$  тўлқинининг айланиш йўналиши соат мили (стрелкаси) бўйича,  $F''_x$  тўлқинининг айланиши эса унга тескари деб қабул қиламиз.

МЮК ларининг максимал қийматлари вақтнинг исталган пайтида ўзгар-май қолади. Агарда бу МЮК лар йиғиндисини фазода вектор кўринишида тасаввур қилсак, у ҳолда бу векторнинг охири айланани чизади. Бундай май-донга *доиравий майдон* дейилади. Бу майдоннинг чизикли тезлиги қуйидагича топилади:

$$v = dx/dt = \omega\tau/\pi = 2f\tau. \quad (10.37)$$

Майдоннинг айланиш частотаси эса қуйидагига тенг, (айл/мин):

$$n_1 = 60v / (\pi D) = 60 \cdot 2f \tau / (\pi D) = 60 f / p, \quad (10.38)$$

бу ерда  $p = \pi D / (2\tau)$  – машинанинг жуфт кутблари сони.

Демак, машинанинг кутблар сони  $2p$  ни ўзгартириб магнит майдоннинг ҳар хил айланиш частотани олиш мумкин экан.

**Уч фазали чулғамнинг айланма магнит майдони.** Агарда электр машинасининг статорига симметрик бўлган уч фазали чулғам (ўқлари  $120^\circ$  га силжиган А–Х, В–У ва С–Z фаза чулғамлари) жойлаштирилса ва унга уч фазали симметрик ток берилса, у ҳолда бу чулғамда доиравий айланма магнит майдон ҳосил бўлади. Бунда ҳар бир фазада ҳосил бўлган МЮК синусоидал тақсимланган деб ҳисобланади.

Кўрилаётган чулғам фазаларининг ўқлари бири-бирига нисбатан фазода  $(2/3)\tau$  га силжитилган, улардаги тоқлар эса вақт бўйича  $(2/3)\pi$  бурчакка силжиганлигидан ҳар қайси фазавий чулғам ўқидан «х» узоқликдаги нуқтада МЮК ташкил этувчилар учун қуйидаги ифодаларга эга бўламиз:

$$F_{xA} = F_{\max} \sin \omega t \cdot \cos(\pi x / \tau) = 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \pi x / \tau); \quad (10.39)$$

$$F_{xB} = F_{\max} \sin(\omega t - 2\pi/3) \cdot \cos(\pi x / \tau - 2\pi/3) = 0,5 F_{\max} \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{\max} \sin(\omega t + \pi x / \tau - 4\pi/3); \quad (10.40)$$

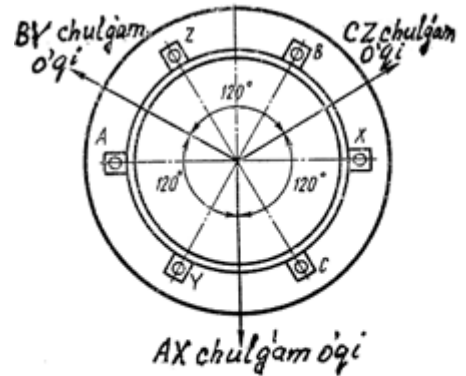
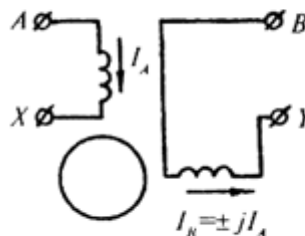
$$F_{xC} = F_{\max} \sin(\omega t - 4\pi/3) \cdot \cos(\pi x / \tau - 4\pi/3) = 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \pi x / \tau + 4\pi/3). \quad (10.41)$$

МЮК нинг натижавий қийматини унинг  $F_{xA}$ ,  $F_{xB}$ ,  $F_{xC}$  ташкил этувчиларини қўшиш йўли билан олиш мумкин. Бунда МЮК нинг тескари айланувчи тўлқинлари йўқолади, МЮК нинг натижавий қиймати эса қуйидаги формула бўйича аниқланади:

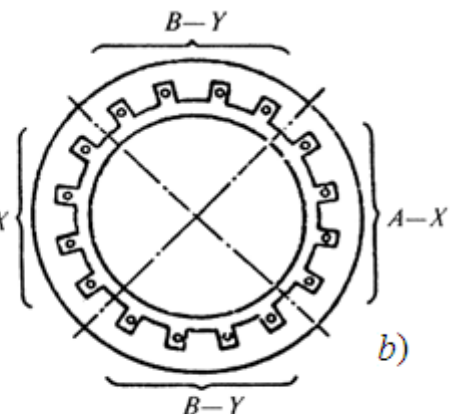
$$F_{\max} \sin(\omega t - \pi x / \tau) = F_{x(nat)} = 1,5 \quad (10.42)$$

Уч фазали машиналар, одатда доиравий айланма майдонда ишлайди.

**Икки фазали чулғамнинг доиравий айланма магнит**



Уч фазали икки кутбли машина статорида чулғамлар (пазлар) жойланиши



Икки фазали икки кутбли машина схемаси (a) ва статор чулғамларининг пазларида жойланиши (b)

**майдони.** Икки фазали симметрик чулғамнинг АХ ва ВУ фазалари фазода бир-бирига нисбатан қутб бўлинмаси  $\tau$  нинг ярмига силжиган бўлади. Агар бундай чулғамнинг ҳар бир фазасига бир-бирига нисбатан вақт бўйича  $\beta=90^\circ$  бурчакка силжиган ( $I_B = \pm jI_A$ ) ток берилса, у ҳолда айланма магнит майдон ҳосил бўлади.

Бу тоқлар ҳосил қилган МЮК ташкил этувчилари машина ҳаво оралиғида ихтиёрий «х» нуқта учун қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$F_{xA} = F_{\max.A} \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\pi x / \tau) = 0,5F_{\max.A} \cdot \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5F_{\max.A} \cdot \sin(\omega t + \pi x / \tau); \quad (10.43)$$

$$F_{xB} = F_{\max.B} \cdot \sin(\omega t - \pi / 2) \cdot \cos(\pi x / \tau - \pi / 2) = 0,5F_{\max.B} \cdot \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5F_{\max.B} \cdot \sin(\omega t + \pi x / \tau - \pi). \quad (10.44)$$

Бунда айланма майдон тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$F_{x.nat} = F_{xA} + F_{xB} = F_{\max} \sin(\omega t - \pi x / \tau). \quad (10.45)$$

Бундай чулғамда ҳосил бўлган доиравий магнит майдоннинг айланиш частотаси ҳам (10.38) тенглама бўйича топилади.

Икки фазали машинада доиравий айланма майдон олиш учун иккита фа-

занинг тўғри  $F'_{xA}$  ва  $F'_{xB}$  ёки тескари  $F''_{xA}$  ва  $F''_{xB}$  МЮК лари бир-бирини компенсация қилишлари керак, бу шарт эса кўрсатилган МЮК лар амплитудалари тенг, лекин фазалари қарама-қарши, яъни  $\alpha \pm \beta = \pi$  бўлиши керак бўлади.

Доиравий айланма магнит майдон қуйидаги хоссаларга эга:

а) натижавий МЮК ва индукциянинг максимумлари ҳар доим токи мак-симумга эришган фазавий чулғамнинг ўқи билан мос тушади;

б) натижавий магнит майдоннинг силжиши майдоннинг кейинги макси-муми қайси қўшни фазавий чулғам ўқи билан мос тушса шу томонга йўналган бўлади. Бу хосса тўғридан-тўғри олдинги («а») дан келиб чиқади;

в) майдоннинг айланиш йўналишини тескарига ўзгартириш учун фаза-лардаги токнинг навбатланиш тартибини ўзгартириш лозим. Уч фазали маши-наларда бунинг учун тармоққа уланган учта симдан хоҳлаган иккитасини ал-машлаб улаш, икки фазали машиналарда тармоқ фазаларига уланган симлар-ни алмаштириш лозим бўлади.

**Эллиптик майдон.** Фазода бир-бирига нисбатан симметрик жойлашган чулғамлардан вақт бўйича ўзаро мос силжиган тоқлар ўтганда айланма магнит майдон ҳосил бўлади. Агарда бу шартлардан бирортаси бажарилмаса, айланма магнит майдон эмас, балки *эллиптик майдон* ҳосил бўлади. Бундай майдон МЮК нинг фазовий вектори эллипсни чизади.

Эллипс шаклидаги айланма магнит майдонда натижавий МЮК ва индукциянинг максимал қиймати вақтнинг ҳар хил онда ўзгарувчан бўлади (доиравий айланма магнит майдонда эса бу қиймат ўзгармас бўлади).

Эллипс шаклидаги майдонни қарама-қарши йўналишларда айланаётган иккита бир хил (эквивалент) доиравий майдон кўринишда тасаввур қилиш мумкин. Натижавий эллиптик майдон йўналишида айланаётган майдонни - *тўғри майдон*, қарама-қарши томонга айланаётганни эса *тескари майдон* де-йилади. Эллипс шаклидаги майдонни тўғри ва тескари доиравий майдонларга

ажратиш симметрик ташкил этувчилар методи билан амалга оширилади ва бу орқали тўғри ва тескари кетма-кетликлар МЮК лари аниқланади.

## **Асинхрон машина турлари, тузилиши, иш принципи ва режимлари. Ротори тормозланган машинада электромагнит жараён.**

### **Режа:**

*Асинхрон машина турлари.*

*Асинхрон машина тузилиши*

*Ишлаш принципи ва режимлари.*

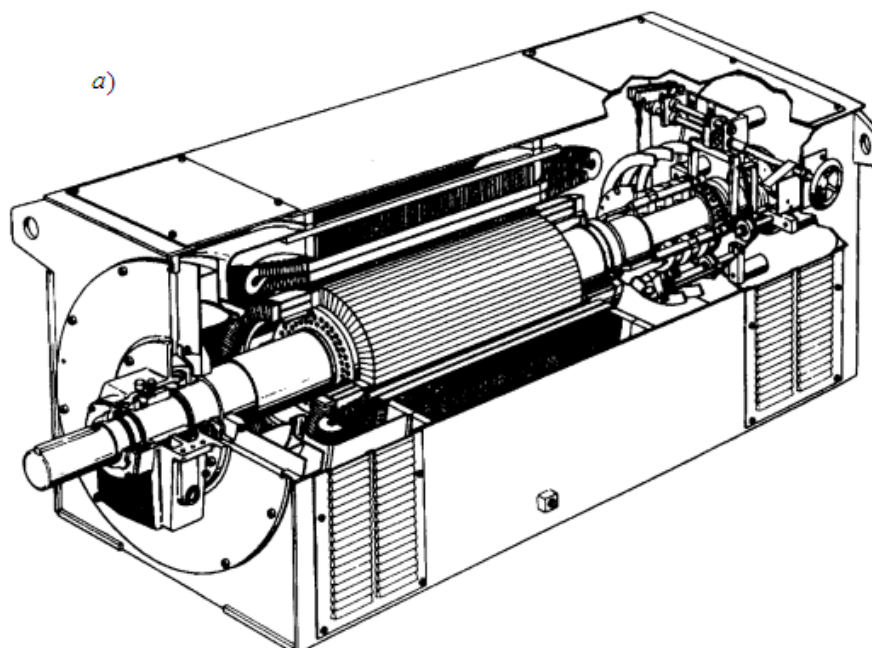
*Ротори тормозланган машинада электромагнит жараён.*

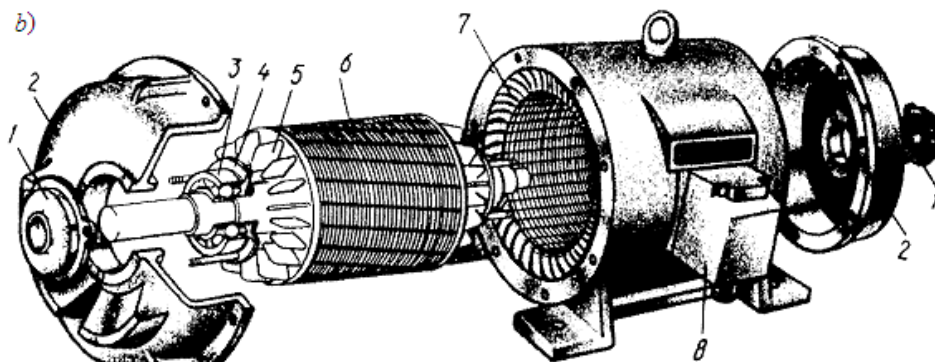
### **Асинхрон машина турлари**

Коллекторсиз асинхрон моторлар *электр юритманинг асосини* ташкил этиб, халқ хўжалигининг барча соҳаларидаги бошқарилмайдиган ва автоматик бошқариш жараёнларида, кон ишларидаги йирик электр жиҳозлари юритмаларида, қишлоқ хўжалигида ва бошқа соҳаларда кенг қўлланилади. Асинхрон машиналари мотор, генератор ва электромагнит тормоз режимларида ишлаш имконига эга бўлсалар ҳам, аксарият мотор режимига мўлжалланиб ишлаб чиқарилмоқда. Ротор айланиш тезлигини ўзгартириб бошқариш имкони бўлган фаза роторли асинхрон моторлар саноатнинг баъзи соҳаларида ишлатилса, яқин ўтмишгача бошқариш имконияти чекланган деб келинган, энг арзон, эксплуатацияси энг қулай деб топилган қисқа туташган роторли асинхрон моторлари халқ хўжалигининг барча соҳаларида энг кўп тарқалган электр мотори сифатида ишлатилмоқда. Ярим ўтказгичли ўзгарткичлар техникаси ва электромеханика фанларининг кейинги 20-30 йиллар мобайнидаги кескин ривожланиши натижасида частотали бошқариш имконияти очиб берилган қисқа туташган роторли асинхрон моторлари халқ хўжалигининг кўплаб соҳаларида ўз ўрнини топмоқда.

### **Асинхрон машинанинг тузилиши**

Асинхрон машина икки қисм: қўзғалмас (ротор) ва айланувчи (статор) қисмлардан иборат. Ротор статор ичига ўрнатилади. У вал, магнит ўзак (магнит ўтказгич) ва унинг ташки цилиндрик юзасидаги пазларига жойлаштирилган қисқа туташган (кўп фазали) чулғам ёки уч фазали чулғамдан иборат. Станина, пўлат ўзак ва унинг ички цилиндрик юзасидиги пазларида жойлашган бир, икки ёки уч фазали чулғамдан иборат. Статор ва роторларнинг пўлат ўзақлари махсус электротехник пўлатдан тайёрланган юпка тунукалардан йиғилади.





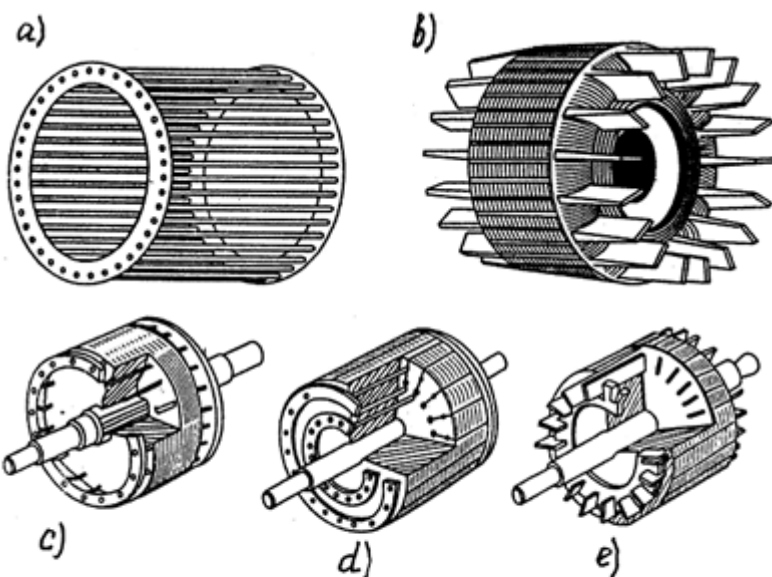
а) «BROWN BOVERI» (Швейцария) фирмаси ишлаб чиқарган катта қувватли фазароторли асинхрон мотор; б) Россияда ишлаб чиқарилган қисқа туташган роторли асинхрон моторнинг қисмларга ажратилган ҳолда кўриниши: 1, 4-подшипник калпоғи; 2-подшипник калкони; 3-подшипник; 5-вентилизация куракчалари; 6-чулғами қисқа туташган ротор; 7-статор чулғами; 8-статор чулғамининг чиқиш клеммалари жойлашган қути

Асинхрон мотор роторининг тузилишига қараб икки хил бўлади:

- 1) қисқа туташган роторли асинхрон мотор;
- 2) фаза роторли асинхрон мотор.

Қисқа туташган роторли асинхрон мотор – роторининг пўлат ўзаги паз-ларига эритилган алюминий қуйилиб чулғам ўтказгичлари (стерженлар) ҳосил қилинади ва уларнинг пазлардан ташқари учлари икки томондан қуйма алю-миний ҳалқалар орқали қисқа туташган бўлади. Натижада, яхлит "олмахон катаги" кўринишидаги қисқа туташган чулғам ҳосил қилинади.

Фаза роторли асинхрон мотори ҳам вал, валга ўрнатилган пўлат ўзак, унинг пазларига бир-бирига нисбатан  $120^\circ$  га силжиган уч фазали чулғам жойлаш-тирилади. Роторнинг фаза чулғамлари юлдуз усулида уланган бўлади ва уларнинг учлари эса вал-нинг бир томонида ўрнатилган учта мис ёки жез (мис ва рух аралашмаси) ҳалқаларга уланади.



Чулғами қисқа туташган ротор чулғамлари турлари: а) олмахон қафаси; б) қуйма алюминийли ротор; с) бир катакли чулғам; d) икки катакли чулғам; f) чуқур катакли.

### Ишлаш принципи.

Уч фазали асинхрон моторнинг статор чулғамига уч фазали ток берилганда вужудга келган магнит юритувчи куч (МЮК) статорда айланиш частотаси  $n_1 = 60 f / p$  бўлган айланма магнит майдонни ҳосил қилади. Бу майдон куч чизиқлари статор чулғами ўрамларини ва роторнинг қисқа туташган чулғам стерженларини ёки уч фазали чулғами ўрамларини кесиб ўтиб, уларда ЭЮК лар ҳосил қилади. Агар ротор чулғами қисқа туташган бўлса, ундаги ЭЮК таъсирида қисқа туташган ротор чулғамлари ўтказгичла-ридан ток ўтиб, бу токнинг статор ҳосил қилган айланма магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида ротор чулғами ўрамларига электромагнит куч таъсир қилади. Бу куч ҳосил қилган айлантирувчи (электромагнит)

момент тормозловчи моментдан катта бўлса, роторни айланма магнит майдон йўналишида айлантиради.

Айланма магнит майдоннинг айланиш частотаси  $n_1$  билан роторнинг ай-ланиш частотаси  $n$  орасидаги нисбий фарққа сирпаниш ( $s$ ) дейилади ва у қуйидагича аниқланади (*н.б.* – *нисбий бирлик*):

$$a) S_{(н.б.)} = (n_1 - n) / n_1; \quad b) S_{(‰)} = (n_1 - n) / n_1 \cdot 100 \quad (11.1)$$

*Иш режимлари.* Статор магнит майдонининг айланиш частотаси  $n_1$  ва роторининг айланиш частотаси  $n$  ларнинг қийматларига боғлиқ ҳолда асин-хрон машина мотор, генератор ва электромагнит тормоз режимларида ишла-ши мумкин. Булардан ташқари қисқа туташув ва юксиз ишлаш режимлари ҳам

мавжуддир. Асинхрон машина *мотор режимида* (11.3,а-расм) ишлаганида роторнинг айланиш частотаси статор айланма магнит майдони частотасидан кичик ( $n_1 > n$ ) бўлиб, сирпаниш эса  $0 < s < 1$  ораликда бўлади. Бу ҳолда статор чулғами тармоқдан электр энергия билан таъминланади ва роторнинг вали қандайдир механизмга механик моментни беради. *Машинада электр энергия механик энергияга айлантиради.*

Асинхрон машинанинг ротори тормозланиб ( $n = 0$ ), статор чулғами тармоққа уланган ҳолатни *қисқа туташув режими* дейилади (бунда сирпа-ниш  $s = 1$  бўлади). Агар роторнинг айланиш частотасини статор чулғами ай-ланма магнит майдони частотаси (синхрон частотаси) билан тенг ( $n = n_1$ ) қилинса (бунинг учун бирламчи мотор ёрдамида роторнинг айланиш частотасини бир оз ошириш зарур), сирпаниш  $s = 0$  бўлади. Бунда айлантирувчи момент ҳосил бўлмайди, чунки айланма майдон ротор чулғамини кесиб ўтмайди. Бундай режимни асинхрон машинанинг *идеал юксиз ишлаш режими* дейилади.

Агар асинхрон машинанинг роторини бирорта механизм ёрдамида статор

---

магнит майдони айланиш частотасидан катта ( $n > n_1$ ) бўлган частотада ай-лантирилса ротор чулғами ўтказгичларидаги ЭЮК, токнинг актив ташкил этувчиси ва сирпанишлар ўз йўналишини ўзгартирадilar. Бунда электромаг-нит момент  $M$  ҳам ўз йўналишини ўзгартириб *тормозловчи* бўлади, яъни асинхронная машина *генератор режимига* ўтади. Асинхрон машина генератор режимда бирламчи мотордан механик энергия олиб, уни электр энергияга айлантириб тармоққа беради. Бунда сирпаниш  $0 > s > -\infty$  ораликда ўзгаради (« $-\infty$ » – назарий нуқтаи назардан; амалда эса олиб бўлмайди).

Агар асинхрон машинанинг роторини бошқа мотор билан статор магнит майдони айланишига тесқари йўналишда айлантирилса, ротор чулғами ўтказ-гичларидаги ЭЮК ва токнинг актив ташкил этувчиси мотор режимидаги сингари йўналган бўлади, яъни машина тармоқдан энергия олади. Лекин бу режимда электромагнит момент ротор айланишига тесқари йўналиб, тормоз-ловчи бўлади (11.3,с-расм). Бу режим – асинхрон машинанинг *электромагнит тормоз режими* дейилади. Бу режимда роторнинг айланиш йўналиши айланма майдонниқига нисбатан тесқари бўлгани учун ротор айланиш частотаси  $n < 0$ , сирпаниши эса  $1 < s < +\infty$  ораликда ўзгаради. Бу режимда асинхрон машина ротор томонидан механик энергия, статор томонидан эса электр энергия олади.

Асинхрон машинанинг электромагнит тормоз режими амалиётда кранлар-да ва кўтаргич механизмларда юкни тушириш жараёнида унинг тезлигини камайтириш ёки зарур бўлганда уларни тезда тўхтатиш учун қўлланилади. Бу мақсадда статор чулғамига тармоқдан уланган хоҳлаган иккита симнинг ўрни-ни алмаштириб улаш керак бўлади. Бу ҳолда статорнинг айланма магнит май-дони ўз йўналишини ўзгартиради ва тормоз моментини ҳосил қилади. Бу ре-жимда сирпаниш катта ( $s = 1$ ) бўлганлигидан, ротор чулғамидаги ЭЮК, демак, ток ҳам катта бўлади. Бу токни камайтириш учун фаза роторли моторда ротор чулғамини актив қаршиликка – тормозловчи реостатга улайдилар.

Умумий мақсадли асинхрон моторлар номинал юклама билан ишлаёт-гандаги сирпаниш  $s_N = 3 \div 5$  % ни, махсус асинхрон моторларнинг айримла-рида эса  $s_N = 12 \div 15$  % ни ташкил қилади.



## 11-маъруза.

**Ротор чулғами параметрларини статор чулғами ўрамлари сонига келтириш. Ротори айланаётган машина электромагнит жараёни. Асинхрон машинанинг вектор диаграммалари ва алмаштириш схемаси.**

### Режа:

*Ротор чулғами параметрларини статор чулғами ўрамлари сонига келтириши.*

*Ротори айланаётган машина электромагнит жараёни.*

*Асинхрон машинанинг вектор диаграммалари ва алмаштириш схемаси.*

### Ротор чулғами параметрларини статор чулғами ўрамлари сонига келтириш

*Ротори тормозланган фаза роторли асинхрон машинада электромагнит жараён.*

Ротори кўзгалмас бўлган асинхрон машина худди трансформатор каби ишлайди. Ротори кўзгалмас бўлганда (бунда,  $s = 1$ ) машинанинг статор ва ротор чулғамларида бир хил ( $f_2 = f_1$ ) частотали ЭЮК лар ҳосил бўлади ва улар қуйидагича аниқланади:

$$E_1 = 4,44 f_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot \Phi_{max} ; \quad (11.2)$$

$$E_2 = 4,44 f_1 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot \Phi_{max} , \quad (11.3)$$

бу ерда:  $k_{ch.1}$ ,  $k_{ch.2}$  – статор ва роторнинг чулғам коэффициентлари;  $w_1$ ,  $w_2$  – статор ва ротор чулғами битта фазасининг ўрамлар сони;  $\Phi_{max}$  – магнит оқимнинг максимал қиймати.

(11.2) нинг (11.3) га нисбати:

$$E_1 / E_2 = w_1 \cdot k_{ch.1} / (w_2 \cdot k_{ch.2}) = k_E \quad (11.4)$$

– ротори кўзгалмас асинхрон машинада *кучланишни трансформациялаш коэффициентини* дейилади.

Агар фаза роторли асинхрон машинанинг ротор чулғами очик бўлса ундан ток ўтмайди ва бу ҳолатни *юксиз ишлаш режими* дейилади. Бундай режим статорда бўладиган электромагнит жараёнга таъсир қилмайди.

Юксиз ишлаётган асинхрон машина статорининг фазавий чулғамлари учун ЭЮК лар мувозанат тенгламаси трансформатордаги каби қуйидагича ёзилади:

$$\underline{U}_1 + \underline{E}_1 + \underline{E}_{\sigma 1} = \underline{I}_0 \cdot r_1 , \quad (11.5)$$

бу ерда:  $E_{\sigma 1} = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot \Phi_{\sigma 1}$  (11.6)

– тарқоқ магнит оқими  $\Phi_{\sigma 1}$  статор чулғамида ҳосил қилган тарқоқ ЭЮК;  $I_0 r_1$  – статор чулғами актив қаршилигида кучланиш пасайиши.

(11.5) формула асосида ва юксиз ишлашда статор чулғамидаги ток  $I_0 = I_{0,r} + I_{0,a}$  эканлигини ҳисобга олган ҳолда, асинхрон машинанинг вектор диаграм-масини қуриш мумкин. Бу диаграмма юксиз ишлаётган трансформатор диа-граммасидан (3.2,b-расм) векторлар учун танланган масштаб билан фарқ қи-лади, холос. Бунга сабаб, асинхрон машинада ҳаво оралиғи мавжудлигидан юксиз ишлаш токи  $I_0$  трансформаторникидан миқдор жиҳатдан тахминан 10÷12 марта катта, яъни умумий мақсадли асинхрон моторларда номинал токи  $I_N$  нинг 20÷40% ни ташкил қилади.

Асинхрон машиналарда юксиз ишлаш токи  $I_0$  нинг катта бўлиши улардаги энг *асосий камчилик* бўлиб, у статор чулғамидаги электр исрофни оширади ва машинанинг қувват коэффициенти  $\cos\varphi$  ни камайтиради. Юксиз ишлаш токи  $I_0$  ни камайтириш учун асинхрон машиналардаги ҳаво оралиғи завод томонидан иложи борица (конструктив ва технологик нуқтаи назардан) кичик қилиб тай-ёрланади. Масалан, қуввати 5 кВт гача бўлган асинхрон моторларда статор ва ротор орасидаги ҳаво оралиғи 0,1÷0,3 мм ни ташкил қилади.

*Ротор чулғами параметрларини статор чулғамига келтириши.* Асинхрон машиналарда ротор ва статор чулғамлар ўрамлари сони ҳар хил бўлганлиги туфайли улардаги электромагнит жараённи ўрганишда қийинчилик туғилади. Буни бартараф этиш мақсадида *ҳисобий усулдан фойдаланилади*, яъни ротор чулғамининг ўрамлар сони статор

чулғами ўрамлар сонига келтирилади. Бу ҳолда асинхрон машинанинг тармоқдан олаётган актив ва реактив қувватлари, ФИК ва  $\cos\varphi$  ўзгармай қолиши керак.

Статор ва ротор чулғамларининг тегишлича  $F_1$  ва  $F_2$  МЮК лари тўлқин-ларининг айланиш частоталари ўзаро тенг бўлгандагина асинхрон машина ишлай олади. Демак, статор ва ротор бир хил жуфт кутблари сони ( $p_1 = p_2 = p$ )га эга бўлиши керак. Бу шарт бажарилганда ротор МЮК тўлқини статор МЮК тўлқинига нисбатан кўзгалмас бўлиб ўзаро таъсирлашадилар. Натижада асинхрон моторда статордан роторга электромагнит қувват узатилади.

Асинхрон моторнинг ишлаш жараёнида статор ва ротор чулғамларидаги тоқлар машинада тегишлича  $F_1$  ва  $F_2$  МЮК ларни ҳосил қилади. Бу МЮК ларнинг биргаликда таъсир этишидан статорга нисбатан синхрон частота  $n_1$  билан айланадиган умумий магнит оқим вужудга келади. Унинг қиймати қу-йидагига тенг:

$$\underline{\Phi} = (\underline{F}_1 + \underline{F}_2) / R_m = \underline{F}_0 / R_m, \quad (11.7)$$

бунда  $R_m$  – мотор магнит занжирининг оқим  $\Phi$  га кўрсатадиган магнит қаршилиги;  $F_0$  – миқдор жиҳатдан юксиз ишлашдаги статор чулғами МЮК га тенг бўлган моторнинг натижавий МЮК:

$$F_0 = 0,45 m_1 I_0 w_1 k_{ch.1} / p; \quad (11.8)$$

$I_0$  – статор чулғамида юксиз ишлаш тоқи, А.

Валига юклама уланган иш режимида моторнинг битта кутбига тўғри келадиган статор ва ротор чулғамларининг МЮК лари қуйидагиларга тенг бўлади:

$$F_1 = 0,45 m_1 I_1 w_1 k_{ch.1} / p; \quad (11.9)$$

$$F_2 = 0,45 m_2 I_2 w_2 k_{ch.2} / p; \quad (11.10)$$

бунда:  $m_2$  – ротор чулғамида фазалар сони;  $k_{ch.2}$  – ротор чулғамининг чулғам коэффиценти;  $p$  – машина жуфт кутблари сони;  $w_2$  – ротор чулғами ўрамлари сони.

Мотор валига қўйилган юк ўзгарганда статор ва ротор чулғамларидаги  $I_1$  ва  $I_2$  тоқлар ўзгаради, бу эса шу чулғамлардаги МЮК лар ( $F_1, F_2$ )нинг тегишлича ўзгаришига олиб келади. Лекин бунда асосий магнит оқим  $\Phi$  ўзгармай қолади, чунки статор чулғамига берилган кучланиш  $U_1 = \text{const}$  ва статор чулғамининг ЭЮК  $E_1$  билан деярли тўла мувозанатлашади:

$$\underline{U}_1 \approx (-\underline{E}_1). \quad (11.11)$$

ЭЮК  $E_1$  асосий магнит оқим  $\Phi$  га мутаносиб бўлганлигидан мазкур оқим, валдаги юкнинг ўзгаришидан қатъий назар деярли ўзгармай ( $\Phi \approx \text{const}$ ) қолади. Шу сабабли  $F_1$  ва  $F_2$  ларнинг ўзгаришига қарамасдан, натижавий МЮК ўзгармай қолади, яъни  $\underline{F}_0 = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 = \text{const}$  бўлади.

Келтирилган (ҳисобий) чулғам ва ҳақиқий чулғам ўрамлар сонига машинанинг магнит оқими  $\Phi_{\max}$  ўзгармай қолиши керак, яъни:

$$\Phi_{\max} = E_2 / (4,44 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot f_1) = E'_2 / (4,44 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot f_1) = \text{const}, \quad (11.12)$$

бунда ротор тормозланган ҳолатда ( $s=1$ ) унинг чулғамидаги ЭЮК частотаси  $f_2 = f_1$  бўлишлиги ҳисобга олинган.

(11.12) шартдан ротор чулғамининг келтирилган ЭЮК  $E'_2$  қуйидагига тенг бўлади:

$$E'_2 = E_2 [w_1 k_{ch.1} / (w_2 k_{ch.2})] = k_E E_2 = E_1, \quad (11.13)$$

бу ерда:  $k_E = (w_1 k_{ch.1}) / (w_2 k_{ch.2})$  (11.14)

– ротори тормозланган асинхрон машина ЭЮК лари ва кучланишлари учун келтириш коэффиценти.

Трансформатордаги сингари келтирилган ва ҳақиқий чулғам МЮК ларининг ўзгармай қолиши  $[(m_1 w_1 k_{ch.1}) I'_2 = (m_2 w_2 k_{ch.2}) I_2]$  шартидан ротор чулғами-

нинг келтирилган токи  $I'_2$  ни аниқлаймиз:

$$I'_2 = [(m_2 w_2 k_{ch.2}) / (m_1 w_1 k_{ch.1})] \cdot I_2 = I_2 / k_I = I_1, \quad (11.15)$$

бу ерда  $k_I = (m_1 w_1 k_{ch.1}) / (m_2 w_2 k_{ch.2}) = (m_1 / m_2) \cdot k_E$  (11.16)

– ротори тормозланган асинхрон машина *тоқлари учун келтириш коэффициентини*.

Шунга эътибор бериш керакки, асинхрон машинада  $k_I \neq k_E$ , чунки уму-мий ҳолда статор чулғами фазалари сони  $m_1$  билан ротор чулғами фазалари сони  $m_2$  бир хил эмас (фақат  $m_1 = m_2$  бўлган фаза роторли асинхрон мотор-ларда бу коэффициентлар бир-бирига тенг бўлади).

Ротор чулғами занжиридаги қувват исрофларининг ўзгармай қолиши  $[(m_2 I_2^2 r_2) = m_1 (I'_2)^2 r'_2]$  шартидан келтирилган актив қаршилик  $r'_2$  ни ҳисоб-лашда (11.15) дан  $I'_2$  нинг қийматини қўйиб топамиз, яъни:

$$r'_2 = (m_2 / m_1) \cdot (I_2 / I'_2)^2 \cdot r_2 = k_E k_I r_2 = k_z \cdot r_2. \quad (11.17)$$

Роторнинг ҳақиқий ва келтирилган чулғамларидаги нисбий индуктив кучланиш пасайишларининг тенглиги (яъни *реактив қувватнинг ўзгармай қолиши*)  $[I_2 x_2 / E_2 = I'_2 x'_2 / E'_2]$  шартидан ротор чулғамининг келтирилган индуктив қаршилиги  $x'_2$  ни аниқлаймиз:

$$x'_2 = (E'_2 / E_2) \cdot (I_2 / I'_2) x_2 = k_E k_I x_2 = k_z \cdot x_2. \quad (11.18)$$

(11.17) ва (11.18) формулалардаги  $k_E \cdot k_I = k_z$  – ротор чулғами *қаршилик-ларини келтириш коэффициентини* дейилади.

«Олмагон катаги» типдаги қисқа туташган чулғам учун  $k_E$ ,  $k_I$  ва  $k_z$  коэффициентларни аниқлашда  $w_2 = 0,5$ ;  $m_2 = Z_2$  ва  $k_{ch.2} = 1$  деб қабул қилинади. Унда  $k_E = 2 w_1 k_{ch.1}$ ;  $k_I = 2 m_1 \cdot w_1 k_{ch.1} / Z_2$ ;  $k_z = 4 m_1 \cdot (w_1 k_{ch.1})^2 / Z_2$ . Бунда  $Z_2$  – ротор чулғами стерженлари сони (ҳар битта пазда биттадан стержень), демак, ротор чулғамида бир-бирдан  $\alpha = 2\pi / Z_2$  бурчакка силжиган  $m_2 = Z_2$  та «фазалари» бўлиб, жуфт кутблар сони  $p_2$  эса ҳамма вақт айланма магнит майдон жуфт кутблари сони  $p_1$  га тенг ( $p_2 = p_1$ ) бўлади.

Чулғам параметрлари статор чулғамига келтирилган ротор қўзғалмас бўлганда асинхрон машинанинг ЭЮК лари ҳамда тоқлари мувозанат тенглама-лари трансформаторниқига ўхшаган ҳолда қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_1(r_1 + jx_1), \\ \underline{E}'_2 &= \underline{I}'_2(r'_2/s + jx'_2); \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_0 + (-\underline{I}'_2). \end{aligned} \right\} \quad (11.19)$$

Шундай қилиб, ротори қўзғалмас бўлган асинхрон машиналарнинг назарияси трансформаторларниқига каби бўлар экан.

Ротори қўзғалмас бўлган асинхрон машиналар асосан *индуктив регулятор* ва *фазорегулятор* сифатида ишлатилади.

### Ротори айланаётган машина электромагнит жараёни

Асинхрон машина нормал шароитда ишлаётганда унинг ротори статор чулғами ҳосил қилган айланма магнит майдон йў-налишида  $n < n_1$  айланиш частота билан айланади. Шунинг учун статор айланма майдонининг роторга нисбатан айланиш частотасини  $n_1 - n$  айирма билан аниқланади. Бу ҳолда статор чулғамининг асосий магнит оқими  $\Phi$  роторни  $n_s = n_1 - n$  айланиш частотада кесиб ўтиб унинг чулғамида ЭЮК  $E_{2s}$  ни ҳосил қилади («s» индекси – сирпанишдаги деган маънони беради):

$$E_{2s} = 4,44 \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot \Phi_{max}. \quad (11.20)$$

Бундаги ротор чулғами ЭЮК  $E_{2s}$  нинг частотаси  $f_2$  қуйидагича топилади:

$$f_2 = p n_s / 60 = p(n_1 - n) / 60. \quad (11.21)$$

Бу тенгламанинг ўнг томонини  $n_1 / n_1$  га кўпайтириб,  $p n_1 / 60 = f_1$  ва  $(n_1 - n) / n_1 = s$  ларни ҳисобга олган ҳолда (11.21) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$f_2 = f_1 \cdot s, \quad (11.22)$$

яъни ротор чулғамидаги ЭЮК частотаси сирпанишга мутаносиб бўлар экан.

Айланувчи ротор чулғамининг ЭЮК  $E_{2s}$  ни қуйидагича топиш мумкин:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{ch.2} \Phi_{max} = 4,44 f_1 \cdot s \cdot w_2 k_{ch.2} \Phi_{max} = E_2 \cdot s. \quad (11.23)$$

бу ерда  $E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_2 k_{ch.2} \cdot \Phi_{max}$  – ротори тормозланган асинхрон машина ЭЮК.

### Асинхрон машинанинг вектор диаграммалари

Асинхрон машинанинг вектор диаграммаси (11.19)

тенгламалар системаси асосида қурилиб трансформатор диаграммасини қуриш тартибига ўхшаш бўлади (4-бобнинг 4.2-бандига қаранг).

Лекин асинхрон машинада айланма майдон мавжудлиги бирламчи ва ик-киламчи чулғамлардаги тоқларнинг ўзаро таъсирида айрим ўзига хос хусуси-ятларни юзага келтиради. Ротор чулғами фазалари *фазода силжиган*, тоқла-ри эса *вақт бўйича силжиганлигидан* улар роторда МЮК  $F_2$  нинг югурувчи тўлқинини яратади. Унинг айланиш частотаси қуйидагига тенг бўлади:

$$n_{F_2} = 60 f_2 / p_2 = 60 f_1 / p_1, \quad (11.24)$$

бунда:  $f_2$  ва  $p_2$  – ротор тоқининг частотаси ва жуфт кутблари сони;

ротори кўзгалмас бўлганда статор ва ротор ЭЮК лари частотаси  $f_2 = f_1$  бўлади.

Асинхрон машина ишлаши учун статор ва ротор югурувчи  $F_1$  ва  $F_2$  МЮК тўлқинларининг айланиш частоталари тенг бўлиши зарур. Демак, ро-торнинг фазалар сонидан қатъий назар, унинг жуфт кутблари сони бир хил (яъни  $p_2 = p_1 = p$ ) бўлиши шарт.

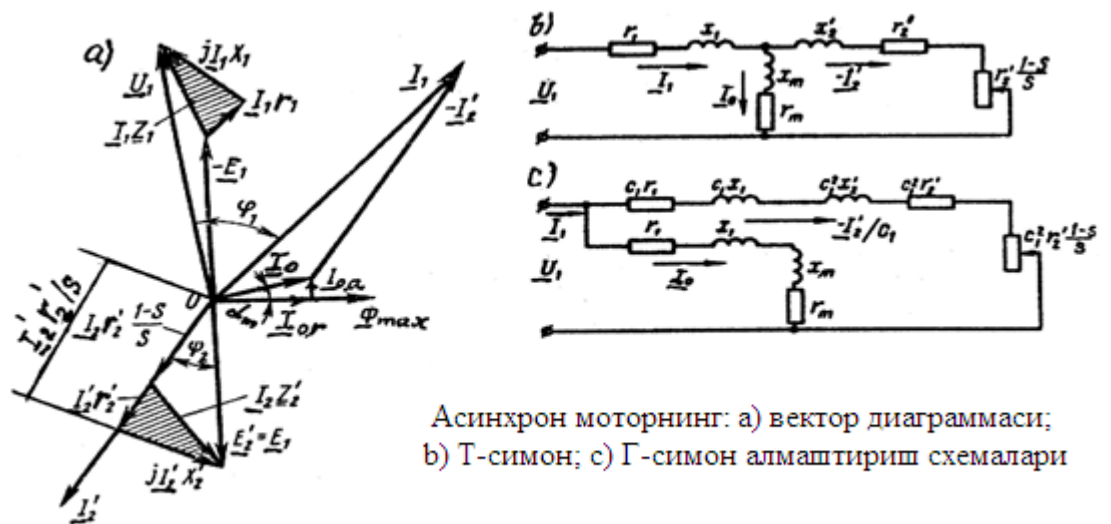
Вектор диаграмманинг ротор занжири учун қуришда ЭЮК  $E'_2$  ва ток  $I'_2$  векторлари орасидаги силжиш бурчаги қуйидагича ҳисобланади:

$$\psi_2 = \arctg(x'_2 s) / r'_2. \quad (11.25)$$

11.4,а-расмда асинхрон моторнинг вектор диаграммаси кўрсатилган. Бу диаграмма *трансформаторнинг вектор диаграммасидан фақат шу билан фарқ қиладики*, ротор чулғамида (иккиламчи чулғамда) кучланиш пасайиш-ларининг йиғиндиси  $n = 0$  да ротор чулғамининг ЭЮК  $E'_2$  билан мувоза-натлашади. *Бунга сабаб шуки*, ротор чулғами трансформаторнинг икки-ламчи чулғами сингари юкламага уланган эмас, балки қисқа туташтирилган. Лекин, агар кучланиш пасайиши  $\overline{0A} = I'_2 \cdot r'_2 [(1-s) / s]$  ни ротор чулғамининг клеммаларига уланган маълум юклама  $r'_2 [(1-s) / s]$  даги кучланиш сифатида қаралса, у ҳолда асинхрон моторнинг вектор диаграммасини иккиламчи чулғамининг клеммаларига ўзгарувчан қаршилик  $r'_2 [(1-s) / s]$  уланган трансфор-маторнинг вектор диаграммаси сифатида қараш мумкин. Бошқача айтганда, асинхрон мотор электр жиҳатдан актив юклама  $r'_2 [(1-s) / s]$  да ишлайдиган трансформаторга ўхшайди.

Асинхрон моторда магнитловчи тоқнинг трансформаторниқига нисбатан миқдор жиҳатдан анча катталиги сабабли уларнинг алмаштириш схемалари бир-биридан фарқ қилишига олиб келади. Агар трансформатор назариясида магнитловчи контурни айрим ҳолларда амалий ҳисобларда эътиборга олинма-са, асинхрон мотор ишини таҳлил қилганда бундай ёндашиб бўлмайди, чунки бу ҳолда анча хатоликка йўл қўйилган бўлади.

### Алмаштириш схемаси.



Асинхрон моторнинг: а) вектор диаграммаси; б) Т-симон; в) Г-симон алмаштириш схемалари

Асинхрон машиналарнинг токи, қуввати ва кучланиш пасайишини аниқлаш учун алмаштириш схемасидан фойдаланилади. Машинанинг алмаштириш схемаси унинг асосий (11.19) тенгламалари асосида қурилади. Алмаштириш схема бир-бирига электромагнит воситасида боғланган статор ва ротор занжирлари параметрларининг қаршиликлари орқали кўрсатилади.

*Т-симон алмаштириш схемаси.* Расмда асинхрон машинанинг Т-симон алмаштириш схемаси кўрсатилган. Бу схема асосий учта шохобчадан:

- 1) қаршиликлари  $r_1, x_1$  ва токи  $I_1$  бўлган статор занжири;
- 2) қаршиликлари  $r_0, x_0$  ва токи  $I_0$  бўлган магнит занжири;
- 3) қаршиликлари  $r_2' + r_2' \cdot (1-s)/s = r_2'/s$ ,  $x_2'$  ва токи  $(-I_2')$  бўлган ротор занжиридан иборат.

Асинхрон моторнинг магнит жиҳатдан боғланган статор ва ротор чулғамлари Т-симон алмаштириш схемасида (b-расм) статор ва ротор электр занжирлари билан алмаштирилган. Бундаги актив қаршилик  $r_2' \cdot (1-s)/s$  ни кўзгалмас ротор чулғамига уланган ташқи қаршилик сифатида қараш мумкин бўлади. Бу ҳолда асинхрон машина актив юклама уланган трансформатор сифатида ишлайди ва бу жараёнда схемадаги  $r_2' \cdot (1-s)/s$  қаршилик ягона ўз-гарувчан параметр ҳисобланади.

Бу қаршиликнинг қиймати сирпаниш билан, демак, асинхрон моторнинг валига қўйиладиган механик юк билан аниқланади. Масалан, агар мотор валидаги фойдали (юк) momenti  $M_2 = 0$  бўлса, у ҳолда сирпаниш  $s \approx 0$  бўлганлигидан  $r_2' \cdot (1-s)/s = \infty$  бўлиб, бу ҳол моторнинг юксиз ишлаш режимига мос келади. Агар валдаги юк momenti айлантурувчи моментдан катта бўлса, у ҳолда моторнинг ротори тўхтайтиди, демак,  $s = 1$  бўлади. Бунда  $r_2' \cdot (1-s)/s = 0$  бўлиб, бу ҳол асинхрон моторнинг қисқа туташув режимига мос келади.

Т-симон алмаштириш схема иш жараёни тўла акс эттиради, лекин унда бир-бирига таъсирлашадиган контурлар мавжуд бўлиб, уларни ҳисобга олиш анча мураккаблиги унинг камчилиги ҳисобланади. Шунинг учун амалиётда соддалаштирилган Г-симон алмаштириш схема ишлатилади (c-расм). Бунда соддалаштириш магнитловчи контур ( $Z_0 = r_0 + jx_0$ )ни умумий клемма-ларига чиқариш билан амалга оширилади. Бунда магнитловчи токнинг қиймати ўзгармай қолиши учун бу контурга  $r_1$  ва  $x_1$  қаршиликлар кетма-кет уланади. Алмаштиришнинг ҳосил қилинган схемасида статор ва ротор контур-ларининг қаршиликлари кетма-кет уланган бўлиб, улар иш контурини ҳосил қилади. Магнитловчи

контур ана шу контурга параллел уланган бўлади; бу ҳолда контурлар бир-бири билан таъсирлашмайди.

G-симон алмаштириш схемаси иш контуриининг параметрларини ҳисоб-лашда аниқлик қилишни талаб этади, яъни идеал юксиз ишлашда ( $s=0$ ) тармоқ кучланиши  $U_1$  нинг статор чулғами ЭЮК  $E_1$  га нисбати билан аниқланадиган  $\underline{c}_1 = U_1 / E_1$  комплекс коэффициентини ҳисоблаш формулаларига киритиш билан амалга оширилади.

G-симон алмаштириш схема учун қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\underline{I}'_1 = \underline{I}''_0 + (-\underline{I}''_2); \quad \underline{I}''_2 = \underline{I}'_2 / \underline{c}_1 \quad (11.26)$$

бу ерда:  $\underline{I}'_1$  ва  $\underline{I}'_2$  – тегишлича T-симон ва G-симон алмаштириш схемасининг иш контури тоқлари; ҳисобларда  $\underline{I}''_0 \approx \underline{I}_0$  деб олганда хатолик кам бўлади;

$$\underline{c}_1 = 1 + (r_1 + jx_1) / (r_0 + jx_0) \quad (11.27)$$

– G-симон алмаштириш схемага киритилган комплекс сон.

Бу схемада комплекс  $\underline{c}_1$  ни унинг модули  $c_1$  билан алмаштириш мумкин. Қуввати 10 кВт дан катта бўлган асинхрон машиналар учун  $c_1 = 1,02 \div 1,05$ .

Асинхрон машиналардаги электромагнит жараёнларни таҳлил қилиш учун кўпинча  $c_1 = 1$  деб олинади ва ҳисоб ишларини енгиллаштириб олинган натижаларнинг аниқлигига унча таъсир қилмайди. G-симон алмаштириш схемаси магнитловчи контури кўчирилган соддалаштирилган алмаштириш схемаси дейилади.

Айланаётган ротор занжирининг тоқи сирпаниш  $s$  да (11.22) ва (11.23) ларни ҳисобга олган ҳолда қуйидагига бўлади:

$$I_{2s} = E_2 \cdot s / \sqrt{r_2^2 + (x_2 \cdot s)^2} . \quad (11.28)$$

G-симон алмаштириш схемадан иш контуридаги ток қиймати қуйидагича ҳисобланади:

$$I'_2 = U_1 / \sqrt{(r_1 + c_1 r'_2 / s)^2 + (x_1 + c_1 x'_2)^2} . \quad (11.29)$$

## 12-маъруза.

### Асинхрон машина энергетик диаграммаси электромагнит (айлантирувчи) моменти ва механик тавсифси.

#### Режа:

*Асинхрон машина энергетик диаграммаси*

*Электромагнит (айлантирувчи) моменти*

*Механик тавсиф.*

#### Асинхрон машина энергетик диаграммаси

Асинхрон машина мотор режимида ишлаётганда (11.4-расм) у тармоқдан электр энергияни олади ва уни механик энергияга айлантириб беради. Бу жа-раёнда моторда энергия исрофлари бўлади. Асинхрон мотор тармоқдан

$$P_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (11.30)$$

актив қувватни олади. Бу қувватнинг бир қисми статор чулғаидаги электр исрофлари  $P'_{e1}$  ни ва статор пўлат ўзагидаги магнит исрофлари  $P'_{m1}$  ни қоп-лашга сарф бўлади:

$$P'_{e1} = m_1 \cdot I_1^2 r_1 . \quad (11.31)$$

Айланма магнит майдон воситасида роторга электромагнит қувват  $P_{em}$  узатилади:

$$P_{em} = P_1 - P'_{e1} - P'_{m1} . \quad (11.32)$$

Электромагнит қувватнинг бир қисми ротор занжиридаги электр исрофи ( $P_{e2}$ )ни коплаш учун сарфланади:

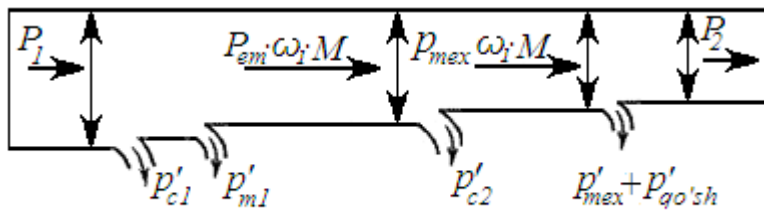
$$P'_{e2} = m_2 \cdot I_2^2 r_2 = m_1 \cdot (I'_2)^2 r'_2. \quad (11.33)$$

Электромагнит қувват  $P_{em}$  нинг қолган қисми эса тўла механик қувват  $P_{2(mex)}$  га айланади:

$$P_{2(mex)} = P_{em} - P'_{e2}. \quad (11.34)$$

Мотор ишлаганда подшипникларнинг ишқаланиши ва айланувчи қисм-ларининг хавода ишқаланиши оқибатида ҳам қувват исрофи бўлади.

Бундан ташқари тар-қоқ магнит оқимлари, ста-тор ва ротор пўлат ўзаги тишларида ҳамда яхлит пў-лат қисмларида магнит май-доннинг ўзгариб туриши натижасида ҳам қўшимча қувват исрофлари бўлади. Асинхрон моторнинг тўла механик қуввати  $P_2$  механик исроф  $P'_{mex}$  ва қўшимча  $P'_{qo'sh}$  исрофларни айириб, мотор орқали ишчи механизмга узати-лаётган фойдали қувват  $P_2$  аниқланади.



Асинхрон моторининг энергетик диаграммаси

=

$$P_{mex} - (P'_{mex} + P'_{qo'sh}). \quad (11.35)$$

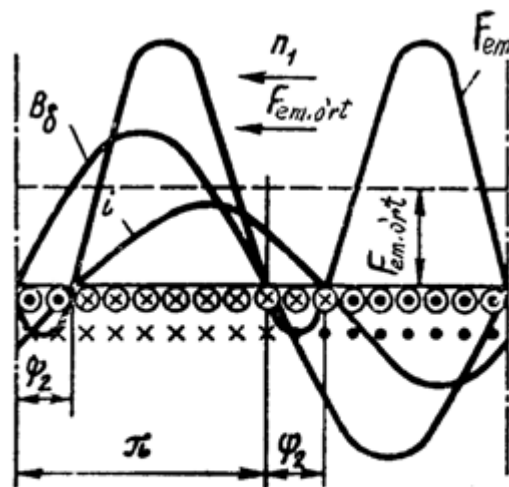
### Электромагнит (айлантирувчи) момент

Электромагнит моментнинг аналитик ифодасини бирнеча усуллар билан аниқлаш мумкин а) электромагнит кучлар ифодаси ёрдамида; б) электромагнит қувват ифодаси ёрдамида аниқлаш мумкин. Қуйида шуларни алоҳида кўриб чиқамиз.

**Электромагнит моментни электромагнит кучлар орқали аниқлаш.** Асинхрон машинанинг электромагнит momenti ротор чулғами ўтказгичлари-дан ўтадиган ток актив ташкил этувчиси ( $I_2 \cos\psi_2$ ) нинг статор чулғами ҳосил қилган айланма майдон, яъни магнит оқим  $\Phi_{max}$  билан таъсирлашиб Ампер қонунига асосан электромагнит куч  $F_{em} = B_{\delta} li$  вужудга келади. Бу куч ҳосил қилган электромагнит момент қуйидагича аниқланади:

$$M = C_M \Phi_{max} I_2 \cos\psi_2, \quad (12.1)$$

бунда:  $C_M = p \cdot m_2 \cdot k_{ch.2} / \sqrt{2}$  — ўзгармас катталиқ;  $\Phi_{max}$  — магнит оқимнинг максимал қиймати. Ушбу ифода фақатгина асинхрон машиналар учунгина тааллуқли бўлмай, балки электр машиналарининг барча турлари учун ҳам тегишлидир. Бу ифода момент қийматининг моторда содир бўладиган физик ҳодисалар ора-сидаги боғланишни ўрнатади. Ундан моторнинг ҳар хил режимлардаги иш жараёнини сифат жиҳатдан таҳлил қилишда фойдаланиш қулай ҳисобланади. Лекин бу формулага кирган ( $\Phi_{max}$ ,  $I_2$  ва  $\cos\psi_2$ ) катталиқлар тўғридан-тўғри тармоқ кучланиши ва машинанинг иш режими



Машина ҳаво оралиғи магнит индукцияси ( $B$ ), ротор чулғамининг токи ( $I$ ) ва асинхрон машина чулғамлари ўтказгичларига таъсир қиладиган электромагнит куч

билан боғланмаган, уларни тажрибада аниқлаш эса анча мураккабдир. Шу сабабли қуйида электромагнит (айлантирувчи) моментнинг қийматини энг оддий аниқлаш, унга машинанинг ҳар хил параметрлари ва эксплуатацион режимларининг таъсирини ҳисобга олиш имконини берадиган бошқа формуласи келтириб чиқарилган.

**Электромагнит моментни электромагнит қувват орқали аниқлаш.**

Энергетик диаграммадан аниқланган электромагнит ( $P_{em}$ ) ва механик қувват ( $P_{mex}$ )ларни электромагнит момент орқали ифодалаймиз:

$$\begin{aligned} P_{em} &= M \omega_1; \\ P_{mex} &= M \omega, \end{aligned} \quad (12.2)$$

бу ерда:  $\omega_1 = (2\pi \cdot n_1 / 60) \cdot (p/p) = (2\pi/p) \cdot (p \cdot n_1 / 60) = 2\pi \cdot f/p$  ва  $\omega = 2\pi \cdot n / 60$

тегишлича статордаги айланма магнит майдоннинг ва роторнинг бурчак тезликлари. (12.2) га асосан электромагнит момент қуйидагига тенг бўлади:

$$M = P_{em} / \omega_1. \quad (12.3)$$

Демак, асинхрон моторнинг электромагнит momenti, унинг электромагнит қувватига мутаносиб бўлар экан. Энергетик диаграммадан фойдаланиб ротор чулғамидаги исрофларни аниқлашнинг қуйидаги ифодаларини ёзиш мумкин:

$$P'_{e2} = P_{em} - P_{mex} \quad (12.4)$$

ёки

$$P'_{e2} = M\omega_1 - M\omega = M(\omega_1 - \omega). \quad (12.5)$$

(12.5) формуланing ўнг томонини  $(\omega_1 / \omega)$  нисбатга кўпайтириб қуйи-дагини оламиз:

$$P'_{e2} = M\omega_1 \cdot s. \quad (12.6)$$

(12.6) формуладан қуйидагига эга бўламиз:

$$M = P'_{e2} / (\omega_1 \cdot s) = m_1 (I_2')^2 \cdot r_2' / (\omega_1 s), \quad (12.7)$$

яъни асинхрон моторнинг электромагнит momenti ротор чулғамида электр ис-рофлари қувватига мутаносиб бўлар экан.

Агар G-симон алмаштириш схемасидан фойдаланиб (11.29) бўйича аниқланган ротор токи  $I_2'$  ning қийматини (12.7) га қўйиб,  $(\omega_1 = 2\pi \cdot f_1 / p)$  ни ҳам ҳисобга олган ҳолда асинхрон машинанинг электромагнит momentини аниқлаш формуласининг умумий кўринишига эга бўламиз:

$$M = (m_1 p U_1^2 r_2') / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + r_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2] \}. \quad (12.8)$$

(12.8) формуладан қуввати  $P > 10 \text{ kW}$  бўлган асинхрон моторлар учун момент  $M$  ни ҳисоблашда алмаштириш схемадаги комплекс сон  $c_1 \approx 1$  деб қабул қилинган. Электромагнит momentни ҳисоблашда кўпроқ аниқлик талаб қилинганда комплекс сон  $c_1$  ҳисобга олинган (12.8) ифода қуйидагича ёзилади:

$$M = (m_1 p U_1^2 r_2') / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + c_1 r_2' / s)^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2] \}, \quad (12.8,a)$$

бу ерда  $c_1 \approx 1,02 + 1,05$  – қуввати  $P \leq 10 \text{ kW}$  бўлган асинхрон мотори учун.

(12.8) ва (12.8,a) ларда сирпаниш  $s$  дан бошқа ҳамма катталиклар ўзгармас деб ҳисобланиб, у валдаги механик юкка пропорционал равишда ўзгаради.

**Механик тавсиф**

Кўрилатган асинхрон машинани идеал машина деб ҳисоблаб, ундаги механик исрофлар (қиймати кичиклигидан) эътиборга олинмаса, электромагнит момент  $M$  валдаги момент  $M_{yu}$  га тенг деб ҳисоблаган ҳолда, қуйидаги таҳлилларда «электромагнит момент  $M$ » тушунчаси ўрнига асосан «айланти-рувчи момент  $M$ » тушунчаси ишлатилади.



Статор чулғамига бериладиган кучланиш  $U_1 = U_{1N}$  бўлгандаги  $M = f(n)$  ёки  $M = f(s)$  кўринишдаги боғланишга асинхрон моторнинг *механик харак-теристикаси* (12.2,a-расм) дейилади.

*Айлантирувчи моментнинг сирпанишга боғлиқлиги (ёки механик тавсиф)* –  $M = f(s)$ . Механик тавсифни қуриш учун (12.8,a)

$$M = (m_1 p U_1^2 r_2') / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2] \}$$

формуладан фойдаланиш мумкин.

Сирпаниш  $s$  га қийматлар бериб, параметрлари маълум бўлган асинхрон мотор учун изланган механик тавсифни қуриш мумкин (12.2,a-расм).

Максимал моментга тўғри келадиган сирпанишни *критик сирпаниш*  $s_{kr}$  дейилади. Унинг қийматини аниқлаш учун (параметрлари ўзгармас деб ҳи-соблаган ҳолда) моментдан сирпаниш бўйича биринчи ҳосила олиб, уни нолга тенглаймиз (яъни  $dM / ds = 0$ ), бунда умумий ҳол учун қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$s_{kr} = \pm c_1 r_2' / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}. \quad (12.9)$$

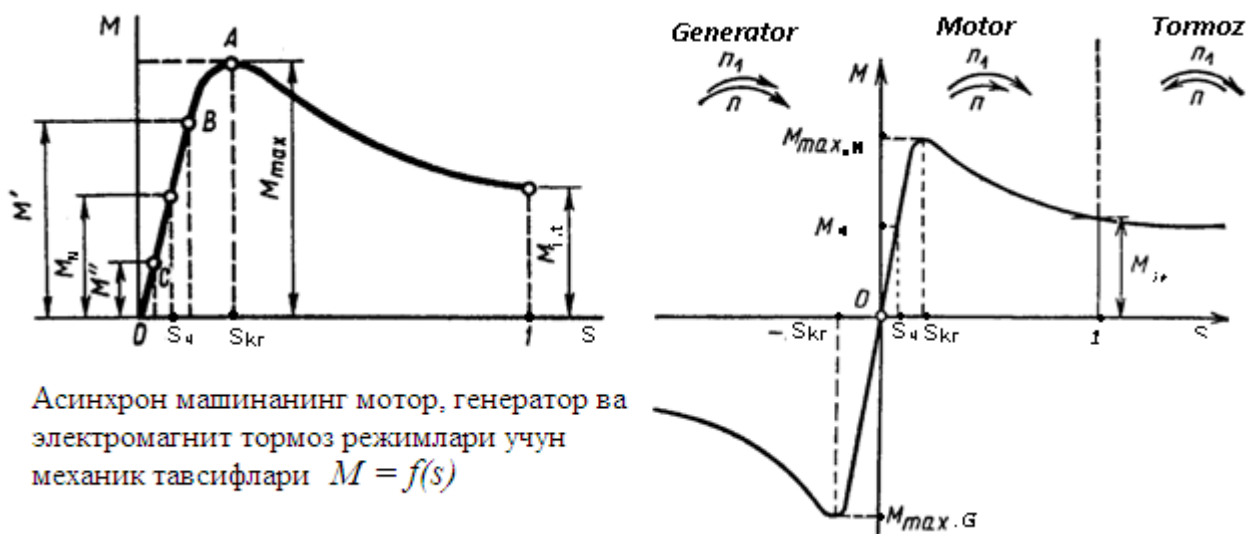
Агарда  $c_1 \approx 1$  ва қиймати анча кичиклигидан  $r_1 \approx 0$  деб олинса, у ҳолда критик сирпаниш  $s_{kr}$  ни аниқлаш формуласи қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$s_{kr} = \pm r_2' / (x_1 + x_2') = \pm r_2' / x_{qt}, \quad (12.9,a)$$

Максимал (критик) момент  $M_{max}$  нинг қийматини аниқлаш учун (12.9) дан  $s_{kr}$  нинг қийматини (12.8,a) га қўйиб ҳисобланади:

$$M_{max} \approx \pm (1/2) m_1 \cdot p \cdot U_1^2 / \{ 2\pi f_1 \cdot c_1 \cdot [ \pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2} ] \}, \quad (12.10)$$

(12.9), (12.9,a) ва (12.10)ларда мусбат (+) ишора мотор режимига, манфий (–) ишора эса генератор режимига тегишли (12.2,b-расм).



Асинхрон машинанинг мотор, генератор ва электромагнит тормоз режимлари учун механик тавсифлари  $M = f(s)$

Умумий мақсадли асинхрон машиналар учун статор чулғамининг актив қаршилиги индуктив қаршилиқлар йиғиндисидан анча кичик [ $r_1 \ll (x_1 + x_2)$ , яъни тахминан 10÷12 фоизини ташкил қилади холос] бўлганлигидан  $r_1 \approx 0$  деб ҳамда  $c_1 \approx 1$  эканлигини эътиборга олган ҳолда  $M_{max}$  ни аниқлашнинг соддалашган ифодасига эга бўламиз:

$$M_{max} \approx \pm (1/2) m_1 \cdot p \cdot U_1^2 / [2\pi f_1 \cdot (x_1 + x_2')], \quad (12.10,a)$$

(12.10) *ифоданинг таҳлили шуни кўрсатадики*, асинхрон машина генератор режимда ишлаганида унинг максимал моменти  $M_{max.G}$  мотор режимдаги максимал моменти  $M_{max.M}$  га нисбатан каттароқ бўлади. Бунга сабаб, генератор режимда (12.10) нинг махражидаги  $r_1$  нинг ишораси минус «–» оли-ниб касрнинг махражидаги сон мотор режимдагига нисбатан кичикроқ бўл-ганлигидандир. Асинхрон моторнинг максимал моменти тармоқ кучланиши квадратага мутаносиб экан, яъни  $M \equiv U_1^2$ . Бу эса унинг

камчилиги ҳисоб-ланади, чунки кучланиш, масалан, 10 % га камайса электромагнит момент  $M' = 0,9^2 \cdot M = 0,81 \cdot M_N$  га, яъни 19 % га камаяди.

Асинхрон мотор максимал моментининг карралиги  $k_M = M_{max}/M_N$  стандарт томонидан қатъий белгиланган бўлади, яъни  $k_M \geq 1,8$ . Айрим махсус асин-хрон моторларда  $k_M$  нинг қиймати 3,0 гача етади. Бу коэффицент асинхрон моторнинг ўта юкланиш қобилиятини характерлайди.

(12.9) ва (12.10) формулаларнинг таҳлилидан қуйидаги муҳим хулосалар қилиш мумкин:

1) критик сирпаниш  $s_{кр}$  ротор занжирининг актив қаршилиги  $r'_2$  га мута-носиб равишда ўзгаради;

2) максимал момент  $M_{max}$  нинг қиймати ротор занжири актив қаршилиги  $r'_2$  га боғлиқ эмас;

3) асинхрон моторнинг максимал momenti  $M_{max}$  ва ўта юкланиш қоби-ляяти  $k_M$  асосан статор ва ротор чулғамлари тарқоқ индуктив қаршиликлари (тегишлича  $x_1$  ва  $x'_2$ )га тескари мутаносибда бўлади;

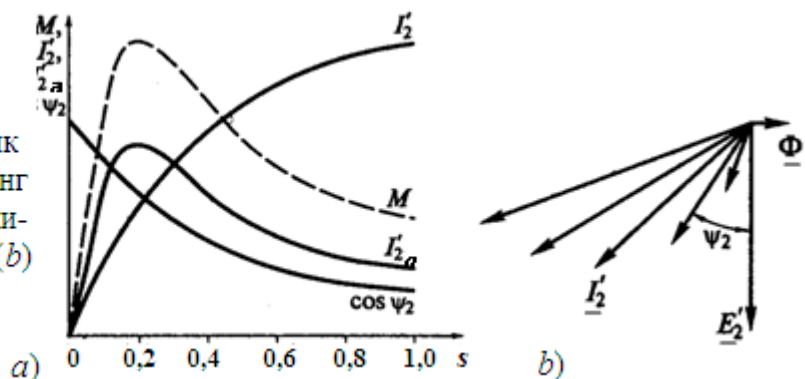
4) максимал момент  $M_{max}$  хар қандай сирпанишдаги момент сингари  $U_1^2$  га мутаносибдир, яъни берилаётган кучланиш камайганда моторнинг ўта юк-ланиш қобилияти пасаяди.

$M = f(s)$  – механик характерстиканинг *мотор режимда ўзгариш характе-ри қуйидагича тушунтирилади*. Юк momenti юксиз ишлаш режимдан оши-рилса, сирпаниш  $s$  ошади. Бунда *актив-индуктив характерли* ротор занжири қаршилигидан ўтадиган ток  $I'_2$  ни ва унинг шу занжирдаги ЭЮК  $E'_2$  дан орқада қолувчи  $\psi_2$  бурчакни ҳисоблаш формулаларига:

$$I_2 = s \cdot E_2 / (r_2 + jsx_2) = E_2 / (r_2/s + jx_2), \quad (12.11)$$

$$\psi_2 = \arctg(x_2s / r_2) = \arctg(s \cdot x_2 / r_2) = \arctg(x_2 / (r_2/s)) \quad (12.12)$$

Асинхрон мотори механик тавсифи(a); валдаги юкнинг ўзгаришидаги ротор токининг вектор диаграммаси(b)



асосан ротор токи  $I_2$  ва фаза силжиш бурчаги  $\psi_2$  ошади,  $\cos\psi_2$  эса камаяди. Сирпаниш оша борган сари ротор токининг индуктив характери тобора оша боради, унинг актив ташкил этувчиси эса аввал ( $\psi_2$  кичик пайтда) ошиб, сўнгра (умумий ток нинг ошишидан қатъий назар) камаё боради (12.3,b-расм), чунки ЭЮК  $E_2$  ва ток  $I_2$  орасидаги силжиш бурчак  $\psi_2$  ошади.

$M = f(s)$  боғланишнинг ўзгариш характерини асинхрон моторнинг ишлаш принциpidан келиб чиққан ҳолда аналитик йўл билан ҳам исботлаш мумкин, яъни (12.1) га асосан унинг электромагнит momenti ишчи оқим  $\Phi$  ва ротор токининг актив ташкил этувчиси  $I'_{2a}$  ларнинг кўпайтмасига мута-носибдир. Бундан,  $\Phi = \text{const}$  бўлганда механик тавсифнинг ўзгариш характери  $I'_{2a} = f(s)$  графиги билан аниқланар экан.

**Ишга тушириш momenti.** Асинхрон моторнинг статор чулғамини электр тармоғига улаб ишга тушириш пайтдаги momenti  $M_{i,t}$  ни аниқлаш учун (12.8,a) формулага сирпаниш  $s = 1$  қўйилади, натижада қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$M_{i,t} = (p m_1 U_1^2 r_2') / [(r_1 + c_1 r_2')^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2]. \quad (12.13)$$

Бундаги ўрта қавс ичидаги қаршиликлар  $r_{qt}^2 + x_{qt}^2 = z_{qt}^2$  эканлигини ҳисобга олиб ишга тушириш моментининг куйидаги ифодасини оламиз:

$$M_{i,t} = (p m_1 U_1^2 r_2') / (2\pi f_1 \cdot z_{qt}^2) = p m_1 / (2\pi f_1) \cdot I_{i,t}^2 \cdot r_2', \quad (12.14)$$

бунда  $I_{i,t}$  – сирпаниш  $s=1$  бўлгандаги ишга тушириш токи.

(12.14) дан кўринишича, моторнинг ишга тушириш momenti асосан ишга тушириш токининг квадрати  $I_{i,t}^2$  га мутаносиб бўлар экан. Ундан ташқари зарурат туғилганда қисқа туташган роторлида «олмахон катаги» типидagi чулғамни қаршилиги оширилиши мумкин бўлган махсус конструкцияда ишлаб чиқариш, фаза роторлида эса ротор чулғамига қўшимча актив қаршилик улаш йўли билан ишга тушириш моментини ошириш мумкин экан.

Стандартнинг талаби бўйича асинхрон мотор номинал юкда ишга тушиши учун қуйидаги шарт бажарилиши, яъни ишга тушириш моментининг қарралиги  $k_{i,t} = M_{i,t} / M_{max} \geq 1$  бўлиши керак.

**Механик тавсифни каталог қийматлари ёрдамида қуриш.** (12.7) ва (11.28) формулаларга асосан асинхрон моторнинг электромагнит momenti куйидагига тенг:

$$M = P'_{e2} / (\omega_1 s) = m_2 \cdot I_2^2 \cdot r_2 / (\omega_1 s) = m_2 \cdot s E_2^2 \cdot r_2 / [\omega_1 (r_2^2 + s^2 x_2^2)]. \quad (12.15)$$

Мотор валидаги механик юкнинг ўзгариши билан магнит оқим ўзгармай-ди, шу сабабли  $E_2 \approx \text{const}$  деб ҳисоблаш мумкин. (12.8) формуладан топилган моментдан сирпаниш бўйича биринчи ҳосила олгандан кейин, уни 0 га тенг-лаб ( $dM/ds = 0$ ), критик сирпаниш  $s_{kr}$  ни топиш мумкин, яъни  $s_{kr} = \pm r_2 / x_2$ . У ҳолда максимал момент куйидагига тенг бўлади:

$$M_{max} = \pm m_2 E_2^2 / (2\omega_1 x_2). \quad (12.16)$$

(12.15) ни (12.16) га бўлиб ихчамлаштиришдан кейин нисбий бирлик-ларда ҳисоблашга қулай бўлган куйидаги соддалашган формулага эга бўламиз:

$$M / M_{max} \approx 2 / (s_{kr}/s + s/s_{kr}). \quad (12.17)$$

Бу формулани *Клосс формуласи* дейилади ва у баъзан амалиётда тах-миний ҳисоблар учун қўлланилади.

(12.17) формула бўйича ҳисоблашда аниқлик паст бўлади, чунки статор чулғамидаги кучланиш пасайишини ҳисобга олмайди. Аммо асинхрон мотор-нинг битта режимини текширишда, яъни сирпанишнинг кичик қийматларида ( $s = 0$  дан  $s_{kr}$  гача) магнит оқим жуда кам ўзгаради ва бу формула амалиётда дастлабки таҳлил учун тезкор натижани беради.

**Асинхрон моторнинг тургун ишлаш шартлари.** Мотор ишининг тур-ғунлиги деб валидаги механик юкнинг қисқа муддат ичида кескин ошиши ва статор чулғамига берилаётган тармоқ кучланиши қийматининг камайишида барқарор айланиш частотасини тиклай олиш қобилиятига айтилади.

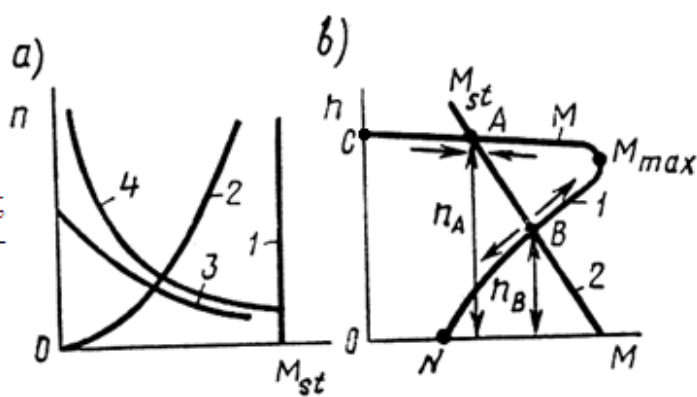
Механикадан маълумки, мотор роторига қўйилган моментларнинг муво-занат тенгламаси куйидагича ёзилади:

$$M = M_{st} - J \cdot d\omega / dt, \quad (12.18)$$

бу ерда:  $M$  – моторнинг электромагнит momenti;  $M_{st} = M_0 + M_2$  – валдаги тес-қари таъсир этувчи статик момент;  $J \cdot d\omega / dt$  – айланувчи массалар инерцияси

$J$  ва роторнинг тезланиши  $d\omega / dt$  ларга боғлиқ бўлган *динамик момент*.

Баъзи ишлаб чиқариш механизмларининг механик тавсифлари (а): 1-юк кўтапиш механизмлари (лифт, кран); 2-вентилятор; 3-бетон қориш, тегирмон; 4-тортиш транспорт; б - асинхрон мотор статик тургунлигини аниқлаш учун график



$$M = M_{st} \text{ бўлганда ротор тезланиши } 0 \text{ га тенг:}$$

$$d\omega / dt = (M - M_{st}) / J = 0, \quad (12.19)$$

яъни ротор барқарор частотада айланади. Агар  $M > M_{st}$  бўлса, роторнинг айланиш частотаси тезлашади,  $M < M_{st}$  бўлганда эса – секинлашади.

Турғунлик асинхрон мотор ишлаётган конкрет шартлардан боғлиқ бўлади, хусусан, моторнинг ва у юритаётган ишлаб чиқариш механизмлари механик тавсифларининг ўзгариш шаклига боғлиқ бўлади.

Айланиш частотанинг ошиши билан юк моменти  $M_{st}$  камаядиган (12.4, *b*-расмда, 2 механик тавсиф) ишлаб чиқариш механизмини юритаётган асинхрон моторнинг ишини кўриб чиқамиз. Бу ҳолда  $M = M_{st}$  шarti A ва B нуқталарда айланиш частоталари мос равишда  $n_A$  ва  $n_B$  бўлганда бажарилади. Аммо B нуқтада мотор турғун ишлай олмайди, чунки юк моменти  $M_{st}$  озгина ўзгарганда айланиш частотаси барқарор қийматидан оғиши натижасида бу фарқни оширадиган ортиқча секинлаштирувчи ёки тезлаштирувчи момент  $\pm (M - M_{st})$  вужудга келади. Масалан, тасодифан статик момент  $M_{st}$  ошганда мотор роторининг айланиш частотаси  $n$  камаяди. Машина 1 механик характеристика ( $M_{max} - n_0$  қисми)нинг «B» нуқтасида ишлаганида электромагнит момент  $M$  нинг камайишига, демак,  $M - M_{st}$  айирманинг ошишига олиб келади ва, натижада роторнинг секинлашиши унинг тўла тўхтагунича давом қилади.

Агар статик момент  $M_{st}$  тасодифан камайса, роторнинг айланиши тезлашади ва электромагнит момент яна ошади. Бу жараён механик характеристикаси (1)нинг «A» нуқтасида  $M = M_{st}$  мувозанат ҳосил бўлгуна қадар шундай давом қилади. Бу нуқтада режим турғун бўлади, чунки бу ҳолда тасодифан  $M_{st}$  ошса ва роторнинг айланиш частотаси  $n$  камайса моторнинг электромагнит моменти  $M$  ошиб, юк моменти  $M_{st}$  нинг янги қийматига тенг бўлганда яна барқарор ишлайди, лекин бунда айланиш частота бир оз кам бўлади.

Шундай қилиб, асинхрон мотор механик тавсифнинг  $C - M_{max}$  қисмида ишлаганида ички ўз-ўзини ростлаш хоссасига эга бўлиб, унинг айлантирувчи моменти  $M = M_{st}$  қонуни бўйича автоматик ростланади (бундай ростлаш статик ростлаш системага хос).

*Асинхрон моторнинг турғун ишлаш шартлари қуйидагилардан иборат:*

1. Агар роторнинг айланиш частотаси  $n$  нинг ошишида статик момент  $M_{st}$ , моментнинг айлантирувчи моменти  $M$  га нисбатан секин камайса, моторнинг иши турғун бўлади. Бу шарт қуйидаги тенгсизлик кўринишида ифо-даланади:

$$dM / dn < dM_{st} / dn. \quad (12.20)$$

Бу шарт  $M_{st} = f(n)$  тавсифси камаювчи бўлган барча механизмлар учун бажарилади, демак, сирпаниш  $0 < s < s_{kr}$  ораликда ўзгарганда асинхрон мотор турғун ишлайди. Лекин, шуни таъкидлаш лозимки, ротор чулғамидаги исрофлар сирпанишга мутаносиб бўлади, шу туфайли асинхрон моторнинг иқтисод нуқтаи назаридан нормал иши сирпанишнинг кам қий-матларида бўлишлигидир.

2. Амалий жиҳатдан (12.20) шарт зарурий ҳисобланиб, *лекин етарли эмас*. Асинхрон моторни эксплуатация қилиш жараёнида қисқа муддатли юк моментининг ўзгариши фақат кичик бўлмасдан, унинг иш режимида кескин ўзгарадиган катта қийматли юк моменти ҳам содир бўлиб туради. Бундай ҳолда моторнинг сирпаниши  $s_{kr}$  дан кам бўлиб, лекин унга яқин сирпанишда ишлаётганда тасодифан катта юк қўйилса, унда  $M_{st} > M_{em}$  бўлиб унинг тўхташига олиб келади. Шунинг учун асинхрон моментнинг максимал моментини айрим ҳолларда *барбод қилувчи* (тўнтарувчи) момент дейилади.

Катта ортиқча юкланишларда *мотор ишининг турғунлигини номинал моментни  $M_N < M_{max}$  қилиб танлаш билан таъминланади*. Максимал моментнинг карралиги ёки ўта юкланиш билан ишлаш қобилияти  $k_M = M_{max} / M_N$  стандарт томонидан белгиланади. Умумий мақсадли асинхрон моторлар учун  $k_M = 1,7 \div 2,5$  ораликда бўлади.

3. Асинхрон моторларнинг турғун ишлашни таъминлаш учун электр таъминотининг сифати катта аҳамиятга эгадир. Асинхрон моторнинг айлантирувчи моментини унга берилаётган кучланишнинг квадратига боғлиқ бўлади. Шунинг учун, ҳатто кучланишнинг озгина камайиши ҳам максимал моментга таъсир қилади, кучланиш нисбатан кўпроқ камайганда (масалан,  $U_1 = 0,7 \cdot U_N$  бўлганда) эса моторнинг номинал юк билан ишлаши мумкин бўл-май қолади, чунки бу ҳолда айлантирувчи момент  $M \equiv U_1^2 = 0,49$ , яъни элек-тромагнит момент тахминан 2 марта камаяди ва мотор номинал юкда ишлаши мумкин бўлмай қолади.

### 13-маъруза.

#### Фаза роторли асинхрон мотор айлана диаграммаси. Асинхрон мотор иш тавсифи, ишга тушириш ва айланиш частотасини ростлаш.

##### Режа:

Фаза роторли асинхрон мотор айлана диаграммаси.

Асинхрон мотор иш тавсифи.

Ишга тушириш.

Айланиш частотасини ростлаш.

#### Фаза роторли асинхрон мотор айлана диаграммаси.

**Айлана диаграммасини асослаш.** Асинхрон машина токларининг доиравий диаграммаси сирпанишнинг ҳар қандай қийматида машинанинг иш режимини характерлайдиган барча электромагнит катталикларни билвосита аниқлашга имкон беради.

Асинхрон моторнинг актив ва индуктив қаршиликлари нисбатан ўзгариб туриши мумкин. Бундай моторлар токларининг ўзгариш диаграммаси анча му-раккаб характерга эга бўлади. Лекин асинхрон моторнинг тавсифлари тўғрисида дастлабки маълумотларга эга бўлиш учун токларнинг содалашган доиравий диаграммасидан фойдаланиш амалий аҳамиятга эга.

Қуйида параметрлари ўзгармас деб ва ўзгарувчан катталиклар (кучланиш, ток, МЮК ва бошқ.)нинг ўзгариши синусоидал шаклда деб тахмин қилинган асинхрон моторнинг содалашган доиравий диаграммаси қуриш тартиби билан танишамиз. Бундай моторлар статор ва ротор токларининг ўзгариш диаграммаси айлана шаклда бўлгани учун уни **токларнинг доиравий диаграммаси** дейилади.

Мазкур диаграмма асинхрон моторнинг содалашган Г-симон алмаштириш схемаси асосида қурилади. Бу схеманинг магнитланиш шо-хобчаси параметрлари ўзгармасдир. Ишчи шоҳобча ( $r_2 + jx_2$ ) эса ўзгарувчан параметр ( $r_2$ )га эга. Бу шоҳобча учун диаграммаси кучланишларнинг тўғри бурчакли учбурчаги ABC кўринишида тасвирлаб бериш осон ҳисобланади. Бу учбурчакнинг катетлари:  $\overline{AB} = \underline{U}_L = \underline{I}_2 x_2$  ва  $\overline{BC} = \underline{U}_r = \underline{I}_2 r_2$  – кучланиш  $U_1$  нинг тегишлича реактив ва актив ташкил этувчилари;  $\overline{AC} = \underline{U}_1 = \underline{U}_r + j\underline{U}_L$  – моторга берилган кучланиш (13.1, b-расм). ABC учбурчакнинг ҳар битта томо-нини  $x_2$  га бўлиб НДС учбурчагини ҳосил қиламиз. Бунда  $\overline{HD}$  катет  $-\underline{I}_2$  ток векторини тасвирлайди. Бу векторга ординаталар ўқининг мусбат йўналишида  $\varphi_2 = \arctg(x_2 / r_2)$  бурчак остида  $\underline{U}_1$  кучланиш векторини қўямиз.

Агар актив қаршилиқ  $r_2$  ўзгартирилса, унда занжирдаги ток ҳам ўзгара-ди, учбурчакнинг катетлари янги ҳолатни ( $\overline{HD}_1$  ва  $\overline{D}_1\overline{C}$ ) эгаллайди, лекин учбурчакнинг  $\overline{AC} = U_1 / x_2$  гипотенузаси ўзгармай қолади.

Шундай қилиб, электр занжири (ишчи шоҳобча)нинг янги иш режими диаграммада  $D_1$  нуқтанинг ҳолати билан аниқланади. Агар актив қаршилиқ  $r_2$  ни кенг кўламда (0 дан  $\infty$  гача) ўзгартирилса, унда  $-\underline{I}_2$  ток вектори диаграмма-

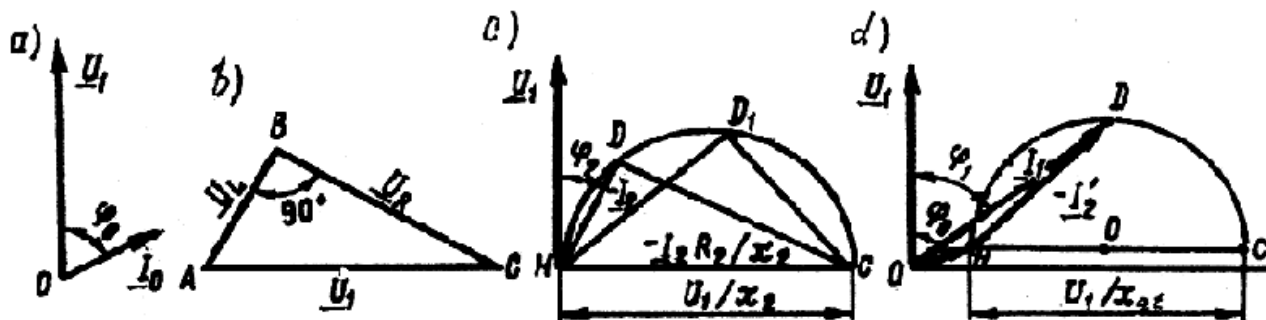
да ҳар хил ҳолатни эгаллайди ва  $U_1 / x_2$  диаметрли айланани тасвирлайди.

Агар актив қаршилиқ  $r_2 = 0$  (соф индуктив юклама) бўлса D нуқта C

нуктанинг устига тушади. Актив қаршилик  $r_2 = \infty$  бўлганда ток  $I_2 = 0$  ва шу сабабли D нукта C нуктанинг устига тушади. Агар актив қаршилик  $0 < r_2 < \infty$  ораликда бўлса  $-I_2$  ток векторининг учи НДС айланада ҳар хил ҳолатни эгаллайди.

Агар *a* ва *b*-расмларда кўрсатилган диаграммалар бирга қўшилса Г-симон алмаштириш схеманинг (асинхрон моторнинг деса ҳам бўлади) доиравий диаграммаси ҳосил бўлади (*d*-расм).  $I_0$  ва  $-I_2$  ток векторларини қўшиб статор токи  $I_1$  векторини оламиз. Бу вектор кучланиш вектори  $U_1$  га нисбатан фаза бўйича  $\varphi_1$  бурчакка силжиган. Доиравий диаграмма токлари айланасининг диаметри  $\overline{HC} = (U_1 / x_{qt}) / m_i$ , бу ерда  $m_i$  – ток масштаби, A/мм.

Агар диаграммани куриш моторни ҳисоблашда амалга оширилса, унда зарурий



13.1-расм. Асинхрон моторнинг доиравий диаграммасини асослашга доир чизмалар

параметрлар ҳисоблаш жараёнида аниқланади. Агарда доиравий диаграммани тайёр мотор учун куриш керак бўлса, унда диаграмманинг дастлабки параметрларини аниқлаш учун **юксиз ишлаш ва қисқа туташув тажрибалари** натижаларидан фойдаланиш зарур бўлади.

Бу диаграммани юксиз ишлаш ва қисқа туташув тажрибаларидан олинган қийматлар ёрдамида куриш энг содда усул ҳисобланади.

### Асинхрон мотор иш тавсифи.

$U_1 = \text{const}$  ва  $f_1 = \text{const}$  шартлар таъминланган ҳолда роторнинг айланиш частотаси  $n$ , сирпаниши  $s$ , статор токи  $I_1$ , фойдали моменти  $M_2$ , қувват ко-эффиценти  $\cos\varphi$  ва ФИК  $\eta$  ларни валдаги юк (фойдали қувват)  $P_2$  ни ўзгартириб олинган  $n$ ,  $s$ ,  $I_1$ ,  $M_2$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\eta = f(P_2)$  боғлиқликка асинхрон моторнинг **иш тавсифлари** дейилади (13.4-расм).

Моторнинг валидаги юк ошиши билан сирпаниш  $s$  ўсиб боради. Номинал юкламада сирпаниш  $s_N = 1,5 \div 5\%$  ни ташкил қилади. Роторнинг айланиш частотаси (11.1,*a*) дан қуйидагига тенг бўлади:

$$n = n_1 \cdot (1 - s) = 60 f_1 \cdot (1 - s) / p. \quad (13.3)$$

Юклама ошиши билан сирпаниш  $s$  ортади, натижада роторнинг айланиш частотаси  $n$  бир оз камаяди.

Асинхрон моторнинг номинал юк билан ишлагандаги фойдали моменти:

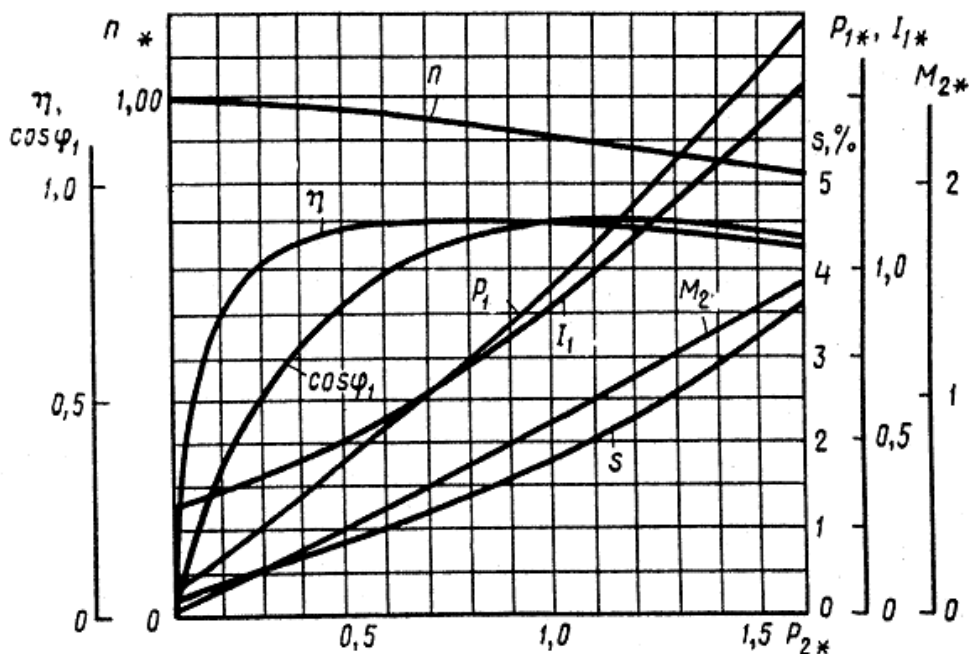
$$M_{2N} = 9,55 \cdot P_{2N} / n_N, \quad [N \cdot m]. \quad (13.4)$$

Агарда  $n = \text{const}$  бўлганда  $M_2 = f(P_2)$  боғланишнинг графиги деярли тўғри чизик бўларди. Лекин юклама ортиши билан  $n$  бир оз камаяди, шу сабабли юкломанинг ортиши билан момент  $M_2$  фойдали қувват  $P_2$  га қараганда тезроқ ўсади ва унинг ўзгариши юқорига оған эгри чизикдан иборат бўлади.

Моторнинг валидаги юк ошиши билан статор токи  $I_1$  нинг актив ташкил этувчиси ошиб боради. Кучланиш  $U_1 = \text{const}$  бўлганлигидан ток  $I_1$  нинг реак-тив ташкил этувчиси  $I_{1r}$  эса бир хилда қолади. Шунинг учун ҳам турли юкла-маларда моторнинг магнит оқими деярли ўзгармайди. Шу сабабли  $I_1 = f(P_2)$  боғланиш деярли бир хилда қолади.

Мотор кичик юк билан ишлаганда статор токи таркибидаги реактив ток, актив ташкил этувчисига нисбатан катта бўлади. Шу сабабли моторнинг қувват коэффициентлари кичик ( $0,1 \div 0,2$ ) бўлади. Юкламанинг ортиши билан токнинг актив ташкил этувчиси орта боради. Бунда кучланиш  $U_1$  ва мотор токи  $I_1$  векторлари орасидаги бурчак кичиклашиб,  $\cos\varphi$  эса ўсиб боради. Моторнинг валидаги юк номинал қийматга яқинлашганда  $\cos\varphi_1$  катта қийматга эришади ( $\cos\varphi_1 = 0,8 \div 0,85$ ). Юкламанинг янада ортиши натижасида роторнинг айланиш частотаси  $n$  камаёди, сирпаниш  $s$  ва роторнинг индуктив қарши-лиги  $x_2$  лар ортиши туфайли  $\cos\varphi_1$  бир оз камаёди.

ФИКнинг ўзгариши худди бошқа электр машиналариники ёки трансформаторники сингари бўлади. Юксиз ишлашда ФИК  $\eta = 0$ . Юкламанинг ортиши билан  $\eta$  ошиб боради ва ўзгармас исрофлар (юкламага боғлиқ бўлмаган механик ва юксиз ишлаш исрофлари) ўзгарувчан исрофларга (юкламага боғлиқ равишда ўзгарадиган чулғамлардаги электр ва қўшимча исрофлар) тенг бўлганда ўзининг катта қийматига эришади ва юкламанинг янада ортиши



Номинал қийматлари 50 kW, 220/380 V, 1470 ай/мин бўлган қисқа туташган роторли асинхрон моторнинг ишчи тавсифлари

натижасида ўзгарувчан исрофларнинг ошиши туфайли ФИК  $\eta$  бир оз камаёди.

### Ишга тушириш.

Асинхрон мотор ишга туширилганда, қуйидаги *асосий талаблар* бажарилиши лозим:

Моторни ишга тушириш мумкин қадар осон ва қўшимча қурилмаларсиз бажарилиши лозим, ишга тушириш моменти етарли даражада катта, ишга тушириш токи эса мумкин қадар кичик бўлиши лозим.

Уч фазали асинхрон моторларни ишга туширишда амалда *қуйидаги усуллар* қўлланилади. Статор чулғамларини тўғридан-тўғри тармоққа улаш, статор чулғамига пасайтирилган кучланиш бериб ва ротор чулғамига реостатни улаб ишга тушириш (охиргиси фаза роторли моторларда).

**Тўғридан-тўғри тармоққа улаб ишга тушириш.** Кичик ва ўрта қувватли қисқа туташган роторли асинхрон моторлар ана шундай усул билан ишга туширилади. Бунда моторнинг статор чулғами етарли даражадаги қувватга эга бўлган электр тармоғига магнит ишга туширгич ёки оддий улагич ёрдамида қўшилади ва унинг тезлиги табиий

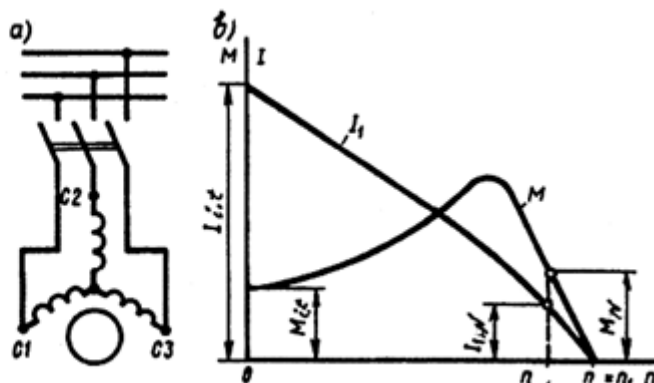
механик тавсифси бўйича ўсиб боради. Ишга тушириш momenti  $M_{i,t}$  қуйидагича топилади (ишга тушириш пайтида  $s = 1$  бўлади):

$$M_{i,t} = (m_1 U_1^2 \cdot r'_2) / \{ \omega_1 [(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_2)^2] \}. \quad (14.1)$$

Ишга тушириш токи  $I_{i,t}$  анча катта бўлса ҳам мотор учун хавфли бўлмайди, чунки ишга тушириш қисқа вақт ичида кечади.

Ишга тушириш токининг номинал токдан  $5 \div 7$  марта катта бўлиши ва ишга тушириш моментининг унча катта бўлмаслиги бу усулнинг камчилиги ҳисобланади.

Қисқа туташган роторли асинхрон моторни тўғридан-тўғри тармоққа улаб ишга тушириш схемаси (а) ва бунда ток ва айлантирувчи момент вақтга нисбатан ўзгариш графиги

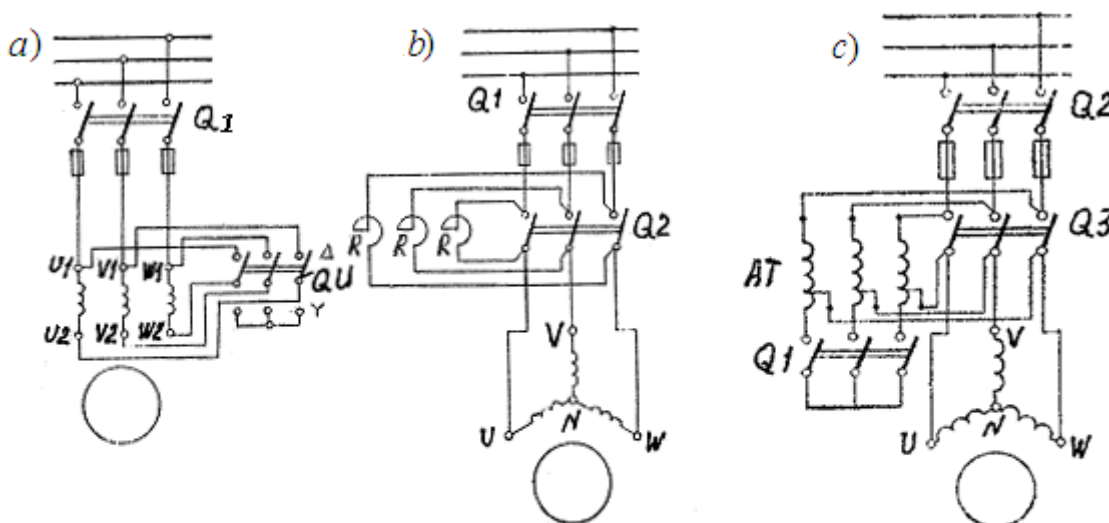


Моторнинг статор чулғамини тўғридан-тўғри электр тармоғига улаб ишга тушириш юқоридаги камчиликларга эга бўлишидан қатъий назар, у содда, арзон ва энергетик кўрсаткичлари ( $\eta, \cos\phi_1$ ) каттадир.

**Тармоқ кучланишини пасайтириб ишга тушириш.** Бундай усул билан қуввати катта бўлган қисқа туташган роторли асинхрон моторлар ишга туширилади. Тармоқ кучланишини пасайтириш усуллари қуйидагидан иборат:

**а) статор чулғамини юлдуз усулидан учбурчак усулига ўтказиш йўли билан ишга тушириш.** Асинхрон моторни бунда статор чулғами фазаларига берилаётган кучланиш  $\sqrt{3}$  марта камаяди, худди шунингдек фаза тоқлари ҳам  $\sqrt{3}$  марта камаяди. Линия тоқлари эса 3 марта камаяди. Статор чулғамлари-нинг уланиш схемасини ўзгартириш 3 фазали контактор ёки улагич ёрдамида амалга оширилади (14.2,а-расм).

**б) асинхрон моторни реактор ёрдамида ишга тушириш.** Бундай усул билан ишга туширишда (14.2,б-расм) реактив қаршиликларда ишга тушириш тоқига тўғри мутаносибликда бўладиган кучланиш пасайиши  $\Delta U$  вужудга келиб, статор чулғамларига пасайган кучланиш  $U_{1pas}$  берилади. Бу кучланишнинг қиймати қуйидагича топилади:



Тармоқ кучланишини пасайтириб ишга тушириш схемалари: статор чулғамини юлдуз улаш схемасидан учбурчак улаш схемасига ўтказиш билан ишга тушириш (а); статор чулғамига реактор R (реактив қаршилиқ) улаб (б) ва автотрансформатор (АТ) ёрдамида (с) ишга тушириш



$$\underline{U}_{1pas} = \underline{U}_1 - j I_1 x_r, \quad (14.2)$$

бунда  $x_r$  – ишга тушириш реактив қаршилиги.

Бу кучланиш таъсирида моторнинг ротори айлана бошлайди. Моторнинг айланиш частотаси ошиб борган сари ротор чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК  $\underline{E}_{2s}$  камайиб боради, натижада ишга тушириш токи ҳам камаяди.

Статор чулғамлари билан кетма-кет уланган қаршиликларда кучланиш пасайиши  $\Delta U$  камаяди ва моторнинг айланиш частотаси ошган сари унга бе-рилаётган кучланиш  $U_1$  автоматик равишда кўпайиб боради. Сўнгра Q2 улагич уланади ва моторга тармоқ кучланиши  $U_1$  берилади, бунда мотор номинал кучланиш билан ишлайди.

**в) асинхрон моторни автотрансформатор ёрдамида ишга тушириш (14.2,b-расм).** Дастлаб Q3 улагичнинг уланган ҳолатида Q1 улагич қўшилади. Бунда моторнинг статор чулғамига автотрансформатордан пасайтирилган кучланиш ( $U_{1pas}$ ) берилади.

Бунда моторнинг дастлабки  $M_{i,t}$  моменти қуйидагича топилади:

$$M_{i,t} = M_{i,t.N_N} (U_1 / U_{1N})^2. \quad (14.3)$$

Ишга тушириш токи камаяди ва у қуйидаги формула бўйича аниқланади

$$I_{i,t} = I_{i,t.N_N} (U_1 / U_{1N})^2. \quad (14.4)$$

Роторнинг айланиш частотаси ошгандан кейин Q3 улагич узилади ва Q2 улагич уланади. Шу тариқа статор чулғамига тармоқнинг тўла кучланиши бе-рилади. Демак, автотрансформатор ёрдамида тармоқнинг кучланиши (0,55 ÷ ÷0,73)  $U_{1N}$  гача пасайтирилар экан. Тармоқ кучланишини пасайтириб асин-хрон моторларини ишга туширишнинг юқорида кўриб ўтилган усулларида

ишга тушириш токи ва моментининг кичиклиги *уларнинг камчилигидир.*

**Фаза роторли асинхрон моторларни ишга тушириш.** Фаза роторли асинхрон моторлар махсус уч фазали ишга тушириш реостати ёрдамида ишга туширилади. Ишга тушириш токи қуйидаги формула билан аниқланади:

$$I_{i,t} = U_1 / \sqrt{(r'_{i,t} + r'_2 + r_1)^2 + (x_1 + x'_2)^2}. \quad (14.5)$$

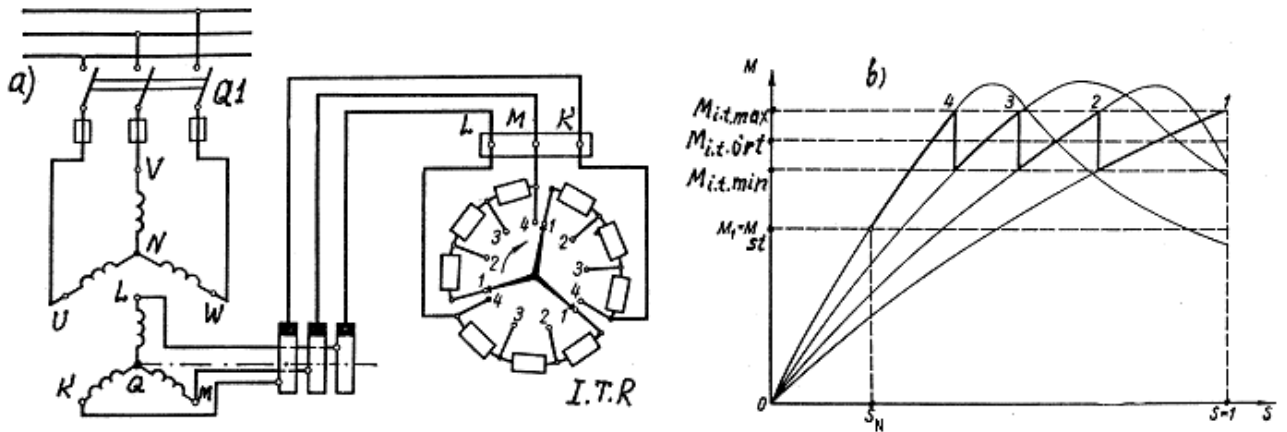
Ишга тушириш реостати ротор чулғамига кетма-кет уланади (14.3-расм).

Унинг ёрдамида ротор чулғамининг актив қаршилиги оширилиб, ишга туши-риш токи камайтиради, моменти эса оширилади.

Дастлаб мотор 1-ха-рактеристика бўйича ишга туширилади. Бу ҳолда иш-га тушириш реостатининг қаршилиги  $r_{i,t} = r_1 + r_2 + r_3$  бўлиб, айлантирувчи мо-мент максимал моментга тенг бўлади ( $M = M_{max}$ ).

Моторнинг айланиш частотаси ошиб борган сари айлантирувчи момент  $M$  ҳам кама-я боради ва  $M_{i,t,min}$  моментдан кичик ( $M < M_{i,t,min}$ ) бўлади.  $M = M_{i,t,min}$  бўлганда ишга тушириш реостатининг бир қисми ( $r_1$ ) схемадан чиқарилади. Бунда айлантирувчи момент бирданига  $M_{i,t,max}$  қийматга эриша-ди, сўнгра айланиш частотасининг ошиши билан 2-тавсиф бўйича ўзгаради. Бу ҳолда ишга тушириш реостатининг қаршилиги  $r_{i,t,2} = r_2 + r_3$  бўлади.

Айлантирувчи момент  $M_{i,t,min}$  гача камайиб боради, шу вақтда  $r_2$  қар-шилиқни узадилар, бунда мотор 2-тавсиф бўйича ишлайди. Бунда ишга тушириш реостатининг қаршилиги  $r_{i,t,1} = r_3$  бўлади. Ишга тушириш-нинг охирида ишга тушириш реостати схемадан бутунлай чиқарилади ва шу билан роторнинг чулғамлари қисқа туташтирилади. Бу ҳолда мотор табиий тавсиф (4) бўйича ишлайди (14.3,b-расм).



Фаза роторли асинхрон моторни ишга тушириш схемаси (а) ва ишга тушириш моменти графигини куриш (б)

Фаза роторли моторларни ишга тушириш ва улар тузилишининг мурак-каблиги, қимматлиги ва бошқалар бундай моторларнинг камчилиги ҳисоб-ланади. Шу сабабли фаза роторли моторлар асосан ишга тушириш шароити оғир бўлган механизмларда қўлланилади.

**Айланиш частотасини ростлаш.**

Асинхрон моторларнинг айланиш частотасини ростлаш муаммоси муҳим эксплуатацион аҳамиятга эга. Саноатнинг айрим соҳаларида моторларнинг ростлаш тавсифларига жуда юксак (кенг қўламда ростланиши, бир текис ростланиши ва иқтисодий самарали бўлиши каби) талаблар қўйилади.

Асинхрон моторнинг айланиш частотаси (13.3) формула, яъни

$$n = n_1(1 - s) = 60 f_1(1 - s) / p$$

бўйича аниқланади. Бундан кўринишича, моторнинг айланиш частотасини ростлаш учун унга берилаётган кучланиш частотаси  $f_1$  ни, жуфт кутблар сони «р» ни ва сирпаниш «s» ни ўзгартириш керак экан.

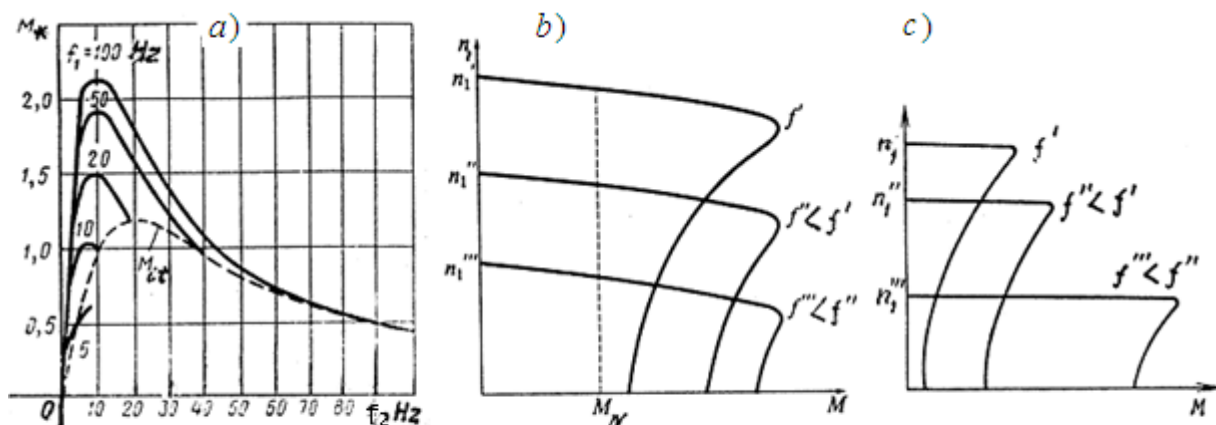
а) **Кучланиш частотасини ўзгартириш йўли билан айланиш частотани ростлаш (частотали ростлаш).** Моторнинг айланиш частотасини бундай усул билан ростлашда ўзгарувчан айланиш частотали синхрон генератор, электр машинали ёки бошқариладиган ярим ўтказгич вентилли (тиристорли) статик частота ўзгартгичлардан фойдаланилади.

Частотали ростлашнинг асосий қонунини биринчи марта академик М.П. Костенко таърифлаб берган ва у қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$U'_1 / U_1 = (f'_1 / f_1) \sqrt{M' / M} , \tag{14.7}$$

бунда:  $U_1$  ва  $M - f_1$  частотадаги кучланиш ва момент;  $U'_1$  ва  $M'$  – ўзгартирилган  $f'_1$  частотага мос келадиган кучланиш ва момент.

(14.7) га биноан, моторнинг ўта юкланиш қобиляти, қувват коэффи-циенти, айлантирувчи момент, фойдали қувват ва ФИКлардан бирини ёки бирнечтасини талаб қилинган қийматда ўзгармас ҳолда сақлаш зарур бўлса, частота  $f_1$  ни ўзгартириш билан бир вақтда статор чулғамига берилаётган кучланиш  $U_1$  қийматини ҳам ўзгартириш шарт экан.



Ток частотасининг хар хил қийматларида мотор айланиш частотасини  $U_1/f_1 = \text{const}$  шarti бўйича ростлашдаги айлантурувчи моменти  $M$  нинг частотаси  $f_2$  га нисбатан ўзгариш графиги (a) ҳамда  $M = \text{const}$  (b) ва  $P = \text{const}$  (c) шартлар бажарилгандаги асинхрон моторнинг механик тавсифлари

Агар моторнинг айланиш частотаси юк моменти ўзгармас ( $M = M' = \text{const}$ ) бўлган шартда ростланса, унда моторга бериладиган кучланишни ток частотасининг ўзгаришига мутаносиб равишда ўзгартириш зарур бўлади, яъни:

$$U'_1 = U_1 \cdot f'_1 / f_1 \quad (14.8)$$

унда моторнинг қуввати айланиш частотанинг кўпайишига мутаносиб равишда ошади. Агар айланиш частотани ростлаш мотор қуввати ўзгармас ( $P_{\text{em}} = M \cdot \omega_1 = \text{const}$ ) бўлган шартда амалга оширилса, унда бериладиган кучланишни куйидаги қонунга мос ўзгартириш керак бўлади:

$$U'_1 = U_1 \cdot \sqrt{f'_1 / f_1} \quad (14.9)$$

Асинхрон моторларнинг айланиш частотасини статор токи частотаси  $f_1$  орқали ростлашда унинг энергетик тавсифлари ўзгармасдан қолиши ва айланиш частотанинг бир текис ростланиши унинг афзаллиги бўлса, бу усулнинг мураккаблиги ва қимматлиги эса унинг жиддий камчилигидир.

**б) Моторнинг айланиш частотасини жуфт кутблар сонини ўзгартириш билан ростлаш.** Моторнинг айланиш частотаси жуфт кутблар сони-га тесқари мутаносибда ўзгаради. Жуфт кутблар сони статор чулғамининг уланиши ва чулғам қадамига боғлиқ бўлади.

14.7-расмда статор чулғамининг кутблар сонини ўзгартиришнинг энг оддий схемаси келтирилган. Бу схема бўйича статор чулғамининг кутблар сони икки марта ўзгаради. Бунда статор чулғамининг хар бир фазаси иккига бў-линиб, кетма-кет уланишдан параллел уланишга ўтказилади.

1 ва 2, 3 ва 4-ғалтакларнинг параллел уланиши кутблар сонини икки марта камайтириб, моторнинг айланиш частотасини икки марта оширади. Агарда моторнинг айланиш частотасини уч ёки тўрт қарра ошириш керак бўлса, у ҳолда статорга қўшимча яна битта чулғам жойлаштирилади.

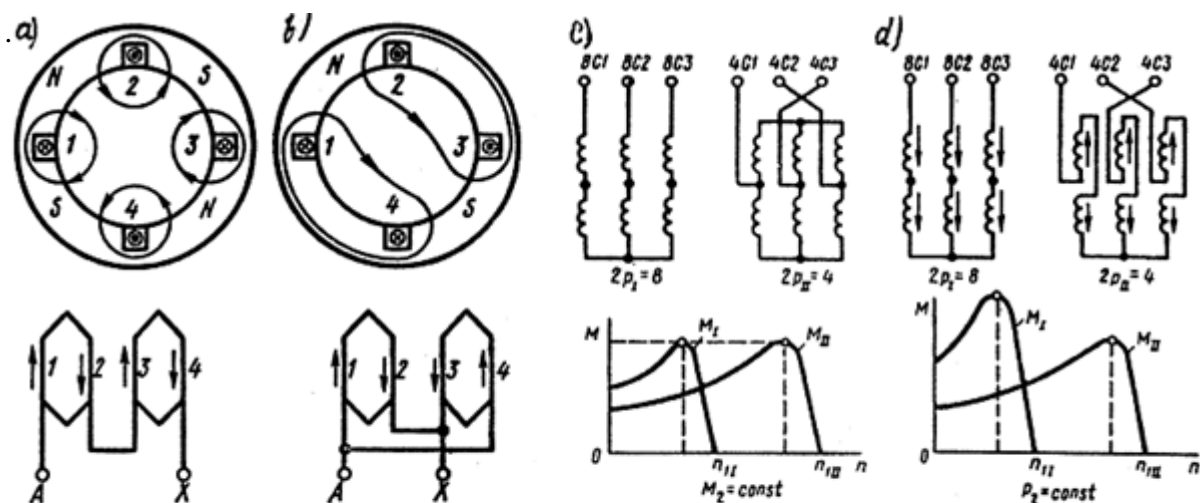
Кутблар сони ўзгартирилиб, айланиш частотаси ростланадиган асинхрон моторларни **кўптезликли моторлар** дейилади. Бундай моторларнинг ротори қисқа туташган бўлади. 14.7-расмда статор чулғами кутблар сони 2:1 ва 8:4 нисбатларга ўзгарадиган схемалар кўрсатилган. Бу расмдаги «с» схема  $M_2 = \text{const}$ , «d» схема эса  $P_2 = \text{const}$  ҳоллар учун кутблар сонини ўзгартиради ва моторнинг шу режимларга мос бўлган механик тавсифлари кўрсатилган.

Катта ўлчамга эга бўлиш ва таннархининг қимматлиги кўп тезликли моторларнинг камчиликлари ҳисобланади. Бундан ташқари моторнинг айланиш частотасини  $f = 50 \text{ Hz} = \text{const}$  бўлганда ростлаш бир текис бўлмай поғонали бўлади ва моторнинг жуфт кутблар

сони  $p = 1; 2; 3; 4$  ларда статор чулғами ҳосил қилган айланма магнит майдони  $n_1$  нинг айланиш частотаси  $3000: 1500: 1000 : 750$  нисбатда ўзгаради.

в) Сирпанишни ўзгартириш йўли билан асинхрон моторнинг айланиш частотасини ростлаш. Сирпаниш  $s$  ни ўзгартириш учун статор чулғамига бериладиган кучланишни (12.5,a-расм), уч фазали кучланиш симметриклигини (14.8-расм) ва ротор занжирининг актив қаршилигини ўзгартириш (12.5,b-расм) керак бўлади.

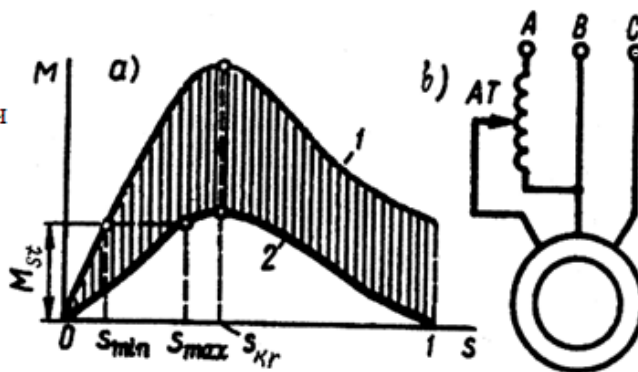
Моторга бериладиган уч фазали кучланиш симметриклигини ўзгартириш учун унинг битта фазасига автотрансформатор улаб шу фазанинг кучланиш қиймати ўзгартирилади. Бу ҳолда тескари майдон ҳам вужудга келиб, натижа-вий электромагнит момент ( $M = M_{to'g'} - M_{tes}$ ) камаяди; бу эса сирпаниш  $s$  ни ўзгартиради (14.8-расм). Айланиш частотани ростлашнинг бу усули фақат кам қувватли асинхрон моторларда қўлланилади.



Статор фаза чулғамининг қутблар сонини ўзгартириш учун қайта улаш схемаси: а)  $2p = 4$  да ва б)  $2p = 2$  да уч фазали асинхрон мотор қутблар сонини қайта улаш схемалари ҳамда айлантирувчи моменти  $M = const$  (с)

в) Ротор занжирига реостат улаб асинхрон моторнинг айланиш частотасини ростлашда (12.5,b-расмга қаранг) айланиш частота бир текис ва кенг кўламда ўзгартирилади. Бу усул билан амалиётда айланиш частота кичик оралиқларда ўзгартирилиши мумкин, чунки ротор занжирдаги қўшимча қаршилик оширилганда ротордаги электр исрофлар ошиб кетади.

Асинхрон моторга берилган уч фазали кучланиш тизими симметриклигини ўзгартириб айланиш тезлигини ростлашда механик тавсиф



14-маъруза.

Асинхрон генератор, ундаги электромагнит жараёнлар ва тавсифлари. Асинхрон машиналарнинг замонавий сериялари ва махсус турлари.

**Режа:**

Асинхрон генератор, ундаги электромагнит жараёнлар ва тавсифлари.

Асинхрон машиналарнинг замонавий сериялари ва махсус турлари.

### Асинхрон генератор, ундаги электромагнит жараёнлар ва тавсифлари

Асинхрон машина, бошқа электр машиналари каби, Э. Ленц кашф қилган электр машиналарининг қайтарлик хоссасига биноан, мотор режимда ҳамда генератор режимда ишлаши мумкин. Конструктив бажарилиши бўйича асинхрон генератор асинхрон мотордан фарқ қилмайди. Мотор режимдан генератор режимга ўтказиш учун, статор чулғами тармоққа уланган ҳолда бирламчи мотор ёрдамида асинхрон машинанинг роторини статор майдонининг айланаётган томонига айланиш частотасини майдон айланиш частотасидан катта ( $n > n_1$ ) қилиб айлантирилади. Бу ҳолда машинанинг сирпаниши

$$(-s) = (n_1 - n) / n_1 \quad (15.1)$$

манфий ишорага эга бўлади. Амалда асинхрон генераторнинг нормал иш режимида  $(-s) \leq (6 \div 8) \%$  бўлади.

Асинхрон машина генератор режимда статор ва ротор чулғамининг ўт-казгичлари айланувчи магнит майдон билан гўё қарама-қарши йўналишда кесишадилар. Мотор режимда мазкур ўтказгичлар мос йўналишда кесишадилар. Шу сабабли генераторнинг вектор диаграммасида  $\underline{E}_{2s}$  (демак,  $\underline{E}'_{2s}$  нинг ҳам) ва  $\underline{E}_1$  векторларининг йўналишлари шартли равишда тескари фазада қўйилиши керак.

*Ротор токи.* Ротор токининг умумий ифодаси:

$$I_2 = E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2} \quad (15.2)$$

Ротор токининг актив ташкил этувчиси

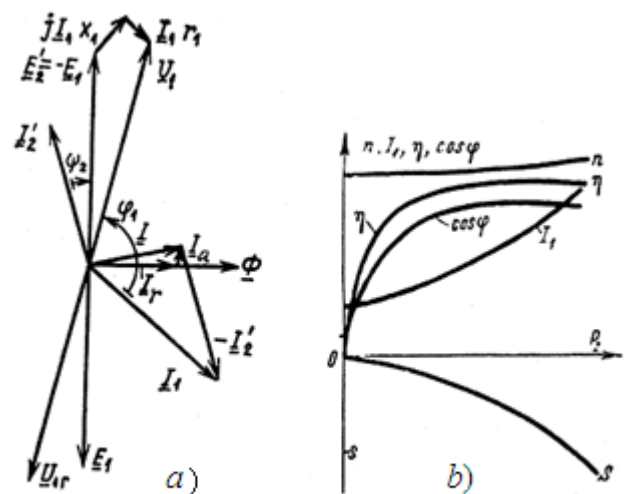
$$\begin{aligned} I_{2a} &= I_2 \cos \psi_2 = (E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}) \cdot (r_2 / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}) = \\ &= (E_2 \cdot (-s) \cdot r_2) / (r_2^2 + s^2 x_2^2) \end{aligned} \quad (15.3)$$

Ўзининг ишорасини ўзгартиради, чунки сирпанишнинг ишораси манфий  $(-s)$ ; ротор токининг реактив ташкил этувчиси эса

$$\begin{aligned} I_{2r} &= I_2 \sin \psi_2 = [E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}] \cdot [x_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}] = \\ &= (E_2 \cdot s \cdot x_2) / (r_2^2 + (-s)^2 x_2^2) \end{aligned} \quad (15.4)$$

ининг ишорасини ўзгартир-майди (яъни мотор режимидаги каби бўлади), чунки  $(-s)^2$  – мусбат катталиқ. Ротор токи актив ташкил этувчиси  $I_{2a}$  нинг ўз ишорасини ўзгартириши, электромагнит моментнинг ишорасини ўзгартиради, демак, у тормозловчи момент бўлади, реактив ташкил этувчиси  $I_{2r}$  нинг ўз ишорасини сақлаб қолиши, мотор режимидаги сингари, магнит майдонни ҳосил қилиш учун машина тармоқдан магнитловчи токни олади.

Асинхрон генераторнинг вектор диаграммаси 15.1,а-расмда кўрсатилган. Бундан кўринишича, генератор режимда бурчак  $\varphi_1 > \pi/2$  ва, демак,



Асинхрон генераторнинг вектор (а) диаграммаси ва ишчи(б) тавсифлари

$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 < 0$ . Бу эса актив қувватнинг истеъмол қилинишини эмас, балки тармоққа берилишини кўрсатади. Вектор диаграммада статор токи  $\underline{I}_1$  (11.19) тенгламалар системасидаги асинхрон машина тоқларининг мувозанат тенгламасидан топилади, яъни:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + (-\underline{I}'_2),$$

кучланиш  $\underline{U}_1$  ҳам (11.19) даги кучланиш ва ЭЮК лар мувозанат тенгламасидан аниқланади, яъни:

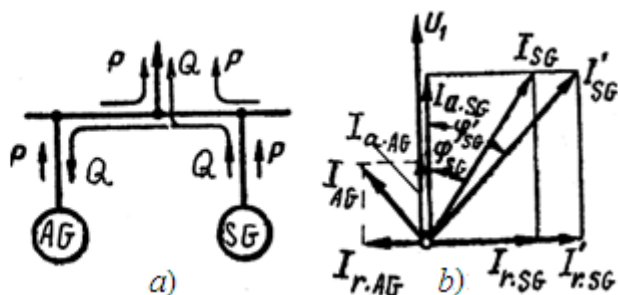
$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + j\underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1.$$

Вектор  $\underline{U}_1$  тармоқ кучланишини ифодалайди. Тармоқ кучланишини муво-занатловчи генератор кучланишининг вектори  $\underline{U}_{1G}$  қарама-қарши йўналишга эга бўлади, яъни  $\underline{U}_{1G} = -\underline{U}_1$ . Генераторнинг тармоққа берадиган актив қувватини ростлаш роторнинг бурчак тезлигини ўзгартириш орқали эришилади. Асинхрон генераторнинг иш тавсифларини (15.1, b-расм) доиравий диаграммадан ёки алмаштириш схемасидан аниқлаб қуриш мумкин. Юкламанинг ошиши билан кучланиш  $\underline{U}_{1G} = \text{const}$  қилиш учун роторнинг айланиш частотаси  $n$  оширилади.

#### Асинхрон генераторнинг электр тармоғи билан параллел ишлаши.

a-расмда асинхрон генераторнинг синхрон генератор билан параллел ишлаш схемаси кўрсатилган. Бунда машиналар ва тармоқ орасида, ҳамда ўз-аро машиналар орасида актив (P) ва реактив (Q) энергияларнинг йўналиши стрелкалар билан кўрсатилган. 15.2, b-расмда синхрон генератор иш режимига асинхрон генераторнинг салбий таъсири яққол тасвирланган. Кучланиш вектори  $\underline{U}_1$  ни синхрон генератор (СГ) билан умумий юклага параллел ишлалаётган асинхрон генератор (АГ) нинг кучланиши  $\underline{U}_{1G}$  деб ҳисоблаш керак. Бундай изоҳлашда  $\underline{U}_{1G}$  векторини асинхрон машинанинг статор

Асинхрон ва синхрон генератор ларнинг параллел ишлаши (a) ва асинхрон генераторнинг вектор диаграммаси (b).

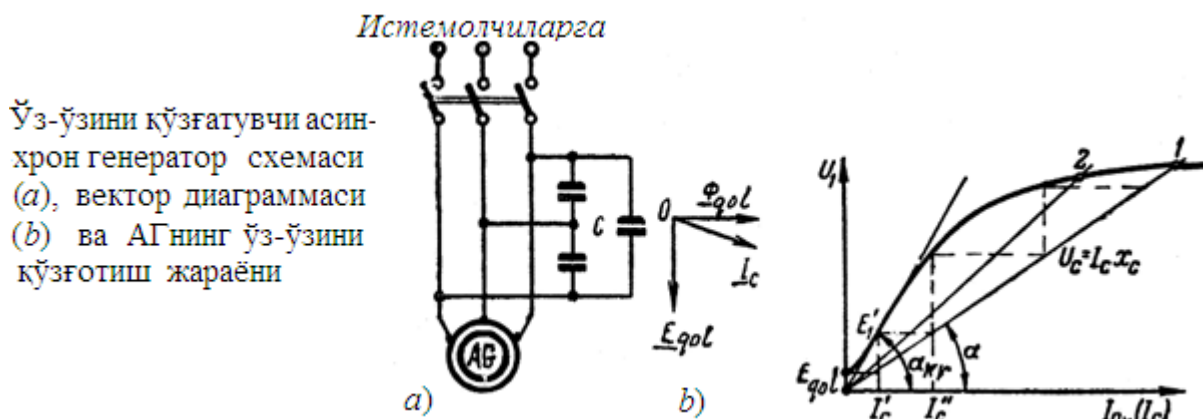


чулғамига берилган тармоқ кучланиши вектори  $\underline{U}_1$  га нисбатан  $180^\circ$  га буриш керак, ва бу ҳолда АГ нинг ток вектори  $\underline{I}_{AG}$  кучланиш вектори  $\underline{U}_1$  дан олдин келади (15.2, b-расм). АГ да  $\underline{U}_1$  дан олдин келадиган токнинг реактив ташкил этувчиси  $\underline{I}_{r,AG}$  мавжудлигидан СГ да ҳам шундай ток бўлиб, бу вектор эса куч-ланиш вектори  $\underline{U}_1$  дан орқада қолган бўлади. Шу сабабли бурчак  $\varphi'_{SG} > \varphi_{SG}$  бўлиб, натижада,  $\cos \varphi'_{SG}$  нисбатан камаяди (бу ерда  $\varphi_{SG}$  – АГ уланмаган ҳолдаги СГ нинг кучланиш  $\underline{U}_{SG} = \underline{U}_1$  ва ток  $\underline{I}_{SG}$  векторлари орасидаги сил жиш бурчаги).

АГ ни қўзғатиш учун тармоқдан реактив энергиянинг олинishi унинг камчилиги ҳисобланади, чунки у энергия манбаси бўлиб ишлаганда, истеъмолчиларга актив энергия билан бир қаторда реактив энергия ҳам бериши (масалан, трансформатор ва асинхрон моторларда магнит майдонни ҳосил қилиш учун) керак бўлади. Шу сабабли АГ лар айрим ҳолларда кам қувватли ГЭС ва шамол электр станцияларида ишлатилади. Таъкидлаш лозимки, сўнгги илмий изланишлар натижаларининг кўр-сатишича, электр энергетика системасида катта қувватли АГ синхрон генераторлар билан параллел ишлатилганда кам частотали тебранишларни сўнди-ришда аҳамиятли эканлиги исботланган.

**Электр тармоғига уланмаган асинхрон генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиши.** Бундай режимда АГ ни қўзғатиш ротор ўзагидаги қолдиқ магнит майдони ва статор чулғамига уланадиган конденсаторлар ёрдамида амалга оширилади (15.3,а-расм).

АГ нинг статор чулғамига конденсатор С уланганлигидан ток  $I_r = I_c$  унинг кучланишига нисбатан олдин келади (15.3,б-расм). Агар қолдиқ магнит оқим ( $\Phi_{qol}$ ) бўлса, ротор айланганда статор чулғамида кам миқдордаги  $E_{qol}$  ҳосил бўлади (15.3,с-расм). Унинг таъсиридан «статор чулғами–конденсаторлар»



занжирида кучланиш вектори  $\underline{U}_1$  дан олдин келувчи реактив ток  $I_c$  вужудга келади. Бу токнинг реактив ташкил этувчиси  $I_r$  оқим  $\Phi$  билан бир хил йўналишда бўлади. Шунинг учун сиғим токи  $I_c$  нинг статор чулғамида ҳосил қилган МЮК машинани магнитлайди.

ўз-ўзини қўзғатиш жараёни АГ ва конденсаторларнинг кучланишлари тенг бўлгунга қадар, яъни

$$I_c \omega_1 L_1 = I_c / (\omega_1 C), \quad (15.5)$$

давом қилади. Бунда  $L_1 = (x_1 + x_2) / \omega_1$  – АГ нинг индуктивлиги;  $C$  – бир фазага тўғри келадиган сиғим.

Конденсаторнинг сиғими камайтирилса,  $U_c = I_c x_c$  тавсифнинг оғиш бурчаги  $\alpha$  катталашиб, АГ нинг кучланиши камая боради ва  $I_c x_c$  тўғри чизиги юксиз ишлаш эгри чизигининг тўғри чизиқли қисми билан мос тушганда АГ ўз-ўзини қўзғата олмайди (15.3,с-расм).

Бирламчи мотор билан асинхрон генератор роторини айлантириб

$$n = 30 \omega_1 / (\pi r) \quad (15.6)$$

формула билан аниқланадиган айланиш частотага эришганда, статорда  $\omega_1$  частота тебранишлари вужудга келади ва  $\omega_{кр} = 1 / \sqrt{L_k C}$  – частотанинг энг юқори критик қиймати  $\omega_1 > \omega_{кр}$  бўлганда ўз-ўзини қўзғатиш бузилади.

**Асинхрон генераторнинг юклама билан ишлаши.** Сирпанишни аниқлаш  $s = (n_1 - n) / n_1$  формулага биноан юклама билан ишлаётган АГ кучланиш частотасини  $f_1 = \text{const}$  қилиш учун сирпанишнинг ўзгаришига мос равишда айланиш частота  $n$  ни ўзгартириш лозим бўлади. Буни амалга ошириш мурак-каб ҳисобланади, чунки бирламчи моторнинг айланиш частотаси регулятор (ростлагич) билан ўзгармас қилинганда АГ нинг сиғими ва юкломанинг ўз-гармас қийматларида частота пасаяди.

*Бу қуйидагича тушунтирилади.* АГ юклама билан ишлаганда, статор чулғамининг индуктив ва актив қаршилиқларида кучланиш пасайиши туфай-ли, унинг кучланиши бир оз камаяди. Бунга яна иккинчи сабаб, одатда, юклама билан ишлаганда АГ нинг магнитловчи токи ҳам бир оз камаяди, чунки конденсатор токининг бир қисми ротор токининг реактив ташкил этувчисини ва юклама токини қоплашга сарфланади.

Кучланишнинг камайиши АГ магнит системасининг тўйиниш даражасини камайтиради ва, натижада, асинхрон машинанинг индуктивлиги  $L_1$  ортади; унинг ортиши эса  $\omega_1 = 2\pi f_1 = 1 / \sqrt{L_1 C}$  формулага биноан, частота  $f_1$  нинг ка-майишига олиб келади ва  $x_c$

$= 1 / (2\pi f_1 C)$  формулага асосан, конденсаторнинг индуктив қаршилиги  $x_C$  ортади, натижада эса, ток  $I_C$  камаяди. Демак, АГ нинг ишига юкламанинг характери катта таъсир қилар экан.

Агар АГ нинг юкламаси соф актив бўлганда конденсаторларнинг қуввати генераторнинг реактив қувватига тенг бўлиши лозим бўлса, актив-индуктив юкламада эса юкламани ҳам реактив қувват билан таъминлаш мақсадида кон-денсатор батареясининг қувватини ошириш зарур бўлади.

Ўз-ўзини кўзгатадиган АГ конденсатор батареясининг қуввати анча катта, яъни номинал қувватининг 70÷100 % ни ташкил қилади. Бу эса қурилманинг таннархини оширади.

Амалий жиҳатдан, тармоққа уланмаган АГ ни соф актив юклама билан ишлатишда кучланиш ва частотанинг ўзгариш тавсифлари етарли да-ражада қаноатланарли бўлмаганлигидан АГ ларнинг қўлланиш соҳалари чек-ланган.

Асинхрон машиналарнинг ишга тушириш тавсифлари яхшилиги туфайли уларни *авиамоторларни* ишга тушириш учун *стартер* сифатида фойдаланилади. *Сўнгра генератор режимга* ўтказилиб самолет бортида ўзгарувчан ток манбаи сифатида ишлатилади.

Ўз-ўзини кўзгатишли асинхрон генераторлар ростланувчи электр юритма-да ишлатилиши мумкин (масалан, рекуператив тормозлашда).

Асинхрон машина генератор сифатида автомобиль ва тракторларда иш-латиладиган дизель моторларини синаш стендларида ишлатилади. Бунда мо-тор совуқ пайтида асинхрон машина электр мотори сифатида ишлаб, уни қиз-диради ва кейин, у генератор режимига ўтказилади. Бу ҳолда АГ тормозловчи моментни ҳосил қилиб, автомобиль ва трактор моторларига юк вазифасини бажаради.

Қўлда ишлатиладиган электр инструменти учун юқори частотали электр энергия манбаи сифатида; автоматик бошқариш системаларида, эргашувчи электр юритмада ва ҳисоблаш қурилмаларида ичи кавак ёки қисқа туташган роторли асинхрон тахогенераторлар қўлланилади.

### **Асинхрон машиналарнинг замонавий сериялари ва махсус турлари.**

Электр машинасозлик саноати ривожланган мамлакатларда қуввати бир ваттнинг улушини, кучланиши 127, 220 ва 380 Vни ташкил этадиган бир ва икки фазали асинхрон микромоторлардан бошлаб, қуввати 1000 кВт, кучланиши 0,5; 0,6; 3; 6,3; 10 кV гача бўлган уч фазали асинхрон моторлар кенг миқдорда ишлаб чиқарилмоқда. Сўнгги икки ўн йилликда асинхрон моторларнинг Халқаро электротехник комиссия (ХЭК) тавсияларига, CENELEK нормаларига (28/64) ва DIN 42673, DIN 42677 стандартлар талабларига жавоб берадиган замонавий турлари (уларнинг ФИК ва қувват коэффициенти  $\cos\phi$  юқори ҳамда шовқинсиз ишлаш ва 40 минг соатгача ишлаш имконига эга бўлган) ишлаб чиқарилиши кенг ривожланмоқда.

Ҳозирги вақтда электротехника саноати тараққий қилган мамлакатларда *сервис-фактор* (СФ)ли электр моторлари ишлаб чиқарилмоқда. ГОСТР – 2000 стандартга асосан СФ тушунчаси номинал кучланиш ва частоталарда электр моторларининг рухсат берилган ўта юкланишини билдиради. Бунда чулғам хароратининг атроф муҳитникидан ошиши шу изоляциянинг иссиққа чидамлилиқ классини учун йўл қўйилган хароратдан 10 % дан кўп бўлмаслиги назарда тутилади.

Одатда СФ 1,15 ва айрим ҳолларда 1,1 га тенг миқдор бўлиб, унинг қиймати каталогларда кўрсатилган бўлади ва электр моторларининг кучланиш  $U=U_N$  ва частотаси  $f=f_N$  бўлганда, унинг номинал қуввати ( $P_N$ )ни СФ гача ошириш имкони бўлишлигини билдиради.

МДХ мамлакатларида асинхрон моторларнинг янги (АИ, RA, 5A ва 6A) сериялари яратилди. Ярославлдаги (Россия) электр машинасозлик заводи ҳозирги вақтда қуввати 100 кВт гача бўлган RA янги серияли асинхрон моторларни ишлаб чиқармоқда. Буларни



ишлаб чиқаришда асосан 4А, АИР, АИС серияли асинхрон моторларнинг камчилик ва ижобий техник тавсифлари ҳисобга олинди. Владимир (Россия) «Электромотор» заводи АИ туркумида, унинг камчилик ва ижобий техник тавсифлари асосида янги (қуввати 315 кВт гача бўлган 5А ва 5АН серияли) асинхрон моторларни ишлаб чиқармоқда.

Хорижий фирмаларда ишлаб чиқарилаётган уч фазали асинхрон моторларнинг куйидаги айрим серияларини кўрсатиш мумкин. Масалан, кучланиши  $U = 220 / 380 \text{ V}$ ; уланиш схемаси –  $\Delta / Y$ ; икки қатламли: 2AP90S2 (1,5 кВт,  $n=3000$  айл/мин), AS1(2,2 кВт,  $n=3000$  айл/мин), DB 55/2 (9 кВт,  $n=3000$  айл/мин), BF4112M (5,5 кВт,  $n = 3000$  айл/мин), B3 (30 кВт,  $n = 1500$  айл/мин), FEK (37 кВт,  $n = 1000$  айл/мин).

Кундалик турмушимизда ишлатиладиган автомат ва ярим автомат кир ювиш машиналари («ЭВРИКА-3М») барабанларини юритиш учун мўлжалланган икки тезликли конденсаторли асинхрон мотор ишлаб чиқарилмоқда ( $P_{2N} = 120$  ва  $60 \text{ W}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $n = 2850$  ва  $425$  айл/мин)

Чорвачилик, паррандачилик фермаларида ва бошқа ишлаб чиқариш корхоналарида қўлланиладиган турли хил машина ҳамда механизмларни юритиш учун 4AM100CY1 турдаги уч фазали асинхрон моторлар ( $P_{2N} = 2,2; 3; 4$  ва  $5,5 \text{ kW}$ ,  $U_N = 380 \text{ V}$ ,  $\eta = 81; 82; 86,5$  ва  $87,5 \%$ ) қўлланилмоқда.

4AM100Y3 турдаги уч фазали асинхрон моторлардан фойдаланиш қулай бўлганлиги сабабли улар ҳар хил дастгоҳларда, компрессорлар, вентиляторлар ҳамда автомат бошқариш тизимларида кенг қўлланилади. Уларнинг номинал катталиклари худди 4AM100CY1 турдаги моторники сингаридир.

Тўқимачилик саноатида ишлатиладиган ТО-3 турдаги ( $P_{2N} = 0,8$  ва  $1,1 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220/380 \text{ V}$ ,  $\eta = 75 \%$ ) уч фазали асинхрон моторлари мокили автомат ва бошқа дастгоҳларни юритиш учун ишлатилмоқда.

Назорат саволлари

1. Асинхрон генераторнинг ишлаш принципини сўзлаб беринг.
2. АГ нинг тармоқ билан параллел ишлашидаги жараёнлар қандай кечади?
3. АГ нинг ўз-ўзини кўзгатиши учун қандай шартлар бажарилиши керак?
4. АГ нинг афзаллиги ва камчиликлари нималардан иборат?

### 15-маъруза.

**Синхрон генератор турлари, ишлаш принципи, якорь реакцияси, асосий тенгламалари ва вектор диаграммалар.**

**Режа:**

*Синхрон генератор турлари.*

*Ишлаш принципи.*

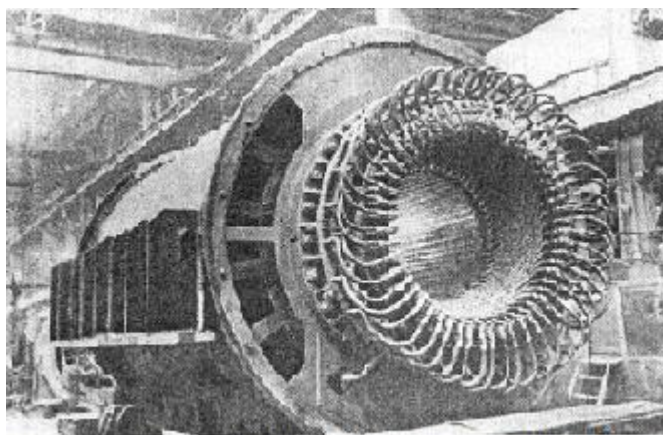
*Якорь реакцияси.*

*Асосий тенгламалари ва вектор диаграммалар.*

**Синхрон генератор турлари.**

Синхрон генераторлар - иссиқлик электр станциялари (ИЭС), атом (АЭС), сув (гидро) электр станциялари (ГЭС)даги турбинанинг айланма ҳаракати механик энергиясини электр энергияга айлантириб берувчи асосий восита ҳисобланадилар. Ҳосил қилинаётган электр энергия токи частотаси  $f=50\text{Гц}$ . бўлишини таъминлаш учун, валининг айланиш тезлиги катта (3000, 1500 айл/мин) бўлган ИЭС ва АЭСда ўрнатилган буғ турбиналарига жуфт кутблари сони бир ёки иккига тенг бўлган турбогенераторлар ўрнатилади. Бундай танлов буғ турбиналарининг юқори айланиш тезликларида самарали ишлаши сабабли бўлиб, турбогенераторлар кутблари мустаҳкамлигини таъминлаш талабларидан келиб чиқади.

Турбогенераторларнинг айланувчи валлари ўқи горизонтал бўлади.

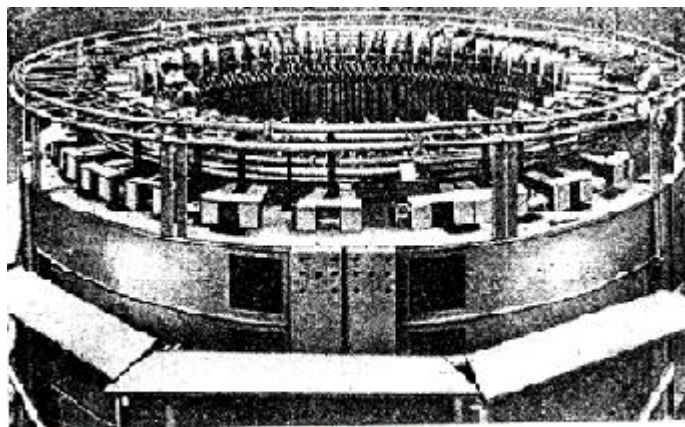


Турбогенератор (ТВВ-500-2, 500 MW, 20 kV)

тезлиги

айл/мин) бўлганлиги учун гидравлик турбиналарда (ГЭС) жуфт кутблари сони катта (25 – 8 айл/мин) бўлган гидрогенераторлар ўрнатилади. Уларнинг валлари вертикал ҳолатда бўлади (расмларга қаранг)

Валининг айланиш нисбатан кичик (120 - 375



Гидрогенератор (190 MV.A, 375 айл/мин)

Айланиш

тезликлари катта бўлган турбогенераторлар магнит ўзаклари (кутблари) яхлит пўлатдан қирқиб олинган бўлиши сабабли, марказдан қочма кучлар ҳосил қилиши мумкин бўлган механик таъсирларга (синишларга) бардошлиги катта бўлади. Роторнинг шундай магнит ўзаклари кесими аён кутб юзасини акс этмаганлиги сабабли, бундай роторларни «ноаён кутбли ротор», бундай ротори бўлган синхрон машинани эса «ноаён кутби бўлган машина» ёки «ноаён кутбли синхрон машина» деб аталади. Гидрогенераторларнинг ротор магнит ўзаклари электротехник пўлат пластиналаридан аён кутб шаклида штампланиб, сўнгра шихтовкаланиб «аён кутби ротор» ҳосил қилинади ва «аён кутби бўлган машина» ёки «аён кутбли синхрон машина» деб аталади.

### Ишлаш принципи.

Синхрон генераторда асосий магнит майдон (оқим  $\Phi_0$ ) ни ҳосил қилиш учун унинг қўзғатиш чулғамига ўзгармас ток берилади. Бу ток вақт бўйича ўзгармас ва кутбийлиги (ишораси) алмашланадиган, роторга нисбатан қўзғалмас бўлган магнит майдонни ҳосил қилади. Ротор (индуктор) бирламчи механизм ёрдамида айлантирилганда, унинг магнит майдони қўзғалмас статор (якорь) чулғамига нисбатан айланади ва унда *электромагнит индукция қонунига асосан*, ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилади.

Агарда статор пазларида симметрик (яъни фазаларининг магнит ўқлари фазода  $120^\circ$  эл. га силжиган бўлиб, фазаларининг электр қаршиликлари ва ўрамлар сони бир хил) уч

фазага чулғам жойлаштирилган бўлса, бу чулғамда модули бўйича тенг ва вақт бўйича  $120^\circ$  эл. га силжиган ЭЮК ларнинг сим-метрик системаси индукцияланади (ҳосил бўлади). Фаза чулғамларида индукцияланадиган ЭЮК ларнинг частотаси:

$$f_1 = pn / 60, \quad (18.1)$$

бунда:  $p$  – чулғамнинг жуфт кутблари сони;  $n$  – роторнинг айланиш частота- си, айл./мин.

Агар синхрон генераторнинг уч фазага якорь чулғами ташқи симметрик юкламага уланса, ундан якорьнинг доиравий айланма магнит майдонини вужуд-га келтирувчи симметрик ўзгарувчан тоқлар системаси ўтади. Бу майдоннинг статорга нисбатан айланиш частотаси

$$n_1 = 60 f_1 / p. \quad (18.2)$$

Бунга (18.1) дан  $f_1$  нинг қийматини қўйиб,  $n_1 = n$  эканлигини аниқлай- миз. Демак, қўзғатиш ва якорь чулғамларининг магнит майдонлари бир-бирига нисбатан қўзғалмас бўлиб, машинанинг натижавий магнит майдонини ҳосил қилар экан.

Шу тарика синхрон генератори механик энергияни электр энергияга ай- лантиради.

### **Якорь реакцияси.**

СГ статорининг ҳар бир фаза чулғамларига қийматлари симметрик юк- лама уланса, чулғамлардан бир-бирига нисбатан  $120^\circ$  га силжиган уч фазага тоқлар ўтади. Бу тоқлар статорда  $n_1 = n$  айланиш частота билан айланадиган магнит майдонни ҳосил қилади. Юклама тоқи якорь магнит оқими  $\Phi_a$  ни ҳосил қилади.  $\Phi_a$  ва қўзғатиш чулғамининг магнит оқими  $\Phi_0$  бир-бирига нисбатан қўзғалмас бўлиб, бу оқимлар биргаликда машинанинг натижавий магнит оқимини ҳосил қилади.

Умуман, юклама билан ишлаётган генераторда натижавий магнит оқими  $\Phi_{nat}$  қўзғатиш чулғамининг МЮК  $F_0$  ва якорьнинг МЮК  $F_a$  лари таъсири натижасида ҳосил бўлади. МЮК  $F_0$  юкламага боғлиқ бўлмайди,  $F_a$  эса юкла-манинг қийматига ва характерига боғлиқ бўлади. Юкламанинг характери де-ганда якорь МЮК нинг асосий магнит оқимга қандай бурчак остида ( $\Psi = 0^\circ$ ;  $0^\circ < \Psi \leq +90^\circ$ ;  $0^\circ > \Psi \geq -90^\circ$ ) таъсир қилишини тушуниш лозим. Шунинг учун ҳам генераторнинг натижавий оқими  $\Phi_{nat}$  юксиз ишлаш режимидаги оқим  $\Phi_0$  дан фарқ қилади.

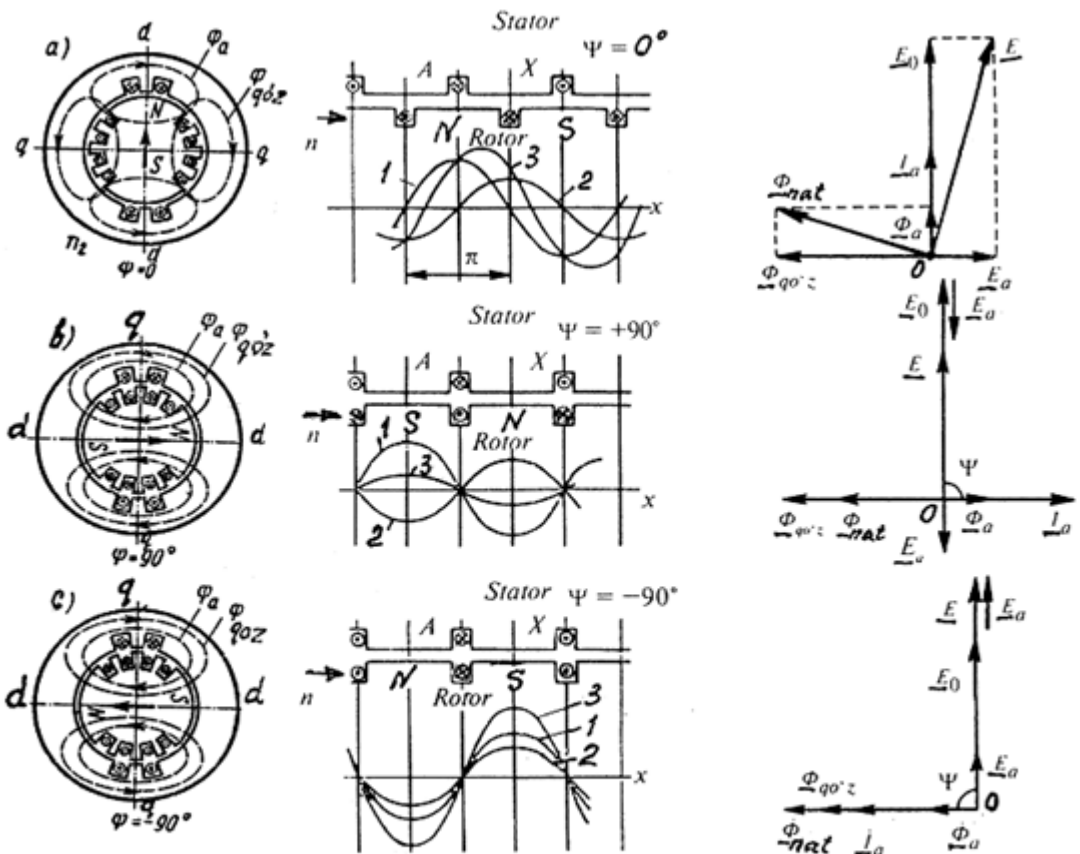
Якорь МЮК  $F_a$  нинг асосий магнит оқими  $\Phi_0 = \Phi_{qo'z}$  га таъсири **якорь ре-акцияси** дейилади. Синхрон машиналарда якорь реакцияси юклама қийматига ва характерига боғлиқ бўлади. Қуйида ноаён ва аён кутбли синхрон машина (СМ) лар учун якорь реакциясини кўриб чиқамиз.

**Ноаён кутбли синхрон генератор магнит системасининг тўйиниши**  
**ҳисобга олинмаган ҳол учун якорь реакцияси.** Бундай СМ да статор ва ротор орасидаги ҳаво оралиғида статор айланаси бўйича бир хил бўлади. Шундай бўлгани учун машинанинг *магнит занжирини тўйинмаган бўлса*, натижавий магнит оқим  $\Phi_{nat}$  ни аниқлаш анча осонлашади, яъни у  $\Phi_0$  ва  $\Phi_a$  магнит оқимларининг геометрик йиғиндисига тенг бўлади:

$$\Phi_{nat} = \Phi_0 + \Phi_a. \quad (19.1)$$

Якорь реакциясининг СМ иш хоссаларига таъсирини ЭЮК  $E_0$  ва якорь тоқи  $I_a$  орасидаги силжиш бурчагининг ҳар хил қийматларида кўриб чиқамиз.

Бурчакнинг қиймати юклама қаршилиқлари характерига (актив, индук-тив, сиғимий ёки аралаш бўлишига) боғлиқ бўлади.



Ноаён кутбли синхрон машинада турли (а - актив, б - индуктив ва с-сигим) характердаги юкламалар бўлгандаги магнит оқимлари, ток ва кучланишларнинг графиклари ва вектор диаграммалари

Агар юклама фақат актив қаршиликдан иборат бўлса ( $\psi = 0$ ), АХ фазадаги ток ўзининг максимум қийматига, роторнинг N ва S кутбларининг ўқи кўрилатган чулғамнинг ўрта пазига тўғри келганда эришади (19.1,а-расм). Бунда  $\Phi_a$  оқим АХ фазанинг ўқи билан мос тушади ёки  $\Phi_0$  оқимга нисбатан 90 эл. градусга орқада бўлади. Электр градус икки кутбли машиналарда гео-метрик градусга тенг,  $p > 2$  бўлганда эса 1 геом. град =  $p \cdot$ эл. град. бўлади.

СМ лар назариясида N ва S кутблар ўртасидан ўтадиган ўқ **бўйлама ўқ дейилади** ва d-d билан белгиланади, кўшни кутблар орасидан ўтадиган ўқ эса **кўндаланг ўқ дейилади** ва q-q билан белгиланди. Шундай қилиб, СГ нинг юкламаси фақат актив характерли ( $\psi = 0$ ) бўлса, якорнинг магнит оқими машинанинг кўндаланг ўқи бўйича таъсир қилади. Бунда ҳар бир кутб ўқининг бир томони магнитланса, иккинчи томони эса магнитсизланади.

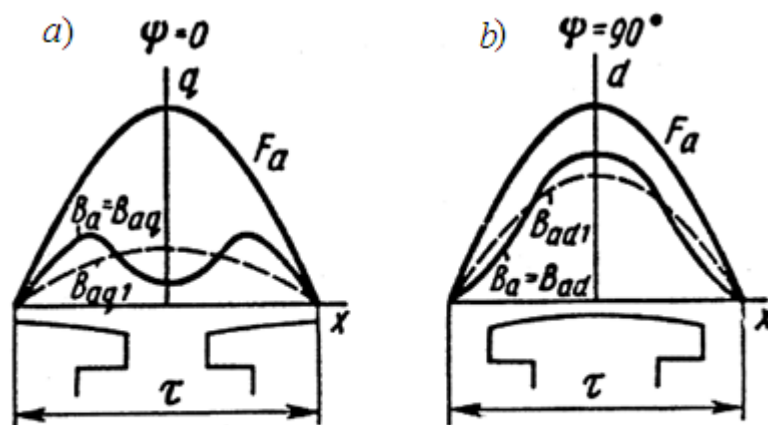
Натижавий магнит оқим векторининг модули  $\Phi_{nat} = \sqrt{\Phi_0^2 + \Phi_a^2}$  билан аниқланади.

Агар юклама фақат индуктив характерли ( $\psi = 90^\circ$ ) бўлса (19.1,б-расм), АХ фазадаги ток ўзининг максимум қийматига ЭЮК  $E_0$  нинг қийматига нис-батан чорак давр ( $90^\circ$ ) кейинроқ эришади.

Якорь магнит оқими  $\Phi_a$  машинанинг бўйлама ўқи бўйича  $\Phi_0$  оқимга тескари йўналиб, бунда  $\Phi_{nat} = \Phi_0 + (-\Phi_a)$  бўлади ва унинг қиймати камаяди. Бу эса якорь ЭЮК  $E_a$  нинг камайишига олиб келади. Шундай қилиб, юклама фақат **индуктив характерда** бўлса, якорь реакцияси машинанинг бўйлама ўқи бўйича **магнитсизловчи таъсир** кўрсатар экан.

Агар юклама фақат **сигим характерига** ( $\psi = -90^\circ$ ) эга бўлса (19.1,с-расм), якорнинг магнит оқими  $\Phi_a$  кўзғатиш чулғами оқими  $\Phi_0$  нинг йўналиши билан бир хил бўлиб

машинанинг бўйлама ўқи бўйича магнитловчи таъсир қилади. Бу эса, натижавий магнит оқим  $\underline{\Phi}_{nat} = \underline{\Phi}_0 + \underline{\Phi}_a$  ни ва ЭЮК  $E_a$  ни оширади.

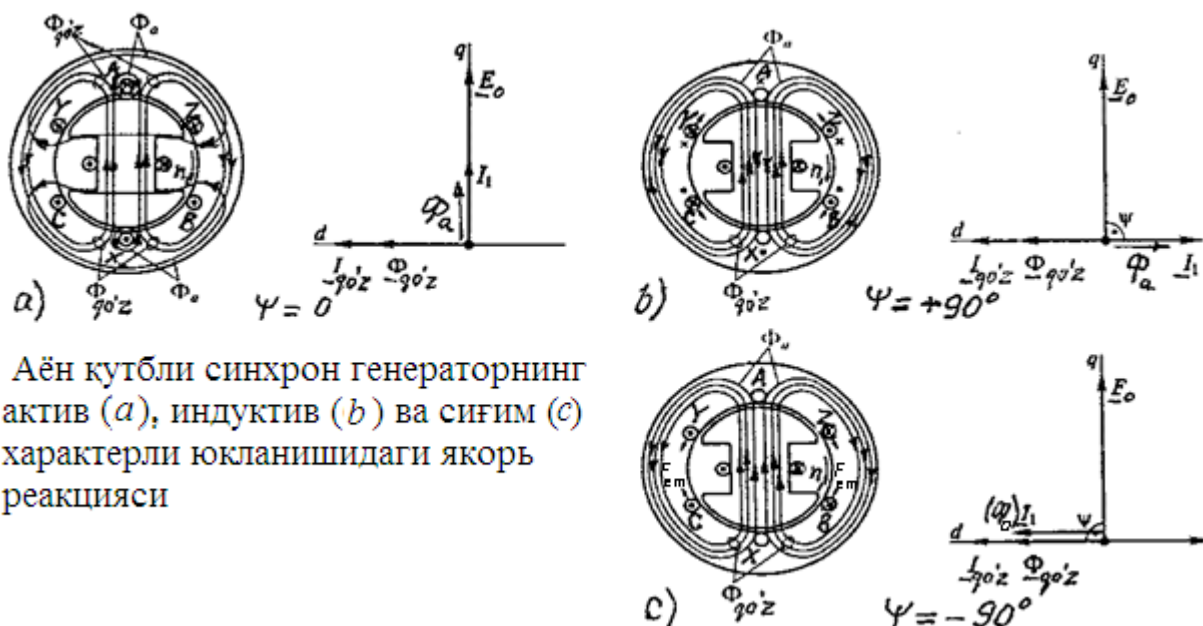


Аён қутбли синхрон машинанинг кўндаланг (а) ва бўйлама (b) ўқлари бўйича якори МЮК ларининг ҳамда индукцияларининг графиги

Амалда  $\sigma$  нинг юкламаси аралаш характерли бўлади. Бунда ЭЮК  $E_0$  ва якори токи  $I_a$  орасидаги силжиш бурчагининг қиймати  $-90^\circ < \psi < 90^\circ$  оралиғида бўлади. Бунда актив-индуктив юклама (орқада қолувчи ток)да якори реакцияси машинага магнитсизловчи, актив-сигимий юклама (олдинда келувчи ток)да эса якори реакцияси машинага магнитловчи таъсир кўрсатади. Аралаш характердаги юкламада токнинг актив ташкил этувчиси эса машинанинг кўндаланг ўқи бўйича магнитсизлайди.

**Аён қутбли синхрон генератор магнит системасининг тўйиниши ҳисобга олинмаган ҳол учун якори реакциясининг ўзига хос хусусиятлари.** Икки реакция усули. Аён қутбли машинада статор ва ротор орасидаги ҳаво оралиғи ҳар хил бўлади, бу оралик қутб учликлари четида унинг ўртасига нисбатан катта бўлади ва қўшни қутблар оралиғида катталашиб кетади.

Шунинг учун якори магнит оқими  $\Phi_a$  фақат якори МЮК  $F_a$  нинг қийматига эмас, балки ротор қутбларига нисбатан МЮК  $F_a$  нинг тарқалиш эгри чизиғи  $F_a = f(x)$  нинг ҳолатига ҳам боғлиқ бўлади.



Аён кутбли синхрон генераторнинг актив (a), индуктив (b) ва сиғим (c) характерли юкланишидаги якорь реакцияси

Масалан, агар  $\psi = 0$  бўлса, МЮК  $F_a$  синусоидал тарқалган бўлса ҳам, якорь магнит индукциясининг тарқалиш эгри чизиғи эгарсимон шаклда бўлади (19.2,a-расм).

Агар  $\psi = 90^\circ$  бўлса, якорьнинг магнит оқими  $\Phi_a$  машинанинг бўйлама ўқи бўйича йўналади(19.2,b-расм) ва магнит индукциясининг эгри чизиғи d-d ўққа нисбатан симметрик бўлади. Бу ўқ бўйича ҳаво оралиғининг магнит қаршилиги нисбатан кичик бўлгани учун, магнит индукциясининг қиймати  $\psi = 0$  даги индукцияга нисбатан катта бўлади. Шу сабабли индукцияларнинг биринчи гармоникалари  $V_{ad1}$  ва  $V_{aq1}$  ҳам турлича максимал қийматларга эга бўлади (19.2-расм).

19.3-расмда аён кутбли синхрон генераторнинг қўзғатиш чулғами ва юк-ламанинг характери: **a** – актив ( $\psi = 0^\circ$ ), **b** – индуктив ( $\psi = +90^\circ$ ) ва **c** – сиғимий ( $\psi = -90^\circ$ ) бўлгандаги якорь чулғами магнит оқимларининг ўзаро йўна-лишлари ва уларга тегишли вектор диаграммалари кўрсатилган.

Юкламанинг характери актив бўлганда (19.3,a-расм) А фазада ток ва ЭЮК лар бир вақтнинг ўзида максимумга эришади. Бу ҳолда якорь токининг магнит майдони кўндаланг ўқ бўйича йўналиб якорьнинг кутб тагига кириб кетаётган қисмини кучсизлантиради, кутб тагидан чиқиб кетаётган қисмини эса кучайтиради. Машинанинг магнит занжири тўйинган бўлганлигидан натижавий магнит оқим нисбатан камаяди. Бурчак  $\psi = 0^\circ$  бўлганда статор чулға-мидан ўтадиган тоқлар ҳосил қилган электромагнит кучлар роторнинг айла-ниш йўналиши билан мос тушади. Бунда роторга микдор жиҳатдан тенг ва қарама-қарши йўналган (тормозловчи электромагнит моментини ҳосил қилув-чи) кучлар таъсир қилади. Бу моментни мувозанатлаш учун генератор валини айланттирувчи бирламчи моторнинг механик momenti оширилиши зарур.

Индуктив характерли юкламада якорь токининг вектори  $I_1$  ЭЮК вектори  $E_0$  дан  $\psi = \pi/2$  бурчакка орқада қолади. Роторнинг 19.3,a-расмда кўрсатилган ҳолатидаги пайтга мос келувчи ЭЮК ларнинг йўналиши ўтказгичлар ёнида «x» ва нуқта «•» белгилари орқали белгиланган. Кутблар ўқида жойлашган А фаза ўтказгичларида индукцияланган ЭЮК нинг қиймати максимал қийматга эришади (қўзғатиш индукцияси максимал бўлганда).

Якорьнинг магнит майдони (оқими)  $\Phi_a$  якорь токи  $I_a$  йўналиши билан мос тушиб қўзғатиш майдон  $\Phi_{qo'z}$  га қарши йўналиб уни кучсизлантиради. Демак,  $\psi = +90^\circ$  да якорь реакцияси магнитсизловчи таъсир кўрсатиб, натижавий магнит оқим ва унинг якорь чулғамида ҳосил қилган ЭЮК юксиз ишлаш ре-жимидагига нисбатан кам бўлади.

19.3,*b*-расм бўйича чап қўл қоидасидан фойдаланиб якорь чулғами ўтказ-гичларига таъсир этадиган куч  $f$  аниқланса, якорь чулғамига таъсир этувчи кучлар йиғиндиси нолга тенг бўлиши келиб чиқади. Демак, синхрон генератор юкламаси индуктив характерли бўлганда унинг электромагнит моменти нолга тенг бўлар экан.

Синхрон генератор юкламаси сиғимий ( $\psi = -90^\circ$ ) характерли бўлганда ҳам (19.3,*c*-расм) унинг электромагнит моменти нол бўлади, чунки юкламанинг характерли соф индуктив ёки соф сиғимий бўлган ҳолларда якорь токи фақат реактив ташкил этувчидан иборат бўлади.

Аён кутбли СМ ларда ҳаво оралиғининг натижавий қаршилиги ўзгариб туриши сабабли, машинанинг иш хоссаларини таҳлил қилишда *икки реакция усули* қўлланилади. Бу усулга асосан якорнинг МЮК  $F_a$  иккита ташкил этувчидан иборат бўлади (19.4-расм), яъни:

бўйлама таъсир этувчиси

$$F_{ad} = F_a \sin \psi \quad (19.2)$$

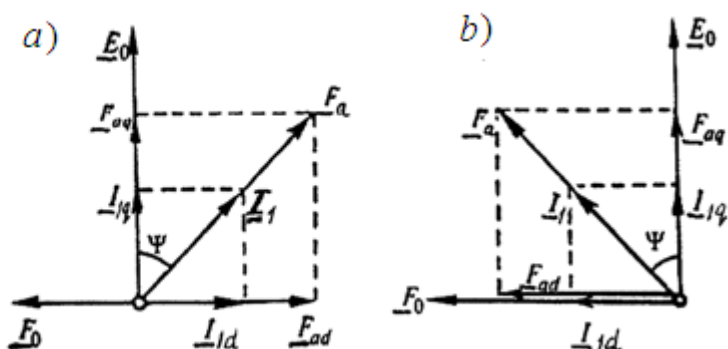
ва кўндаланг таъсир этувчиси

$$F_{aq} = F_a \cos \psi . \quad (19.3)$$

Бунда якорнинг МЮК  $F_a = F_{ad} + F_{aq}$  бўлади. Якорнинг бўйлама ташкил этувчи МЮК  $F_{ad}$  якорнинг бўйлама магнит оқими  $\Phi_{ad}$  ни, якорь МЮК нинг кўндаланг ташкил этувчиси  $F_{aq}$  эса якорнинг кўндаланг магнит оқими  $\Phi_{aq}$  ни ҳосил қилади.  $\Phi_{ad}$  ва  $\Phi_{aq}$  оқимлар ўзларидан  $90^\circ$  орқада қоладиган йўналишда (ўқда) якор чулғамининг бўйлама  $E_{ad}$  ва кўндаланг  $E_{aq}$  ЭЮК ларини ҳосил қилади.

Агар генераторнинг юкламаси актив-индуктив характерли бўлса,  $F_a$  век-тор  $E_0$  дан  $0 < \Psi < 90^\circ$  бурчакка кейинда бўлади (19.4,*a*-расм), актив-сиғимий характерли бўлганда эса,  $F_a$

Аён кутбли синхрон машинанинг актив-индуктив (*a*) ва актив-сиғимий (*b*) характерли юкламада якорь токи ва МЮК



вектор ЭЮК вектори  $E_0$  дан  $0 < \Psi < 90^\circ$  бурчакка олдиндан келади (19.4,*b*-расм).

Шундай қилиб, аён кутбли СГ да юклама характерли актив-индуктив бўл-са – якорь реакцияси магнитсизловчи таъсир кўрсатиб, актив-сиғимий бўлганда эса – магнитловчи таъсир кўрсатар экан.

Аён кутбли машиналарда қўшни магнит кутблари оралиғининг магнит қаршилиги кутб учликлари билан статор орасидаги оралиқнинг магнит қар-шилигидан катта бўлади. Шунинг учун аён кутбли синхрон генераторларда якорь магнит оқимининг кўндаланг ташкил этувчи қисми ноаён кутбли маши-наникига нисбатан анча кичик бўлади. Шу сабабли, МЮК нинг камайишини ҳисобга оладиган махсус коэффициент киритилади:

$$F_{aq} = \kappa_q F_a = \kappa_q F_a \cos \psi , \quad (19.4)$$

бу ерда:  $\kappa_q$  – якорь кўндаланг реакциясининг таъсирини ҳисобга олувчи ко-эффицент. Одатда, бу коэффициент  $\kappa_q = 0,30 \div 0,65$  га тенг бўлади.

Шунингдек, аён кутбли синхрон машина МЮК нинг бўйлама йўналган қисмини топиш тенгламасига  $\kappa_d$  коэффициенти киритилади:

$$F_{ad} = \kappa_d \cdot F_{ad} = \kappa_d F_a \sin \psi , \quad (19.5)$$

бу ерда  $\kappa_d$  – якорь буйлама реакциясининг таъсирини ҳисобга олувчи коэффициент. Одатда,  $\kappa_d = 0,80 \div 0,95$  га тенг.

### **Асосий тенгламалари ва вектор диаграммалар.**

СГ юксиз ишлаганда унинг ташқи клеммаларидаги кучланиш статор чулға-мида ҳосил бўлган ЭЮК га тенг бўлади. Агарда СГ га юклама уланган бўлса, якорь реакция тарқоқ магнит оқими таъсиридан ва статордаги кучланиш паса-йиши натижасида клеммалардаги кучланиш ЭЮК дан кичик бўлади.

Қуйида ноаён ва аён қутбли СГ ларда ҳосил бўладиган ЭЮК ларни кўриб ўтамиз.

**Ноаён қутбли СГ якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК лар тар-кибига қуйидагилар киради:**

1) асосий магнит оқим  $\Phi_0$  ҳосил қилган ЭЮК  $E_0$ .

2) якорь чулғамининг МЮК  $F_a$  якорьнинг магнит оқими  $\Phi_a$  ни вужудга келтиради. Бу оқим, ўз навбатида, якорь чулғамида ўзиндукция ЭЮК  $E_a$  ни ҳосил қилади:

$$E_a = -jI_1 \cdot x_a , \quad (19.6)$$

бу ерда  $x_a$  – якорь чулғамининг индуктив қаршилиги;

3) тарқоқ магнит оқими  $\Phi_{\sigma 1}$  ҳосил қилган ЭЮК  $E_{\sigma 1}$ :

$$E_{1\sigma} = -jI_1 \cdot x_{1\sigma} , \quad (19.7)$$

бунда  $x_{1\sigma}$  – якорь чулғамининг тарқоқ индуктив қаршилиги;

4)  $\Phi_a$  ва  $\Phi_{\sigma 1}$  магнит оқимлари якорь токи томонидан ҳосил қилингани туфайли  $x_a$  ва  $x_{\sigma 1}$  индуктив қаршиликларни қўшиш мумкин:  $x_a + x_{\sigma 1} = x_s$  (бу ерда:  $x_s$  – ноаён қутбли СМ нинг синхрон индуктив қаршилиги ёки тўла индуктив қаршилиқ дейилади). У ҳолда

$$\underline{E}_s = -j\underline{I}_1 x_a + (-j\underline{I}_1 x_{\sigma 1}) = -j\underline{I}_1 x_s . \quad (19.8)$$

5) Статор чулғами актив қаршилигида кучланиш пасайиши:

$$\underline{U}_{r1} = \underline{I}_1 \cdot r_1 . \quad (19.9)$$

Ноаён қутбли СГ нинг кучланиши юқоридаги ЭЮК ларнинг вектор йиғиндисидан иборат бўлади:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_0 + \underline{E}_s - \underline{U}_{r1}$$

ёки

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_0 - j\underline{I}_1 x_s - \underline{I}_1 r_1 . \quad (19.10)$$

СМ ларнинг турли хил иш режимларини таҳлил қилишда вектор диаграммаларидан кенг фойдаланилади.

Вектор диаграммани иккита йўл билан қуриш мумкин.

СГ нинг магнит тўйиниши ҳисобга олинмаган ҳол учун вектор диаграммани қуришда қуйидаги катталиклар, яъни:

1) юксиз ишлашдаги ЭЮК  $E_0$  нинг қиймати;

2) юклама токи  $I_1$  нинг қиймати ва бу вектор билан ЭЮК  $\underline{E}_0$  лар орасидаги силжиш бурчаги –  $\psi$ ;

3) статор фазавий чулғамининг синхрон реактив  $x_s$  ва актив  $r_1$  қаршилиқ-лари маълум бўлганда кучланиш  $\underline{U}_1$  ни аниқлаш.

СГ нинг магнит тўйиниши ҳисобга олинган ҳол учун вектор диаграммани қуришда эса юқоридагиларга қўшимча ҳолда статор чулғамининг ўрамлар сони  $w_1$  ва машинанинг юксиз ишлаш тавсифси ҳам маълум бўлиши керак.

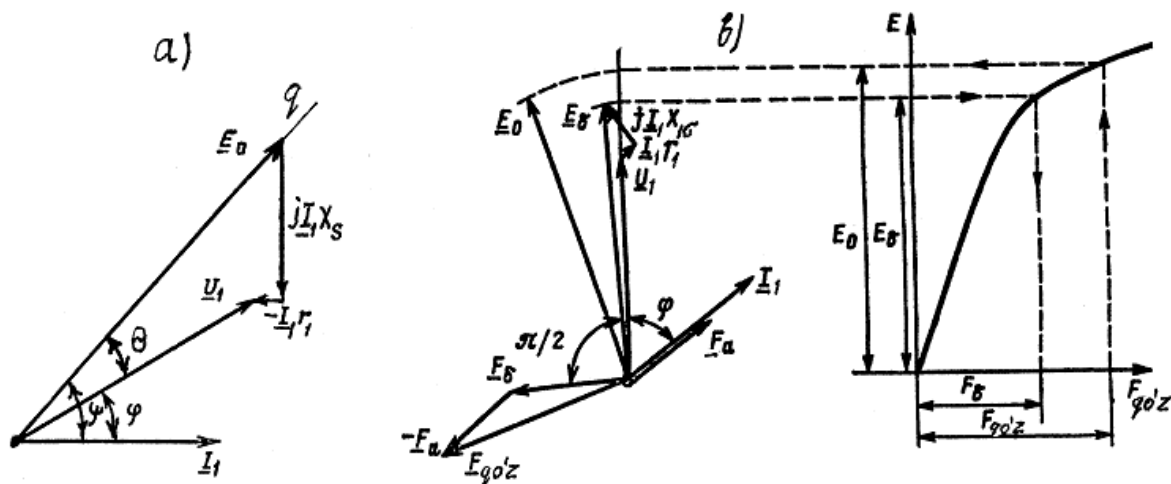
**Ноаён қутбли синхрон генераторнинг вектор диаграммалари.**

(19.10) тенгламадан фойдаланиб ноаён қутбли СГ нинг вектор диаграм-



масини куришда СГ нинг юксиз ишлашидаги кўзғатиш чулғамининг магнит оқими машинанинг кўндаланг ўқи  $q$  да ҳосил қилган ЭЮК вектори  $\underline{E}_0$  ни ихтиёрий йўналишда қўйишдан бошланади.

Статор токи  $\underline{I}_a$  вектори эса юкламанинг характериға қараб ЭЮК  $\underline{E}_0$  дан орқада (актив-индуктив юкламада 19.4,*a*-расм) ёки олдинда (актив-сигимий юкламада 19.4,*b*-расм) чизилади. ЭЮК  $\underline{E}_0$  вектори охиридан  $\underline{I}_1$  векторга тик йўналишда  $\underline{E}_s$  вектори чизилади. Статорнинг актив қаршилигида кучланиш пасайиши вектори  $\underline{U}_{r1}$  ток вектори  $\underline{I}_1$  га параллел, йўналиши эса унга тескари қилиб чизилади (чунки формулада унинг ишораси «минус»).  $\underline{U}_{r1}$  векторнинг учини 0 нукта билан бирлаштириб кучланиш



вектори  $\underline{U}_1$  ҳосил қилинади.

ЭЮК  $\underline{E}_0$  вектори билан кучланиш  $\underline{U}_1$  вектори орасидаги бурчак  $\theta$  – юклама бурчаги дейилади. СМ генератор сифатида ишлаганда кучланиш  $\underline{U}_1$  доимо ЭЮК  $\underline{E}_0$  дан  $\theta$  бурчакка орқада бўлади. Бунда  $\theta$  бурчакнинг ишораси мусбат бўлади деб қабул қилинган ва генераторнинг юкласи ошиши билан, у ҳам ошади.

Магнит занжирининг тўйиниши ҳисобга олинган ҳол учун ноаён қутбли СГ нинг вектор диаграммасини қуриш тартиби. Бунда кучланиш  $\underline{U}_1$ , статор чулғамидан ўтувчи юклама токи  $\underline{I}_1$  ва улар орасидаги бурчак  $\varphi$  (буни қувват коэффиценти  $\cos\varphi$  орқали аниқлаш мумкин); якорь (статор) чулғамининг: ўрамлар сони  $w_1$ , индуктив қаршилиги  $x_a$ , тарқоқ индуктив қар-шилиги  $x_{l\sigma}$  (ёки  $x_a + x_{l\sigma} = x_s$ ), актив қаршилиги  $r_1$  лар ҳамда СГ нинг юксиз ишлаш тавсифси маълум бўлганда кўзғатиш МЮК  $\underline{F}_{qo'z}$  ва у ҳосил қилган ЭЮК  $\underline{E}_0$  аниқланади.

Ноаён қутбли СГ нинг актив-индуктив характерли юклама учун вектор диаграммасини қуриш қуйидагича амалга оширилади. Вертикал йўналишда кучланиш вектори  $\underline{U}_1$  қўйилади. Юклама актив-индуктив бўлгани учун ток вектори  $\underline{I}_1$  кучланиш вектори  $\underline{U}_1$  дан  $\varphi$  бурчакка орқада қолади. Сўнгра  $\underline{U}_1$  вектори учидан  $\underline{I}_1$  векторига параллел қилиб статор чулғами актив қарши-лигидаги  $\underline{I}_1 r_1$  вектори, ток  $\underline{I}_1$  векторидан  $90^\circ$  олдин келувчи  $j\underline{I}_1 x_{l\sigma}$  вектори қў-йилади ва унинг учини 0 нукта билан бирлаштириб ЭЮК вектори  $\underline{E}_s$  ҳосил қилинади.

Юклама уланган машина ҳаво оралиғидаги магнит оқим  $\Phi_\delta$  ни кўзғатиш чулғами МЮК  $\underline{F}_{qo'z}$  ва якорь чулғами МЮК  $\underline{F}_a$  ларнинг геометрик йиғинди-

сига тенг бўлган натижавий МЮК  $\underline{F}_\delta$  ҳосил қилади.  $\Phi_\delta$  оқим якорь чулғамида ЭЮК  $\underline{E}_s$  ни ҳосил қилади. Натижавий МЮК учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$\underline{F}_\delta = \underline{F}_{qo'z} + \underline{F}_a; \quad (19.11)$$

бу ерда  $\underline{F}_a$  ва  $\underline{F}_{qo'z}$  – мазкур МЮК ларнинг 1-гармоникалари:

$$\underline{F}_a = 1,35 (w k_{w1}/p) I_1; \quad \underline{F}_{qo'z} = (4/\pi) \cdot (\sin\alpha / \alpha) I_{qo'z} \cdot w_{qo'z}. \quad (19.12)$$

Машинанинг берилган иш режими учун  $\underline{F}_\delta$  нинг қиймати  $\underline{E}_\delta$  бўйича юксиз ишлаш тавсифси –  $E = f(\underline{F}_{qo'z})$  дан аниқланади (19.5-расм):

$$\underline{E}_\delta = \underline{U}_1 + j \underline{I}_1 x_{1\sigma} + \underline{I}_1 r_1. \quad (19.13)$$

Магнит исрофлар ҳисобга олинмаганда ток  $\underline{I}_1$  вужудга келтирган МЮК  $\underline{F}_a$  ҳам шу йўналишда чизилади. МЮК  $\underline{F}_\delta$  ЭЮК  $\underline{E}_\delta$  дан  $90^\circ$  олдин келади. (19.11) дан  $\underline{F}_{qo'z} = \underline{F}_\delta - \underline{F}_a$  бўлгани учун, у 19.5-расмда кўрсатилгандек график йўл билан аниқланади. Сўнгра юксиз ишлаш тавсифдан МЮК  $\underline{F}_{qo'z}$  га тўғри келадиган ЭЮК  $\underline{E}_0$  топилади ва вектор диаграммада МЮК  $\underline{F}_{qo'z}$  дан  $90^\circ$  орқада қоладиган йўналишда чизилади.

Аён кутбли синхрон машиналарда  $x_q < x_d$  бўлади.

**Аён кутбли СГ да ҳосил бўладиган ЭЮК лар таркибига қуйидаги-лар киради:**

1) қўзғатиш чулғами МЮК  $\underline{E}_0$  асосий магнит оқими  $\underline{\Phi}_0$  ни, бу оқим эса асосий ЭЮК  $\underline{E}_0$  ни ҳосил қилади;

2) якорь чулғами МЮК нинг бўйлама ўқ бўйича ташкил этувчиси  $\underline{F}_{ad}$  якорь реакцияси магнит оқимининг шу ўқ бўйича ташкил этувчиси  $\underline{\Phi}_{ad}$  ни ҳо-сил қилади. Бу магнит оқим статор чулғамида ўздан  $90^\circ$  орқада қоладиган якорь реакцияси ўзиндукция ЭЮК нинг бўйлама ташкил этувчиси  $\underline{E}_{ad}$  ни индукциялайди:

$$\underline{E}_{ad} = -j \underline{I}_{1d} \cdot x_{ad} \quad (19.14)$$

бу ерда:  $\underline{I}_{1d} = \underline{I}_a \sin\Psi$  – статор токининг бўйлама ўқ бўйича ташкил этувчиси;  $x_{ad}$  – статор чулғамининг машина бўйлама ўқи бўйича индуктив қаршилиги (бу қаршилиқ машинанинг бўйлама ўқи бўйича якорь реакциясига эквивалент бўлади);

3) якорь чулғами МЮК нинг кўндаланг ўқ бўйича ташкил этувчиси  $\underline{F}_{aq}$  якорь реакцияси магнит оқимининг шу ўқ бўйича ташкил этувчиси  $\underline{\Phi}_{aq}$  ни ҳо-сил қилади. Бу магнит оқим статор чулғамида ўздан  $90^\circ$  орқада қоладиган якорь реакцияси ўзиндукция ЭЮК нинг кўндаланг ўқ бўйича ташкил этувчиси  $\underline{E}_{aq}$  ни ҳосил қилади:

$$\underline{E}_{aq} = -j \underline{I}_{1q} \cdot x_{aq}, \quad (19.15)$$

бу ерда:  $\underline{I}_{1q} = \underline{I}_a \cos\Psi$  – статор токининг кўндаланг ўқ бўйича ташкил этувчи-си;  $x_{aq}$  – статор чулғамининг машина кўндаланг ўқи бўйича индуктив қар-шилиги (бу қаршилиқ машинанинг бўйлама ўқи бўйича якорь реакциясига эквивалент бўлади);

4) статор пўлат ўзаги ва қисман ҳаво оралиғи орқали илашган тарқоқ магнит оқими  $\underline{\Phi}_{\sigma 1}$  статор чулғамларида тарқоқ ЭЮК  $\underline{E}_{\sigma 1}$  ни ҳосил қилади:

$$\underline{E}_{\sigma 1} = -j \underline{I}_a \cdot x_{\sigma 1}, \quad (19.16)$$

бу ерда:  $x_{\sigma 1}$  – статор чулғамининг тарқоқ магнит оқими ҳосил қилган индук-тив қаршилиқ;

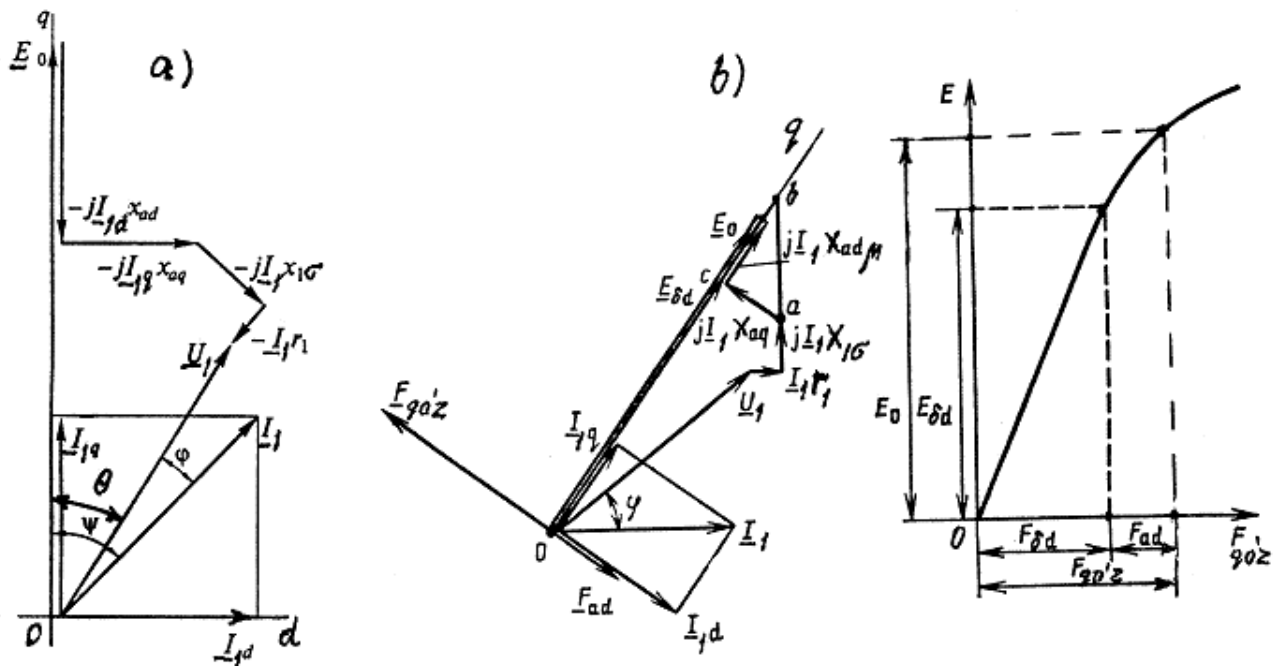
5) статор чулғамининг актив қаршилигида кучланиш пасайиши:

$$\underline{U}_{r1} = \underline{I}_a \cdot r_1, \quad (19.17)$$

бу ерда:  $r_1$  – статор чулғами актив қаршилиги;  $\underline{I}_a$  – статор чулғамининг токи;

Шундай қилиб, статор чулғамидаги кучланиш юқоридаги ЭЮК ларнинг геометрик йиғиндиси билан ифодаланади:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{E}_0 + \underline{E}_{ad} + \underline{E}_{aq} + \underline{E}_{\sigma 1} - \underline{U}_{r1} \quad \text{ёки} \\ \underline{U}_1 &= \underline{E}_0 - j \underline{I}_{1d} x_{ad} - j \underline{I}_{1q} x_{aq} - \underline{I}_1 x_{\sigma 1} - \underline{I}_1 r_1. \end{aligned} \quad (19.18)$$



19.6-расм. Аён қутбли СГ нинг актив-индуктив характерли юклама учун вектор диаграммалари: *a* – магнит занжирининг тўйиниши ҳисобга олинмаган ҳол учун; *b* – магнит занжирининг тўйиниши ҳисобга олинган ҳол учун;  $E_{\delta d}$  – натижавий магнит оқим  $\Phi_{\text{нат}}$  нинг бўйлама ўқ бўйича ташкил этувчиси  $\Phi_{\delta d}$  ҳосил қилган ЭЮК

**Аён қутбли СГ нинг вектор диаграммалари.** Аён қутбли СГ нинг вектор диаграммаси (19.18) тенгламага асосида қурилади. Диаграммани қуриш учун юқоридаги ноён қутбли СГ да келтирилган маълумотлардан ташқари, якорь реакциясининг синхрон индуктив қаршилиги ўрнига машинанинг бўйлама ва қўндаланг ўқлари бўйича тегишлича  $x_{ad}$  ва  $x_{aq}$  индуктив қаршиликлари маълум бўлиши керак.

СГ нинг фазавий тоқлари бир хил бўлганда, вектор диаграмма фақат бир фаза учун қурилади. Диаграммани қуришни қўзғатиш чулғами ҳосил қилган магнит оқими  $\Phi_0$  ни бирор йўналиш бўйича (масалан, абсциссалар ўқи бўйича) йўналтиришдан бошлаймиз. Статор чулғамида ҳосил бўлган ЭЮК  $\underline{E}_0$  вектори магнит оқими  $\underline{\Phi}$  дан  $90^\circ$  орқада чизилади. Статор тоқининг  $\underline{I}_1$  вектори юклама характерига қараб  $\underline{E}_0$  векторидан  $\psi$  бурчакка олдинда ёки орқада бўлган йўналишда чизилади. Агар юклама актив-индуктив (аралаш) характерли бўлса, статор тоқи  $\underline{I}_1$  вектори ЭЮК  $\underline{E}_0$  векторидан  $\psi$  бурчакка орқада (19.6,*a*-расм), актив-сигимий характерлида эса,  $\underline{I}_1$  ток ЭЮК  $\underline{E}_0$  векторидан  $\psi$  бурчакка олдинда келадиган қилиб чизилади.

Юклама тоқи  $\underline{I}_1$  бўйлама  $\underline{I}_d = \underline{I}_1 \sin\psi$  ва қўндаланг  $\underline{I}_q = \underline{I}_1 \cos\psi$  ташкил этувчиларга ажратилади, бунда  $\underline{I}_q$  ЭЮК вектори  $\underline{E}_0$  билан бир фазада, токнинг бўйлама ташкил этувчиси  $\underline{I}_d$  эса ЭЮК  $\underline{E}_0$  векторидан актив-индуктив юкламада  $90^\circ$  орқада, актив-сигимий юкламада эса  $90^\circ$  олдинда чизилади.

Актив-индуктив юкламада  $\underline{E}_{ad}$  вектори  $\underline{E}_0$  векторга тескари йўналишда,  $\underline{E}_{aq}$  эса  $\underline{E}_0$  векторидан  $90^\circ$  орқада бўлган йўналишда чизилади. Тарқоқ оқим туфайли ҳосил бўлган ЭЮК вектори  $\underline{E}_{\sigma 1}$  ток вектори  $\underline{I}_1$  дан  $90^\circ$  орқада чизилади. Статор чулғами актив қаршилигидаги куч ланиш пасайиши ток вектори  $\underline{I}_1$  га нисбатан тескари чизилади (чунки унинг ишораси минус). 0 нуқтани  $\underline{I}_1 r_1$  вектор учи билан туташтириб, статор чулғами кучланиш  $\underline{U}_1$  ни топамиз.

Агар генератор юкламаси *актив-сигимий характерли бўлса* (19.4,*b*-расм),  $\underline{I}_1$  вектори ЭЮК  $\underline{E}_0$  дан  $\psi$  бурчакка олдинда келади. Магнит оқими  $\underline{\Phi}_{ad}$  нинг йўналиши  $\underline{\Phi}_0$  вектори йўналиши бўйича бўлади, яъни *якорь реакцияси магнитловчи таъсир кўрсатади*. Шу

сабабли актив-сигимий характерли юклама учун вектор диаграмма курилганда  $\underline{E}_{ad} = -j\underline{I}_d \cdot x_{ad}$  векторининг йўналиши 19.6,*a*-расмдаги диаграммага нисбатан  $180^\circ$  га ўзгаради, яъни  $\underline{E}_0$  вектори йўналишида қўйилади. Вектор диаграмманинг қолган қисмини куриш юкори-даги усулда амалга оширилади (бу вектор диаграмма китобда келтирилмаган).

Шундай қилиб, СГ нинг юкламаси индуктив ва актив-индуктив характер-да бўлса, якорь реакцияси машинанинг магнит занжирини магнитсизлайди, юклама сигимий ва актив-сигимий характерда бўлганда эса, якорь реакцияси машинанинг магнит занжирига магнитловчи таъсир кўрсатади.

**Магнит занжирининг тўйиниши ҳисобга олинган ҳол учун аён қутб-ли СГ нинг вектор диаграммасини куриш қуйидаги тартибда амалга оширилади.** Бунинг учун (19.18) тенгламага асосланамиз ва унга  $x_{ad}$  ва  $x_{aq}$  ларнинг ўрнига уларнинг машина магнит занжирининг тўйинган ҳолатидаги  $x_{ad\mu}$  ва  $x_{aq\mu}$  қийматлари қўйилади. Лекин аён қутбли машинада магнит занжи-рининг аниқ тўйиниш даражасини ҳисобга олиш мураккабдир, чунки магнит тўйинишли машинада кўндаланг ва бўйлама ўқлари бўйича магнит оқимлар ( $\Phi_q$  ва  $\Phi_d$ ) ўзаро бир-бирига таъсир қиладилар<sup>\*</sup>. Шунинг учун  $x_{ad}$  нинг қий-мати фақат машинанинг бўйлама ўқи бўйича магнит оқими  $\Phi_d$  га боғлиқ бўлиб қолмасдан унинг кўндаланг ўқи бўйича магнит оқими  $\Phi_q$  га ҳам боғлиқ бўлади.

Аён қутбли синхрон генератор магнит занжирининг тўйинишини ҳисобга олинган ҳол учун вектор диаграммасини амалий куриш магнит тўйиниши ҳисобга олинмаган ҳол учун курилган вектор диаграммага (19.6,*a*-расм) ўхшатиб курилади, лекин якорь реакцияси индуктив қаршиликларининг қийматлари магнит тўйинишига мос бўлиши лозим (19.6-расмда машинанинг магнит тўйиниши фақат бўйлама ўқи бўйича ҳисобга олинган ҳол учун курилган, чунки

<sup>\*</sup>Ахматов М.Г., Салимов Д.С. Магнитные характеристики насыщенной явнополюсной синхронной машины продольно-поперечного возбуждения. Изв.АН УзССР, СТН, 1976, №2.

машинанинг бу ўқи бўйича магнит тўйиниш даражаси катта бўлади).

Вектор диаграммани кучланиш вектори  $\underline{U}_1$  ни ихтиёрий йўналишда чизишдан бошланади; юкламанинг характери актив-индуктив бўлгани учун ток вектори  $\underline{I}_1$  φ бурчакка орқада қолади. Сўнгра кучланишга  $\underline{I}_1 r_1$  ва  $j\underline{I}_1 x_{1\sigma}$  кучланиш пасайиши векторлари қўшилади. Ток  $\underline{I}_1$  ни бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича ташкил этувчилари ( $\underline{I}_d$  ва  $\underline{I}_q$ ) га ажратиш учун ЭЮК  $\underline{E}_0$  нинг йўналишини, яъни машина q ўқининг тутган ўрнини топиш зарур бўлади. Бу-нинг учун  $j\underline{I}_1 x_{1\sigma}$  вектори давомига қиймати  $\underline{I}_1 x_{aq}$  (ёки  $\underline{I}_1 x_{aq\mu}$ ) га тенг бўлган  $\overline{ab}$  кесмани қўйиб уни 0 билан бирлаштирилса 0b линияда ЭЮК  $\underline{E}_0$  вектори йўналган бўлади. Бу линия билан ток  $\underline{I}_1$  орасидаги бурчак ψ га тенг. 0b ли-нияга a нуқтадан туширилган перпендикуляр  $\underline{I}_1 x_{aq}$  (ёки  $\underline{I}_1 x_{aq\mu}$ ) га тенг. 0c кесма натижавий ЭЮК нинг бўйлама ўқ бўйича ташкил этувчиси  $\underline{E}_{\delta d}$  га тенг. Бу ЭЮК катталигини юксиз ишлаш харктеристикасига қўйиб МЮК  $F_{\delta d}$  (ёки ток  $I_{\delta d}$ ) топилади (19.6-расм, b). Бўйлама ўқ бўйича якорь реакцияси МЮК  $F_{ad}$  (ёки токи  $I_{ad}$ ) ни ёки қуйидагича ҳисоблаш йўли билан:

$$F_{ad} = k_d F_a \sin\psi; \quad (\text{ёки } I_{ad} = k_d F_a \sin\psi / w_{qo'z}), \quad (19.19)$$

ёки тажрибада олинган юксиз ишлаш ва қисқа туташув тавсифларидан аниқлаш мумкин.

Кўзғатиш чулғами МЮК  $F_{qo'z}$  ёки унга мутаносиб бўлган ток  $I_{qo'z}$  ни, топилган МЮК  $F_{\delta d}$  (ёки ток  $I_{\delta d}$ ) лар бўйича қуйидаги тенгламалар бўйича ҳисоблаш мумкин:

$$\underline{F}_{qo'z} = \underline{F}_{\delta d} \pm \underline{F}_{ad} \quad (\text{ёки } I_{qo'z} = I_{\delta d} \pm I_{ad}). \quad (19.20)$$

(19.20) да «+» ишора – бўйлама якорь реакцияси магнитловчи бўлса (бурчак ψ < 0) олиниб, «-» ишора эса бўйлама якорь реакцияси магнитсиз-ловчи (ψ > 0) бўлганда олинади. Актив-индуктив характерли юкламада ψ > 0 бўлгани учун  $\overline{F}_{\delta d}$  (ёки  $\overline{I}_{\delta d}$ ) кесмага  $\overline{F}_{ad}$  (ёки  $\overline{I}_{ad}$ ) ни кўшиб  $\overline{F}_{qo'z}$  (ёки  $\overline{I}_{qo'z}$ )

олинади. Бу қийматга юксиз ишлаш тавсифсида ЭЮК  $E_0$  мос келади.  $E_0 - E_{ad}$  айирма  $I_1 X_{ad\mu}$  га тенг.

Вектор диаграммадан кучланиш ўзгариши  $\Delta U$  ни аниқлаш мумкин, [%] :

$$\Delta U\% = 100 \cdot (E_0 - U_{1N}) / U_{1N}.$$

### **Назорат саволлари**

1. Якорь реакцияси нима?
2. Аён ва ноаён қутбли СГ лардаги якорь реакцияси тўғрисида маълумот беринг.
3. Аён қутбли СГ кучланиши ва ЭЮК ларининг мувозанат тенгламасини ёзинг.
4. Аён қутбли СГ нинг вектор диаграммаси қандай қурилади?

## **16-маъруза.**

### **Автоном синхрон генератор асосий тавсифлари. электр юритувчи кучлари амалий (Потье) диаграммаси.**

#### **Режа:**

*Автоном синхрон генератор асосий тавсифлари.*

*Электр юритувчи кучлари амалий (Потье) диаграммаси.*

#### **Автоном синхрон генератор асосий тавсифлари.**

СГ нинг иш хоссалари унинг тавсифлари бўйича баҳоланади. Иш хоссаларига оид тавсифларни тажриба, ҳисоблаш ёки вектор диаграммалар ёрдамида қуриш мумкин. СГ нинг барқарор режими учун муҳим ларидан: юксиз ишлаш, симметрик қисқа туташув, индуктив юкланиш, ташқи ва ростлаш тавсифларидир.

**Юксиз ишлаш тавсифси** (СИХ). Бу тавсиф статор токи  $I_1 = 0$  ва ротор айланиш частотаси  $n = n_N = \text{const}$  бўлганда СГ нинг чиқиш клеммаларидаги кучланиши ёки ЭЮК  $E_0$  нинг қўзғотиш токи  $I_{q0'z}$  га боғлиқ ҳолда ўзгаришини кўрсатади, яъни  $E_0 = f(I_{q0'z})$ .

СГ ларнинг СИХ ҳамда бошқа тавсифларини нисбий бирликларда қуриш осондир. Бунинг учун кучланишнинг абсолют қиймати  $U_0 = E_0$  ни юксиз ишлашдаги номинал кучланиш  $U_0 = U_{1N}$  га, қўзғатиш токининг абсолют қийматини эса юксиз ишлашда номинал кучланиш  $U_{1N}$  га тўғри келган қиймати  $I_{q0'zN}$  га бўлиб аниқланган нисбий бириликлардаги қийматлари ( $U_{1*}$  ва  $I_{q0'z*}$ ) асосида СИХ, яъни  $U_{1*} = f(I_{q0'z*})$  қурилади (20.1-расм, 1).  $I_{q0'z*} = 0$  бўлганда қутбнинг магнит ўзагидаги кам миқдордаги қолдиқ магнит оқим ( $\Phi_{q0l} = 0,2 \div 0,3 \cdot \Phi_{0N}$ ) туфайли  $a_s = E_{q0l}$  вужудга келади. Қўзғатиш чулғамидаги токнинг қиймати кичик бўлганда асосий магнит оқими кам бўлиб, машинанинг магнит занжири тўйинмаган бўлади. Шу сабабли СИХ нинг бошланғич ( $s_d$ ) қисми тўғри чизиқли кўринишда бўлади. Қўзғатиш токи ортиб борган сари магнит оқими ортади ва машинанинг магнит занжири тўйина боради. Бу ҳолда СИХ абсциссалар ўқига оған кўринишда ўсиб, магнит занжири тўла тўйинганда эса бу тавсиф яна тахминан тўғри чизиқли кўринишга эга бўлади. СГ нинг номинал режими СИХ эгилган қисмининг тахминан ўртасига тўғри ке-лади (20.1-расм, 1 да «с» нукта).

Бу тавсиф ёрдамида СГ нинг магнит занжири тўйиниш даража-сини аниқлаш мумкин. Бунинг учун СИХ нинг тўғри чизиқ (магнит занжир тўйинмаган ҳолдаги) қисми давом қилдирилади (20.1-расм, 2) ва  $a_s/a_v = k_\mu$  тўйиниш коэффициенти топилади. Бу коэффициент синхрон машиналарда  $k_\mu \approx 1,1 \div 1,4$  га тенг бўлади.

Одатда, нисбий бирликларда ифодаланган СГ ларнинг СИХ лари бир-биридан кам фарқ қилади ва уларнинг ўртача қийматига мос келадиган ха-рактеристикани *нормал юксиз ишлаш тавсиф* дейилади. Аён ва ноаён қутбли синхрон генераторларнинг нормал СИХ лари 20.1-жадвалда келтирилган.

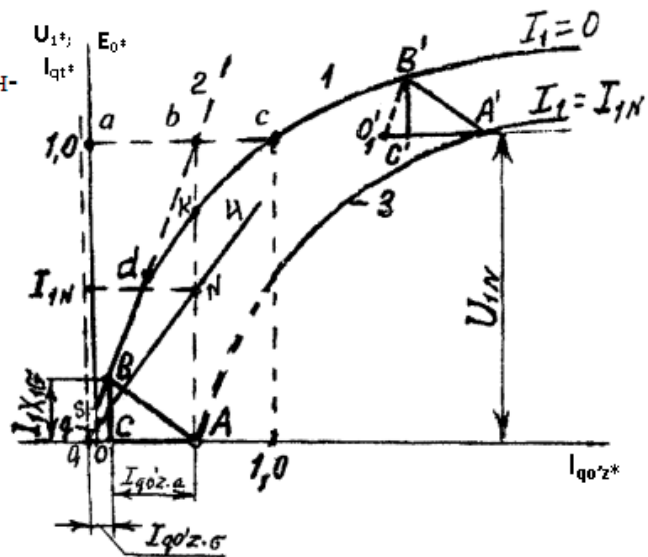
**Симметрик қисқа туташув тавсифси (QTX).** Бу характе-  
ристикани тажрибада олишда статорнинг фазавий чулғамлари қисқа туташти-  
рилиб, роторнинг айланиш частотаси  $n = n_N = \text{const}$  ва  $I_1 = 0$  бўлганда ста тор чулғамидаги қисқа туташув токининг қўзғатиш токига боғлиқлигини кўр-  
сатади, яъни  $I_{qt} = f(I_{q0'z})$ .

**Синхрон генераторнинг нормал юксиз ишлаш тавсифи**

$I_{qo'z}^*$		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$E_0^*$	Ноаён қутбли (Турбогенератор)	0	0,58	1,0	1,21	1,33	1,4	1,46	1,51
	Аён қутбли (Гидрогенератор)	0	0,53	1,0	1,23	1,3	1,4	1,46	1,51

Қисқа туташув тажрибасини олишда қўзғатиш токи  $I_{qo'z} = 0$  да қутб ўзагида мавжуд бўлган кам миқдордаги қолдиқ магнит оқим туфайли ҳосил бўлган қолдиқ ЭЮК  $E_{qol} = 0s$  қисқа туташув токи  $I_{qt} = 0q$  ни вужудга келтиради. Шу сабабдан СГ нинг қисқа туташув тавсифси ординаталар ўқидаги «q» нуқтадан бошланади.

Синхрон генераторнинг: 1-юксиз ишлаш тавсифи ва 2-унинг бошланғич қисмининг аппроксимацияланган тавсифси (эгри чизик ўрнида тўғри чизик олинган)



Ўрта ва катта қувватли синхрон машиналарда актив қаршилик жуда ҳам кичик бўлганидан уни эътиборга олмаганда ( $r_1 \approx 0$ ), якорь занжирининг қар-шилиги соф индуктив бўлиб, қисқа туташув токи  $I_{qt} = I_d$  машинани бўйлама ўқи бўйича магнитсизловчи таъсир қиладиган якорь реакцияси магнит оқими-ни ҳосил қилади. Натижада машинанинг магнит занжири тўйинмаган бўлган-лигидан Q.T.X тўғри чизик кўринишида бўлади (20.1-расм, 4).

**Индуктив юкланиш тавсифси (I.Y.X).** Бу тавсиф  $I_1 = I_{1N} = \text{const}$ ,  $\cos\phi = 0$  ва  $f = f_N = \text{const}$  (яъни  $n = n_N = \text{const}$ ) бўлганда  $U_1 = f(I_{qo'z})$  боғлиқликни характерлайди.

СГ нинг индуктив юкланиш тавсифси якорь реакциясининг бўйлама ўқ бўйича магнитсизловчи таъсири натижасида координата боши 0 дан бошланмай, балки абсциссалар ўқидаги бирорта «А» нуқтадан бошланади. Бу нуқтани тажрибада олишнинг иложи йўқ, чунки бу нуқтада  $U_1 = 0$  бўлгани учун ток  $I_1 = 0$  бўлади. Бу нуқтанинг абсциссалар ўқидаги ҳолатини СГ нинг қисқа туташув тавсифси (QTX)дан номинал токка тўғри келган қўзғатиш токи  $I_{qo'z,qt}$  ни аниқлаб қўйилади. (Изох: Қисқа туташув тавсифида ҳам якорь реакцияси индуктив тавсифдаги каби машинанинг бўйлама ўқи бўйича магнитсизловчи таъсир қилади).

СГ нинг индуктив юкланиш тавсифси (I.Y.X), якорь реакциясининг бўйлама ўқ бўйича магнитсизловчи таъсири (кам қувватли синхрон ге-нераторларда якорь занжири актив қаршилиги  $r_1$  ни ҳам эътиборга олганда ун-даги кам миқдордаги кучланиш тушиши) туфайли S.I.X дан пастрокда жой-лашади (20.1-расм, 2).

СГ нинг юксиз ишлаш, юкланиш ва қисқа туташув тавсифлари машинанинг параметрлари (индуктив қаршиликлари)ни аниқлашда муҳим аҳа-миятга эгадир.

20.1-расмда пунктир чизик билан кўрсатилган қўшимча ординаталар ўқи кейинги амалий диаграммаларни қуришда зарур бўлади (бунда қолдиқ магнит оқимининг қиймати

кичиклигидан, у эътиборга олинмаганда машинанинг юксиз ишлаш тавсифси координаталар бошидан бошланиб, амалий диаграмма қуриш ва уни таҳлил қилиш анча осонлашади).

### Электр юритувчи кучлари амалий (Потье) диаграммаси.

Номинал юклама билан ишлаб турган СГ нинг юкламаси бирданига узиб қўйилгандан кейин роторнинг айланиш частотаси ва қўзғатиш токининг қий-мати ўзгартирилмай қолдирилса СГ нинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш номинал қийматига нисбатан  $\Delta U$  катталиққа ошади. Буни график усулда ЭЮК ларнинг амалий (Потье) диаграммасидан аниқлаш мумкин.

Бунинг учун битта графикда юксиз ишлаш ва қисқа туташув характерис-тикалари қурилади. Амалий диаграммада катталиқлар нисбий бирликларда бериллади ва уни актив-индуктив характерли юклама уланган ноаён кутбли син-хрон генератор учун қуриш тартиби куйидагидан иборат:

1) Ординаталар ўқида  $0A = \underline{U}_N$  вектори чизилади;

2) кучланиш  $\underline{U}_N$  дан  $\varphi_N$  бурчакка орқада қолувчи  $\underline{I}_{IN}$  вектори чизилади;

3)  $\underline{U}_N$  векторга машинанинг актив ( $\underline{I}_{IN} \cdot r_1$ ) ва индуктив ( $j\underline{I}_{IN} \cdot x_p$ ) қаршилиқ-ларидаги кучланиш пасайиши векторларини геометрик қўшиб номинал юкламада ишлаётган СГ нинг ЭЮК  $0C = \underline{E}_{yu}$  аниқланади, яъни

$$\underline{E}_{yu} = \underline{U}_N + \underline{I}_{IN} \cdot r_1 + j\underline{I}_{IN} \cdot x_p, \quad (20.20)$$

бунда  $x_p$  – реактив учбурчагидан аниқланган Потье қаршилиги (бу қаршилиқ одатдаги тарқоқ индуктив қаршилиқдан нисбатан каттароқ бўлиб қўзғатиш чулғамида ҳосил бўлган тарқоқ магнит оқим туфайли магнит ўзакнинг қў-шимча магнит тўйинишини ҳисобга олади);

4) 0 нуқтадан 0C радиусида чизиб ординаталар ўқида В нуқта ҳосил қилинади ва ундан абсциссалар ўқида ёрдамчи (пунктир) параллел чизик ўтка-замиз ва унинг юксиз ишлаш тавсифси билан кесишган нуқтасини «К» билан белгилаб, бу нуқтадан абсциссалар ўқида перпендикуляр бўлган ёрдамчи (пунктир) чизик ўтказиб D нуқта ҳосил қилинади ва ЭЮК  $\underline{E}_{yu}$  ни ҳосил қилувчи қўзғатиш токи  $0D = I'_{qo'z}$  аниқланади. СГ юксиз ишлагандаги ЭЮК  $\underline{E}_0$  юклама уланган машинанинг ЭЮК  $\underline{E}_{yu}$  дан бўйлама якорь реакцияси ЭЮК  $\underline{E}_{ad}$  қийматга катта бўлади, яъни

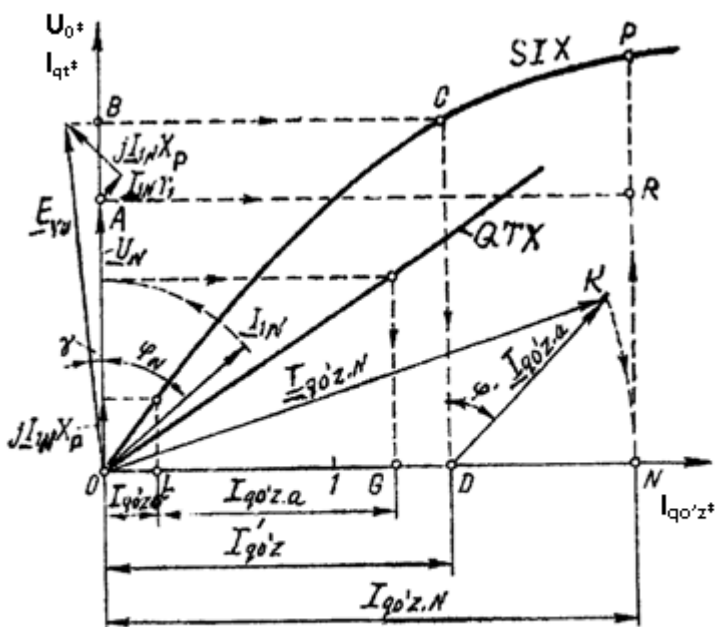
$$\underline{E}_0 = \underline{E}_{yu.N} + \underline{E}_{ad}; \quad (20.21)$$

5) якорь реакцияси ЭЮК  $\underline{E}_{ad}$  қийматни ҳисобга олиш учун якорь реакциясининг бўйлама магнитсизловчи таъсирига мос келадиган қўзғатиш токи  $I_{qo'z.a}$  ни аниқлай-миз (бунинг катталиги 20.1-расмда қисқа туташув таъжири-

басидан график усулда аниқ-ланган машина бўйлама якорь реакциясини компенсация-ловчи қўзғатиш токи  $I_{qo'z.a}$  каби аниқланади); бу катталиқ 20.3-расмда бошқа масштабда  $LG = I_{qo'z.a}$  белгиланган;

6) сўнгра D нуқтадан CD га  $\varphi' = \varphi + \gamma$  бурчак остида вектор  $\underline{DK} = I_{qo'z.a}$

ни ўтказамиз. Марказ 0 дан ОК радиус билан абсциссалар ўқи билан N нуқтада кесишгунча ёй чизилади. У ҳолда  $ON = I_{qo'z.N}$  қўзғатиш токининг қий-



Синхрон генератор ЭЮКларининг амалий Потье диаграммаси

мати ЭЮК  $E_0 = NP$  га мос келади. А нуктадан абсциссалар ўқига параллел қилиб  $AR$  чизикни ўтказиб изланаётган  $\Delta U_N$  ни оламиз:

$$\Delta U_N = [(NP - NR) / NR] \cdot 100 = [(E_0 - U_N) / U_N] \cdot 100. \quad (20.22)$$

**Назорат саволлари**

1. СГ юксиз ишлаш тавсифсининг аҳамияти нимадан иборат?
2. Якорь реакцияси нима ва у СГ тавсифларига қандай таъсир қилади?
3. СГ нинг I.Y.X-си нима учун SIX дан пастда жойлашади?
4. Қисқа туташув нисбати нима ва у қандай аниқланади?
5. СГ нинг индуктив қаршиликлари тажрибада қандай аниқланади

**17-маъруза.**

**Синхрон машинани электр тармоғи билан параллел улаш. Синхронлаш усуллари.**

**Режа:**

*Синхрон машинани электр тармоғи билан параллел улаш.  
Синхронлаш усуллари.*

**Синхрон машинани электр тармоғи билан параллел улаш.**

Ҳозирги вақтда бир нечта электр станциялар параллел ишлаб, энергетика системасини ҳосил қилади. Система истеъмолчиларни узлуксиз энергия билан таъминлашга, электр стацияларининг қувватидан тўлароқ фойдаланишига, таъмирлаш ишларини осонлаштириш имконини беради. Ҳар бир электр станциясида бир нечта генератор ўрнатилган бўлиб, электр системасида юзлаб генераторлар параллел ишлайди. Ана шунинг учун ҳам ҳар бир генераторнинг қуввати энергетика системасида юкланишни ҳар қандай ўзгариши билан системада ишлаётган генераторнинг частотаси ва кучланиши амалда ўзгармайди.

СГ ни электр тармоғига ёки ишлаб турган генераторлар билан параллел улаш учун куйидаги шартлар бажарилиши шарт:

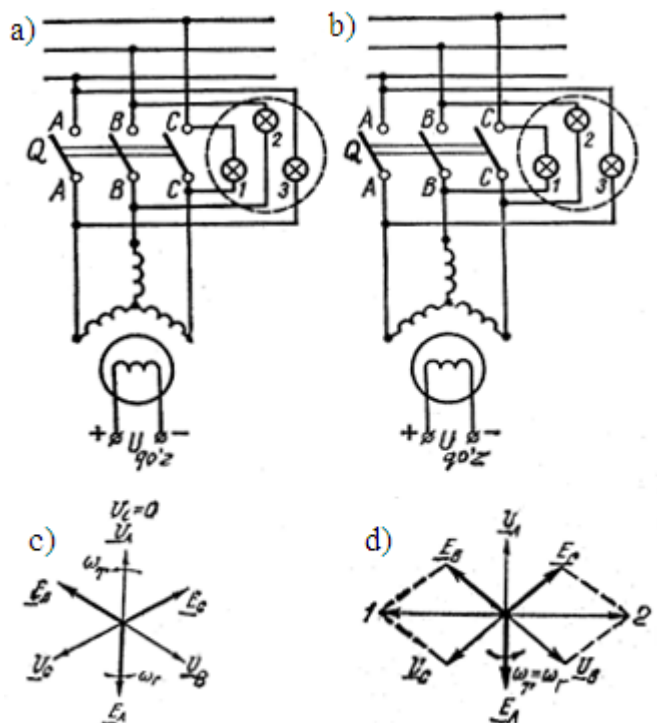
1. Синхрон генераторнинг ЭЮК  $E_G$  электр тармоғи кучланишига тенг ( $\underline{E}_G = \underline{U}_T$ ) ва фаза жиҳатдан  $180^\circ$ , яъни тескари йўналган бўлиши лозим;
2. СГ нинг частотаси  $f_G$  электр тармоғининг частотаси  $f_T$  га тенг ( $f_G = f_T$ ) бўлиши керак;
3. Уч фазали СГ ва электр тармоғи фазаларининг кетма-кетлиги бир хил бўлиши керак.

ЭЮК ни тармоқ кучланишига тенглаш учун СГ қўзғатиш токи ўзгарилади, частоталарни тенглаш учун эса генератор роторининг айланиш частотасини ўзгартириш керак бўлади.

**Генераторларни синхронлаш усуллари.** СГ ларни параллел улашнинг куйидаги усуллари мавжуд:

1) **аниқ синхронлаш усули** – бу усулда генераторларни параллел улашнинг учта талаби аниқ бажарилиши шарт.

Биринчи шартнинг бажарилиши генератор клеммаларига уланган вольт-



Уч фазали синхрон генераторни электр тармоғига лампали синхроскоп ёрдамида параллел улаш а) ўчиш; б) айланма ёруғлик схемалари:



метр воситасида, қолган икки шарт эса «синхроноскоп» асбоби ёрдамида тек-ширилади (23.1-расм). Энг оддий синхроноскоп асбоби *чироқли (лампали) синхроноскопдир*.

Агар улагич  $Q_I$  узилган бўлса, СГ юксиз ишлаши ҳолатида ишлайди ва  $Q_I$  клеммаларида ЭЮК  $\underline{U} = \underline{E}_G + \underline{U}_T$  бўлади. Агарда параллел уланадиган генераторнинг айланиш частотаси ўз-гармас бўлиб, у номинал айла-ниш частотасига тенг бўлса,  $\underline{E}_G$  ва  $\underline{U}_T$  лар бир хил бурчак частота билан айланарди, натижада  $\underline{U}$  ни ўзгармас қилиб сақлаб бўлмайди, шу сабабли  $\underline{E}_G$  ва  $\underline{U}_T$  ларнинг частоталари орасида фарқ бўлади. Ана шунинг учун ҳам  $\underline{E}_G$  ва  $\underline{U}_T$  бир-бирига нисбатан  $\omega_T - \omega_G = 2\pi \cdot (f_T - f_G)$  бурчак частота билан айланади. Бунинг оқибатида  $U$  нолдан  $2U_T$  гача ўзгаради ва чироқлардаги кучланиш ҳам ўзгариб туради, яъни чироқлар бир вақтда ёниб ва ўчиб туради. Генераторни тармоққа параллел улашнинг энг қулай вақти  $U = 0$  бўлгандаги ҳолатдир, бунда чироқлар ўчган ҳолат бўлади. Ана шу вақтда  $\underline{E}_G$  ва  $\underline{U}_T$  векторлари бир-бирига нисбатан тескари фазада бўлади, яъни  $\underline{E}_G = -\underline{U}_T$ .

Уч фазали СГ ларни синхроноскоп чироқлари «ўчиш» 23.1,*a*-расм ва «ёруғлик айланиши» 23.1,*b*-расм схемалари бўйича уланади. Қуйида «ўчиш» схемаси (23.1,*a*-расм) бўйича генераторни параллел улаш усулини кўриб чиқамиз. Бу схемада чироқлар А-А', В-В' ва С-С' нуқталар орасига уланган бўлиб, ҳар бир жуфт нуқталар бир фазани ташкил қилади. Бу нуқталар орасидаги кучланишлар қиймати нолга тенг бўлганда ва чироқлар ўчганда улагич «Q» қўшилади. Бу ҳолда тармоқ кучланиши  $\underline{U}_T$  ва СГ ЭЮК  $\underline{E}_G$  лар бир-бирига нисбатан тескари фазада бўлади (23.1,*a*-расм).

«Ёруғлик айланиши» схемаси бўйича генераторни тармоққа параллел улаш 23.1,*b*-расмда кўрсатилган. Бунда I-чироқ А-А' бир хил фаза нуқтала-рига, қолган иккита чироқ эса ҳар хил фаза нуқталарига В-В' ва С-В' уланган бўлади. Улагич «Q<sub>I</sub>» А-А' нуқтадаги чироқ ўчган ва қолган икки чироқ эса бир хил равшан ёнган ҳолатда уланиши керак.

Улагич «Q<sub>I</sub>» нинг яхши улаш ҳолатини билиш учун юқоридаги схема-да ҳам А-А' нуқталар орасига вольтметр уланади. А-А' нуқталар орасидаги куч-ланиш қиймати нол бўлганда бу вольтметрнинг стрелкаси чироқлар ўчганда ва ёнганда секин тебранади ва нолни кўрсатади. Ана шу вақтда генератор уланиши лозим.

Ҳозирги вақтда электр станцияларда мукамаллашган синхроноскоплар ишлатилмоқда. Бу синхроноскоплар СГ ларни параллел улашдаги вақтни аниқ кўрсатиб беради.

**2. Ноаниқ синхронлаш усули.** СГ ларни *аниқ* синхронлаш усули билан параллел улаш кўп вақт ( $\approx 10$  минут) талаб қилади. Шунинг учун ҳозирги вақтда жуда кўп электр станцияларда *ўз-ўзини (ноаниқ) синхронлаш усули* қўлланилмоқда. Бу усул билан СГ кучланиши ва частотаси тармоқникидан нисбатан кам миқдорда фарқли бўлган ҳолда ҳам генераторни қисқа вақтда тармоққа параллел улашга эришилади.

Ноаниқ синхронлашда бирламчи мотор ёрдамида ҳали қўзғатилмаган (қўзғатиш чулғами ўзгармас ток манбаига уланмаган) генераторнинг ротори синхрон айланиш частотага яқин частота билан айлантирилади, кейин статор чулғамлари тармоққа уланади ва қўзғатиш чулғамига ўзгармас ток берилади. Бу пайтда статор токнинг тебраниши кузатилади. Шунинг учун бу усул генераторни тез ва қисқа вақт ичида тармоққа параллел улаш керак бўлганда қулай ҳисобланади. Синхронлашдан олдин генератор ва тармоқ кучланиши айрим фазаларининг кетма-кетлиги текширилган бўлиши шарт.

## 18-маруза

### Синхрон генераторнинг электр тармоғи билан параллел ишлашидаги тавсифлари

**Режа:**

*Синхрон генераторнинг электр тармоғи билан параллел ишлашидаги тавсифлари*

Катта қувватли ( $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ) электр тармоғи билан параллел ишлаётган СГ нинг тавсифлари автоном ишлаётган СГ никидан умуман фарқ қилади. Катта қувватли тармоқнинг кучланиши машинанинг ҳар қандай иш режимидан қатъий назар ўзгармаганлиги туфайли синхрон машинанинг вектор диаграммасида ўзгармас бўлади. СГ нинг актив қувватини ўзгартириш учун уни ҳаракатга келтираётган бирламчи механизм (масалан, турбина)га таъсир этиш, яъни унинг айланиш частотасини ўзгартириш лозим. Буни эса турбинага келаётган сув (ГЭС да) ёки буғ (ИЭС ва АЭС ларда) босимини ўзгартириш ёки ўзгармас ток моторининг қўзғатиш тоқини ўзгартириш, дизель генераторларда эса ёқилғи миқдорини ошириш билан амалга оширилади.

Генераторнинг тармоққа бераётган актив қуввати қуйидагига тенг:

$$P_2 = P_{em} - P'_{e1} - P'_m = m \cdot U_1 \cdot I_1 \cos \varphi, \quad (23.1)$$

бу ерда:  $P'_{e1}$  – статор чулғами занжиридаги электр исрофлар;  $P'_m$  – статор ўзагидаги магнит исрофлар.

Катта ва ўрта қувватли генераторларда  $P'_{e1}$  ва  $P'_m$  исрофлари жуда ҳам кичик бўлганлиги туфайли улар ҳисобга олинмаса, генераторнинг тармоққа бераётган қуввати қуйидагига тенг бўлади:

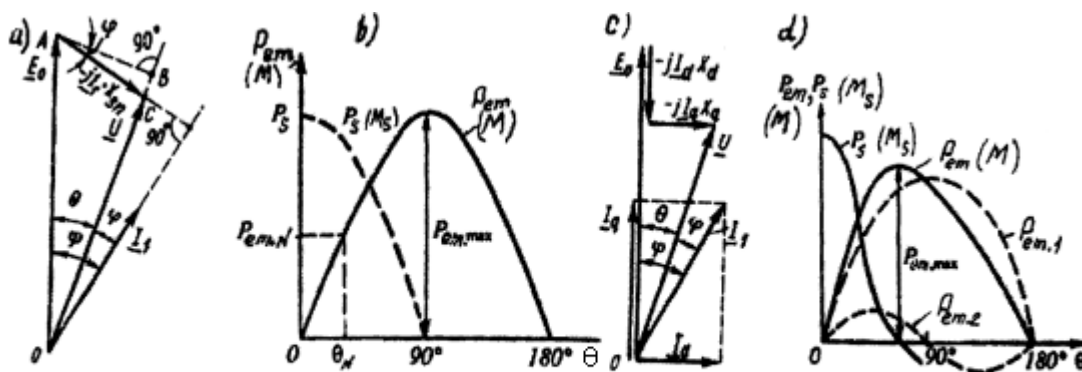
$$P_2 \approx P_{em} = m E_0 \cdot I_1 \cdot \cos \psi. \quad (23.2)$$

Тармоқ билан параллел ишлаётган СГ ни текшириш вақтида  $P_{em}$  қувватни машинанинг параметрлари, роторининг ҳолати ва унинг натижавий магнит майдони орасидаги силжиш бурчаги  $\theta$  орқали ифодалаш кулайдир.

Бунинг учун (23.1) формула бошқа кўринишга келтирилади. Магнит тўйиниши ҳисобга олинмаган *ноаён қутбли СГ нинг* 19.6,а-расмда кўрсатилган вектор диаграммаси статор чулғамининг актив қаршилиги эътиборга олинмаган ( $r_1 \approx 0$ , демак,  $I_1 r_1 = 0$ ) ҳол учун 23.2,а-расмда келтирилган.

Бу диаграммадан қуйидагини аниқлаймиз, яъни  $0AB$  ва  $ACB$  учбурчакларнинг умумий томони  $AB = OA \cdot \sin \theta = AC \cdot \cos \varphi$  ёки  $OA$  ва  $AC$  векторларнинг модуллари орқали ифодаланса қуйидаги тенгликка эга бўламиз:

$$E_0 \sin \theta = I_1 x_{sn} \cos \varphi. \quad (23.3)$$



Ноаён қутбли (a, b) ва аён қутбли (c, d) СГ нинг электромагнит қувватини аниқлашдаги соддалаштирилган вектор диаграммалар (a, c)

Бу тенгламанинг иккала томонини СГ нинг фазалар сони  $m$  га ва кучланиши  $U$  га кўпайтириб, синхрон индуктив қаршилик  $x_{sn}$  га бўламиз, натижада уч фазали синхрон машинанинг электромагнит қувватини аниқлаш формуласи келиб чиқади:

$$P_{em} = mUI_1 \cos \varphi = (mUE_0 / x_{sn}) \sin \theta. \quad (23.4)$$

Бу ифодадан кўринишича, электромагнит қувват  $P_{em}$  кучланиш  $U$ , ЭЮК  $E_0$  ва улар орасидаги силжиш бурчаги  $\theta$  ларга боғлиқ бўлар экан. Кучланиш  $U$  ва ЭЮК  $E_0$  векторлар орасидаги  $\theta$  бурчак *юкланиш бурчаги* дейилади.

Ноаён қутбли СГ нинг электромагнит momenti қуйидаги ифодадан топилади:

$$M = P_{em} / \omega_1 = [(mU_1 E_0 / (\omega_1 x_{sn}))] \cdot \sin \theta, \quad (23.5)$$

бу ерда:  $\omega_1 = 2\pi n / 60 = 2\pi f_1$  – магнит майдонининг бурчак тезлиги.  $\omega_1 = \text{const}$  бўлгани учун  $M \sim P_{em}$  бўлади. 23.2,b-расмда  $P_{em}$  (ёки  $M$ ) =  $f(\theta)$  боғлиқлик кўрсатилган бўлиб, унга СГ электромагнит қуввати ёки электромагнит моментининг **бурчак тавсифси** дейилади.

Бунда  $U = \text{const}$ ,  $f_1 = \text{const}$  ва  $E_0 = \text{const}$  ( $I_{q0} = \text{const}$ ) бўлади.  $P_N$  ва  $M_N$  ларнинг қийматларига номинал бурчак  $\theta_N$  тўғри келади ва у  $\theta_N = 20^\circ \div 35^\circ$  оралиғида бўлади. Бурчак  $\theta = \pi/2$  бўлса,  $\sin \theta = 1$  бўлиб, қувват ва момент ўзла-рининг максимум қийматларига эга бўлади.

$$P_{em,max} = mUE_0 / x_{sn}, \quad M_{max} = mUE_0 / (\omega_1 x_{sn}). \quad (23.6)$$

Ноаён кутбли СГ бурчак  $\theta = 0 \div \pi/2$  оралиқда синхрон режимда ишлай олади.  $\theta > \pi/2$  да эса синхронизмдан чиқиб кетади ва авария ҳолати юз беради.

Аён кутбли СГ нинг электромагнит қувватини вектор диаграммадан (23.2,c-расм) фойдаланган ҳолда қуйидагича аниқланади. Магнит занжири-нинг тўйиниши ҳисобга олинмаган СГ статор чулғамининг актив қаршилиги кичиклигидан  $r_1 \approx 0$  деб ҳисобланадиган катта ва ўрта қувватли СГ нинг актив қуввати қуйидагига тенг:

$$P \approx m \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi. \quad (23.7)$$

Вектор диаграммадан  $\varphi = \psi - \theta$  эканлигини аниқлаб (23.7) формулага қўямиз

$$\begin{aligned} P &= m \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos(\psi - \theta) = m \cdot U \cdot I_1 (\cos \psi \cdot \cos \theta + \sin \psi \cdot \sin \theta) = \\ &= m \cdot U (I_q \cdot \cos \theta + I_d \cdot \sin \theta). \end{aligned} \quad (23.8)$$

Кучланиш ва кучланиш пасайиши векторларини  $E_0$  вектори йўналишига (бунга машинанинг кўндаланг «q» ўқи тўғри келади) ва унга перпендикуляр бўлган йўналиш (машинанинг «d» ўқи)га проекциялаб қуйидаги ифодаларга:

$$E_0 = U \cos \theta + I_d x_d; \quad I_q x_q = U \sin \theta. \quad (23.9)$$

эга бўламиз, булардан эса токнинг кўндаланг ( $I_q$ ) ва бўйлама ( $I_d$ ) ташкил этувчиларини аниқлаймиз:

$$I_q = U \sin \theta / x_q, \quad I_d = (E_0 - U \cos \theta) / x_d. \quad (23.10)$$

Токларнинг бу қийматларини (23.8) га қуйиб аён кутбли синхрон машинанинг параметрлари орқали ифодаланган электромагнит қувватини ҳисоблаш формуласини ҳосил қиламиз:

$$P_{em} = (mUE_0 / x_d) \cdot \sin \theta + (mU^2 / 2) \cdot (1/x_q - 1/x_d) \sin 2\theta. \quad (23.11)$$

(23.11) дан кўринишича, қувватнинг *биринчи*, яъни *асосий ташкил этувчиси* кучланишга ва ЭЮК  $E_0$  ни ҳосил қиладиган кўзғатиш чулғамининг магнит оқи-мига боғлиқ бўлади, *иккинчи ташкил этувчиси* эса машинанинг кўзғатиш оқи-мига боғлиқ эмас, яъни у кучланиш квадратига ва машинанинг бўйлама ва кўндаланг ўқлари бўйича индуктив қаршилиқларининг фарқи ( $x_d \neq x_q$ , одатда  $x_d > x_q$ ) туфайли ҳосил бўлади. Номинал кўзғатишда қувватнинг иккинчи ташкил этувчиси биринчи (асосий) ташкил этувчи амплитудасининг 20÷35% ни ташкил этади.

Ноаён кутбли синхрон машиналарда  $x_d = x_q$ , шу сабабли (23.11) фор-мулада иккинчи ташкил этувчиси қатнашмайди.

**Синхрон машинанинг электромагнит моменти.** Буни аниқлаш учун электромагнит қувватни ҳисоблаш формуласини магнит майдоннинг бурчак тезлиги  $\omega_1$  га бўлиш керак, масалан, аён кутбли синхрон машина учун:

$$M = P_{em} / \omega_1 = [m U_1 E_0 / (\omega_1 x_d)] \cdot \sin \theta + \{ [m U_1^2 / (2\omega)] (1/x_q - 1/x_d) \} \cdot \sin 2\theta, \quad (23.12)$$

ноаён кутбли синхрон машиналар учун эса 2-ташкил этувчиси бўлмайди.

**Синхрон машина реактив қувватининг бурчак тавсифси.**

$U_T = \text{const}$ ,  $I_{qo'z} = \text{const}$  шартлари бажарилганда олинадиган  $Q = f(\theta)$  боғ-ликликка реактив кувватнинг бурчак тавсифси дейилади (23.3-расм).

Аён кутбли СГ нинг реактив куввати куйидаги формуладан аниқланади:

$$Q = mU \cdot I \sin\varphi = (mUE_0 \cos\theta) / x_d + (mU^2/2) \cdot (1/x_q - 1/x_d) \cos 2\theta - (mU^2/2) \cdot (1/x_q - 1/x_d). \quad (23.13)$$

Салт ишлашда ( $\theta = 0$ ) реактив кувват максимал қийматга эришади:

$$Q_{\max} = mU (E_0 - U) / x_d - mU^2 / (2x_q). \quad (23.14)$$

Агар  $E_0 > U$  бўлса реактив кувват  $Q_{\max} > 0$  бўлади, яъни синхрон генератор реактив кувватни электр тармоғига беради. Бурчак  $\theta$  нинг ошиши билан реактив кувват камая боради ва бурчак  $\theta$  нинг бирор қийматида кувват ишорасини ўзгартиради, яъни машина электр тармоғидан реактив кувватни ола бошлайди.

*U-симон тавсифлари.*

Кучланиш  $U = \text{const}$ ,  $f_1 = \text{const}$  ва кувват  $P = \text{const}$  бўлганда статор токи  $I_1$  нинг қўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  га боғлиқлигини, яъни  $I_1 = f(I_{qo'z})$  – синхрон ма-шинанинг *U-симон тавсифлари* дейилади.

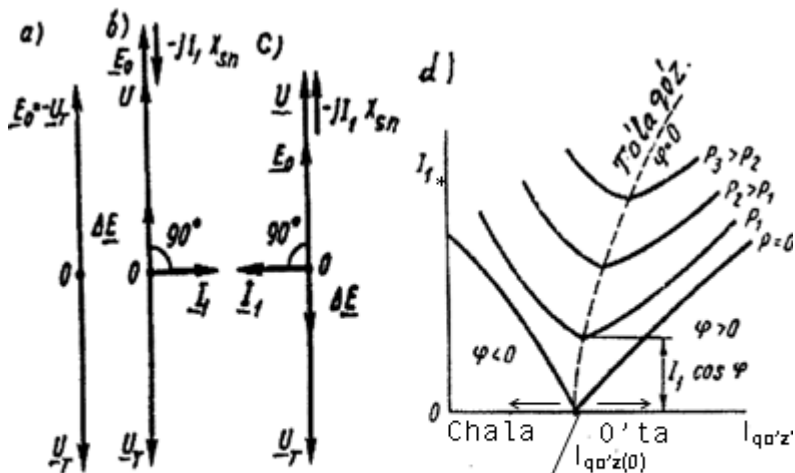
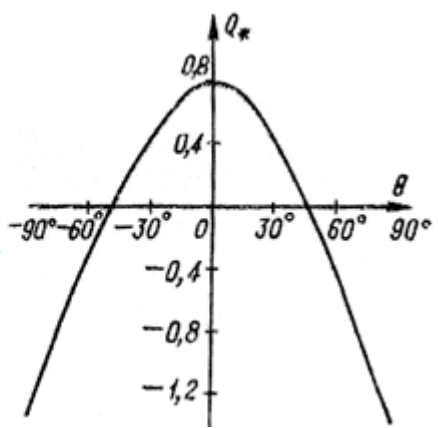
Куйида электр тармоғи билан параллел уланган ноаён кутбли СГ нинг юксиз ишлаш (яъни  $P = 0$ ) режимини кўриб чиқамиз.

Генераторни тармоққа улагандан сўнгра унинг ЭЮК  $\underline{E}_0$  тармоқ кучла-ниши  $\underline{U}_T$  билан мувозанатлашади, уларнинг йиғиндиси эса  $\underline{\Delta U} = \underline{E}_0 + \underline{U}_T = 0$  бўлади (23.4,a-расм). Бу ҳолда якорь занжиридаги ток ҳам нолга тенг бўлади, яъни юксиз ишлайди. Агар машинанинг қўзғатиш токи оширилса (ўта қўз-ғатишда),  $E_0$  ошади ва  $\underline{\Delta U} = \underline{E}_0 + \underline{U}_T > 0$  бўлади. Натижада якорь занжирида

$I_1$  ток ҳосил бўлади (23.4,b-расм), бу токнинг вектори ЭЮК вектори  $\underline{E}_0$  дан  $90^\circ$  га орқада қолади. Бунда электромагнит кувватнинг актив ташкил этувчи си  $E_0 \cdot I \cos\varphi = 0$  бўлади ва генератор фақат реактив кувват ишлаб чиқаради ва уни тармоққа беради. Агар қўзғатиш токининг қиймати оширилса реактив кувватнинг қиймати ошади, натижада ЭЮК  $\underline{E}_0$  ҳам ортади.

Агар  $E_0 = U_T$  бўлган ҳолда (23.4, c-расм) қўзғатиш токи камайтирилганда ЭЮК  $\underline{E}_0$  ҳам камаяди. Бу ҳолда синхрон машина чала қўзғатишли режимда ишлайди ва тескари

Магнит тўйиниши ҳисобга олинмаган аён кутбли ўта қўз-ғатишли синхрон генератор реактив куввати бурчак тавсифи



Актив юклама  $P=0$  бўлганда, тармоқ билан параллел ишлаётган ноаён кутбли синхрон генератор оддий вектор диаграммаси

йўналишдаги кучланишлар фарқи  $\Delta U$  вужудга келади. Шу сабабли якорь токи  $I_1$  кучланиш  $U$  дан  $90^\circ$  га орқада қолиб, ЭЮК  $E_0$  дан эса  $\psi = 90^\circ$  олдинда келади. Натижада реактив қувват ўзининг йўналишини ўзгартириб, тармоқдан генераторга узатилади. Қўзғатиш токининг кейинги камайтирилган қийматларида эса якорь токи  $I_1$  ортади.

Шундай қилиб, *қўзғатиш токининг ўзгариши, реактив қувватнинг ўзга-ришига олиб келади.* Ўта қўзғатиш ҳолатида ишлаётган генератор орқада қолувчи ток, чала қўзғатиш ҳолатида эса олдинда келувчи ток билан ишлар экан. 23.4,d-расмда  $I_1 = f(I_{q0}, z)$  боғлиқлик, яъни *U-симон тавсифлари* кўрсатилган. Юкланиш режимда U-симон тавсифларидаги якорь то-кининг минимум қиймати  $\cos\varphi = 1$  га тўғри келади. Генераторнинг тармоққа бераётган актив қуввати  $P$  ортиши билан U-симон тавсиф олдинги актив қувватда олинган мазкур тавсифдан юқорироқда жойлаша бо-ради (23.4-расм), чунки актив қувватнинг ортиши статор токининг актив таш-кил этувчисини оширади. Бунда якорь токининг минимум нуқталари ( $\cos\varphi=1$ ) ўннга томон силжийди. Бунга сабаб, актив қувватнинг ортиши билан статор токи актив ташкил этувчиси  $I_{1a}$  нинг ортиши туфайли статордаги  $I_{1a}x_{sn}$  кучла-ниш пасайиши ҳам ортади. Тармоқ кучланиш  $U_T = \text{const}$  бўлганлигидан ёки ошаётган  $I_{a}x_{sn}$  кучланиш пасайишини қоплаш учун қўзғатиш токини ошириб ЭЮК  $E_0$  ни ҳам кўпайтиришга тўғри келади, чунки  $E_0 = U_1 + jI_{1a}x_{sn}$ .

### 19-маъруза

#### Синхрон мотордаги физик жараёнлар ва унинг тавсифлари. Синхрон компенсатор.

*Режа:*

*Синхрон мотордаги физик жараёнлар ва унинг тавсифлари.*

*Синхрон компенсатор.*

#### Синхрон мотордаги физик жараёнлар ва унинг тавсифлари.

Синхрон моторнинг тузилиши умумий ҳолда синхрон генераторники каби бўлишига қарамасдан, унинг конструкциясида айрим фарқлар мавжуддир.

Синхрон машиналар бошқа турдаги электр машиналари сингари, қайтар-лик хоссага эга, яъни улар генератор режимда ҳам, мотор режимда ҳам иш-лаши мумкин. Лекин электр саноати синхрон машиналарни аниқ режим учун, яъни фақат генератор режимда ёки мотор режимда ишлаш учун мўлжаллаб ишлаб чиқаради, чунки машина ишининг мазкур режимлардаги ўзига хос хусусиятлари унинг конструкциясига ҳар хил талаблар қўяди.

Синхрон моторлар асосан аён кутбלי ( $2p = (6 \div 24)$  қилиб тайёрланади; ҳаво оралиғи генераторникига нисбатан камроқ қилинади (бунда унинг ишга тушириш токи камаяди); ишга тушириш жараёнидаги электромагнит моменти генераторлар моментига нисбатан катта бўлиши учун уларнинг ишга тушириш (демпфер) чулғами катта тоқларга мўлжаллаб ҳисобланади, чунки бу чулғам синхрон моторни ишга туширишда асосий вазифани бажаради.

---

Синхрон моторлар катта қувватли насосларда, вентиляторларда, ҳаво ҳайдагичларда, компрессорларда, шарли тегирмонларда, прокат станларида ва ун тайёрлаш тегирмонларида фойдаланиш мумкин.

**Ишлаш принципи.** Синхрон машина мотор режимда ишлаши учун унинг статор чулғамларига уч фазали ўзгарувчан ток, қўзғатиш чулғамига эса ўзгар-мас ток берилади. Статор чулғамида тоқлар вужудга келтирган МЮК лар айланма магнит майдонни ҳосил қилади. Бу майдон қўзғатиш чулғамидаги ток билан таъсирлашиб айлантирувчи моментни ҳосил қилади ва у роторни ай-лантиради. Демак, синхрон моторнинг статор чулғамига берилган электр энер-гия унинг валидаги механик энергияга айланар экан.

Синхрон моторларнинг вектор диаграммаларини куришда ток фазасини тармоқ кучланиши  $U_T$  га нисбатан аниқлаш қабул қилинган. Синхрон мотор статор чулғамига берилган кучланиш  $U_{(M)}$ , ток  $I_1$  ва улар орасидаги вақт бўйича силжиш бурчаги  $\varphi$  маълум бўлганда вектор диаграммани куриш синхрон

генераторники каби амалга оширилади (24.1-расминг чап томони). Масалан, аён кутбли мотор учун қуйидаги тенгламага асосан курилади (бунда катта ва ўрта қувватли синхрон машиналар учун статор, яъни якорь чулғамининг актив қаршилигини  $r_1 = 0$  деб қабул қилинган):

$$\underline{U}_{(M)} = \underline{E}_0 - jI_{1d}x_{ad} - jI_{1q}x_{aq} - jI_1x_{1\sigma} \quad (24.1)$$

Агар диаграммани тармоқ кучланиши  $U_T$  маълум бўлганда курилса, унда (24.1) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\underline{U}_T = \underline{E}_0 + jI_{1d}x_{ad} + jI_{1q}x_{aq} + jI_1x_{1\sigma} \quad (24.2)$$

(24.1) ва (24.2) тенгламаларга мос келувчи вектор диаграммалар якорь токи кучланишдан олдин келадиган, яъни ўта кўзғатишли режими учун 24.1-расмда кўрсатилган. Бундан кўринишича, синхрон моторда якорнинг бўй-лама реакцияси ўта кўзғатишли режимида магнитсизловчи таъсир қилади (чун-ки МЮК  $\underline{F}_{ad}$  вектори кўзғатиш МЮК вектори  $\underline{F}_{qo'z}$  векторига тескари йўналган). Шунга ўхшаш ҳолда кўрсатиш мумкинки, синхрон моторда кучла-нишдан вақт бўйича орқада қолувчи токда якорнинг бўйлама реакцияси магнитловчи таъсир кўрсатади.

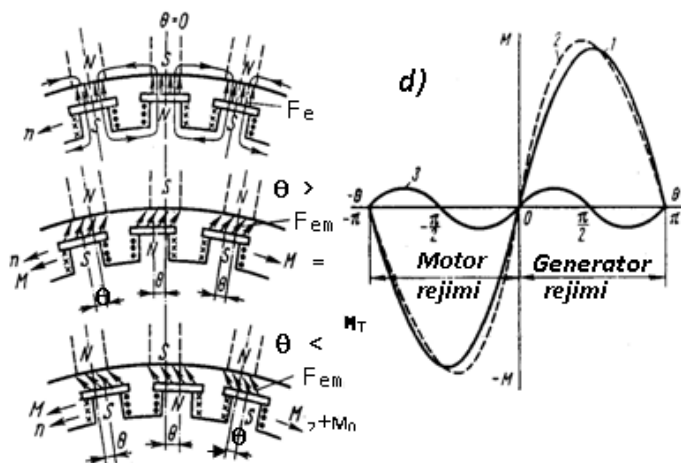
**Синхрон моторнинг бурчак ва U-симон тавсифлари.** Синхрон мотор электр тармоғидан электр қувват  $P_1$  ни истеъмол қилади. Бу қувватнинг бир қисми статорда якорь чулғамидаги электр исрофлари  $P'_{e1}$  ни ва статор пўлат ўзагидаги исрофлар  $P'_{m1}$  ни қоплашга сарфланади. Электр қуввати  $P_1$  нинг қолган қисми магнит майдон воситасида роторга узатилади. Бу қувватга электромагнит қувват  $P_{em}$  дейилади; унинг бир қис-ми механик  $P'_{mex}$  ва қўшимча  $P'_{qo'sh}$  исрофларга сарфланади, қолган қисми эса валдаги фойдали қувват  $P_2$  дейилади.

Агар статордаги қувват исрофлари эътиборга олинмай  $P_1 = P_{em} = P$  деб қабул қилинса, аён кутбли синхрон мотор учун электромагнит қувватни СГ ники каби қуйидагича ёзиш мумкин:

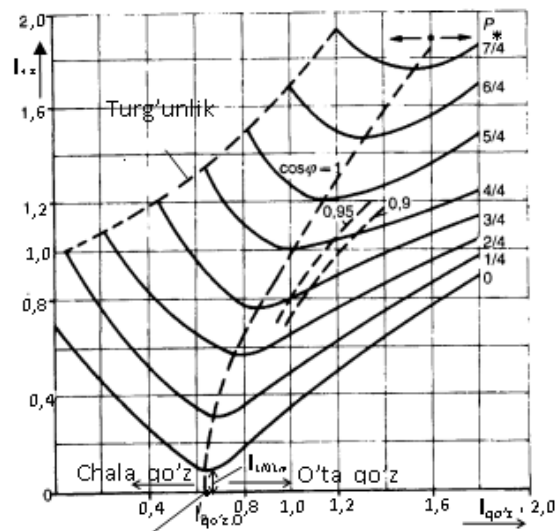
$$P = (mUE_0/x_d) \cdot \sin(-\theta) + (mU^2/2) \cdot (1/x_q - 1/x_d) \cdot \sin(-2\theta) = P' + P'' \quad (24.3)$$

Ноаён кутбли синхрон моторда  $x_d = x_q$  бўлгани сабабли  $P''$  ташкил этувчиси бўлмайди, яъни:

$$P = (mUE_0/x_d) \cdot \sin\theta \quad (24.4)$$



Кўзғатиш чулғами магнит оқими ва статор чулғами натижавий магнит оқими ларнинг синхрон машина юксиз ишлашида (а), генератор (б) ва мотор (с) режимларида ўзаро таъсири натижасида бурчакнинг хосил бўлиши ва бу режимлар учун бурчак тавсифлари



Синхрон моторнинг U-симон тавсифи

Агар (24.3) ни  $\omega_1 = 2\pi n_1/60$  га бўлсак, у ҳолда электромагнит моментнинг формуласига эга бўламиз. *Аён қутбли синхрон мотор учун:*

$$M = [m \cdot U \cdot E_0 / (\omega_1 \cdot x_d)] \cdot \sin(-\theta) + [m \cdot U^2 / (2\omega_1) \cdot (1/x_q - 1/x_d)] \cdot \sin(-2\theta) = M' + M'' \quad (24.5)$$

Ноаён қутбли синхрон мотор учун:

$$M = [m \cdot U \cdot E_0 / (\omega \cdot x_d)] \cdot \sin(-\theta). \quad (24.6)$$

24.2,d-расмда  $U_T = \text{const}$ ,  $f_T = \text{const}$  ва  $I_{q_0'z} = \text{const}$  бўлганда  $M = f(\theta)$  боғлиқлик, яъни аён қутбли синхрон машина электромагнит моменти-нинг бурчак тавсифси кўрсатилган. Бунда мотор режимида юкланиш бурчаги  $\theta$  нинг ишораси манфий бўлади, чунки мусбат ишора генератор режими учун қабул қилинган.

Синхрон моторда электромагнит момент статор магнит майдони йўна-лишига мос бўлса (24.2,b-расм), синхрон генераторда эса у моментнинг йў-налиши статор магнит майдони йўналишига тескари бўлади (24.2,b-расм).

Аён қутбли синхрон моторда қўзғатиш токи  $I_{q_0'z} = 0$  (демак,  $E_0 = 0$ ) бўлса ҳам  $M''$  ташкил этувчи ҳисобига электромагнит момент мавжуд бўлади.

Тармоқ кучланиши  $U_T = U_N = \text{const}$  ва валдаги қувват  $P_2 = \text{const}$  частота  $f_T = f_N = \text{const}$  бўлганда якорь токи  $I_1$  нинг қўзғатиш токи  $I_{q_0'z}$  га боғлиқлиги  $-I_1 = f(I_{q_0'z})$  ни характерловчи эгри чизик ларга моторнинг ***U-симон харак-теристикалари*** дейилади (24.3-расм).

Қўзғатиш токининг номинал қиймати  $I_{q_0'z,N}$  дан чап томони чала қўз-ғатиш ( $E_0 < U_T$ ) ва ўнг томони эса ўта қўзғатиш ( $E_0 > U_T$ ) ҳисобланади, якорь токининг минимум нуқталарида эса  $\cos\varphi = 1$  бўлади.

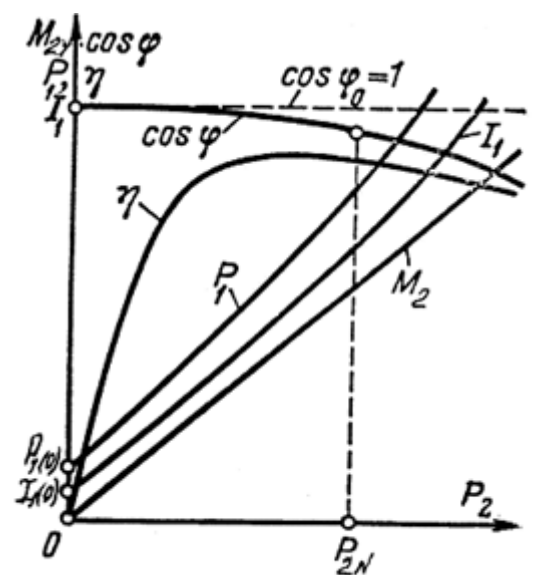
ўта қўзғатишлида синхрон мотор электр тармоғига реактив қувват бера-ди, натижада тармоқнинг юклама уланган қисмида  $\cos\varphi$  нинг ошишига ёрдам беради. Ундан ташқари, реактив қувват истеъмолининг камайиши электр станциялардаги СГ лар ишлаб чиқараётган реактив қувватни, электр узатиш линияларида ток ва исрофларни камайтиришга имкон беради. Шу сабабли синхрон моторларни номинал қувватда ўта қўзғатиш ва  $\cos\varphi_N = 0,9$  билан иш-лаш учун лойиҳаланади.

U-симон тавсифлардаги АВ пунктир чизик (24.3-расм) синхрон моторнинг *статик тургунлик чегараси* ҳисобланади, бунда юкланиш бурчаги  $\theta = \theta_{кр}$  бўлади. Синхрон моторнинг юксиз ишлаши (яъни  $P = 0$ ) даги U-симон тавсифнинг минимал нуқтаси абсциссалар ўқигача етиб келмайди (синхрон генераторники эса етиб келади).

### Синхрон моторнинг иш тавсифлари

$U_T = \text{const}$ ,  $f_T = \text{const}$  ва  $I_{q_0'z} = \text{const}$  бўлганда синхрон моторнинг валидаги фойдали момент  $M_2$ , электр тармоғидан истеъмол қиладиган қуввати  $P_1$ , статор чулғамининг токи  $I_1$ , ФИК  $\eta$  ва қувват коэффиценти  $\cos\varphi$  ларнинг мотор валидаги фойдали қувватга боғлиқ ҳолда ўзгариши, яъни  $M_2$ ,  $P_1$ ,  $I_1$ ,  $\eta$ ,  $\cos\varphi = f(P_2)$  боғлиқликка синхрон моторнинг *иш тавсифлари* дейи-лади. Бу тавсифлар валдаги юк  $P_2$  ни нолдан номиналгача ўзгартириб текширилади (24.4-расм).

Моторнинг айланиш частотаси  $n$  статор чулғамидаги ток частотаси ўзгармас бўлганда  $n = n_1 = 60 \cdot f_1/p = \text{const}$  бўлгани учун  $n = f(P_2)$  боғлиқлик абсциссалар ўқига параллел бўлган тўғри чизикли кўринишга эга бўлади.  $P_1 = f(P_2)$  боғланиш юқорига бир оз эгилган кўринишда бўлади, чунки  $P_1$  қув-ват якорь токининг квадрати



Синхрон моторнинг ишчи тавсифи

( $I_1^2$ ) га мутаносиб бўлади.  $I_1 = f(P_2)$  боғланиш  $P_1$  нинг ошиши билан ўсади, чунки  $I_1 = P_1 / (m \cdot U_1 \cos\varphi)$ .

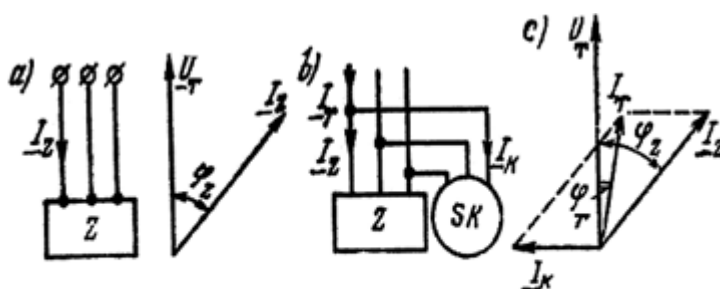
ФИК нинг юклагамага нисбатан ўзгариши  $\eta = f(P_2)$  ҳамма электр маши-налари учун умумий характерга эга, яъни синхрон моторнинг ўзгарувчан ва ўзгармас исрофлари тенг бўлганда ФИК максимал қийматга эришади. Бу қиймат-дан чап томонида магнит исрофлари электр исрофлардан катта бўлиб, ўнг то-монида эса статор чулғамидаги электр ис-рофлар магнит исрофлардан кўп бўлади.

*Синхрон моторларнинг* асинхрон моторларга нисбатан *афзалликлари* ва *кам-чиликларига* қуйидагилар киради.

### Синхрон компенсатор.

Синхрон компенсатор электр таъминоти системасида реактив қувватни ростловчи синхрон машина бўлиб, у асосан асинхрон моторлар ва транс-формторлар тармоқдан оладиган реактив қувватни компенсациялаш учун хизмат қилади. Валида механик юклагаси бўлмаган юксиз ишлаётган синхрон моторга **синхрон компенсатор** дейилади.

Унинг кўзгатиш токи номинал қий-матдан катта бўлганда электр тармоғига кучланишдан олдинда келувчи реак-тив ток беради ва электр тармоғининг қувват коэффиценти  $\cos\varphi$  ни оширади (24.6-расм). Электр энергияси узоқ масофага узатилганда электр узатиш линиясида индуктив юклагама катта бўлганлиги учун линия охирида кучланиш анча пасаяди, юклагама



Қувват коэффиценти ни ошириш учун синхрон компенсаторнинг ишлатилиши

камайганда эса линиянинг сиғим қаршилиги таъсирида кучланиш номинал қийматдан анча катта бўлади. Линиянинг юклагаси катта бўлганда синхрон компенсатор каттароқ кўзгатиш токи билан, юклагама камай-ганда эса кичикроқ кўзгатиш токи билан ишлаб электр тармоғининг охирида кучланишни  $U_T = \text{const}$  бўлишини таъминлайди. Бунда кўзгатиш токи автоматик усулда ростлаб турилади. Демак, синхрон компенсаторлар кучланиш-нинг ўзгармас ҳолда қолишини таъминлаш учун ҳам ишлатилар экан. Бунда тармоқдан ўтувчи реактив токнинг қиймати камаяди, бу эса қувват исрофини камайтиради.

Синхрон компенсатор индуктив (орқада қолувчи) токининг энг катта қиймати кўзгатиш токи нолга тенг бўлганга тўғри келади, сиғимий (олдинда келувчи) токининг меъёрий қиймати компенсатор актив қисмларининг қи-зиши билан чегараланади. Одатда, олдинда келувчи токнинг кейинда келувчи токка нисбати  $1,5 \div 2$  бўлади. Компенсаторнинг қуввати энг катта олдинда келувчи ток билан аниқланади. Синхрон компенсаторларда  $\theta$  бурчаги нолга яқин бўлади, роторлари аён қутбли, айланиш частотаси эса  $750 \div 1000$  айл/мин бўлади.

Синхрон компенсаторларда ҳам синхрон моторларга ўхшаган ишга ту-шириш чулғами бўлиб, у қутблар учида жойлашган бўлади ва асинхрон усул-да ишга туширилади. Юклагама моменти нолга тенг бўлгани учун синхрон ком-пенсаторларнинг ишга туширилиши енгил кечади.

Синхрон компенсаторнинг U-симон тавсифси асосий иш харак-теристикаси ҳисобланади. Бу тавсиф синхрон моторнинг  $P = 0$  даги U-симон тавсифси каби бўладию, лекин унинг минимум нуқтасидаги токнинг актив ташкил этувчиси  $I_{1(0)a}$  24.3-расмдагига нисбатан камроқ бўлади. Бунга сабаб, ротор конструкциясининг синхрон моторниқидан қуйидагилар билан фарқидир, яъни: валининг юклагама улаш учун чиқиб турадиган қисми бўлмаслиги, ундан ташқари, валининг диаметри нисбатан камроқ қилиб тай-ёрланиши;



синхрон компенсатордан ўта юкланиш қобилияти талаб қилин-маганлигидан унинг максимал моменти  $M_{\max}$  ни ҳаво ораллиғини камайтириш ҳисобига пасайтирилиши (бунда  $x_d$  ошади), бу эса, қўзғатиш чулғами ўлчам-ларини камайтиришга имкон беради. Буларнинг ҳаммаси синхрон компенсатор габаритларини камайтиришга олиб келади.

Синхрон компенсатор ишлаб чиқарадиган реактив қувватининг қиймати қўзғатиш токига боғлиқ бўлади. Ўта қўзғатиш режимида ишлаётган компенсатор тармоқ кучланишидан олдинда келувчи ток билан ишлаб, тармоққа ре-актив қувватни беради. Чала қўзғатиш режимида эса эса тармоқ кучланиши-дан орқада қолувчи ток билан ишлаб, тармоқдан реактив қувватни истеъмол қилади. Линиянинг қувват коэффициентини  $\cos\phi$  ни ошириш учун синхрон компенсатор ўта қўзғатиш режимида ишлаши керак. Қўзғатиш токи  $I_{q0'z}$  шундай ростланиши керакки, бунда якорь токи  $I_1$  тармоқ кучланиши  $U_T$  дан  $90^\circ$  олдинда келиши ва юклама токи  $I_{yu}$  нинг реактив ташкил этувчиси  $I_{yu,r}$  га тенг бўлиши керак, натижада тармоқ фақат юклама токнинг актив ташкил этувчиси билан юкланади, яъни  $I_T = I_{yu,a}$ . Тармоқ кучланишини  $U_T = \text{const}$  қилиб туриш учун, синхрон компенсаторнинг ЭЮК  $E_0 = U_T$  бўлиши лозим.

Агар тармоқ кучланиши синхрон компенсатор уланган жойда номинал қийматидан катта, яъни  $U_T > U_{T,N}$  бўлса, у ҳолда синхрон компенсатор тармоқни орқада қолувчи реактив ток билан юклайди. Синхрон компенсаторнинг қуввати катта бўлса, тармоқ кучланишининг тебраниши  $0,5 \div 1\%$  дан ошмайди.

Синхрон компенсаторлар асосан аён кутбלי машина бўлиб, қуввати  $2,8 \text{ MV}\cdot\text{A}$  дан  $160 \text{ MV}\cdot\text{A}$  гача, айланиш частотаси эса  $750$  айл/мин ёки  $1000$  айл/мин бўлади. Таъкидлаш лозимки, сўнгги вақтларда МДХ мамлакатларида роторининг конструкцияси ноаён кутбли синхрон машина (турбогенератор) асосида қуввати  $320 \text{ MV}\cdot\text{A}$  бўлган бўйлама-кўндаланг қўзғатишли компенсатор ишлаб чиқилган ва самарали ишлатилмоқда.

#### **Назорат саволлари**

1. Синхрон моторнинг тузилиши ва ишлаш принципини сўзлаб беринг.
2. Синхрон моторни қандай ишга тушириш усуллари биласиз?
3. Синхрон моторнинг иш тавсифларини тушунтириб беринг.
4. Синхрон моторнинг бурчак ва U-симон тавсифларини таҳлил қилинг.

### **20-маъруза**

#### **Ўзгармас ток машиналари тузилиши. Магнит занжири ва уни ҳисоблаш.**

*Режа:*

*Ўзгармас ток машиналари тузилиши.*

*Коллектор.*

*Магнит занжири ва уни ҳисоблаш.*

#### **Ўзгармас ток машиналари тузилиши.**

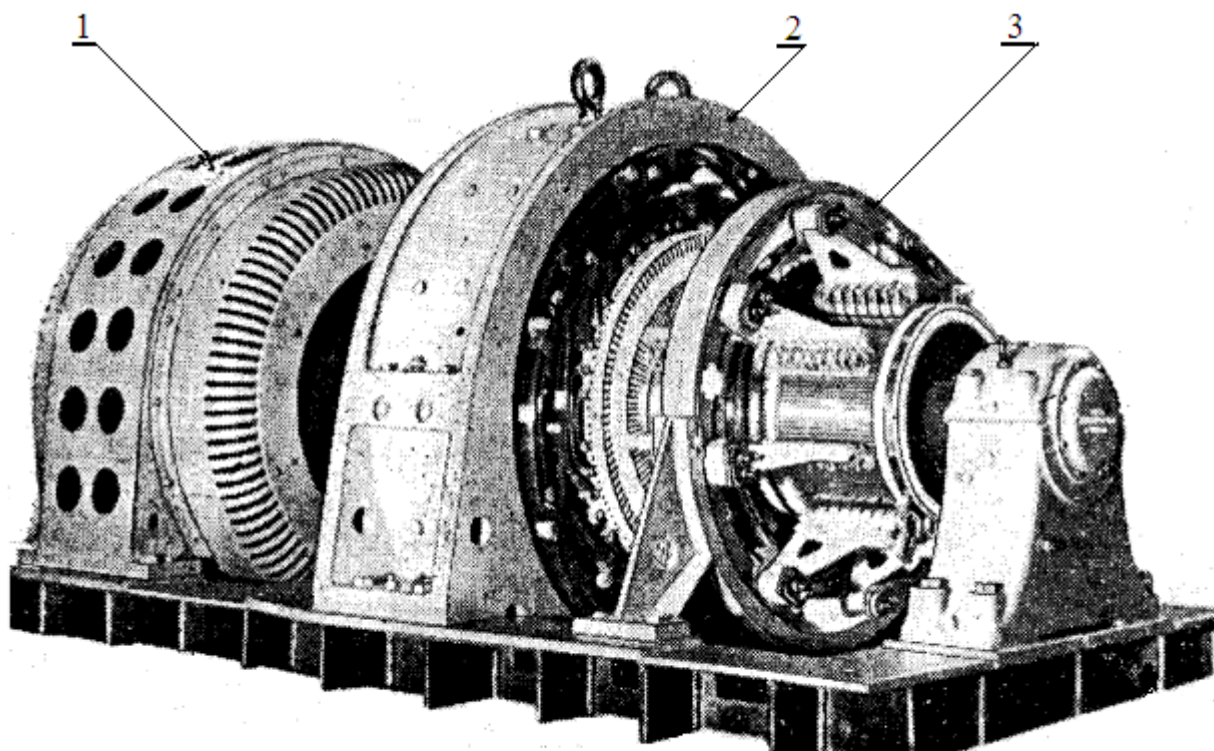
Ўзгармас ток машиналари, ўзгармас ток манбалари (генератор) режимида ҳамда, ўзгарткич техникаси жадал ривожланиши билан асинхрон машиналарининг бошқарилиш хусусиятлари ортиши сабабли, аввалги вақтларда қулай бошқарилиш хусусиятлари билан ажралиб турган мотор режимида ишлатилиб, амалиёт учун муҳим бўлган қуйидаги афзалликларга эга:

- а) айланиш частотасининг осон усулда кенг диапазонда равон ўзгартири-лиши;
- б) нисбатан кичик ток микдори ёрдамида катта ишга тушириш моментини ҳосил қилиниши;
- в) ўта юклама билан ишлаш қобилиятининг нисбатан катталиги;
- г) ҳар хил биқирликка хос (айланиш частотаси кам ёки кўп ўзгарадиган) механик тавсифларни олиш имконияти мавжулиги.

#### **Ўзгармас ток машиналарининг тузилиши**

Ўзгармас ток мотор (ЎТМ)лари электр транспортида, автоматик ростлаш тизимлари, жўвалаш дастгоҳлари, юк кўтариш кранлари, экскаваторлар, металлларга ишлов бериш

дастгоҳлари, тўқимачилик саноатида ишлатилади. ЎТ генераторлари эса ЎТ энергия манбаи сифатида (катта қувватли ЎТМ ларни ЎТ энергияси билан таъминлашда) ишлатилади.



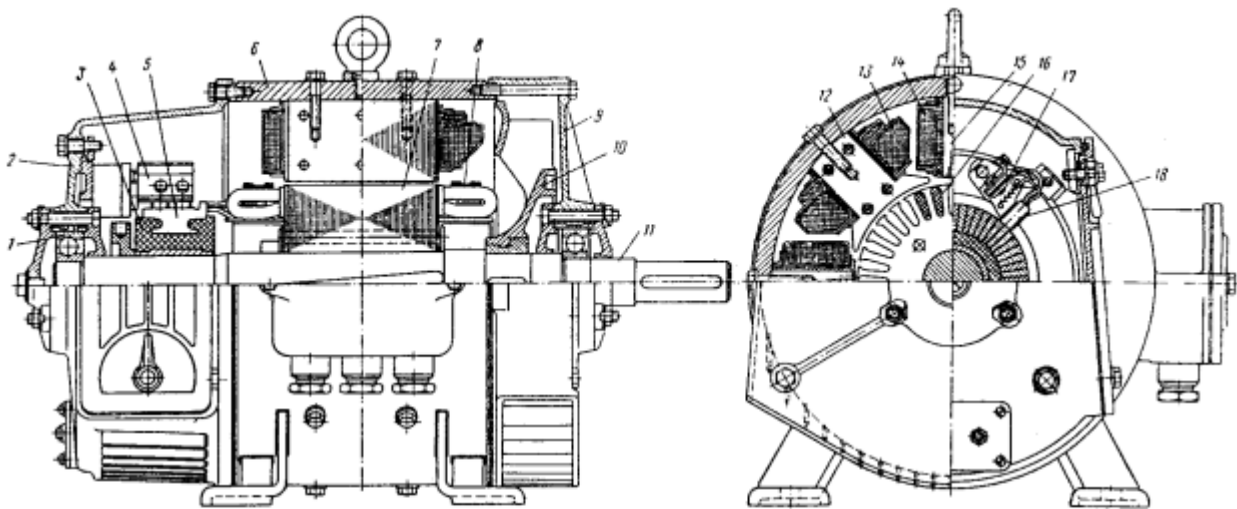
**Номинал қуввати 1 000 кВт, кучланиши 250 В, токи 4 000 А, айланиш тезлиги 750 айл/мин бўлган подшипникли ўзгармас ток генератори**

ЎТ машиналари шчўтка-коллектор аппаратларининг иши билан боғлиқ бўлган *камчиликлари* мавжуд, яъни катта юкламада чўткалар билан коллектор орасида юзага келадиган учқунланиш машина ишига салбий таъсир кўрсатиб *ишончлилик даражасини пасайтиради*. Шу сабабли ЎТ машиналарини порт-лашга хавфли бўлган муҳитларда ишлатиб бўлмайди. Коллектор ЎТ машина-сининг конструкциясини мураккаблаштиради, эксплуатация жараёнида уни мунтазам назорат қилиб туриш талаб қилинади. ЎТМ қисқа туташган роторли асинхрон моторга нисбатан 2,5÷3 марта қиммат ва уни ишлатиш учун ЎТ энергия манбаси ёки ўзгарувчан токни тўғрилагич қурилмаси зарур бўлади.

Лекин, сўнгги йилларда ЎТМ ни реостатсиз ишга туширишга имкон бе-радиган ЎТ ни ростлашнинг тежамли методи ишлаб чиқилганлиги; ЎТ юрит-маси частота воситасида ростланадиган юритмага нисбатан арзонлиги; кол-лекторсиз ЎТ машиналари ҳам ихтиро қилиниб амалда қўлланила бошлан-ганлиги коллектор билан боғлиқ бўлган жиддий камчиликка нисбатан барҳам берилиб ишончлилик даража яхшиланмоқда.

ЎТ машинасининг кўзгалмас қисмини – *статор*, айланувчи қисмини эса – *якорь* дейлади. Статор – сифатли пўлатдан тайёрланадиган станина ва унинг ички юзасига жойлаштириб маҳкамланган бош ҳамда қўшимча қутблардан иборат. Станина ва қутблар ўзаги машина магнит системасининг таркибий қисмига киради.

*Асосий қутб* ўзаги қалинлиги 1 мм бўлган электротехник пўлат листлар-дан йиғилади. Машина ҳаво оралиғида магнит майдонни зарурий шаклда тақ-тақсимлаш мақсадида асосий қутбларнинг якорь томонидаги учига махсус («қутб учлиги») шакл берилади.



Қуввати 6 кВт, айланиш частотаси  $n = 1500$  айл/мин,  $U_N = 220$  В бўлган ўзгармас ток машинаси: 1 – шарикли подшипник; 2 – олдинги (коллектор томондаги) подшипник калкони; 3 – коллекторни пластмасса билан маҳкамлагич; 4 – чўтка туткич бармоғи; 5 – коллектор пластинаси; 6 – станина (тана гардиши); 7 – якорь ўзаги; 8 – якорь чулғами паздан ташқари қисминининг бандажи (камари); 9 – орка томондаги подшипник калкони; 10 – вентилятор; 11 – вал; 12 – бош кутб; 13 – бош кутб кўзғатиш ғалтағи; 14 – кўшимча кутб кўзғатиш ғалтағи; 15 – кўшимча кутб; 16 – якорь чулғами жойлаш тирилган паз; 17 – чўтка туткич; 18 – чўтка

Кўзғатиш чулғамининг ғалтаклари кутб ўзақларига кийдирилади ва станинага сиқиб маҳкамланади. Ўрта ва катта қувватли ЎТ машиналарида сови-тиш юзани ошириш учун кўзғатиш ғалтакларини икки қисмга бўладилар. Асосий кутб ғалтакларини шимолий ва жанубий кутблар навбатма-навбат келадиган тартибда улаб *кўзғатиш чулғами ҳосил қилинади*. Бу чулғам ма-шинада асосий майдон ҳосил қилиш учун хизмат қилади.

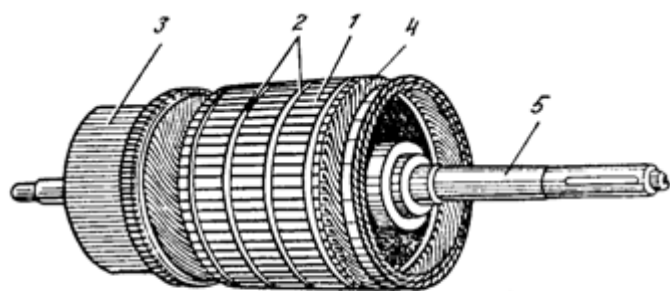
Қуввати 1 кВт ва ундан катта бўлган ЎТ машиналарида коммутация жа-раёнида содир бўладиган учқунланишни камайтириш учун қўшни жойлашган бош кутблар орасида (машинанинг кўндаланг ўқи бўйича) қўшимча кутблар ўрнатилади. *Қўшимча кутблар ўзаги* яхлит пўлат ёки қалинлиги 1 мм пўлат листларидан йиғилган бўлади. Ўзакка тўғрибурчак кесимли симдан тайёрланган чулғам ғалтағи ўрнатилади.

*Якорь* – вал ва унга ўрнатилган цилиндрик шаклдаги пўлат ўзак, унинг пазларига жойлаштирилган якорь чулғами ва унинг секцияларини улаш учун маълум тартибда йиғилган махсус шаклдаги мис пластиналари мажмуаси (коллектор)дан иборат.

Якорнинг пўлат ўзаги қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм бўлган электротехник пўлат листлардан йиғилган бўлади. Бу ҳолда магнит майдонда якорь айланишида ўзақда ҳосил бўладиган уярма тоқлар таъсири кескин камаяди. Якорь пазларидаги чулғам секцияларини махсус поналар билан, паздан ташқари қисмларини эса бандаж (камар)лар билан маҳкамланади.

**Коллектор (йиғувчи)** совуқ ҳолда жўваланган қаттиқ мисдан тайёрланган понасимон кесимли пластиналардан цилиндр шаклида йиғилади. Пластиналар бири-бирдан миканит қистирмалар билан изоляцияланади. Кам ва ўрта қувватли ЎТ машиналарида коллектор пластиналари ва миканит қистирмалар пластмасса ёрдамида пресслаб маҳкамланади.

Йиғилган коллектор қиздирилган холда валнинг якорь чулғами ёнига жойлаштириб маҳкамланади. Коллектор пластиналарининг якорь чулғами томонидаги чиқиб турадиган қисмига чулғам секциялари кавшарланади. Коллектор пластиналари якорь чулғами ўрамларини кетма-кет улайди.



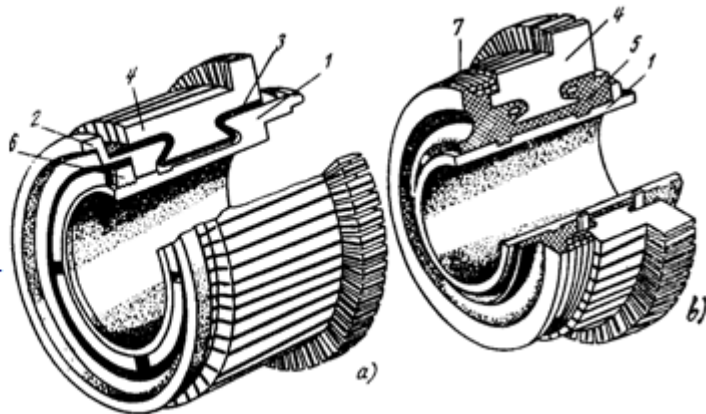
Ўзгармас ток машинасининг якори: 1-якорь ўзаги; 2-бандажлар; 3-коллектор; 4-якорь чулғамининг пазлари; 5-вал.

Коллектор якорь чулғами билан бирга айланади, унинг юзасида чулғамни ташки электр занжири билан боғловчи чўткалар траверсага (ёки подшипник қалқонига) маҳкамланган чўтка туткичлар *Траверса* – зарурат туғилганда чўткалар системасини машина кутбларига нисбатан силжитиш имконини берувчи қурилмадир. Чўткалар ва қўзғатиш чулғамидан чиққан симлар махсус клемма (қискич)лар тахтачасига чиқарилган бўлади.

Ўрдамида қўзғалмас ҳолатда тутиб турилади.

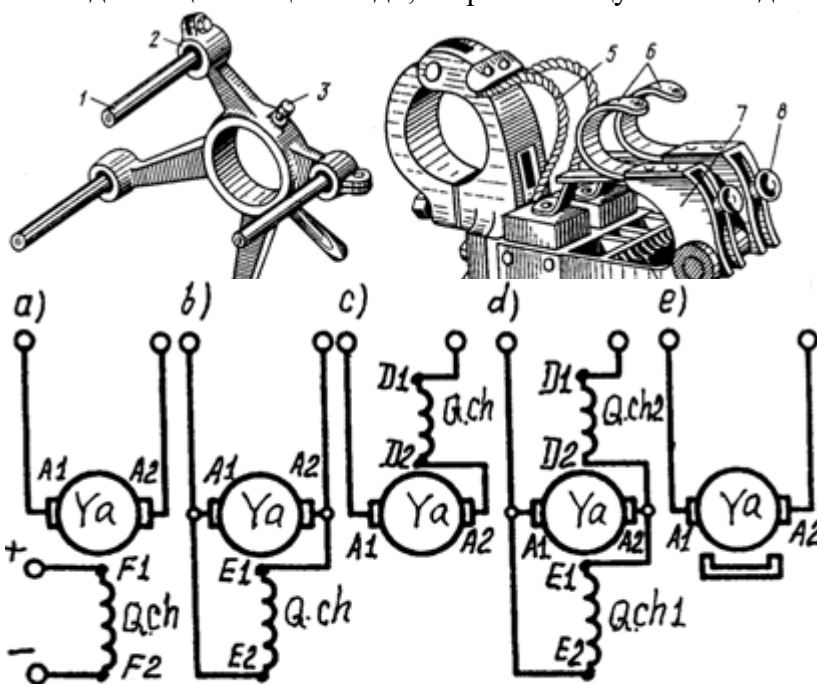
ЎТ машинасини совитиш учун унинг валига вентилятор ўрнатилади. Валнинг иккала томонида подшипник қалқонлари маҳкамланади.

Ўзгармас ток машинаси металл (а) ва пластмасса (б) корпусли коллектори: 1-корпус; 2-сикувчи флянец; 3-изоляция кистиргич; 4-коллектор пластинаси.



ЎТ машиналари қўзғатилиш усулига кўра қуйидаги турларга бўлинади: мустақил, кетма-кет, параллел, аралаш қўзғатишли ва доимий магнитли.

ЎТ машинасининг мустақил қўзғатишли турида қўзғатиш чулғамига ташқи ЎТ манбасидан ток бериб асосий майдон ҳосил қилинади; параллел қўзғатишлида машинанинг асосий магнит майдони кутб ўзагидаги қолдиқ магнит оқими таъсирида, яъни ўз-ўзини қўзғатиш ҳодисаси туфайли ҳосил бўлади; кетма-кет қўзғатишли турида машинанинг асосий майдони юклама улангандан кейингина ҳосил бўлади, чунки қўзғатиш чулғами якорь чулғамига кетма-кет уланган бўлади; аралаш қўзғатишли турида, юксиз ишлаш режимда машинанинг асосий магнит майдонини параллел қўзғатишли чулғам ҳосил қилади, юклама билан



Хар хил қўзғатишли ўзгармас ток машиналарининг электр схемалари: а) мустақил; б) параллел; в) кетма-кет; д) аралаш қўзғатишли чулғамлари бўлган ва е) ўзгармас магнитли қўзғаткичли.

ишлаганда эса кўзғатиш майдонини параллел ва кетма-кет кўзғатиш чулғамларининг натижавий майдони туф-айли ҳосил бўлади.

ЎТ микромашиналарининг кўпчилигида машинанинг асосий майдони до-имий магнит воситасида ҳосил қилинади. Бу ҳолда машинанинг кўзғатиш чулғами вазифасини доимий магнит бажаради.

Якорь 180° га бурилганда ўрамдаги ЭЮК (ёки ток) нинг йўналиши теска-рига ўзгаради. Лекин чўткалар кутбийлиги (ишораси) ва занжирнинг ташқи қисмида токнинг ўз йўналишини ўзгартирган пайтда чўткалар тагидаги кол-лектор пластиналарининг ҳам жойи алмашинади.

Шундай қилиб, «А» чўтка тагида ҳамма вақт шимолий кутб таъсиридаги, «В» чўтка тагида эса жанубий кутб таъсиридаги ўтказгич уланган пластина туради. Натижада ЎТ генераторида якорь чулғаидаги ўзгарувчан ток кол-лектор ва чўткалар воситасида занжирнинг ташқи қисмидаги пульсациялана-диган токка айлантирилади.

Агар якорь чулғами фазода бир-бирига нисбатан 90° да жойлашган ик-кита ўрамдан иборат бўлса, ташқи занжирда токнинг пульсацияланиши кескин камаяди.

Албатта, якорь чулғами битта ёки иккита ўрамдан эмас, балки бир неча ўрамдан иборат бўлади. Натижада токнинг ташқи занжирдаги пульсацияси кескин камаяди. Масалан, чулғамдаги ўтказгичлар сони 16 та (ўрамлар сони 8 та) бўлса, токнинг пульсацияси сезилмай қолади ва генераторнинг ташқи занжиридаги ЭЮК (ёки ток) ни фақат йўналиши бўйича эмас, балки кат-талиги бўйича ҳам ўзгармас дейиш мумкин бўлади.

Якорь чулғамига юклама уланганда ўтадиган ток асосий майдон билан таъсирлашиб электромагнит куч ва момент ҳосил қилади. Электромагнит куч-нинг қиймати Ампер қонунига биноан қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$F_{em} = B_{орт} \ell I_a . \quad (27.2)$$

Бу кучнинг йўналиши «чап қўл қоидаси» (К.2, b-расм) бўйича аниқлана-ди. Бу куч ҳосил қилган электромагнит момент қуйидагига тенг бўлади:

$$M = F_{em} \cdot D / 2 = C_M \Phi I_a , \quad (27.3)$$

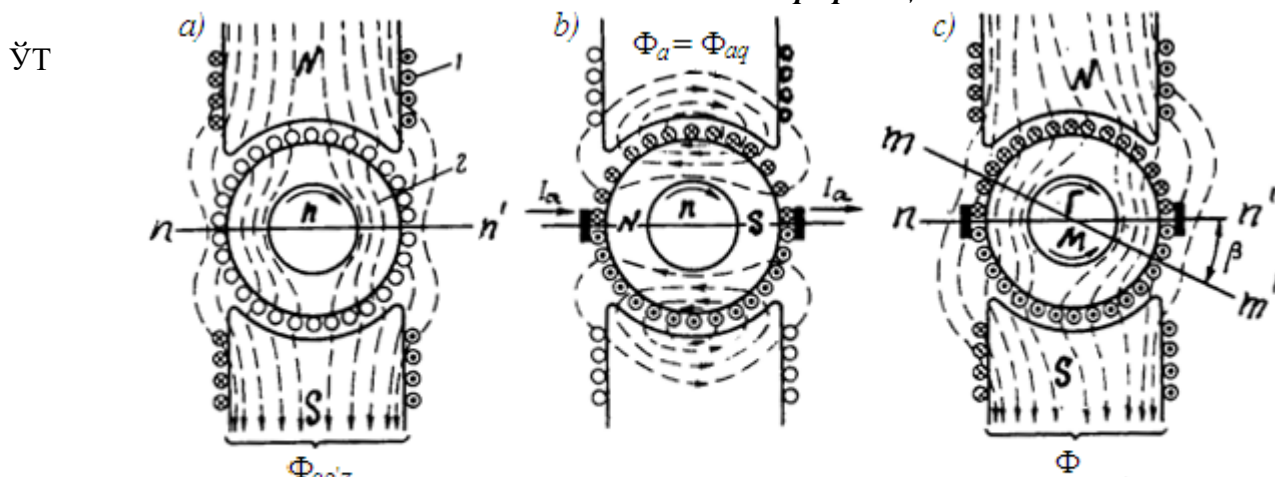
бунда  $D / 2$  – якорнинг радиуси;  $C_M = pN / (2\pi a)$  – машина конструкциясига боғлиқ бўлган ўзгармас сон. Машина генератор режимида ишлаганда бу мо-мент тормозловчи таъсир этади.

### Магнит занжири ва уни ҳисоблаш.

**Юксиз ишлашидаги магнит майдон.** Юксиз ишлаётган ЎТ генераторида асосий магнит майдон кўзғатиш чулғами МЮК томонидан ҳосил қилинади.

ЎТ машиналарининг магнит тавсифси синхрон машиналарники-га ўхшаган бўлади. ЎТ машинасининг магнит занжирини ҳисоблашга оид маълумот 31-бобда берилган (31.4-бандга қаранг).

**Юклама билан ишлашидаги магнит майдон. Якорь реакцияси.**



Ўзгармас ток машинасининг магнит майдони: а) кўзғатиш чулғамининг майдони  $\Phi_{qo'z}$ ; 1-кўзғотиш чулғами; 2-якорь; б) якорь чулғамининг майдони  $\Phi_a$ , в) машинанинг натижавий майдони  $\Phi$ .

машинаси (генератор)га юклама уланганида якорь чулғамидан ток ўтиб МЮК ҳосил бўлади. Якорь МЮК нинг машина асосий магнит майдонига таъсири **якорь реакцияси** дейилади. Машина магнит занжири тўйинишини ҳисобга олмасдан, кўзғатиш чулғами ( $F_{qo'z}$ ) ва якорь чулғами МЮК лари ( $F_{aq}$ ) машина магнит занжирининг ҳаво оралиғи магнит қаршилигини енгишга сарфланади деб ҳисобланганда, таҳлил учун юқорида кўрсатилган МЮК лар ўрнига уларга мос бўлган магнит оқимлари ( $\Phi_{qo'z}$  ва  $\Phi_{aq}$ ) ни ишлатиш мумкин бўлади.

Юксиз ишлашда асосий магнит оқим ( $\Phi_{qo'z}$ ) машинанинг бўйлама ўқи бўйича йўналган бўлади (28.1,*a*-расм), юклама билан ишлаганда эса якорь чулғами МЮК ( $F_{aq}$ ) ҳосил қилган магнит оқим  $\Phi_{aq}$ , машинанинг чўткалари гео-метрик нейтралга қўйилганда (28.1,*b*-расм), машинанинг кўндаланг ўқи бўйича йўналади ва шунинг учун уни **кўндаланг майдон** ( $\Phi_{aq} = \Phi_a$ ) дейилади. Бу майдоннинг таъсири (**якорь реакцияси**) туфайли натижавий майдон  $B_{nat}$  бош кутблар ўқларига нисбатан тақсимланиши симметрик бўлмайди ва ҳар битта кутбнинг бир чеккасига силжиган бўлади (28.2,*c*-расм). Бу ҳолда физик ней-траль  $m-m'$  (якорь айланасида магнит индукция нолга тенг бўлган нуқталар-ни бирлаштирувчи чизик) машинанинг геометрик нейтрал ( $n-n'$ ) га нисбатан бирорта  $\beta$  бурчакка силжийди. ЎТ генераторларда (28.2,*c*-расмда «G») физик нейтрал якорь айланиш йўналиши бўйича, моторларда эса – тескари йўналишга силжийди.

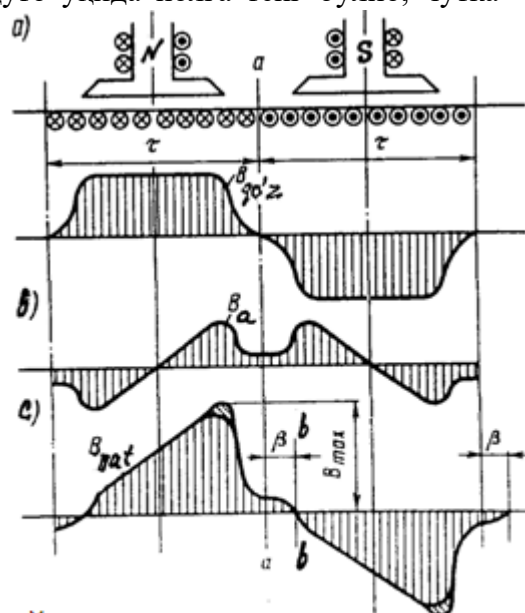
*Магнит занжири тўйинмаган* деб фарз қилинган ЎТ машинасида кўз-ғатиш чулғами йиғилган бўлгани учун, у ҳосил қилган МЮК нинг тақ-симланиши тўғри тўртбурчак шаклида бўлиб, битта кутб остида у ҳосил қил-ган магнит индукциянинг тақсимланиши эса, эгри чизикли трапеция шак-лида бўлади (28.2,*a*-расм).

Якорь чулғамининг МЮК қуйидагига тенг, яъни:

$$F_a = (\tau i_a) \cdot N / (\pi D_a) = \tau A, \quad (28.1)$$

бунда:  $N/(\pi D_a)$  – чулғамдаги ўтказгичларнинг якорь айланаси узунлик бир-лигига тўғри келувчи сони;  $i_a = I_a / (2a)$  – якорь чулғамининг ҳар бир ўтказгичдан (демак, параллел шохобчадан) ўтадиган ток;  $A = i_a \cdot N / (\pi D_a)$  – якорнинг чизигий юкламаси, яъни якорь МЮК нинг якорь айланаси узунлик бирлигига тўғри келадиган қисми.

МЮК  $F_{aq}$  тўғри чизикли ўзгаради, яъни бош кутб ўқида нолга тенг бўлиб, чўтка жойлашган кўндаланг ўқда эса максимал қийматга эга бўлади. Унинг қўшни кутблар ўқлари орасидаги тақсимланиши учбурчак шаклда бўлади. Шундай қилиб, юклама билан ишлаётган ЎТ машинасида кўзғатиш чулғами МЮК  $F_{qo'z(0)}$  ва якорь чулғами МЮК  $F_{aq}$  бўлади. Якорь магнит индукциясининг машина ҳаво оралиғида тақсимланиши кутб учликлари чегарасидагина якорь МЮК  $F_{aq}$  нинг тақсимланиши билан мос тушади. Кутбларо фазода якорнинг магнит оқимига нисбатан қаршилиқнинг ортиб кетиши туфайли *магнит индукция кескин камаяди*. Машинанинг магнит системаси тўйинмаган ҳолда якорь реакцияси асосий магнит оқимни бузади холос, лекин унинг катталигини ўзгартирмайди. Кутбнинг якорь кириб келаётган томонида ва якорь ўзагининг шу кутб рўпарасидаги тишли қатлами якорь МЮК нинг йўналиши асосий кутблар МЮК ларининг йўналиши билан мос тушганлиги туфайли уларнинг магнитланиши ошади; кутб тагидан якорь чиқиб кетаётган томонида ва якорь ўзагининг шу кутб рўпарасидаги тишли қатлами эса юқоридаги МЮК ларнинг қарама-қарши йўналганлигидан магнитсизланади. Шу сабабли натижавий магнит оқим асосий кутбларнинг ўқида нисбатан маълум бурчакка бурилади.



Ўзгармас ток машинасининг ҳаво оралиғида магнит индукцияси тақсимланиши

Машина натижавий майдонининг бузилиши унинг иш хоссаларига ёмон таъсир этади: 1) чўтка контакти иш шароитини ёмонлаштиради, яъни коллектордан учқун чиқишининг кучайишига сабаб бўлади; 2) машина кутбларининг иккала майдон куч чизиқлари бир хил йўналган чеккалари остидаги якорь чулғамининг секцияларида ЭЮК ларнинг оний қийматлари кескин ошади. Натижада, қўшни коллектор пластиналари оро кучланиш  $U_k$  ошади ва катта қийматли юкламаларда унинг қиймати стандарт томонидан йўл қўйилганидан катта бўлса, пластиналар орасидаги миканит (изоляция)нинг электр мустаҳкамлиги бунга бардош бера олмай, улар орасида электр ёйи вужудга келади. Бу ҳол коллекторнинг нормал ишлашига салбий таъсир кўрсатиб, унинг хизмат муддатини кескин қисқартиради.

Магнит системаси тўйинган ЎТ машинасида якорь реакциясининг салбий таъсири, яъни машинани магнитсизлаши унинг иш хоссаларини ёмонлашти-ради. Бу ҳолда генераторларда ЭЮК, ЎТМ ларида эса айлантурувчи момент камаяди.

*Чўткаларнинг геометрик нейтралга нисбатан силжиишида* якорь реак-циясининг машина ишига таъсири *қуйидаги сабабларга кўра* кучаяди. Чўткалар силжиганда у билан бирга якорь МЮК нинг вектори ҳам силжийди ва бунда якорнинг МЮК  $F_a$  кўндаланг ташкил этувчиси ( $F_{aq} = F_a \cos \beta$ ) дан ташқари, кутблар ўқи бўйича йўналган бўйлама ташкил этувчиси ( $F_{ad} = F_a \sin \beta$ ) га ҳам эга бўлади. Генератор режимда ишлаганида чўткалар якорнинг айла-ниш йўналиши томонга силжиса, МЮК нинг бўйлама ташкил этувчиси  $F_{ad}$  кўзғатиш чулғами МЮК  $F_{qo'z(o)}$  га қарама-қарши йўналиб машинанинг асосий магнит оқимини кучсизлантиради; чўткалар якорь айланишига тескари томонга силжиганда эса,  $F_{ad}$  МЮК  $F_{qo'z(o)}$  га мос йўналиши туфайли машина магнит-ланагини оширади ва коллекторда учқун чиқишига сабабчи бўлади.

Агар ЎТ машинаси мотор режимда ишлаганида чўткаларнинг якорь айла-ниши бўйича силжиганида МЮК  $F_{ad}$  машинани кўшимча магнитлаб, улар тес-кари томонга силжиганда эса магнитланиш даражасини камайтиради.

## 21-маъруза

### Ўзгармас ток машиналарининг генератор режимда ишлаш принципи. Якорь чулғамлари ва қисмлари. Уларни ҳисоблаш

#### **Режа:**

*Ўзгармас ток машиналарининг генератор режимда ишлаш принципи.*

*Якорь чулғамлари ва қисмлари. Уларни ҳисоблаш*

#### **Ўзгармас ток машиналарининг генератор режимда ишлаш принципи**

Ўзгармас ток (ЎТ) машинасининг ротори бирламчи мотор билан айлантурулганда якорь чулғами ўтказгичлари кўзғатгич чулғами магнит майдонини кесиб ўтиши туфайли уларнинг ҳар бирида электромагнит индукция ҳодисасига биноан ўзгарувчан ЭЮК ҳосил бўлади. Унинг оний қиймати қуйидагига тенг:

$$e = B l v, \quad (27.1)$$

бунда  $B$  – магнит майдон индукцияси;  $l$  – ўтказгичнинг узунлиги;  $v$  – тезлик.

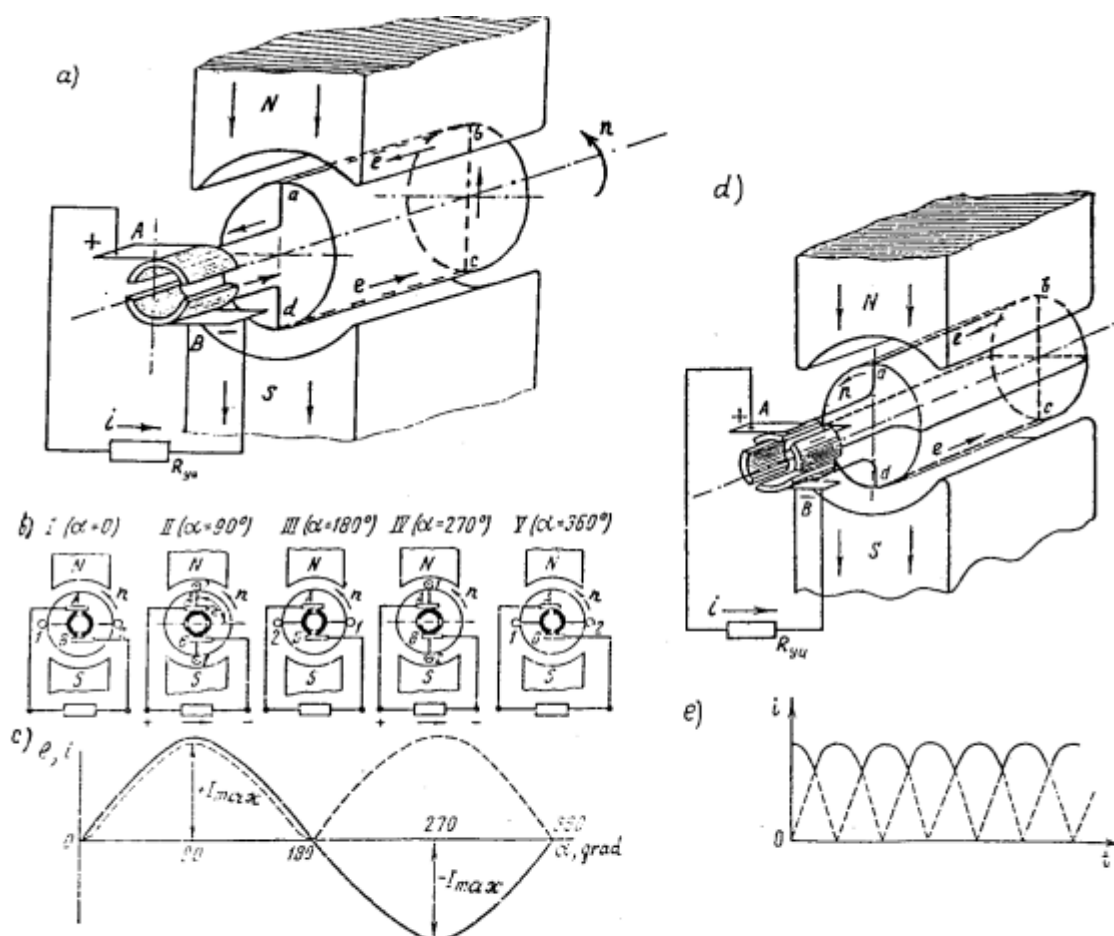
ЭЮК нинг йўналиши «ўнг қўл» қоидаси билан аниқланади.

Якорнинг бурчак тезлиги  $v$  (ёки айланиш частотаси  $n$ ) ўзгармас бўлса якорь чулғами ЭЮК нинг катталиги ва йўналиши машина ҳаво оралиғи маг-нит индукциясининг катталиги ва йўналиши билан аниқланар экан.

ЎТ генераторининг ишлаш принципини энг оддий ЎТ генератори мисо-лида кўриб чиқамиз. Бунда машинанинг магнит кутблари орасида эркин айланадиган пўлат цилиндрга иккита (« $ab$ » ва « $cd$ ») ўтказгичнинг кетма-кет уланишидан ҳосил бўлган битта ўрам ўрнатилган бўлиб, у якорь чулғамининг энг оддий бир қисмидир. Якорь ўрамининг учлари 2 та ярим ҳалқага уланган. Ярим ҳалқаларга 2 та кўзғалмас чўтка

тегиб туради. Якорь айланганди ярим халқалар ўтказгичлар билан мос айланади. Мазкур ярим халқалар қўрилаган оддий ўТ машинасининг коллекторидир.

Ўтказгичда ҳосил бўлган ЭЮК нинг вақт бўйича ўзгариш графиги машина ҳаво оралиғида магнит индукциянинг тақсимланиш шаклига мос келади.



Якорь чулғами бир шрам (2 та ўтказгич) дан иборат бўлган энг оддий ўзгармас токининг модели (а); якорь бир айланганди ўтказгичларнинг магнит майдондаги ҳолати (b) ва ўзгармас ЭЮК (ёки ток) нинг ҳосил бўлиши (c); якорь чулғами фазода бир-бирига нисбатан 90 да жойлашган икки ўрам (4 та ўтказгич) дан иборат бўлганда (e), ташқи занжирда ЭЮК (ёки ток) пульсацияланишининг кескин камайиши (f).

Якорь айланганда унинг чулғам ўтказгичлари («*ab*», «*cd*») магнит майдонда магнит индукциянинг катталиклари ҳар хил бўлган ҳолатларни эгаллайди (27.6, b-расм). Бунда ўтказгичлар ҳар хил магнит қутблар тагидан ўтгани ту-файли унда ҳосил бўлган ЭЮК ва, демак, якорь чулғамидаги ток ҳам синусоидал шаклда ўзгарувчан бўлади.

### Якорь чулғамлари ва қисмлари.

#### 27.2. Якорь чулғамлари ва уларнинг турлари

Қўзғатиш чулғами ҳосил қилган магнит майдонда айланиши натижасида чулғамда ЭЮК ҳосил бўладиган қисми ўТ машинасининг якори дейилади. ўТ машиналарида барабанли якорь қўлланилади. Бундай якорь чулғамининг ўтказгичлари магнит ўтказгичининг ташқи цилиндрлик сиртидаги пазларда жойлашади. Бу чулғамда кетма-кет уланган алоҳида элементлар якорнинг бу-тун айланаси бўйича бир текис тақсимланган бўлади.



Якорь чулгамининг асосий элементи секциядир. У бир-биридан изоляция-ланган бир ёки бир неча ўрамлардан иборат бўлади. Чулғамдаги ҳамма секциялар одатда бир хил сондаги ўрамлар  $w_c$  га тенг бўлади. Секцияларнинг пазларда ётган қисми унинг *актив томонлари* деб, уларни бирлаштирувчи қисмлари эса пазлардан *ташқари томонлари* деб аталади.

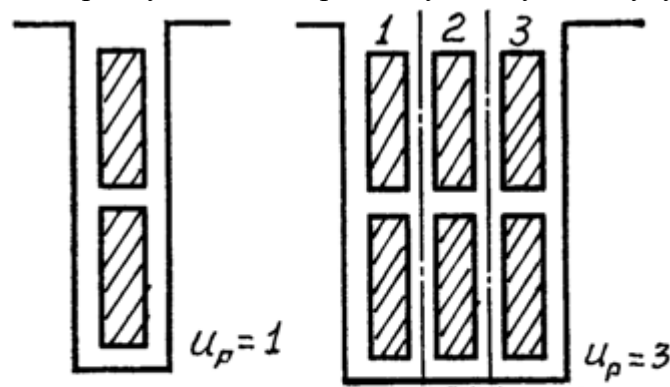
Чулғамнинг пазлардан *ташқари томонларини* жойлаштириш қулай бўлиши учун якорь чулғами *икки қатламли* қилиб тайёрланади. Якорнинг таш-қи сиртига яқин жойлашган қатламни *юқориги қатлам* деб атаймиз. Бунда ҳар қайси секциянинг чапдаги актив томонини бир пазнинг юқориги қатлами-да, ўнг томондаги актив томонини эса чулғам қадамига тенг масофадаги бош-қа пазнинг *пастки қатламида* жойлаштирилади. Чулғам қадами тахминан кутб бўлинмасининг эни  $\tau$  га тенг ( $y_1 \approx \tau$ ) бўлади (27.7,b-расм).

*Кутб бўлин-*

*маси* – бу қўшни геометрик нейтрал чизиқлари орасидаги якорь айланаси бўйича ўлчанган масофадир, яъни  $\tau = \pi D_a / (2p)$ , [м].

Секцияларнинг учлари коллектор пластиналарига уланади, бунда ҳар қай-си пластинага битта секциянинг боши ва иккинчи бир секциянинг охири уланади, яъни ҳар қайси секция (S)га битта коллектор пластинаси (K) тўғри келади ( $S=K$ ).

Схемалар тузиш, уларни ўқиш ва якорь чулғами тайёрлаш қулай бўлиши учун «элементар паз» тушунчаси киритилади. *Элементар паз* – бу реал пазда бир-бирининг устида юқориги ва пастки қатламларда жойлашган (27.7-расм) турли секцияларнинг иккита актив томонидир. Реал пазда битта ёки бир неча элементар паз ( $u_p$ ) бўлиши мумкин. *Энг оддий ҳолда* реал пазда битта элементар паз ( $u_p=1$ ) туради, демак,  $Z = Z_c$  бўлганлигидан қуйидагини ёзиш мумкин:



$$Z = Z_c = S = K, \quad (27.4)$$

27.7-расм. Якорнинг битта (a) ва учта (b) элементар паздан таркиб

бирок тўғриланган кучланиш ва токнинг пульсацияланишини камайтириш мақсадида пазнинг ҳар қайси қатламида ёнма-ён тарзда секцияларнинг бир неча ( $u_p = 2 \div 5$ ) томонлари жойлаштирилади. Бунда *элементар пазлар* ва коллектор пластиналари сони реал пазлар сонига қараганда  $u_p$  марта кўпаяди:

$$Z_c = u_p \cdot Z = S = K, \quad (27.5)$$

бу ерда  $u_p$  – битта реал паздаги элементар пазлар сони.

Чулғамларни ҳисоблашда машина кутб бўлинмасининг узунлиги  $\tau$  ни элементар пазлар сони орқали ифодалаш қулайдир, яъни

$$\tau = Z_c / (2p). \quad (27.6)$$

Маълумки, якорь чулғам-ларининг ўтказгичларида электромагнит индукция ҳодисасига биноан ўзгарувчан ЭЮК лар ҳосил бўлади ва ЭЮК ўзгаришининг ҳар бир даврига машина қутбларининг бир жуфти « $p$ » тўғри келганлиги сабабли, геометрик ва электр бурчакларини умумий ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:  $360^\circ \text{ геом.} = p \cdot 360^\circ \text{ эл.}$ , бундан  $\alpha_{\text{geom.}} = p \cdot \alpha_{\text{el.}}$ .

Секцияларнинг шакли ва уларнинг коллекторга бириктирилиш усуллари кўра якорь чулғамларининг *сиртмоқсимон*, *тўлқинсимон* ва *аралаш* турлари мавжуддир. Сиртмоқсимон ва тўлқинсимон чулғамлар *оддий* ва *мураккаб* кўринишда тайёрланиши

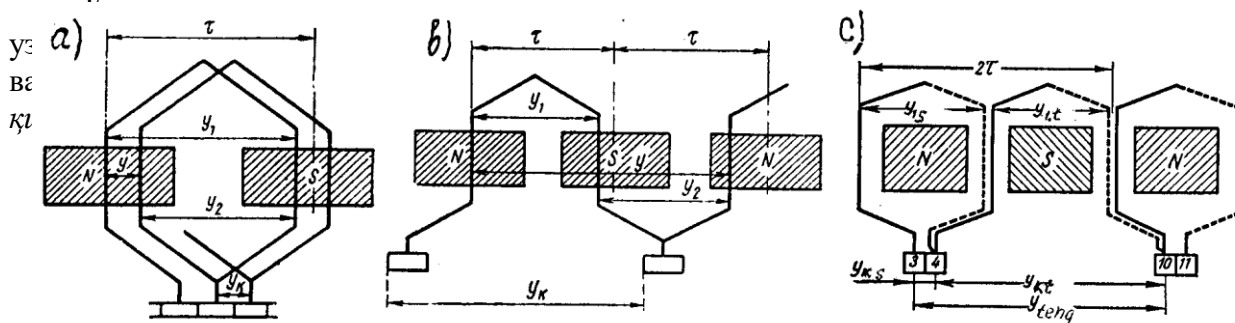
мумкин. *Аралаш чулғам* – мураккаб тўлқинсимон ва оддий сиртмоқсимон чулғамларнинг параллел уланишидан иборат бўлади.

Чулғамни якорга тўғри жойлаш ва уни коллекторга тўғри улаш учун чулғамларнинг элементар пазлар сони билан ўлчанадиган, якорь бўйича « $y_1, y_2, y$ » қадамларини ва коллектор пластиналари сони билан ўлчанадиган коллектор бўйича кадам « $y_k$ » ни билиш зарур бўлади.

Сиртмоқсимон чулғамнинг биринчи қисман қадами ( $y_1$ ) чулғам секциясининг иккита актив томони орасидаги масофа (секция эни) га тенг ва у бутун сон (б.с.) бўлиши шарт:

$$y_1 = Z_e / (2p) \pm \varepsilon = \text{б.с.}, \quad (27.7)$$

бу ерда  $\varepsilon$  – бирдан кичик сон бўлиб, бутун сон ҳосил қилиш учун секциянинг эни ( $y_1$ )  $\varepsilon$  сонига камайтирилади ёки узайтирилади; (+ $\varepsilon$ ) бўлганида чулғам *узайтирилган қадамли* ( $y_1 > \tau$ ), (- $\varepsilon$ ) бўлганида *қисқартирилган қадамли* ( $y_1 < \tau$ ),  $\varepsilon = 0$  бўлганида эса *тўла қадамли* ( $y_1 = \tau$ ) чулғам дейилади.



**27.9-расм.** узгармас ток машинаси якорь чулғамларининг элементарлари ва қадамлари: **a** – сиртмоқсимон (параллел); **b** – тўлқинсимон (кетма-кет); **c** – аралаш (мураккаб тўлқинсимон ва оддий сиртмоқсимон турларининг параллел уланишидан ҳосил бўлган);  $y_{keng} = K/p$  – потенциал кадам (яъни потенциаллари бир хил бўлган нуқталараро қадами)

биринчи актив томонлари орасидаги масофага тенг:

а) *оддий* сиртмоқсимон чулғам учун

$$y = y_k = \pm 1 ; \quad (27.9)$$

б) *мураккаб* сиртмоқсимон чулғам учун

$$y = y_k = \pm m , \quad (27.10)$$

бунда  $m$  – чулғам йўллари сони;

Чулғамнинг коллектор бўйича қадами ( $y_k$ ) бир секциянинг боши ва охи-ри уланган коллектор пластиналари орасидаги масофага тенг ва (27.9, 27.10) лар бўйича ҳисобланади. Бу тенгликларда ("+" ) ишора ўнг йўлли чулғамга, ("–") ишора эса чап йўлли чулғамга тааллуқли эканлигини билдиради.

Катта қувватли ЎТ машиналарида чулғам ўрама икки ва ундан ортиқ секциялардан иборат бўлади. Бу ҳолда пазлар бўйича кадам ( $y_{1Z}$ ) қуйидагича аниқланади:

$$y_{1Z} = Z / (2p) \pm \varepsilon = \text{б.с.}, \quad (27.11)$$

Бу кадам секция томонлари орасида жойлашган реал пазлар сони билан ўлчанади. Агар пазлар сони кутблар сонига қолдиқсиз бўлинмаса, у ҳолда кадамни энг яқин кичик сонга яхлитланади.

Чулғам секциялари амалда якорь айланаси бўйича чапдан ўнгга қараб жойлаштирилса *ўнг йўлли чулғам* бўлиб, мисдан бир оз тежаллади.

Якорь чулғами секцияларини пазларга жойлаштириб коллектор билан улагандан кейин тенглаштирувчи уланишлар қўйилади; у параллел шохобчаларнинг бир жуфти "а" га мос келадиган секциялар ёки коллектор пластиналари сони билан ўлчанади.

**Чулғамларнинг симметрия шартлари.** Машинанинг ишлашига энг яхши шароитлар яратиб бериш учун чулғамнинг ҳамма параллел шохобчаларининг ЭЮК лари

ва уларнинг қаршиликлари бир хил бўлиши зарур. Бу ҳолда барча параллел шохобчаларнинг токи  $i_a$  бир хил ва қуйидагига тенг бўлади:

$$i_a = I_a / (2a), \quad (27.12)$$

бунинг учун улар бир хил магнит шароитида бўлиши керак. Бу талабларни қондирувчи чулғам симметрик чулғам дейилади. Бунда:

1. Якорда пазлар бир текис тақсимланиши керак:

$$S / Z = K / Z = \text{б.с.}, \quad (27.13)$$

2. Кўп қутбли ( $p > 1$ ) машиналарда чулғамнинг ҳар қайси жуфт параллел шохобчалари таркибида бутун сонга тенг бўлган бир хил секциялар ва коллектор пластиналари бўлиши керак:

$$S / a = K / a = \text{б.с.}, \quad (27.14)$$

3. Ҳар қайси параллел шохобчанинг секциялари якорда бир хил сондаги пазларни эгаллаши керак:

$$Z / a = \text{б.с.}, \quad (27.15)$$

4. Чулғамнинг симметрик жойлашган параллел шохобчалари магнит майдонида бир хил вазиятда бўлиши керак:

$$2p / a = \text{б.с.}, \quad (27.16)$$

(27.13)÷(27.16) лар ЎТ машиналари *якорь чулғамларининг симметрия шартларидир*. Бу симметрия шартлари бажарилмаса чулғам носимметрик бўлиб, ундан ва чўткалардан машинанинг ишига салбий таъсир этувчи тенглаштирувчи тоқлар ўтади.

**27.1-жадвал. Ўзгармас ток машинаси чулғамлари учларининг илгариги ва янги (ГОСТ 26772-85) белгиланишига оид маълумот**

Чулғамнинг номи	Ўзгармас ток машинаси чулғамлари учларининг белгиланиши			
	1.01.1987 йилгача ишлаб чиқарилган ва модернизация қилинадиган машиналар учун (Илгариги)		1.01.1987 йилдан кейин ишлаб чиқарилган машиналар учун (Янги)	
	Боши	Кети	Боши	Кети
<b>Якорь чулғами</b>	Я1	Я2	А1	А2
<b>Мустақил қўзғатиш чулғами</b>	Н1	Н2	Ғ1	Ғ2
<b>Параллел қўзғатиш чулғами</b>	Ш1	Ш2	Е1	Е2
<b>Кетма-кет қўзғатиш чулғами</b>	С1	С2	Д1	Д2
<b>Қўшимча қутблар чулғами</b>	Д1	Д2	В1	В2
<b>Компенсацион чулғам</b>	К1	К2	С1	С2

**Ўзгармас ток машинаси чулғамлари учларининг белгиланиши.**

Халқаро стандартга мослаштириб ишлаб чиқилган стандарт (ГОСТ 26772–85)га мувофиқ 1.01.1987 дан МДХ мамлакатлари электр машинасозлиги заводларида ишлаб чиқарила бошлаган ЎТ машиналари чулғамлари учун янги белгиланиш жорий қилинган.

**Уларни ҳисоблаш**

ЎТМ чулғамларини ҳисоблаш қуйидагича амалга оширилади.

1. (27.13)÷(27.16) лар бўйича чулғам симметрия шартлари текширилади.
2. (27.7) ÷ (27.9) формулалар бўйича чулғамнинг қадамлари аниқланади.

3. Чулғамнинг ёйилма схемаси чизилади, бунинг учун:

а) якорь пазлари секцияларининг актив томонлари билан схематик тарзда чизилади;

б) секциянинг актив томонлари уланган коллектор пластиналари шу секцияга нисбатан симметрик қилиб жойлаштирилади;

в) секциялар ва пазлар (1-секциянинг юқори қатлами 1-пазда, 2-секциянинг юқorigи қатлами 2-пазда ва ҳоказо тарзда жойлашадиган қилиб) ҳамда коллектор пластиналари номерлаб чиқилади (пазни номерлаш ихтиёрий бўлиб, уни хоҳлаган паздан бошлаш мумкин);

г) тиш бўлинмалари бирлигида ўлчанган қутб бўлинмаси  $\tau_z = Z/(2p)$  аниқланади ва якорь ёйилмаси бўйича геометрик нейтрални бир-биридан "т" масо-фада жойлаштириб, қутбларнинг таъсир зонаси чегараланади. Қутбнинг эни  $(b_m)$  тахминан  $b_m = 0,8\tau_z$  га тенг қилиб олинади;

д) якорга ҳамма секцияларни олдин аниқланган  $u_1, u, u_2, u_k$  қадамлар бўйича жойлаштириб чиқилади;

е) чўткалар жойига қўйилади ва уларнинг қутбийлиги (ишораси) аниқланади. Бунинг учун якорнинг айланиш йўналиши ва қутбларнинг ишораси ихтиёрий танланади. Сўнгра «ўнг қўл» қoидасига кўра (К.3,а-расм), якорь чулғами ўтказгичларидаги ЭЮК ларнинг йўналиши аниқланади (27.9-расм);

ж) бир неча тенглаштирувчи уланишлар қўйиб чиқилади (27.9-расм).

4. Чулғамнинг ёйилган схемаси бўйича, унинг принципаал электр схемаси тузилади. Схемани чизиш ихтиёрий чўткадан бошланади ва шу чўтканинг ўзида тугаллаш керак бўлади (27.9-расм).

## 22-маъруза

### Чулғамнинг электр юритувчи кучи. Электр магнит момент

*Режа:*

*Чулғамнинг электр юритувчи кучи.*

*Электр магнит момент.*

#### Чулғамнинг электр юритувчи кучи.

Якорнинг қутблар магнит майдонида айланиши натижасида якорь чулғамлари ўтказгичларида ЭЮК индуктивланади. Якорнинг айланиш тезлиги  $v_a$ , актив узунлиги  $l_\delta$  бўлган ўтказгичда

$$e_x = B_{\delta x} \cdot l_\delta \cdot v_a$$

индуктивланади. Бунда  $B_{\delta x}$  магнит майдоннинг мазкур нуқтасидаги индукция.

Чулғамлар ўрганилишида келтирилганидек, қарама-қарши шчеткалар орасидаги ЭЮК нинг миқдори  $E$  бир параллел шахобчанинг ЭЮКсига тенг. Бир параллел шахобча  $N/2a$  та ўтказгичлардан иборат ( $N$  – якорнинг актив ўтказгичлари умумий сонига тенг). Унда, якорь чулғами диаметрал қадамга эга ( $y_l = \tau_n$ ) деб фараз қилиб, қуйидагига эга бўламыз

$$\sum_1^{N/2a} e_x = l_\delta v_a \sum_1^{N/2a} B_{\delta x} \cdot B_{\delta p} \cdot B_{\delta x}$$

Қутб остидаги индукция тақсимланишининг трапеция шаклидаги эгри чизигини оординатаси  $B_{\delta p}$  бўлган ва абсцисса ўқига параллел тўғри чизик билан алмаштирамиз. Индукция  $B_{\delta p}$  нинг миқдорини трапеция ва тўғри тўртбурчак шакллари юзасига пропорционал бўлган магнит оқимларининг тенглиги орқали аниқлаймиз. Унда қуйидагини ёзиш мумкин:

$$E = l_{\delta} v_a \frac{N}{2a} B_{\dot{y}p}.$$

Агар  $v_a = \pi \cdot D_a \cdot n / 60 = 2p \cdot \tau \cdot n / 60$  ёзиш мумкин бўлса ва магнит оқим  $\Phi = B_{\dot{y}p} \cdot \tau \cdot l_{\delta}$  эканлигини эътиборга олинса, у ҳолда

$$E = \frac{pn}{60} \cdot \frac{N}{a} \cdot \Phi, \quad (A)$$

ёки  $\tau$

$$E = c_e n \Phi, \quad (B)$$

Бунда  $n$ - якорь айланиш частотаси;  $D_a$  – якорнинг ташқи диаметри;  $\tau = \pi D / 2p$ ;  $c_e = pN / 60a$  – машинанинг конструктив доимийси.

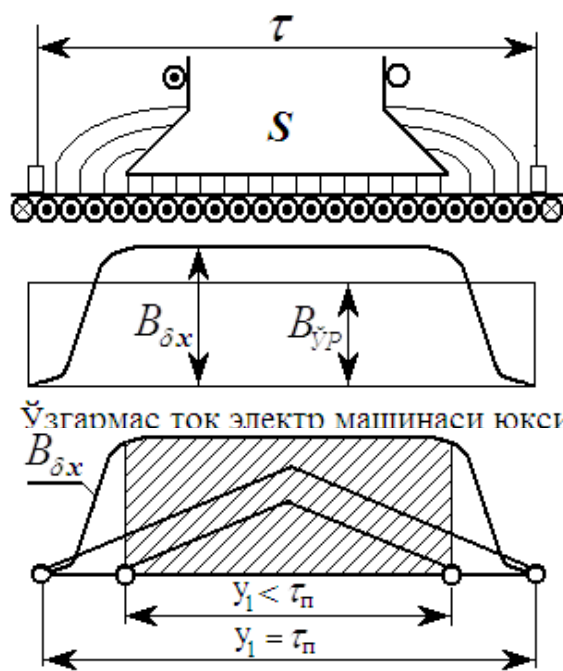
ЭЮК  $E$  ни бошқача кўринишда келтириш ҳам мумкин, бунинг учун (A) тенгламанинг ўнг томонини  $2\pi$  га кўпайтириб, бўламиз, у ҳолда

$$E = c_e \omega \Phi, \quad (C)$$

Бунда  $\omega = 2\pi n / 60$  – якорнинг бурчак тезлиги;  $c = pN / 2\pi a$ .

Аналитик ифодалар (B) ва (C) шуни кўриш мумкинки,  $E$  ЭЮКнинг миқдори якорнинг айланиш частотаси  $n$  (ёки бурчак частотасига  $\omega$ ) га, асосий магнит оқими  $\Phi$  га пропорционал бўлиб, машина ҳаво оралиғида магнит оқим тақсимланиш шаклига боғлиқ эмас экан.

Ифодалар (A) – (C) да магнит оқим  $\Phi$  ҳақида фикр юритилганда, кутбларга нисбатан симметрик жойлашган секцияда илашаётган магнит оқим назарда тутилади. Қисқартирилган кадамли секцияда ( $y_1 < \tau_{II}$ ), у билан илашаётган магнит оқим камаяди (бу оқим расмда штрихланган майдонга пропорционал), шу сабабли ЭЮК  $E$  ҳам камаяди. Бироқ, реал шароитда ишлатилувчи қисқартирилган кадамли ўзгармас ток машиналари чулғамларида ЭЮКнинг камайиши сезиларсиз, шу сабабли уни аниқлашда (A) – (C) ифодалар қўлланилади.



Ўзгармас ток электр машинаси юксиз  
Диаметрал ва қисқартирилган кадамли якорь секцияси билан илашган магнит оқими

### Электр магнит момент.

Генератор юкланишга уланганда якорь чулғамининг ўтказгичларида  $i_a = I_a / 2a$  токи (бунда  $I_a$  – якорь занжиридаги ток) оқиб ўтади. Бу токнинг асосий магнит майдон билан ўз-аро таъсири натижасида электромагнит кучи ҳосил бўлади. Ушбу кучнинг якорь чулғами бир ўтказгичи учун қиймати қуйидагига тенг:

$$f_x = B_{\delta x} i_a l_{\delta}.$$

Ўтказгичнинг актив узунлиги бўйлаб индукция  $B_{\delta x}$  нинг қиймати ўзгармас бўлишини фараз қиламиз. Электромагнит куч  $f_x$  қуйидаги моментни ҳосил қилади:

$$M_x = f_x \frac{D_a}{2}.$$

Якорь чулғамининг барча  $N$  ўтказгичлари қуйидаги электромагнит моментини ҳосил қиладилар:

$$M = \frac{D_a}{2} \sum_1^N (B_{\delta x} i_a l_{\delta}).$$

Барча ўтказгичларнинг узунлиги ўзгармас  $l_{\delta}$  бўлганлиги учун ва улардан бир хил ток  $i_a$  оққанлиги учун

$$M = \frac{D_a}{2} i_a l_{\delta} \sum_1^N B_{\delta x} = \frac{D_a}{2} \frac{I_a}{2a} l_{\delta} \sum_1^N B_{\delta x}. \quad (D)$$

Агар, юқорида айтганимиздек, қутб бўлими  $\tau$  нинг барча нукталарида қуйидагича қабул қилинса, у ҳолда қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$B_{\delta p} = \frac{\Phi}{\tau \cdot l_{\delta}} = \frac{2p\Phi}{\pi D_a l_{\delta}}.$$

(E)

Унда 
$$\sum_1^N B_{\delta x} = NB_{\delta p}. \quad (F)$$

Ифода (E) ни эътиборга олган ҳолда (F) ни (D) га қўйиб қуйидагини ҳосил қилиш мумкин:

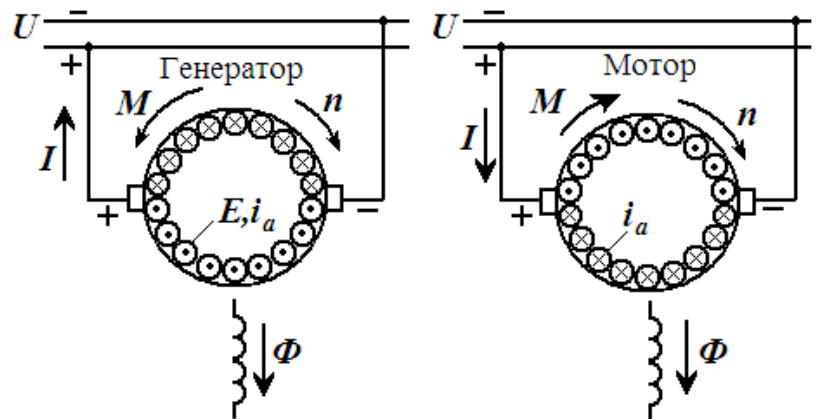
$$M = \frac{pN}{2\pi a} I_a \cdot \Phi = c I_a \cdot \Phi.$$

(G)

Ифода (G) дан шу маълум бўладики, ўзгармас ток машинасининг электромагнит momenti магнит оқими ва якорь токига пропорционал бўлар экан.

Якорь айланиш йўналиши ўзгармас бўлганда момент миқдори машина юкланиш миқдорига боғлиқ бўлади. Машина генератор режимида ишлаганда, якорь чулғамида индуктивланган ЭЮК машина чиқиш клеммаларидаги кучланиш-дан катта бўлади. шу сабабли якорь чулғамидаги токнинг йўналиши ЭЮК йўналиши билан мос бўлади.

Расмда икки қутбли генераторнинг халқасимон якорининг актив ўтказгичларидаги ток ва ЭЮК йўналишлари кўрсатилган. Соддалаштириш учун шчеткалар коллектор устида эмас, балки якорь ўтказгичлари устида сирпанаяпти, деб шартли равишда қабул қилинган. Чап қўл қойдасини татбиқ этиб шу фикрга келамизки, ўтказгичларга таъсир этаётган кучлар, ва у билан бирга, электромагнит момент якорь йўналишига қарама-қарши йўналган экан, яъни тормозловчи хусусиятга эга бўлар экан. Генератор электромагнит моментининг тормозловчи таъсирини енгиш учун



Генератор ва мотордаги момент йўналишлари

генератор якорини айлантурувчи моторнинг айлантурувчи моменти ва қувватини ошириш зарур.

Машинанинг мотор режимида тармоқдан якорь чулғамига узатилаётган кучланиш якорь чулғами ЭЮКнинг миқдоридан катта бўлади. Шу сабабли якорь занжиридаги ток ўз йўналишини ўзгартиради ва ЭБКга қарама-қарши йўналган бўлади. Ток йўналишининг ўзгариши момент йўналишини ҳам ўзгартиради. Момент якорь айланиш йўналиши билан мос бўлади, яъни момент айлантурувчи бўлади.

### 23-маъруза

#### Ўзгармас ток машинасида якорь реакцияси

*Режа:*

**Юксиз ишлашидаги магнит майдон.**

**Юклама билан ишлашидаги магнит майдон.**

**Якорь реакцияси.**

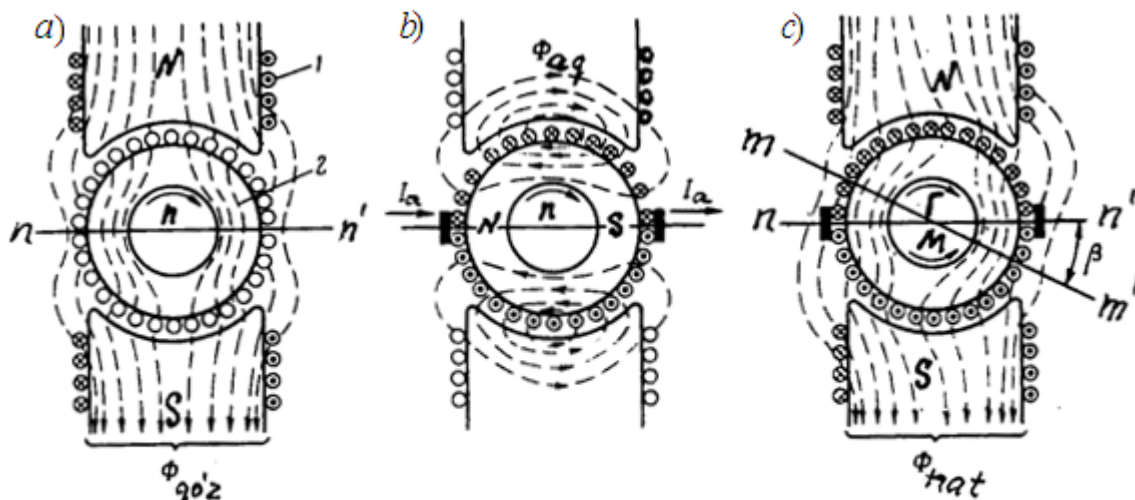
**Юксиз ишлашидаги магнит майдон.** Юксиз ишлаётган ЎТ генераторида асосий магнит майдон кўзғатиш чулғами МЮК томонидан ҳосил қилинади.

ЎТ машиналарининг магнит тавсифси синхрон машиналарники-га ўхшаган бўлади. ЎТ машинасининг магнит занжирини ҳисоблашга оид маълумот 31-бобда берилган (31.4-бандга қаранг).

**Юклама билан ишлашидаги магнит майдон.** ЎТ машинаси (генератор)га юклама уланганида якорь чулғамидан ток ўтиб МЮК ҳосил бўлади. *Якорь МЮК нинг машина асосий магнит майдони-га таъсири якорь реакцияси* дейилади. Машина магнит занжири тўйинишини ҳисобга олмасдан, кўзғатиш чулғами ( $F_{qo'z}$ ) ва якорь чулғами МЮК лари ( $F_{aq}$ ) машина магнит занжирининг ҳаво оралиғи магнит қаршилигини енгилга сарфланади деб ҳисобланганда, таҳлил учун юқорида кўрсатилган МЮК лар ўрнига уларга мос бўлган магнит оқимлари ( $\Phi_{qo'z}$  ва  $\Phi_{aq}$ ) ни ишлатиш мумкин бўлади.

**Якорь реакцияси.** Юксиз ишлашда асосий магнит оқим ( $\Phi_{qo'z}$ ) машинанинг бўйлама ўқи бўйича йўналган бўлади (28.1,*a*-расм), юклама билан ишлаганда эса якорь чулғами МЮК ( $F_{aq}$ ) ҳосил қилган магнит оқим  $\Phi_{aq}$ , машинанинг чўткалари гео-метрик нейтралга қўйилганда (28.1,*b*-расм), машинанинг қўндаланг ўқи бўйича йўналади ва шунинг учун уни *қўндаланг майдон* ( $\Phi_{aq} = \Phi_a$ ) дейилади. Бу майдоннинг таъсири (*якорь реакцияси*) туфайли натижавий майдон  $B_{nat}$  бош кутблар ўқларига нисбатан тақсимланиши симметрик бўлмайди ва ҳар битта кутбнинг бир чеккасига силжиган бўлади (28.2,*c*-расм). Бу ҳолда физик ней-траль  $m-m'$  (якорь айланасида магнит индукция нолга тенг бўлган нуқталар-ни бирлаштирувчи чизик) машинанинг геометрик нейтрал ( $n-n'$ ) га нисбатан бирорта  $\beta$  бурчакка силжийди. ЎТ генераторларда (28.2,*c*-расмда «G») физик нейтрал якорь айланиш йўналиши бўйича, моторларда эса – тескари йўналишга силжийди.

*Магнит занжири тўйинмаган* деб фараз қилинган ЎТ машинасида кўз-ғатиш чулғами йиғилган бўлгани учун, у ҳосил қилган МЮК нинг тақ-симланиши тўғри



Ўзгармас ток машинасининг магнит майдони: *a*) кўзғатиш чулғамининг магнит майдони  $\Phi_{qo'z}$ ; 1-кўзғатош чулғами; 2-якорь; *b*) якорь чулғами магнит майдони  $\Phi_a$ ; *c*) машинанинг натижавий магнит майдон.

тўртбурчак шаклида бўлиб, битта кутб остида у ҳосил қил-ган магнит индукциянинг тақсимланиши эса, эгри чизикли трапеция шак-лида бўлади (28.2,a-расм).

Якорь чулғамининг МЮК қуйидагига тенг, яъни:

$$F_a = (\tau i_a) \cdot N / (\pi D_a) = \tau A, \quad (28.1)$$

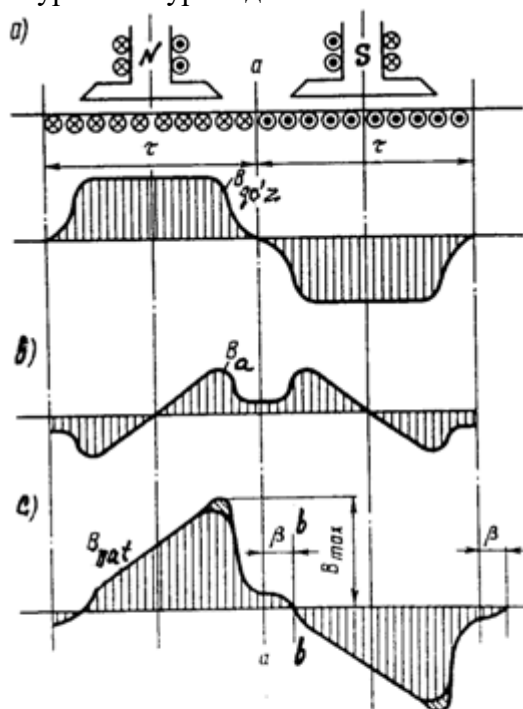
бунда:  $N/(\pi D_a)$  – чулғамдаги ўтказгичларнинг якорь айланаси узунлик бир-лигига тўғри келувчи сони;  $i_a = I_a / (2a)$  – якорь чулғамининг ҳар бир ўтказ-гичидан (демак, параллел шохобчадан) ўтадиган ток;  $A = i_a \cdot N / (\pi D_a)$  – якор-нинг чизиғий юкламаси, яъни якорь МЮК нинг якорь айланаси узунлик бир-лигига тўғри келадиган қисми.

МЮК  $F_{aq}$  тўғри чизикли ўзгаради, яъни бош кутб ўқида нолга тенг бўлиб, чўтка жойлашган кўндаланг ўқда эса максимал қийматга эга бўлади. Унинг қўшни кутблар ўқлари орасидаги тақсимланиши учбурчак шаклда бўлади. Шундай қилиб, юклама билан ишлаётган ЎТ машинасида кўзғатиш чулғами МЮК  $F_{qo'z(0)}$  ва якорь чулғами МЮК  $F_{aq}$  бўлади. Якорь магнит индукциясининг машина ҳаво оралиғида тақсимланиши кутб учликлари чегарасидагина якорь МЮК  $F_{aq}$  нинг тақсимланиши билан мос тушади. Кутблараро фазода якорнинг магнит оқимига нисбатан қаршиликнинг ортиб кетиши туфайли *магнит индукция кескин камаяди* (28.2,b-расм).

Машинанинг магнит системаси тўйинмаган ҳолда якорь реакцияси асосий магнит оқимни бузади холос, лекин унинг катталигини ўзгартирмайди. Кутбнинг якорь кириб келаётган томонида ва якорь ўзагининг шу кутб рўпарасидаги тишли қатлами якорь МЮК нинг йўналиши асосий кутблар МЮК ларининг йўналиши билан мос тушганлиги туфайли уларнинг магнитланиши ошади; кутб тагидан якорь чиқиб кетаётган томонида ва якорь ўзагининг шу кутб рўпарасидаги тишли қатлами эса юқоридаги МЮК ларнинг қарама-қарши йўналганлигидан магнитсизланади. Шу сабабли натижавий магнит оқим асосий кутбларнинг ўқида нисбатан маълум бурчакка бурилади.

Машина натижавий майдонининг бузилиши унинг иш хоссаларига ёмон таъсир этади: 1) чўтка контакти иш шароитини ёмонлаштиради, яъни коллектордан учкун чиқишининг кучайишига сабаб бўлади; 2) машина кутбларининг иккала майдон куч чизиклари бир хил йўналган чеккалари остидаги якорь чулғамининг секцияларида ЭЮК ларнинг оний қийматлари кескин ошади. Натижада, қўшни коллектор пластиналаридан кучланиш  $U_k$  ошади ва катта қийматли юкламаларда унинг қиймати стандарт томонидан йўл қўйилганидан катта бўлса, пластиналар орасидаги миканит (изоляция)нинг электр мустаҳ-камлиги бунга бардош бера олмай, улар орасида электр ёйи вужудга келади. Бу ҳол коллектор-нинг нормал ишлашига салбий таъсир кўрсатиб, унинг хизмат муддатини кескин қисқартиради.

Магнит тизими тўйинган ЎТ машинасида якорь реакциясининг салбий таъсири, яъни машинани магнитсизлаши унинг иш хоссаларини ёмонлашти-ради. Бу ҳолда генератор ЭЮК, ЎТМ ларида айлантирувчи момент камаяди.



Ўзгармас ток машинасининг ҳаво оралиғида магнит индукциянинг тақсимланиши: а) кўзғатиш чулғами магнит индукцияси; б) якорь чулғами магнит индукцияси; в) натижавий магнит индукция



Чўтқаларнинг геометрик нейтралга нисбатан силжиишида якорь реак-циясининг машина ишига таъсири қуйидаги сабабларга кўра кучаяди. Чўтқалар силжиганда у билан бирга якорь МЮК нинг вектори ҳам силжийди ва бунда якорнинг МЮК  $F_a$  кўндаланг ташкил этувчиси ( $F_{aq} = F_a \cos \beta$ ) дан ташқари, кутблар ўқи бўйича йўналган бўйлама ташкил этувчиси ( $F_{ad} = F_a \sin \beta$ ) га ҳам эга бўлади. Генератор режимда ишлаганида чўтқалар якорнинг айланиш йўналиши томонга силжиса, МЮК нинг бўйлама ташкил этувчиси  $F_{ad}$  кўзғатиш чулғами МЮК  $F_{qo'z(o)}$  га қарама-қарши йўналиб машинанинг асосий магнит оқимини кучсизлантиради; чўтқалар якорь айланишига тесқари томонга силжиганда эса,  $F_{ad}$  МЮК  $F_{qo'z(o)}$  га мос йўналиши туфайли машина магнитланишини оширади ва коллекторда учқун чиқишига сабабчи бўлади.

Агар ЎТ машинаси мотор режимда ишлаганида чўтқаларнинг якорь айланиши бўйича силжиганида МЮК  $F_{ad}$  машинани кўшимча магнитлаб, улар тесқари томонга силжиганда эса магнитланиш даражасини камайтиради.

## 24-маъруза

### Ўзгармас ток генераторлари тавсифлари.

*Режа:*

*Мустақил кўзғатишли ўзгармас ток генератор тавсифлари.*

*Юксиз ишлаш ва юкланиш тавсифлари.*

*Юкланиш тавсифси.*

*Қисқа туташув тавсифси.*

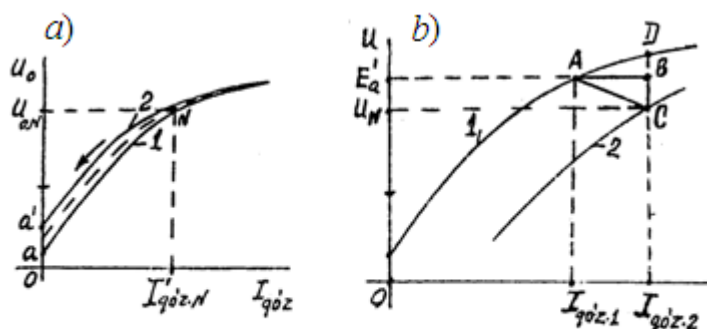
*Ташқи ва ростлаш тавсифлари.*

#### Мустақил кўзғатишли ўзгармас ток генератор тавсифлари.

*Мустақил кўзғатишли ўзгармас ток генератори тавсифлари.* Бу турдаги генераторнинг кўзғатиш чулғамига бошқа ЎТ манбаидан кучланиш берилади. Агар кўзғатиш чулғамига уланган кучланиш  $U_{qo'z} = \text{const}$  ва унинг қаршилиги ҳам  $R_{qo'z} = \text{const}$  бўлса, генераторнинг ҳар қандай иш режимда ҳам бу чулғамдаги ток  $I_{qo'z}$  ўзгармай қолади.

**Юксиз ишлаш ва юкланиш тавсифлари.** *Юксиз ишлаш тавсифи (ЮСИТ)* – генератор якорининг айланиш частотаси  $n = \text{const}$  ва якорь токи  $I_a = 0$  бўлганда  $U_0 \approx E_0 = f(I_{qo'z})$  боғлиқликни ифодаловчи эгри чизикдир. Бу тавсифни тажрибада олиш вақтида генератор кучланишининг қиймати  $U_0 \approx (1,15 \div 1,2)U_N$  га тенг бўлгунга қадар, кўзатиш токи  $I_{qo'z} = 0$  дан бошлаб ошириб борилади, сўнгра эса кўзғатиш токининг қиймати 0 гача камайтиради.

Кўзғатиш токининг қиймати оширилиб олинган-да ЮСИТ нинг ўсувчи шохобчасига эга бўламиз (30.1-расм, 1). Бу эгри чизик координаталар боши 0 дан бошланмай, балки ордината-лар ўқидаги бирорта «а» нуқтадан бошланади. Бунга сабаб шуки,  $I_{qo'z} = 0$  да машина кутблари ўзагидаги қолдиқ магнит оқими ( $\Phi_{qo1}$ ) кам миқдорда қолдиқ ЭЮК  $E_{qo1} = oa$  ни ҳосил қилади. Кўзғатувчи ток  $I_{qo'z}$  нинг қиймати камайтириб олинган ЮСИТ нинг камаювчи



Мустақил кўзғатишли ўзгармас ток генератори юксиз ишлаш (a) ва юкланиш (b) тавсифлари

шохобчаси унинг ўсувчи шохобчасига нисбатан юқорида жойлашади ва  $I_{qo'z} = 0$  бўлганда қолдиқ ЭЮК нинг қиймати  $E'_{qo1} = oa'$  га тенг бўлиб, олдинги  $E_{qo1}$  дан бир оз каттароқ бўлиши, ЮСИТ нинг ўсувчи шохобчасини олганда  $\Phi_{qo1}$ нинг қиймати бошдаги қиймати

$[\Phi_{q01}=(0,02\div 0,03) \cdot \Phi_{0N}]$ га нисбатан бир оз ошиши сабаб бўлади ( $\Phi_{0N}$  – машина юксиз ишлаш режимда  $U_N$  ҳосил қилиш учун зарур бўлган магнит оқим).

Юксиз ишлаш вақтида машинанинг айланиш частотаси  $n = \text{const}$  бўлса,  $U_0 = E_0 = \Phi$  бўлади. Демак, ЮСИТ –  $U_0 = f(I_{q0'z})$  бошқа масштабда машинанинг магнитланиш тавсифси –  $\Phi = f(I_{q0'z})$  ни ифодалар экан.

*ЮСИТ ёрдамида машина магнит занжири хоссаларини аниқлаш мумкин.* Ҳақиқатан ҳам, ЮСИТ нинг «а» нуқтаси  $I_{q0'z} = 0$  бўлганда, қолдиқ магнит оқи-мининг қийматини кўрсатади. 30.1-расмда кўрсатилган 1–1 ва 2–2 шохобчалар билан чегараланган майдон гистерезис ҳодисаси туфайли ҳосил бўлиб, машина магнит занжири пўлат қисмларининг хоссасини кўрсатади. Ниҳоят, ЮСИТ да генераторнинг номинал кучланиши ( $U_N$ ) унинг эгилган қисмига (30.1-расм, N нуқта) тўғри келади. Бу нуқтага қараб, машина магнит занжирининг тўйиниш ҳолати тўғрисида хулоса юритишимиз мумкин. *Қуйидаги сабабларга кўра*, машинани лойиҳалашда номинал кучланиш  $U_N$  ни ЮСИТ нинг эгилган қисмига тўғри келтириб амалга оширилади:

1) агар N нуқта тўғри чизик қисмига тўғри келса, кучланишнинг қиймати нотурғун ҳолатда бўлиб, кўзғатиш токи салгина ўзгарса ҳам кучланишнинг қиймати нисбатан катта ўзгаради;

2) агар N нуқта ЮСИТ нинг тўйинган қисмида (эгилган қисмидан ўнг то-монда) бўлса, кучланиш қийматини ростлаш чегараланиб қолади.

Кучланишнинг  $U_0 = (0,55\div 0,6)U_N$  қийматларигача тўғри чизикли бўлиши машинанинг магнит занжири тўйинмаганлигидан далолат беради.

**Юкланиш тавсифси.** Якорь токи  $I_a = \text{const}$  ( $I_a > 0$ ) ва якорнинг айланиш частотаси  $n = n_N = \text{const}$  бўлганда  $U_a = f(I_{q0'z})$  боғлиқликни ифодаловчи эгри чизик *юкланиш тавсифси* дейлади. Юкланиш тавсифсининг *амалий аҳамияти шундаки*, у якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини миқдорий жиҳатдан аниқлашга ҳамда унинг машина магнит занжири тўйинишини текширишга имкон беради. Агар битта юкланиш тавсифси олинадиган бўлса, кўпинча якорь токи  $I_a = I_N$  бўлган қиймат учун олинади.

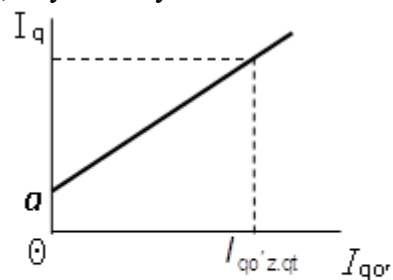
Юкланиш ва ЮСИТларини солиштириш ва улар ёрдамида характеристик учбурчак куриш учун юкланиш тавсифсини ЮСИТнинг камаювчи шохобчаси (30.1,b-расмда, 1) билан битта графикда куриш қулай бўлади.

Юкланиш тавсифси (2-эгри чизик) *қуйидаги сабабларга кўра* ЮСИТ га нисбатан пастда жойлашади: 1) якорь занжиридаги қаршиликларда кучланиш пасайиши; 2) якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири (бунинг натижасида машинанинг асосий магнит оқими ва ЭЮК камаяди).

Агарда юксиз ишлаш режимда кўзғатиш токининг биронта  $I_{q0'z,2}$  қийматида

«D» нуқта билан аниқланадиган (30.1,b-расм) кучланишга эга бўлсак, юклама билан ишлаганда эса ( $I_{q0'z,2}$  нинг ўша қийматида) генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиши камаяди (30.1,b-расмда «C» нуқта), яъни «DC» кесма билан ифодаланадиган кучланиш пасайишига эга бўламиз. Бу кесманинг «BC» қисми якорь занжири ва чўткалардаги кучланиш пасайишини, «DB» кесма эса якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири туфайли куч-ланиш пасаювини ифодалайди. Якорь токи  $I_a = \text{const}$  бўлса, СВ кучланиш пасаюви ҳам ўзгармас бўлади. Якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири эса  $I_{q0'z}$  нинг ошиши билан ўзгарувчан бўлади, чунки бу ҳолда магнит занжирининг тўйиниш даражаси ўзгаради.

ЭЮК  $E'_a$  нинг бир хил қийматини олиш учун юксиз ишлаш режимда  $I_{q0'z,1}$  кўзғатиш токи талаб қилинса, юклама билан ишлаганда эса, қиймати  $I_{q0'z,2} > I_{q0'z,1}$  бўлган кўзғатиш токи керак бўлади. Бу тоklarнинг фарқи якорь чулғамидаги ЭЮК  $E_a$  ни «DB» қийматга камайтирувчи якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини компенсациялашга сарфланади.



**Мустақил кўзғатишли \* генератор қиска туташув тавсифи**

ЮСИТ ва характеристик учбурчак ёрдамида электромагнит кўзғатишли ЎТ генераторла-рининг нормал иш жараёнидаги ташқи ва ростлаш характерис-тикаларини график усулда аниқлаш мумкин. 30.3-расмдаги ҳосил бўлган «ABC» учбурчакни *характеристик (ёки реактив) учбурчак* дейилади.

**Қисқа туташув тавсифси (ҚТХ).** Бу тавсиф – якорь чулғами қисқа туташтирилиб (демак,  $U_a = 0$ ), айланиш частотасини  $n = n_N = \text{const}$  бўлгандаги  $I_a = f(I_{qo'z})$  боғлиқликни ифодалайди.

ҚТХ ни тажрибада кўзғатиш чулғами ҳосил қиладиган магнит оқими-нинг йўналиши  $\Phi_{qol}$  йўналиши билан мос тушган ҳол учун оладилар. Бу ҳолда кўзғатиш токини 0 дан бошлаб оширганда қисқа туташув (ҚТ) токи  $I_{qt}$  биронта  $a$  нуқтадан *тўғри чизиқли* кўринишда ошади (30.2-расм).  $I_{qo'z} = 0$  бўлганда ҳам якорь занжиридан  $I_{qt} = 0a$  ток ўтади. Бу ток  $\Phi_{qol}$  якорь чулғамида вужудга келтирган кичик қийматдаги ЭЮК  $E_{qol}$  ҳисобига ҳосил бў-лади. Одатда якорь токининг йўл қўйилган қийматларида ҚТХ деярли тўғри чизиқли бўлади.

Агар чўтка билан коллектор орасидаги ўзгарувчан контакт қаршилигини эътиборга олмасак (бунда  $R_a \approx \text{const}$ ) ҚТ токи  $I_{qt}$  ЭЮК  $E_a$  га, магнит система тўйинмаганлиги учун бу ток ( $I_{qt}$ ) кўзғатиш токига тўғри мутаносиб равишда ўзгарар экан ( $I_{qt} \equiv I_{qo'z}$ ).

**Ташқи ва ростлаш тавсифлари.** Генераторни ишлатишдаги асосий иш жараёни белгилловчи тавсиф – *ташқи* тавсифдир. Одатда, генераторларга нисбатан қўйиладиган талаб (пайвандлаш генераторларидан ташқари) умумий бўлиб, уларнинг кўзғатиш токи  $I_{qo'z} = \text{const}$  бўлганда, юклама токининг қиймати 0 дан йўл қўйилган қийматгача ўзгарганда, генераторларнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиши номинал қийматидан мумкин қадар кам ўзгариши амалиёт учун муҳимдир.

*Ташқи тавсиф* – кўзғатиш токи  $I_{qo'zN} = \text{const}$  ва якорьнинг айланиш частотаси  $n_N = \text{const}$  бўлганда  $U_a = f(I_a)$  боғлиқликни ифодалайди. Бу тавсифни аҳамиятга эга бўлган иккита ҳол учун таҳлил қилиш фойдалидир:

1) юксиз ишлаш режимда ( $I_a = 0$ ) якорь чулғамида ҳосил бўлган ЭЮК нинг қиймати  $E_0 = U_N$  га тўғри келган кўзғатиш токи  $I_{qo'zN} = \text{const}$  бўлганда юклама токини ошириб олиш (30.3,*a*-расм, 2);

2) якорь чулғамининг токи  $I_a = I_N$  ва кучланиши  $U_N$  бўлганда кўзғатиш токини  $I_{qo'zN} = \text{const}$  қилиб, юклама токини камайтириб олиш (30.3,*a*- расм, 1).

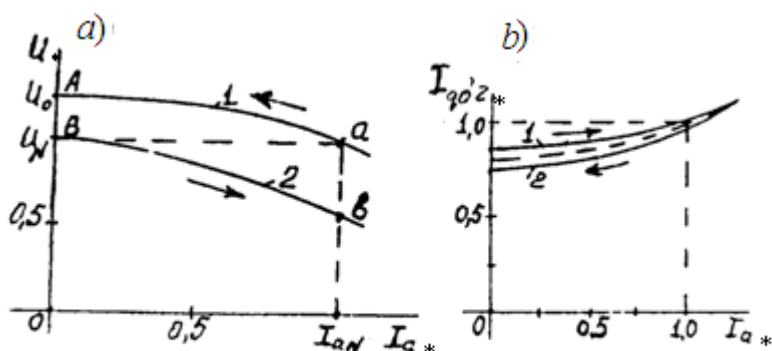
Ташқи тавсифни тажрибада юклама токини  $I_a = 0$  дан  $I_a = I_N$  гача ошириб олинганда, генератор чиқиш клеммаларидаги кучланиши, якорь реакцияси магнитсизловчи таъсирининг ва якорь занжирдаги қаршилиқларда кучланиш пасайиши туфайли бир оз камаяди (2-эгри чизик). Ташқи тавсиф эгри чизиғининг шаклига юклама токи туфайли магнит занжири тўйиниш даражасининг ўзгариши ҳам сабаб бўлади.

Маълумки, генераторнинг кучланиши ( $U_a$ ), натижавий магнит оқимига боғлиқ равишда ўзгарадиган  $E_a$ , якорь занжирдаги ( $I_a R_a$ ) ҳамда чўткаларда бўладиган ( $\Delta U_{ch}$ ) кучланиш пасайишлари билан аниқланади:

$$U_a = E_a - I_a R_a - \Delta U_{ch}. \quad (30.1)$$

Юклама токи оширилганда якорь реакциясининг машина асосий майдо-нига бўлган магнитсизловчи таъсири ортади. Кўзғатиш токи  $I_{qo'z} = \text{const}$  бўл-ганлигидан, генераторнинг натижавий магнит оқими, демак, ЭЮК  $E_a$  ҳам бир оз камаяди.

Ташқи тавсифни тажрибада олишда *давлат стандарти тавсияси қўйидагича:* якорьнинг айланиш частотаси  $n = n_N$  ва кўзғатиш токини  $I_{qo'zN} = \text{const}$  ҳолда сақлаб, юклама токи  $I_a$  ни номинал



Мустақил кўзғаткичли ўзгармас ток генератори ташқи (a) ва ростлаш (b) тавсифлари

қийматидан 0 гача камайтириб олиш лозим.

Юклама токи камая борган сари, кўндаланг якорь реакцияси таъсирининг сусайиши ва якорь занжирида кучланиш пасайиши  $I_a R_a$  нинг камайиши туфайли, якорь чулғами чиқиш клеммаларидаги кучланиш тобора ошади (30.3,а-расм, 1).

Ташқи тавсиф юкламани ошириб олинганда кучланиш пасаюви қуйидагича аниқланади:

$$\Delta U_{\%} = 100 (U_N - U_a) / U_N, \quad (30.2)$$

бунда  $U_N$  – якорь токи  $I_a = I_N$  бўлганда генератор чиқиш клеммаларидаги номинал кучланиш.

Компенсацион чулғами бўлмаган ўрта қувватли машиналарда кучланиш-нинг ошиши, одатда (5÷10) фоизни ташкил қилади.

Якорнинг айланиш частотаси  $n_N = \text{const}$  ва якорнинг кучланиши  $U_N = \text{const}$  бўлганида  $I_{qo'z} = f(I_a)$  боғлиқлик – генераторнинг *ростлаш* тавсифсини ифодалайди.

Бу тавсифни, *юклама токни камайтириб олинган ҳол учун кўриб чиқамиз*. (30.1) формулага асосан, агар кўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  нинг қийматини ўзгартирмай қолдирилса, юклама токи  $I_a$  нинг камайиши туфайли якорь реакциясининг кучсизланиши ва  $I_a R_a$  нинг камайиши сабабли, генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш миқдори ошади. Лекин, шартга кўра,  $U_a = U_N = \text{const}$  бўлиши керак, шу мақсадда, *ростлаш* тавсифсини олаётган пайтда кўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  ни камайтириб бориш лозим бўлади (30.3,б-расм).

Тажрибада *ростлаш* тавсифсининг иккита шохобчасини, яъни юклама токи  $I_a$  ни  $0 \leq I_a \leq I_N$  оралиқда тобора ошириб (1-шохобча), сўнгра, ток  $I_a$  ни  $I_N$  қийматидан аста-секин 0 гача камайтириб (2-шохобча) олинади. Бунда 1-шохобча иккинчига нисбатан юқорида жойлашади. *Бунга сабаб*: 1-шохобчани олишда юклама токи  $I_a$  нинг қиймати  $I_N$  гача ошганда бир вақтнинг ўзида кўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  ҳам оширилади. Бу эса, магнит занжирининг пўлат қисмларида  $\Phi_{qo1}$  нинг нисбатан кўпайишига олиб келади, натижада тавсифнинг 2-шохобчасини олганда  $U_a = U_N = \text{const}$  бўлиши учун камроқ кўзғатиш магнит оқими (демак, камроқ кўзғатиш токи) талаб қилинади. Бу иккала шохобчаниннг ўртасидан ўтказилган пунктир чизиқ *ростлаш* харак-теристикаси учун қабул қилинади (30.3,б-расм).

Шуни таъкидлаш керакки, *ростлаш* тавсифси, юклама токни ўзгартирганда генераторнинг кучланишини ўзгартирмай сақлаб туриш мақса-дида, *кўзғатиш токни ростлаш қонуниятини* ифодалайди. Масалан, юклама токни оширганда генератор кучланишининг номинал қиймати  $U_N$  га нисбатан камайишини бартараф этиш, яъни кучланишни  $U_N = \text{const}$  қилиб сақлаш учун кўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  ни бир оз ошириш керак бўлади.

## 25-маъруза

### Ўзгармас ток моторларидаги физик жараёнлар. Моторни ишга тушириш.

#### Режа:

*Ўзгармас ток моторида кучланиш ва ЭЮК ларнинг мувозанат тенгламаси.*

*Моментнинг мувозанат тенгламаси.*

### Ўзгармас ток моторида кучланиш ва ЭЮК ларнинг мувозанат тенгламаси.

Агар ЎТ машинаси ЎТ энергия манбаига уланса, машинаниннг кўзғатиш чулғамидан ва якорь чулғамидан тоқлар ўтади. Якорь токи кўзғатиш майдони (асосий майдон) билан таъсирлашиб якорь валида электромагнит момент  $M$  ни ҳосил қилади. Лекин бу момент генератордаги сингари тормозловчи эмас, балки айлантирувчи бўлади ва унинг таъсирида машина яқори айлана бош-лайди. Бу ҳолда машина, тармоқдан электр энергияни олиб, мотор сифатида ишлайди ва уни механик энергияга айлантиради.

ЎТ машинаси генератор сифатида ишлаганида коллектор ва чўткалар *тўғрилагич вазифасини* бажаради. Мотор режимида ишлаганида эса, коллектор ва унинг сиртига

тегиб турувчи чўткаларни, ўтказгичларидан ўзгарувчан ток ўтувчи якорь чулғамини ЎТ тармоғи билан боғловчи, частота ўзгартиргич, деб қараш мумкин.

Кутбларнинг берилган кутбийлиги (ишораси)да ва якорь айланишининг маълум йўналишида якорь чулғаидаги ЭЮК нинг йўналиши генератор ва мотор режимларида ишлаганида бир хил бўлиб, якорь чулғаи токининг йў-налиши ҳар хил бўлади. Шу сабабдан ЎТМ якорининг магнит майдони генератор режимдагига нисбатан йўналиши тескари бўлиб, якорь реакцияси ҳам тескари таъсир қилади, яъни:

1) чўткалар геометрик нейтралда бўлганида кўндаланг якорь реакцияси асосий магнит майдонини кутб ўқидан ўнг томонида сусайтиради, унинг чап томонида эса, кучайтиради;

2) чўткалар якорь айланиши томонга силжиган бўлса, якорнинг бўйлама магнит юритувчи кучи (МЮК) ҳам вужудга келади, агар чўткалар тескари томонга силжиган бўлса, бу МЮК бўйлама магнитсизловчи таъсир қилади.

*Одатда, ўТМда чўткаларни якорь айланишига тескари томонга силжи-тилади, бу ҳолда МЮК магнитсизловчи таъсир қилиб, якорь айланиш час-тотасини ўзгартиради.*

*ўТМ ларининг иш жараёни:* ишга тушириш, иш, механик, ростлаш ва тормозлаш тавсифларидан иборат бўлади.

*Иш жараёнининг асосий тенгламалари.* ЎТМ ларининг исталган режим-даги ишини моментларининг ва электр юритувчи кучларининг мувозанат тенг-ламалари белгилайди.

ЎТМ да асосий майдон ва якорь чулғамининг токли ўтказгичлари ўзаро

таъсирлашуви натижасида ҳосил бўладиган электромагнит момент  $M_{em}$  якорни айланма ҳаракатга келтиради ва шу сабабли, уни *айлантуруви момент* де-йилади. Унинг катталиги куйидаги ифодадан аниқланади:

$$M = N p \cdot \Phi \cdot I_a / (2\pi \cdot a) = C_M \Phi \cdot I_a, \quad (31.1)$$

бу ерда:  $N$ ,  $a$  – тегишлича якорь чулғамининг ўтказгичлари ва параллел шо-хобчалари сонлари;  $p$  – машинанинг жуфт кутблари сони;  $C_M = p \cdot N / (2\pi \cdot a)$  – берилган машинанинг конструкциясига боғлиқ бўлган ўзгармас катталик;  $\Phi$  – машинанинг натижавий магнит оқими.

*ЎТМ моментларининг мувозанат тенгламаси* куйидагича ёзилади:

$$M = M_0 + M_2 \pm M_D, \quad (31.2)$$

бунда  $M_D = J \cdot d\omega / dt$  – динамик момент. Бу моментнинг «мусбат» ишораси – ротор тезланишда бўлганида ва «манфий» ишораси эса ротор айланиши се-кинлашганда қабул қилинади.

(31.2) тенгламадан: ЎТМнинг исталган режимдаги ишида унинг айлан-тирувчи ( $M_{em}$ ) ва тормозловчи ( $M_T$ ) моментлари миқдор жиҳатдан ўзаро тенг ва йўналиши жиҳатдан қарама-қаршидир, *деган хулоса келиб чиқади.*

Барқарорлашган иш режимда ўТМ  $n = \text{const}$  айланиш частота билан ишлайди, демак, бу режимда  $M_D = 0$ , шунинг учун (31.2) ифода куйидагича ёзилади:

$$M = M_0 + M_2. \quad (31.3)$$

ЎТМнинг якори магнит майдонда айланганида якорь чулғаи ўтказгич-ларида, электромагнит индукция қонунига мувофиқ, ЭЮК вужудга келади. Унинг қиймати куйидаги ифода билан аниқланади:

$$E_a = C_E \Phi \cdot n, \quad (31.4)$$

бунда  $C_E = p \cdot N / (60a)$  – берилган машина учун ўзгармас бўлган катталиқ;  $p$  – якорнинг айланиш частотаси.

Бу ЭЮК нинг йўналиши якорь чулғами токи йўналишига қарама-қарши

бўлади, демак, якорь занжири учларига берилган кучланиш  $U$  га ҳам тескари йўналган бўлади. Шу сабабли ўТМ якорь чулғамининг ЭЮК ( $-E_a$ ) – *тескари ЭЮК* дейилади.

ўТМ ЭЮК ларининг мувозанат тенгламаси қуйидагича ёзилади:

а) умумий ҳол учун: 
$$U = e_a + i_a R_a + L_a di_a / dt; \quad (31.5)$$

б) барқарор иш режими учун: 
$$U = E_a + I_a R_a, \quad (31.6)$$

бунда  $e_a$  ва  $i_a$  – якорь чулғами ЭЮК ва тоқларининг оний қийматлари;  $R_a$  – якорь занжирининг тўла қаршилиги;  $L_a \cdot di_a / dt = 0$ ;  $E_a$  – тескари ЭЮК ( $-E_a$ ) ни мувозанатлайдиган кучланишнинг ташкил этувчиси; барқарор режимда ток  $I_a$  ҳам миқдор жиҳатдан ўзгармасдир.

(31.6) дан якорь тоқининг қийматини топамиз:

$$I_a = (U - E_a) / R_a. \quad (31.7)$$

(31.7) тенглама ўТМ ишини характерловчи *ниҳоятда муҳим тенглама* ҳисобланади.

### Ўзгармас ток моторларини ишга тушириш

Ишга тушириш жараёни қуйидагилар билан, яъни: а) ишга тушириш то-

қининг каррали ( $I_{i,t} / I_N$ ); б) ишга тушириш моментининг каррали ( $M_{i,t} / M_N$ ); в) ишга тушириш жараёнининг равонлиги; г) ишга тушириш даври  $t_{i,t}$ ; д) иш-га тушириш ускуналарининг таннархи ва энергия сарфлари билан билан характерланади.

ўТМ ларини ишга туширишнинг қуйидаги усуллари қўлланилади:

1) бевосита («реостатсиз») ишга тушириш, бунда якорь чулғами тўғри-дан-тўғри, яъни реостатсиз электр тармоғига уланади.

2) реостатли ишга тушириш, бунда тоқнинг қийматини чеклаш мақсадида якорь занжирига кетма-кет қилиб махсус ишга тушириш реостати ёки қў-шимча қаршилик уланади.

3) махсус ишга тушириш агрегати ёрдамида ишга тушириш (бунда якорь чулғамига бериладиган кучланишни равон ошириш кўзда тутилади).

**а) ўТМни бевосита ишга тушириш.** Дастлабки пайтда моторнинг айланиш частотаси  $n = 0$  бўлганлигидан, якорь чулғами ЭЮК  $E_a = 0$  бўлиб,

якорь чулғамининг тоқи қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$I_{i,t} = U / R_a. \quad (31.8)$$

Якорь занжири қаршилиги  $r_a$  нинг қиймати кичик бўлганлигидан ишга тушириш тоқи номинал тоққа нисбатан  $10 \div 20$  марта катта бўлиб, машина коллекторида кучли учқун чиқишига олиб келади ва зарбий момент ҳосил бўлади. Бу ҳол ўТМ уланган тармоқ учун ҳам, моторнинг валига уланган механизм учун ҳам зарарлидир. Шу сабабли ўТМ ни бевосита ишга тушириш усули фақат кам қувватли электр моторларида қўлланилади, чунки бундай ЭМларида якорь чулғами қаршилиги  $r_a$  нинг қиймати нисбатан катта бўлади (чунки қаршилик  $r_a$  нинг қиймати симнинг кесим юзасига тес-кари мутаносибда бўлишлигидир).

Ҳозирги вақтда ишга тушириш тоқи номинал тоқдан  $6 \div 8$  марта ошганда ҳам, қуввати  $6 \text{ kW}$  гача бўлган ўТМ ларини реостатсиз (тезкор автоматлар қўллаш йўли билан) ишга тушириш мумкинлиги аниқланган. Бунда айланиш частотани ошириш жараёни

якорь занжирига бир нечта кучланиш импульси-ни бериб амалга оширилади, яъни токнинг қиймати олдиндан белгиланган қийматга етганда ёки ундан ошганда автомат якорь занжирини узиб қўяди ва бу ток олдиндан белгиланган қийматга камайганда автомат якорь занжирини тармоққа қайтадан улаб беради.

**б) ЎТМ ни «реостатли» ишга тушириш.** Қуввати  $P > 0,5 \text{ кВт}$  бўлган ларида ишга тушириш токини камайтириш учун якорь занжирига кетма-кет қилиб ишга тушириш реостатини улайдилар. Ишга тушириш жараёни силлиқ ўтиши учун ишга тушириш реостати қаршилигини, одатда алоҳида элемент-лардан иборат бўлган кўп поғонали (1...4) қилиб бажарилади. Бу ҳолда ишга тушириш токи қуйидагига тенг бўлади:

$$I_{i,t} = U / (r_a + R_r), \quad (31.9)$$

бу ерда  $R_r$  – ишга тушириш реостатининг қаршилиги.

ЎТМ ни ишга тушириш даври  $t_{i,t}$  нисбатан кўп бўлмаганлигидан, ишга тушириш реостатининг қаршилиги шундай танланадики, бунда ишга тушириш токи  $I_{i,t} \leq (2 \div 3) I_N$  бўлиши керак.

Қуввати катта бўлган ўТМ ларини ишга тушириш учун реостатларни қўллаш мақсадга мувофиқ бўлмайди, сабаби, бунда ўТМ айланувчи қисмлари массасининг моменти  $J$  га тўғри мутаносиб бўлган энергия исрофлари катта бўлади. Шунинг учун бундай ўТМ ни ишга туширишда кучланишни камай-тириш йўли махсус ишга тушириш агрегатидан фойдаланиб амалга оширилади (масалан, электровознинг тортиш ўТМ ларини ишга туширишда) ёки электр моторларини «генератор – мотор» схемаси ёрдамида ишга туширилади.

**в) Параллел қўзғатишли моторни ишга тушириш.** Реостатли ишга тушириш амалда энг кўп қўлланиладиган усулдир.

31.2-расмда учта ( $L, Sh, Ya$ ) учли ишга тушириш реостатининг схемаси кўрсатилган.

Кўрилатган реостат ўзаро кетма-кет уланган тўртта поғонадан иборат. Булар 6 та контактга эга бўлиб, улардан бошланғичи – ноль (0), тўртта (1÷4) ораликдаги ва охиригиси (5) – ишчидир. 4 – поғонанинг охири 5 – контакт ва «Ya» ҳарфи билан белгиланган уланиш жойига бирлаштирилган: «M» ҳарфи билан белгиланган мисдан ясалган ёй эса «Sh» ҳарфи билан белгиланган уланиш жойига бирлаштирилган.

Силжийдиган контактлари реостатининг тутқичига маҳкамланган ва «L» ҳарфи билан белгиланган уланиш жойи билан бириктирилган бўлиб, бу контактлар ёрдамида тармоқ симининг биронтасига уланади.

Ишга туширишдан олдин реостатнинг тутқичига маҳкамланган силжий-диган контактнинг учи «0» контактида бўлиши шарт.

Якорь занжиридаги ишга тушириш токининг чекланган қийматида ишга тушириш моментини ошириш мақсадида асосий кутб магнит оқимининг қийматини кўпайтириш учун қўзғатиш системасидаги ростлаш реостатининг қаршилиги  $r_{r,qo'z} \approx 0$  бўлиши керак (31.2,а-расм). Ишга тушириш реостатининг тутқичини контакт «0» дан контакт «1» га кўчирганда қўзғатиш чулғамига, дарҳол, қиймати  $U_N = U$  бўлган кучланиш берилади, якорь чулғамига эса, унинг занжири бу ҳолда ишга тушириш реостатининг тўла  $R_{i,t,r} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$  қаршилигига уланганлиги сабабли, пасайган кучланиш берилади. Натижада қўзғатиш чулғамидаги токнинг қиймати катта бўлиб, якорь занжирдан эса (31.9) тенглама билан аниқланадиган ток ўтади. Ишга туширишнинг бошла-нишида якорнинг айланиш частотаси  $n = 0$  бўлганлигидан (31.9) нинг сура-тидаги  $E_a = 0$  бўлади.

Агар якорь реакцияси ўТМ нинг асосий магнит оқимига таъсир қилмайди деб ҳисобласак, унда  $\Phi = \text{const}$  бўлади. Ток  $I_{i,t,\text{max}}$  га бошланғич ишга тушириш momenti тўғри келади:

$$M_{i,t} = C_M \Phi I_{i,t,\text{max}}. \quad (31.10)$$

Агар бу момент  $M_{i,t} > M_{st} = M_0 + M_2$  бўлса, унда ўТМ нинг якори айла-на бошлайди. Бунда якорь чулғамини ҳосил қиладиган ўтказгичлар ўзгармас

магнит оқимнинг куч чизикларини кеса-ди ва,  $I_{qo'z} = \text{const}$  бўлганлигидан, бу ўтказгичларда якорнинг айланиш частотаси  $n$  га мутаносиб бўлган тескари ЭЮК вужудга келади (31.2,*b*-расм, «а» эгри чизиғи). Шу расмдаги «А» эгри чизик эса, тескари ЭЮК вужудга келганлиги туфайли (31.9) ифодага биноан, ишга тушириш токининг ва (31.10) ифодага кўра бу токка мутаносиб бўлган ишга тушириш моментининг камайишини кўрсатади (чунки кўзғатиш токи  $I_{qo'z} = \text{const}$  бўлганда кўзғатиш магнит оқими ҳам  $\Phi_{qo'z} = \text{const}$  бўлади ва битта «А» эгри чизиғи орқали ҳар хил масштабда ифодаланган ишга тушириш токи  $I_{i,t}$  ва ишга тушириш моменти  $M_{i,t}$  кўрсатилган).

Ишга тушириш токи  $I_{i,t,\text{min}}$  қийматгача камайганда реостатининг «Т» тутқичи контакт «2» га кўчирилади (бунда 1-поғонанинг қаршилиги  $r_1$  кейинги жараёнда қатнашмайди). Бу ҳолда ток яна  $I_{i,t,\text{max}}$  гача етади ва ўТМ нинг айланиш частотаси ҳам «в» эгри чизиғи бўйлаб ўсади, бунда ишга тушириш токи ва моменти «В» эгри чизиғи бўйлаб камаяди. Бу жараён 31.2,*b*-расмда кўрсатилганидек куйидаги тартибда боради, яъни айланиш частота-сининг ўзгаришини ифодаловчи эгри чизиклар *a*-*b*-*c*-*d*; ток ва моментники эса – А-В-С-Д. Бу жараён реостатнинг тутқичи 5-контакт билан улангунга қадар давом қилади ва бундан кейин ўТМ, якорь токи  $I_a$  ва айланиш частотаси  $n$  бўлган барқарор иш режимда ишлайди.

ўТМ ни тармоқдан узишда якорь токини камайтириш мақсадида реостат тутқичини контакт 5 дан контакт 0 га қадар бирин-кетин кўчирилади; бунда ишга тушириш реостатининг тўла қаршилиги якорь занжирига уланган бўлади ва якорь токи камаяди. Бундан кейин улаб-узгич «U1» ёрдамида ўТМ тар-моқдан узилади (31.2,*b*-расм).

Контакт 1 ва мис ёйи «М» орасидаги *тутаשמанинг мавжудлиги катта аҳамиятга эга* бўлиб, у кўзғатиш чулғами, якорь чулғами ва реостатлардан иборат бўлган берк контурни ҳосил қилади. Бу контурда тармоқдан узилган ўТМ кўзғатиш чулғамининг электромагнит энергияси иссиқлик энергияга ай-ланади. Агар бу туташма бундай, кўзғатиш чулғами бирданига тармоқдан узилганда, бу чулғамда ҳаддан ташқари ўзиндукция ЭЮК ҳосил бўлиб, бу эса, чулғам изоляциясини ишдан чиқариши мумкин.

Ишга тушириш воситалари одатда ишга тушириш токи максимал қийма-тининг қисқа вақт ичида ўтишига мўлжалланган, шу сабабли уларни ўТМ нинг нормал иш жараёнидаги айланиш частотасини ростлаш мақсадида ишлатиб бўлмайди, ҳамда ўТМ ни ишга туширгандан кейин ишга тушириш ре-остатининг поғоналари куйиб қолмаслиги учун охириги поғоналарини уланган ҳолда қолдириб бўлмайди.

Автоматлаштирилган электр юритмасида ўТМ ни ишга тушириш учун бир нечта поғонага бўлинган қаршилиқлар ( $R_1, R_2, R_3$ )дан фойдаланадилар (31.3-расм) бунда ишга тушириш контактлари ( $K_1, K_2$  ва  $K_3$ ) воситасида улар навбатма-навбат шунт қилиади.

*2) Кетма-кет ва аралаш кўзғатишли моторларни иш-га туширишининг ўзига хос хусусиятлари.*

Бундай моторларни ишга тушириш параллел кўзғатишли мотордаги каби, ишга тушириш реостати воситасида амалга оширилади, лекин ўзига хос ху-сусиятларга эга.

*Кетма-кет кўзғатишли моторда ишга тушириш моменти параллел кўзғатишлиникига нисбатан катта бўлади ва (31.10) ифода билан аниқланади:*

Бу моментнинг катта бўлишига сабаб, якорь чулғамидан ўтувчи ишга ту-шириш токининг ошиши билан, бу чулғамда кетма-кет уланган кўзғатиш чул-ғамининг магнит оқими ҳам ўсади. Кетма-кет кўзғатишли моторларнинг *бу хоссаси* айрим электр юритмаларда, масалан, юк кўтарадиган мосламаларда, тортиш қурилмаларида ва бошқа ҳолларда *катта аҳамиятга эга* бўлади.

*Кетма-кет кўзғатишли моторларнинг куйидаги ўзига хос хусусиятлари-ни*, яъни бу моторларни юксиз ишлаш ҳолатида (валига юк уланмаган ҳолатда) ва шунингдек, юкламанинг миқдори номиналга нисбатан 25% дан кам бўлган ҳолларда, ишга тушириш катъиян мумкин эмаслигини эсда тутиш лозим бў-лади. Чунки бундай ҳолларда машина



магнит занжири тўйинмаган бўлиб, маг-нит оқими  $\Phi$  якорь токи  $I_a$  га тўғри мутаносиб ( $\Phi \equiv I_a$ ) равишда ўзгарганлиги сабабли айлантурувчи моменти  $M_{em}$  якорь токининг квадрати ( $I_a^2$ ) га тўғри мутаносиб равишда ўзгаради, яъни:

$$M = C'_m I_a^2. \quad (31.11)$$

(31.5) ва (31.6) ифодалардан аниқланган қуйидаги

$$n = (U - I_a R_a) / (C_E \Phi) \quad (31.12)$$

тенгламадан кўринишича, кетма-кет қўзғатишли мотор механик жиҳатдан за-рарли (меъёрдан катта) бўлган айланиш частотасини ҳосил қилади.

## 26-маъруза

### Ўзгармас ток моторларининг номинал иш жараёни тавсифлари.

*Режа:*

*Хар хил қўзғатишли мотор нормал иш жараёни.*

*Ишчи тавсифлари.*

*Механик тавсифлари.*

*ростлаш тавсифлари.*

### Ўзгармас ток моторларининг иш тавсифлари

Бу тавсифлар электр моторларининг барқарор иш режимидаги хоссаларини белгилайди. Бу тавсифлар якорь чулғамига берилган кучланиш  $U_a = U_N = \text{const}$ , ҳамда параллел (ёки мустақил) қўзғатиш занжири кучланиши  $U_{qo'z} = \text{const}$  ва  $r_{qo'z} = \text{const}$  (демак,  $I_{qo'z} = \text{const}$ ) шартлар бажарилганда олинадиган  $n$ ,  $M$ ,  $I_a$  ва  $\eta = f(P_2)$  боғлиқликдир.

$\eta = f(P_2)$  боғланишдан ташқари барча иш тавсифлари ўТМ турига, яъни унинг қўзғатиш усулига боғлиқ бўлади. Масалан, параллел қўзғатишли моторларда (мустақил қўзғатишлисида ҳам) қўзғатиш чулғамининг магнит оқими  $\Phi_{qo'z}$  юкламанинг миқдорига деярли боғлиқ бўлмайди, кетма-кет қўзғатиш моторларда эса, бу юклама токига кучли боғлиқ бўлади.

#### а) Параллел қўзғатишли моторнинг иш тавсифлари.

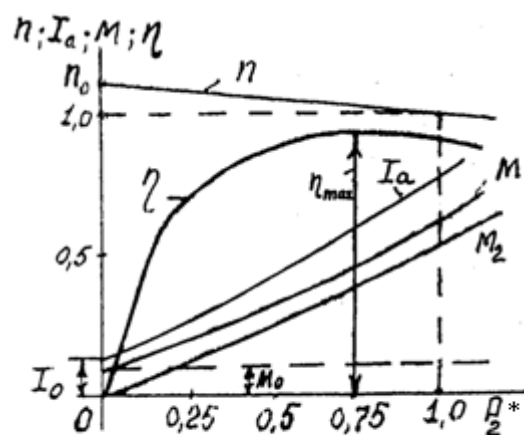
Қуйида мазкур ўТМ ларида  $U_a = U_N = \text{const}$  ва  $I_{qo'z} = I_{qo'z.N} = \text{const}$  бўлгандаги  $n$ ,  $M$ ,  $I_a$ ,  $\eta = f(P_2)$  боғлиқлик билан ифодаланувчи иш тавсифларини кўриб чиқамиз (31.4-расм). Қўзғатиш токининг номинал қиймати ( $I_{qo'z.N}$ ) қилиб, ўТМ нинг валидаги юки номинал ( $M_2 = M_{2N}$ ) ва айланиш час-тотаси  $n = n_N$  бўлган иш режимдаги катталиги қабул қилинади.

Айланиш частотаси  $n$  нинг фойдали қувват  $P_2$  га боғланиши —  $n = f(P_2)$ , тезлик тавсифси —  $n = f(I_a)$  эгри чизигига яқин бўлади.

(31.12) тенглама параллел қўзғатишли мотор учун ҳам тўғри келиб, ай-ланиш частотанинг пасайиши натижасида, якорнинг тескари ЭЮК  $E_a$  камая-ди, бу эса якорь токи  $I_a$  нинг ва якорь реакциясининг ошишига олиб келади. Магнит занжири тўйинган машиналарда кўндаланг якорь реакцияси нисбатан магнитсизловчи таъсир кўрсатади. Бу таъсир эса, асосий қутбларнинг магнит оқимини нисбатан камайтиради ва шу сабабли, ўТМ лари айланиш частотасининг нисбатан ошишига олиб келади.

Механизмларнинг одатдаги механик тавсифларида иш турғунлиги учун ўТМ нинг тезлик тавсифси камаювчи бўлиши зарур.

Шу мақсадда, параллел қўзғатишли ўТМ ларини лойиҳалаганда унинг валидаги юк ошганда якорь занжиридаги кучланиш пасайиши ( $I_a R_a$ ) нинг ортиши туфайли айланиш частотанинг камайиши, асосий қутблар магнит оқи-



Параллел қўзғотишли мотор нинг иш тавсифлари

ми  $\Phi_{qo'z}$  нинг камайиши сабабли айланиш частотанинг ўсишига нисбатан каттароқ бўлиши таъминланади. Бунда юклама нолдан номиналгача ошганда  $n$  нинг пасайиши  $\Delta n = (3 \div 8)$  фоизни ташкил қилади.

Валдаги юк 0 дан номинал қийматгача ўзгарганда, параллел қўзғатишли моторнинг тезлик тавсифси  $n = f(P_2)$  деярли тўғри чизиқ кўринишида ўзгариб, абсциссалар ўқига нисбатан кам оған бўлади ва шу сабабли, уни *бикир* (яъни кам ўзгарувчи) тавсиф дейилади. Параллел қўзғатишли мотор айланиш частотасининг валдаги юкка нисбатан кучсиз боғлиқлиги муҳим аҳамиятга эга бўлган ҳоссаларидан бири ҳисобланади.

Момент тавсифси  $M_2 = f(P_2)$  кўринишдаги боғланишдир. ЎТМ фойдали моменти  $M_2$  нинг катталиги унинг валидаги фойдали қувватга тўғри мутаносиб бўлиб, қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$M_2 = P_2 / \omega = P_2 / (2\pi \cdot n / 60) = 60 / (2\pi) \cdot P_2 / n = 9,55 P_2 / n, \quad (31.13)$$

бунда  $P_2$  [W];  $M_2$  [N·m];  $n$  [айл / мин].

Айланиш частотаси  $n = \text{const}$  бўлганда (31.13) тенгламага биноан  $M_2$  координаталар бошидан чиқадиган тўғри чизиқ кўринишида бўлар эди. Аммо валдаги юкнинг ошиши билан ўТМ нинг айланиш частотаси бир оз камаяди, шунинг учун ҳам момент  $M_2$  қувват  $P_2$  га нисбатан тезроқ ўсади (31.4-расм).

Айланиш частотаси деярли ўзгармас бўлгани учун магнит ва механик ис-рофлари ўзгармас дейилса бўлади, натижада ўТМ нинг юксиз ишлашдаги моменти  $M_0 = \text{const}$  бўлади. Шу сабабдан барқарор иш режимдаги ўТМ нинг моментлари мувозанат тенгаламаси (31.4) га биноан  $M = f(P_2)$  эгри чизиғи, фойдали моментининг ўзгариши  $M_2 = f(P_2)$  дан катталиги  $M_0$  га тенг бўлган ораликда юқорида жойлашади ва  $M_2$  нинг ўзгаришига ўхшаш бўлади.

ЎТМ фойдали қуввати  $P_2$  нинг ошиши билан унинг айланиш частотаси бир оз пасаяди; якорь реакцияси таъсирида эса магнит оқими бир оз камаяди, шу сабабли  $I_a = f(P_2)$  боғлиқлик  $M = f(P_2)$  эгри чизиғига нисбатан ординаталар ўқи томонга кўпроқ оғади.

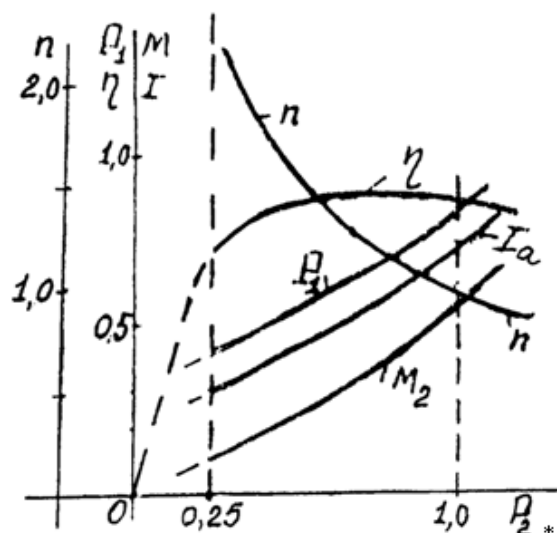
$P_2 = 0$  да юксиз ишлаш токи  $I_0 = I_{0(a)} + I_{qo'z}$  номинал токнинг (5÷10) фоизни ташкил қилади. Бунда  $I_{0(a)}$  – юксиз ишлаш токининг якорь чулғамидан ўтадиган қисми бўлиб, номинал токнинг (3÷7) фоиз ни ташкил қилади. Кичик рақамлар – катта қувватли электр моторларига, каттаси эса – кам қувватлиларга тўғри келади. Шу сабабли  $I_a = f(P_2)$  боғланишнинг ўзгариш эгри чизиғи коор-динаталар боши 0 га нисбатан катталиги  $I_0$  га тенг бўлган масофада жойлашган ордината нуқтасидан бошланади.

31.4-расмда ФИК нинг максимал қиймати  $\eta_{\max}$  га юкламанинг  $P_2 = (3/4) P_N$  қиймати тўғри келади. ФИК  $\eta_{\max}$  бўлган нуқтанинг чап томонида ўзгармас исрофлар кўп бўлса, ундан ўнг томонида эса электр исрофлари (ўзгарувчан исрофлар) кўп бўлади. ФИК га оид батафсил маълумот 33.3-бандда берилган.

**б) Кетма-кет қўзғатишли моторнинг иш тавсифларини**  $U = U_N = \text{const}$  бўлганда фойдали қувват  $P_2$  га боғлиқ равишда эмас, балки якорь токи  $I_a$  га нисбатан боғлиқликда тасвирлаш қулай ҳисобланади:  $n, M, P_2, \eta = f(I_a)$ . Бу иккала боғлиқлик ўртасида фарқ кам, чунки  $U_a = \text{const}$  бўлганда  $P_2$  тахминан ток  $I_a$  га мутаносибдир.

Кетма-кет қўзғатишли моторда қўзғатиш токи якорь токига тенг ( $I_{qo'z} = I_a$ ) ва у билан бир вақтда ўзгаради. Қўзғатиш токининг валдаги юкка нисбатан бундай мутаносиб равишда ўзгариши ўТМ иш тавсифларининг параллел қўзғатишли мотор иш тавсифларидан кескин фарқ қилишига сабабчи бўлади.

Кетма-кет қўзғатишли мотор валидаги юкнинг ошиши билан қўзғатиш токи ҳам ошади, демак, ўТМ нинг асосий магнит оқими  $\Phi$  ҳам машина магнитланиш эгри чизиғи



Кетма-кет қўзғотишли моторнинг иш тавсифлари

бўйича кўпая боради. Демак, кетма-кет қўзғатишли моторнинг айланиш частотаси юк ошиши билан тезда пасаяди.

$U = U_N = \text{const}$  бўлгандаги  $n = f(I_a)$  боғлиқлик – тезлик тавсифсини ифодалайди. (31.12) тенгламага биноан кетма-кет қўзғатишли мотор айланиш частотасининг ўзгариши кўйида-гиларга, яъни: 1) асосий магнит оқимининг ўзгаришига, 2) якорь занжирида кучланиш пасайиши ( $I_{a'}$ )га ва 3) якорь реакциясига боғлиқ бўлади. Сўнгги иккита сабаб биринчига қараганда иккинчи даражали омиллар ҳисобланади ва улар ўзаро тескари йўналишда

таъсир қилишгани сабабли кетма-кет қўзғатишли моторнинг айланиш частотаси  $n$  амалда фақат асосий магнит оқимининг ўзгаришига боғлиқ бўлади.

Агар кетма-кет қўзғатишли моторнинг магнит занжири тўйинмаган (ток-нинг  $I_a < 0,8I_N$  қийматларида) бўлса, магнит оқими  $\Phi$  токка мутаносиб ( $\Phi \equiv I_a$ ) равишда ўзгаради ва буни куйидагича ёзиш мумкин бўлади:

$$\Phi = K_\Phi I_a. \quad (31.14)$$

Бунда ўТМ ларининг айланиш частотаси юклама токи  $I = I_a$  га тескари мутаносибда бўлиб, ток (демак,  $\Phi$  ҳам) камайган сари тобора ошади ва ўзгариш характери гипербола кўринишига яқин бўлади (31.5-расм).

Тескари ЭЮК лар мувозанати тенгламаси (31.6)га биноан, кучланишни  $U = U_N = \text{const}$  қилиш учун, магнит оқими  $\Phi$  нинг камайишида ўТМ айланиш частотасининг ошиши лозим бўлади.

ўТМ айланиш частотасининг ҳаддан ташқари кўпайишига, механик сабабларга кўра йўл қўйиб бўлмайди. Худди шу сабабдан, умумий мақсадли кетма-кет қўзғатишли моторларни юксиз ишлаш режимда, яъни юксиз ишга тушириш ёки нормал ишлаётганида юқини номиналга нисбатан 25 % дан пастга тушириш мумкин эмас.

Кетма-кет қўзғатишли моторнинг юксиз ишлаб қолиши рўй бермаслиги учун унинг айланма ҳаракатини тасма воситасида узатишга йўл қўйилмасдан, балки юк механизми билан қаттиқ бирлаштирилиб қўйилади. Кетма-кет қўзғатишли моторнинг айланиш частотаси қанча ошса ҳам, у генератор режимига ўтмайди, яъни тезлик тавсифси –  $n = f(I_a)$  ординаталар ўқини ке-сиб ўтмайди.

Айлантирувчи моментнинг ўзгариши. Агар таҳлилни соддалаштириш мақсадида  $M_0$  ни эътиборга олмасак, унда (31.4) ва (31.2) ифодаларга асосан куйидагича эга бўламиз:

$$M = M_0 + M_2 \approx M_2 = C_M I_a \Phi. \quad (31.15)$$

Магнит занжири тўйинмаган ўТМ да магнит оқими  $\Phi$  қўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  га тўғри мутаносибда бўлганлигидан, (31.14) тенгламани ҳисобга олган ҳолда моментнинг ифодасини куйидагича ёзиш мумкин:

$$M = C_M K_\Phi I_a^2 = C'_M I_a^2. \quad (31.16)$$

Моментнинг бундай ифодаланишида  $M = f(I_a)$  эгри чизигининг парабола кўринишига ўхшашлигидан далолат беради. Одатда, валдаги юкнинг ошиши билан магнит занжири тўйиниб, магнит оқими  $\Phi \approx \text{const}$  бўлади. Бу ҳолда кетма-кет қўзғатишли мотор учун моментни куйидагича ёзамиз:

$$M = C_M \Phi I_a = C_3 I_a, \quad (31.17)$$

бу ерда  $C_3 = C_M \Phi$  – ўзгармас катталиқ.

Кетма-кет қўзғатишли мотор моментининг кучайиши юклама токиннинг квадратага тўғри мутаносиблиги ( $M \equiv I^2$ ) жуда муҳим амалий аҳамиятга эга. Бу айниқса, катта қийматли ишга тушириш моменти талаб қилинадиган ме-ханизмларда, яъни кранлар, метро, трамвай, троллейбус, автомобиллардаги стартер ва электровозлар, шунингдек ўТМ ўта юкланиш қобилятига эга бўлиши керак бўлган ҳолларда муҳим аҳамиятга эга бўлади.

Фойдали иш коэффициентининг ўзгариши –  $\eta = f(P_2)$  (31.6-расм). Маъ-лумки, фойдали қувват куйидаги ифода билан аниқланади:

$$P_2 = U \cdot I_a \cdot \eta. \quad (31.18)$$

Кетма-кет қўзғатишли моторнинг валидаги юки  $P_2 \approx 0,5P_N$  дан  $P_2=1,25P_N$  гача бўлган ораликда ўзгарганида ФИК  $\eta$  нинг ўзгариши кам бўлади.

Кетма-кет қўзғатишли моторда механик ва магнит исрофлар йиғиндиси валдаги юкка деярли боғлиқ бўлмайди. Бу қуйидагича тушунирилади. Ток  $I_a$  нинг ошиши билан магнит оқими ошади, бу эса айланиш частотаси кама-йишига олиб келади, яъни бир томондан магнит исрофлар ошса, иккинчидан, айланиш частотасининг камайишидан механик исрофлар камаяди; натижада уларнинг йиғиндиси кам ўзгаради. Шу сабабдан кетма-кет қўзғатишли мо-торда ФИК ўзининг максимал қийматига, худди параллел қўзғатишли мотор-лардаги сингари, ўзгармас исрофлари (юксиз ишлаш исрофлари) ўзгарувчан исрофларга (электр исрофларига) тенг ( $P_0 = I_a^2 R_a$ ) бўлганда эришади.

Маълумки, иш тавсифлари кучланишнинг  $U = U_N = \text{const}$  қийма-тида олинади, шунинг учун ўТМ га берилаётган электр қуввати  $P_1 = UI_a$  юк-лама токи  $I_a$  га мутаносиб равишда ўзгаради. Демак,  $P_1 = f(P_2)$  боғлиқлик бошқа масштабда токнинг ўзгариши  $I_a = f(P_2)$  ни кўрсатади.

#### **в) Аралаш қўзғатишли моторнинг иш тавсифлари.**

Бундай моторда магнит оқими  $\Phi_{\text{о'з}}$  параллел ва кетма-кет қўзғатиш чулғамлари МЮК ларининг биргаликдаги таъсирдан вужудга келтирилади. Қўзғатиш чулғамлари МЮК ларининг ўзаро нисбати шундай танланадики, бунда бу чулғамлардан биттаси машина қўзғатиш МЮК нинг 70 фоизини вужудга келтириб, бу чулғам асосий ҳисобланади, иккинчиси эса, қўшимча қўзғатиш чулғами дейилади. Қўзғатиш чулғамларининг ўзаро уланишига қараб уларни қуйидаги турларга ажратадилар:

1) *мос уланган аралаш қўзғатишли*, бунда параллел ва кетма-кет қўзғатиш чулғамлари ҳосил қилган МЮК ларининг йўналиши бир хил бўлиб, улар қўшилади ( $\Phi = \Phi_{Sh} + \Phi_C$ ).

2) *тескари уланган аралаш қўзғатишли*, бунда кетма-кет ва параллел қўзғатиш чулғамлари МЮК лари тескари йўналган бўлиб, натижавий оқим  $\Phi$  юклама токи ошиши билан камаяди ( $\Phi = \Phi_{Sh} - \Phi_C$ ).

Мос уланган аралаш қўзғатишли моторларнинг иш тавсифлари (31.6-расм) параллел қўзғатишли моторнинг иш тавсифларига яқинлашади.

*Демак, аралаш қўзғатишли моторнинг тавсифлари параллел ва кетма-кет қўзғатишли моторлар тавсифлари оралигида жойлашган эг-и чизиқлардан иборат бўлар экан.*

*Аралаш қўзғатишли моторда натижавий магнит оқим  $\Phi = \Phi_{Sh} \pm \Phi_C$  бўлганлигидан, унинг моменти қуйидагича аниқланади:*

$$M = C_M (\Phi_{Sh} \pm \Phi_C) \cdot I_a, \quad (31.19)$$

*айланиш частотаси эса:*

$$n = (U - I_a \Sigma R_a) / [C_A (\Phi_{Sh} \pm \Phi_C)]. \quad (31.20)$$

*Қўзғатиш чулғамлари мос уланганда юкламанинг ошиши билан натижавий оқим  $\Phi$  ошади, шунинг учун унинг тезлик тавсифси параллел қўзғатишли моторларникига нисбатан пасаюв-чан бўлади.*

*Агар қўзғатиш чулғамлари тескари уланса, валдаги юкнинг ошиши билан ток  $I_a$  ошади ва, демак, натижавий оқим  $\Phi = \Phi_{Sh} - \Phi_C$  камаяди. Юклама-нинг катта қийматларида оқим  $\Phi$  анча камайиб кетиб, айланиш частотаси  $n$  ошади, натижада, агар  $M_{yu} = \text{const}$  ва  $U = U_N = \text{const}$  бўлса, ток  $I_a$  нинг ошишига олиб келади. Бу эса, ўз навбатида, моторнинг магнит оқимини яна ҳам камайтириб, унинг айланиш частотаси янада кўпроқ ошишига олиб келади ва ҳ.к. Амалда моторнинг юкламаси 0 дан номиналгача ўзгариб турадиган ҳол-ларда, унинг айланиш частотасини тахминан бир ҳил тутиб туриш лозим бўл-са, кетма-кет қўзғатиш чулғами асосий (параллел) чулғамга тескари қилиб*

уланади.

### Ўзгармас ток моторларининг механик тавсифлари

1) **Параллел қўзғатишли ўТ моторининг механик характери-калари** –  $n = f(M_{em})$ : кучланиш  $U_a = U_N = \text{const}$ , якорь занжиридаги қаршилиқ  $R_a = \text{const}$  ва қўзғатиш занжиридаги қаршилиқ  $R_{qo'z} = \text{const}$  шартлар бажарил-ганда, мотор валига уланган иш механизмининг тормозловчи моменти  $M_T$  ни ( $M_T = M = M_0 + M_2$ ) ўзгартириб олинадиган айланиш частотаси  $n$  нинг ўзга-ришини ифодалайди. Механик тавсифни таҳлил қилиш учун якорь занжирига кетма-кет уланган  $R_r$  ҳисобга олган ҳолда (31.12) ифодани қуйи-дагича ёзамиз:

$$n = [U - I_a(R_a + R_r)] / (C_E \Phi) = U / (C_E \Phi) - I_a(R_a + R_r) / (C_E \Phi). \quad (31.25)$$

Бунга  $M = C_M I_a \Phi$  ифодадан аниқланган ток  $I_a$  нинг [ $I_a = M / (C_M \Phi)$ ] қий-матини қўйиб, ҳамда  $n = \text{const}$  бўлганда  $M = M_T$  бўлишини эътиборга олган ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$n = U / (C_E \Phi) - M_m(R_a + R_r) / (C_E C_M \Phi^2), \quad (31.22)$$

бунда  $C_E$ ,  $C_M$ ,  $U$  ва  $(R_a + R_r)$  лар ўзгармас катталиклардир.

Шундай қилиб, механик тавсифларнинг ўзгариш шакли тезлик

тавсифларининг шаклига ўхшаган бўлиб, ўТМ нинг магнит оқими  $\Phi$ , унинг юклама моменти  $M_{yn}$  га боғлиқ равишда қандай ўзгаришига, яъни ма-шинанинг қўзғатилиши усулига боғлиқ бўлади.

Параллел қўзғатишли моторда қўзғатиш магнит оқими  $\Phi_{qo'z}$  га якорь реакциясининг таъсири сезиларли бўлмагани учун,  $\Phi_{qo'z} = \text{const}$  деб ҳисоблаш мумкин. Агар ўТМ нинг турғун режимида хос бўлган моментлар мувозанати тенгламаси ( $M = M_0 + M_2$ ) даги юксиз ишлаш моменти  $M_0 \approx 0$  деб, (31.22) ифо-дадаги  $M_m$  ўрнига  $M_2$  ни қўйиб ёзамиз:

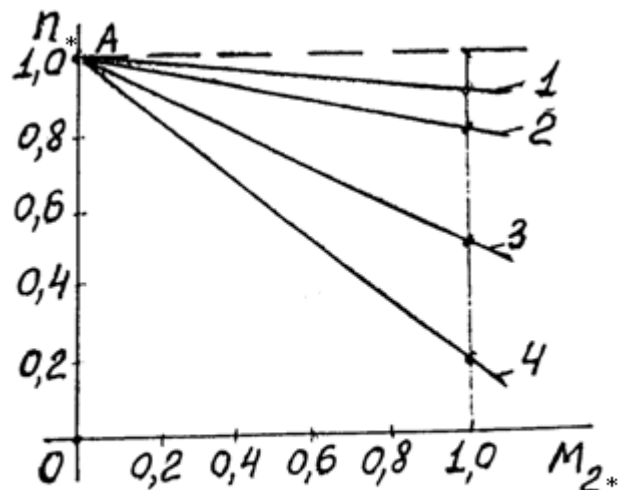
$$n = U / (C_E \Phi) - M_2(R_a + R_r) / (C_E C_M \Phi^2) = n_0 - \Delta n, \quad (31.23)$$

бу ерда  $n_0 = U / (C_E \Phi)$  – ўТМ нинг юксиз ишлашидаги айланиш частотаси (бунда қиймати жуда ҳам кичиклигидан  $I_a R_a \approx 0$  деб қабул қилинган);  $U / (C_E \Phi)$  ва  $1 / (C_E C_M \Phi^2)$  – ўзгармас катталиклар;  $\Delta n$  – айланиш частотасининг камайиши,

бунга якорь занжири қаршилиги  $(R_a + R_r)$  ва момент  $M_2$  ларнинг таъсири са-бабчи бўлади.

Агар реостатнинг қаршилиги  $R_r = 0$  бўлса, табиий механик характерис-

тикага эга бўламиз. Бу тавсиф абциссалар ўқи-га нисбатан озгина оғган тўғри чизик бўйича ўзгаради (31.7-расм, 1). Якорь занжирига қўшимча қаршилиқ киритиш билан бу тавсифнинг абциссалар ўқи-га нисбатан қиялик бурчаги ошади (31.7-расмда 2; 3; 4) ва бу бурчак  $R_r$  нинг қийматига тўғри мутаносибда бўлади. Агар  $I_a R_a \approx 0$  деб, у эътиборга олинмаса, унда механик тавсифлари ординаталар ўқидаги битта  $A$  нуқтадан бошланади.



Параллел қўзғотишли мотор механик тавсифлари

Параллел қўзғатишли моторнинг тезлик тавсифси билан унинг механик тавсифси ўртасида узвий боғланиш мавжуд. Ҳамма ҳолларда турғун ишни таъминлаш учун параллел қўзғатишли моторнинг пасаювчи тезлик тавсифсига унинг пасаювчи механик тавсифси тўғри келади.

Параллел қўзғатишли моторнинг турғунлиги унга тегишли тезлик харак-теристикасининг шаклига боғлиқ бўлади.  $M_{yu} = const$  (масалан, металл кесувчи станокларда  $M_{yu}$  айланиш частотаси  $n$  га боғлиқ эмас) ва  $M_{yu} \propto n^2$  (вентилятор, марказдан қочирма насос, эшакли винт ва шунга ўхшашларда) бўлганда камаювчи айланиш частота –  $n = f(I_a)$  ёки механик –  $n = f(M_2)$  тавсифлари кўрсатилган. Бу ҳолда ҳам ўТМ нинг турғун ишлаш шарти:

$$dM/dn < dM_{yu}/dn \quad (31.24)$$

бажарилади.

Умумий ҳол учун ўТМ нинг **турғун ишлаш шарти** қуйидагича характерланади: айланиш частотаси ошганда айлантурувчи моментнинг ўсиши

$dM$ , юкнинг валга ҳосил қилган тормозловчи моментининг ўсиши  $dM_{yu}$  дан кам бўлиши зарур.

Одатда, бу шартнинг бажарилиши учун ўТМ айланиш частотаси ошганда айлантурувчи моментнинг камайиши зарур бўлади (31.8-расм). Шунинг учун параллел қўзғатишли моторнинг тезлик ва механик тавсифлари пасаювчи бўлиши керак.

**Кетма-кет ва аралаш қўзғатишли моторларнинг механик тавсифлари** параллел қўзғатишли мотордаги сингари,  $U = U_N = const$  ва  $R_r = const$  бўлгандаги  $n = f(M_2)$  боғланишни ифодалайди. Механик тавсифнинг кўриниши ўТМ нинг юк билан ишлашидаги турғунлигини аниқлайди.

Нормал схема бўйича олинган табиий (1) ва сунъий (2 ва 3) механик тавсифлар 31.9-расмда кўрсатилган. Магнит занжири тўйинмаган кет-ма-кет қўзғатишли моторнинг механик тавсифси тезлик тавсифси (31.5-расм) каби гипербола шаклига ўхшаб ўзгаради. Ҳақиқатда эса, валдаги юкнинг ўзгариши билан кетма-кет қўзғатишли ўТМ магнит занжи-рининг тўйиниши кенг кўламда ўзгаради. Шу сабабли унинг механик харак-теристикасини оддий шаклдаги математик ифода кўринишида фақат хусусий ҳол, яъни машинанинг магнит занжири тўйинмаган ( $\Phi \equiv I_a$ ) ҳол учун ифода-лаш мумкин. Бу ҳолга (31.16) ифода тўғри келади.

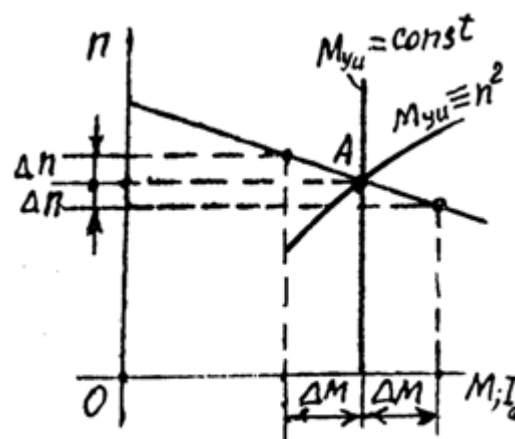
Кетма-кет қўзғатишли мотор кескин эгри чизиқли камаювчи механик тавсифсига эга бўлганлигидан унинг валидаги юк (20÷25)% дан ош-ганда ҳамма вақт турғун ишлайди.

**Аралаш қўзғатишли моторда** иккита қўзғатиш чулгами мавжудлиги-

дан унинг механик тавсифлари параллел ва кетма-кет қўзғатишли мо-торлар механик тавсифлари орасидаги ўринларни эгаллайди.

Магнит занжири тўйинганлиги учун аралаш қўзғатишли моторларнинг механик тавсифларини, кетма-кет қўзғатишли моторларники сингари,

математик эсиҳатдан аниқ ва оддий кўринишида ифода-лаб бўлмайди.



Механизмнинг турғун ишлаш шартлари

31.9, b-расмда келтирилган тавсифлардан кўринишича, якорь зан-жирига уланган қаршилик ошган сари ЎТМ нинг айланиш частотаси пасаяди

ва бу ҳолда тавсифлар тез камаядиган бўлиб қолади.

### 31.5. Ўзгармас ток моторларининг ростлаш тавсифлари

**Дастлабки маълумотлар.** ЎТМ лари ниҳоятда хилма-хил ва керак то-монга ўзгартирила олинадиган ростлаш тавсифларига эга. Шу сабабли бундай моторлар айланиш частотаси кенг кўламда ўзгарадиган қурил-маларда (масалан: металл жўвалайдиган катта дастгоҳда, электр транспортида ва бошқа қурилмаларда) жуда ҳам керакли ҳисобланади.

ЎТМ нинг ростлаш тавсифлари унинг айланиш частотасини ўз-гартиришдаги хусусиятларини аниқлаб беради. Бу хусусиятларга қуйидагилар киради: 1)  $n_{\max}/n_{\min}$  нисбат билан аниқланадиган айланиш частотани ростлаш чегаралари; 2) электр ускунасига кетган дастлабки харажатлар ва кейинги ишлатилиш жараёнидаги чиқимлар нуқтаи назардан айланиш частотани рост-лашнинг тежамлилиги; 3) ростлашнинг характери, яъни текис

ёки поғонали

эканлиги; 4) ростлаш асбоб-ускунаси ва айланиш частотани ростлаш бўйича бажариладиган ишнинг соддалиги ва ишончилиги.

(31.4) тенгламани ҳисобга олган ҳолда ЎТМ ЭЮК лар мувозанат тенгламаси (31.6)га биноан қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$n = [U - I_a (R_a + R_r)] / (C_E \Phi) \quad (31.25)$$

бу ерда  $\Phi = \Phi_{qo'z} - \Delta\Phi$ ;  $\Delta\Phi$  – якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири туфайли магнит оқими камайишининг катталиги;  $R_a = r_a + r_c + r_{qo'sh.q} + r_{qo'z} + r_{ch}$  – якорь занжирига кетма-кет уланган барча чулғамларнинг ва чўткалардаги ўтиш қаршилиги ( $r_{ch}$ ) нинг йиғиндиси.

(31.25) формуладан кўринишича, ЎТМ ларининг айланиш частотасини учта усул билан, яъни: 1) қўзғатиш токини ўзгартириш (бунда магнит оқими  $\Phi_{qo'z}$  ўзгаради); 2) якорь чулғами занжирига уланган реостат воситасида; 3) тармоқ кучланиши  $U$  ни ўзгартириш билан ростлаш мумкин экан.

#### **Параллел ва мустақил қўзғатишли моторларнинг ростлаш тавсифлари.**

**Параллел қўзғатишли моторнинг**  $n = n_N = const$  ва  $U = U_{qo'z} = const$  бўлгандаги **ростлаш тавсифси** –  $I_{qo'z} = f(M_2)$ . Шартга кўра,  $U = U_{qo'z} = const$  бўлганда магнит оқими кам ўзгарганлигидан параллел қўзғатишли моторнинг айланиш частотаси  $n$  кам ўзгаради. Шу сабабли айланиш частотасини  $n = const$  қилиш учун зарур бўлган қўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  нинг ўзгариши ҳам кам бўлади (31.10-расм).

ЎТМ валидаги юк моменти  $M_2$  ош-ганда, айланиш частотасини  $n = const$  қилиш учун, қўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  ни камайтириш зарур бўлади (бунда  $\Phi$  ҳам камаяди).

ЎТМ нинг айланиш частотасини унинг қўзғатиш токини ўзгартириш йўли билан ростлашда энергия исрофлари жуда ҳам кам бўлади, чунки қўзғатиш токи  $I_{qo'z}$  якорь токи  $I_a$  нинг атиги бир неча фоизини ташкил қилади, холос. Шундай қилиб, ЎТМ айланиш частотасини ростлашнинг кўриб чиқилган усули анча қулай бўлиб, у айланиш частотани бир текис, ни-ҳоятда содда ва тежамли ўзгартириш имкониятини беради. *Шу сабабли бу усул амалда кенг қўлланилади.*

**Якорь занжирига кетма-кет уланган қаршиликни ўзгартириш йўли билан айланиш частотасини ростлаш.** Бу ҳолда якорьга бериладиган куч-ланиш ( $U_a$ ) реостатдаги кучланиш пасайиши туфайли камаяди.

ЭЮК лар мувозанат тенгламасига:

$$U_a - I_a R_a = E_a. \quad (31.26)$$

асосан, якорь занжиридаги кучланиш пасайиши  $I_a R_a$  якорь чулғамининг ЭЮК  $E_a$  ни камайтиради. Магнит оқимининг қиймати  $\Phi = const$  бўлганда бу ЭЮК нинг камайиши айланиш частотаси  $n$  нинг камайиши ҳисобига содир бўлади.

Биз таҳлил қилиб чиққан усул билан айланиш частотасини камайиш то-монга кенг кўламда ўзгартириш мумкин, лекин якорь занжирига уланган рост-лаш реостатида энергия исрофлари катта бўлиб, бу эса ФИК нинг кама-йишига олиб келади.

ЎТМ валидан олинаётган фойдали (механик) қувват, бурчак айланиш частота  $\omega$  га боғлиқ бўлади:  $P_2 = M_2\omega$ . Фойдали момент  $M_2 \approx M_{yu} = \text{const}$  бўл-ганда ФИК қуйидаги мутаносибликка эга бўлади:

$$\eta = P_2 / P_1 = M_2\omega / (U_a I_a) \equiv \omega \equiv n . \quad (31.27)$$

Бундан, ФИК  $\eta$  айланиш частотаси  $n$  га тўғри мутаносибда бўлар экан, демак, айланиш частотаси камайган сари, ФИК  $\eta$  ҳам шунча кам бўлар экан, деган хулоса келиб чиқади. Шу сабабдан якорь занжирига қаршилиқ улаш йўли билан айланиш частотани ростлаш усули тежамли бўлмайди ва бу усул амалда кам қўлланилади (масалан, электр микромоторларида).

**Якорь занжирининг учларидаги кучланишни ўзгартириш йўли билан моторнинг айланиш частотасини ростлаш.** (31.12) тенгламага асосан, ЎТМ ларининг айланиш частотаси  $n$  тахминан унга берилаётган кучланиш  $U$  га тўғри мутаносиб равишда ўзгаради, дейиш мумкин. Одатда, ўТМ ларининг нормал иш режими номинал кучланиш  $U_N$  да кечиб, уни кучланишнинг  $U > U_N$  қийматларида ишлатиш мумкин эмас. Шу сабабли кўрилатган айланиш частотани ростлаш усули кучланишнинг  $U < U_N$  қийматларида ўзгартиришга имкон беради. Бу усулни амалга ошириш учун ЎТМ мустақил ЎТ манбаи (масалан, ЎТ генератори)дан таъминланиши лозим бўлади. Бундай системага генератор-мотор (Г-М) системаси дейилади. Генератор эса бирорта бошқа ЎТМ билан айлантирилади.

(Г-М) системаси мураккаб, унинг таннархи қиммат ва энергия уч карра ўзгартирилганлиги туфайли бу системанинг ФИК нисбатан кам (тахминан 0,6...0,7) бўлганлигидан, сўнгги вақтларда ЎТ генератори ўрнига бошқари-ладиган тўғрилагич (БТ) қўлланилиб, масалан, прокат станларда БТ--М системаси ишлатилмоқда.

Параллел қўзғатишли моторга бериладиган кучланишнинг ҳар хил ўз-гармас ( $U = \text{const}$ ) қийматларидаги унинг тезлик тавсифлари –  $n = f(I_a)$  абсциссалар ўқиға параллел бўлган тўғри чизиклардан иборат бўлади.

**Кетма-кет қўзғатишли моторнинг ростлаш тавсифлари.**

ЎТМ нинг айланиш частотасини ҳисоблаш формуласи –  $n = (U - I_a R_a) / (C_E \Phi)$  га магнит занжири тўйинмаган ҳол учун магнит оқими  $\Phi = K_\Phi I_a$  ни қўйиб аниқланган

$$n = U / I_a - (\Sigma r_a + r_{r(a)}) / (C_E K_\Phi) \quad (31.29)$$

тенгламадан кўринишича, кетма-кет қўзғатишли мотор айланиш частотасини ростлаш қуйидаги, яъни: 1) якорь занжирига реостат улаш; 2) қўзғатиш чул-гамини шунтлаш, яъни бу чулгамга параллел қилиб қаршилиқ улаш; 3) якорь чулгамини шунтлаш усуллар билан амалга оширилиши мумкин.

Охириги иккита усул, моҳияти жиҳатидан, ЎТМ айланиш частотаси асосий магнит оқимини (демак, қўзғатиш токини) ўзгартириш йўли билан рост-ланишини кўрсатиб беради.

**Якорь занжирига кетма-кет уланган реостат воситасида ЎТМ нинг ай-ланиш частотасини ростлашда** ЎТМ нинг айланиш частотаси  $n$  камаяди. Бу усул тежамсиздир, чунки якорь занжирига уланган реостатда қўшимча исроф-лар бўлади.

Айланиш частотаси кенг кўламда ростланадиган кетма-кет қўзғатишли моторлар учун якорь ва қўзғатиш чулғамларини қаршилиқ билан шунтлаш схемаси қўлланилади.

**Якорь чулғамига реостатни параллел улаш (шунтлаш) йўли билан ЎТМ нинг айланиш частотасини ростлаш.** Агар  $U = \text{const}$  ва  $M_{yu} = M = C_M \Phi I_a = \text{const}$  бўлганда, фақат якорь қаршилиқ билан шунтланса, унда якорь токи  $I_a$  камаяди, чунки юклама токнинг бир қисми ( $I_{sh.a}$ ) қаршилиқ (шунт) орқали ўтади ва линиядаги юклама токи бу иккала токнинг йиғиндисидан ( $I = I_a + I_{sh.a}$ ) иборат бўлади. Лекин шартга кўра, якорь чулғами шунтланмасдан олдин ва ундан кейин ҳам айлантирувчи момент бир хил



қийматга эга бўлиб қолиши керак. Аммо якорни шунтлашдан кейин якорь токи  $I_a$  камаяди, бу ҳолда, момент  $M_{yu}$  ўзгармаслиги учун, қўзғатиш чулғамидаги ток  $I_{qo'z}$  нинг ошиши ҳисобига оқим  $\Phi$  кўпайиши лозим, демак, айланиш частота  $n$  камаяди (31.11-расм, 2-эгри чизик).

ЎТМ айланиш частотасини бундай усул билан ростлашда ФИК  $\eta$  жуда ҳам паст, шу сабабли бу усул чекланган, яъни қисқа вақт ичида ЎТМ нинг айланиш частотасини кескин камайтириш керак бўлган ҳолларда (масалан, металлургия заводининг металл куйиш цехларида) фойдаланадилар. Бу усул ёрдамида айла-ниш частотанинг ростлаш чегараси тах-минан 1: 5 гача етади.

*Қўзғатиш чулғамига реостатни параллел улаш (шунтлаш) йўли билан айланиш частотасини ростлаш.*  $U=U_N= \text{const}$ ,  $n = \text{const}$  ва  $M_{yu}= \text{const}$  бўлган иш режимида қўзғатиш чулғамини  $R_{qo'z.sh}$  қаршилиги (реостат) билан шунтланганда қўзғатиш токининг бир қисми шунт орқали ўтади. Шу сабабли қўзғатиш оқими  $\Phi$  камаяди ва ЎТМнинг айланиш частотаси  $n$  ўсади (31.11-расм, 3-эгри чизик).  $M_{yu}= \text{const}$  бўлганлигидан моментларнинг мувозанат тенгламасига асосан магнит оқими  $\Phi$  нинг камайишида якорь токи  $I_a$  нинг қиймати шунчага кўпайиши керакки, бунда  $M_{yu}= M = C_M \Phi I_a = \text{const}$  шарти бажарилсин. 31.11-расмда кетма-кет қўзғатишли моторнинг *табиий механик тавсифси* (1-эгри чизик) таққослаш усулларининг аҳамиятини белгилаш учун келтирилган.

Қўзғатиш чулғами ва шунтловчи реостатнинг қаршиликлари кам бўлган-лигидан бу реостатдаги қувват исрофлари ҳам кам бўлади.

Шундай қилиб, таҳлил қилинган ростлаш усули кетма-кет қўзғатишли моторнинг айланиш частотасини оширишга имкон беради, ҳамда бу усул жуда ҳам тежамлидир. Бу усул кўпинча тортиш электр моторларида ишлатилади.

#### ***Аралаш қўзғатишли моторнинг ростлаш тавсифлари.***

*Параллел қўзғатиш чулғами асосий бўлиб, кетма-кет қўзғатиш чулғами ёр-дамчи бўлган аралаш қўзғатишли моторда параллел қўзғатишли моторга хос бўлган ростлаш усуллари қўлланилади.*

Қўзғатиш чулғамлари мос уланганда (уларнинг МЮК лари бир хил йўналган ҳол), аралаш қўзғатишли моторнинг тезлик тавсифлари, параллел ва кетма-кет қўзғатишли моторларнинг тезлик ха-рактеристикалари оралиғида жойлашадилар. Шунинг учун 31.12-расмда ҳар хил қўзғатишли ЎТМ ларининг тезлик тавсифлари таққосланган.

## **27-маъруза**

### **Ўзгармас ток машиналари махсус турлари. Электр машиналарининг қизиши ва уларни совитиш.**

#### **Режа:**

*Ўзгармас ток машиналари махсус турлари.*

*Электр машиналарининг қизиши ва уларни совитиш.*

#### **Ўзгармас ток машиналари махсус турлари.**

Махсус мақсадли ЎТ машинасининг униполяр (қутблари бир номли) ва магнитогидродинамик турлари ҳам мавжуд бўлиб, улар тор соҳалар учун мўл-жалланишини таъкидлаш билан чегараланиб мазкур бобда махсус мақсадли ўзгармас ток машиналарининг амалда кенг қўлланиладиган ҳамда истиқболли турларига оид маълумотлар келтирилган.

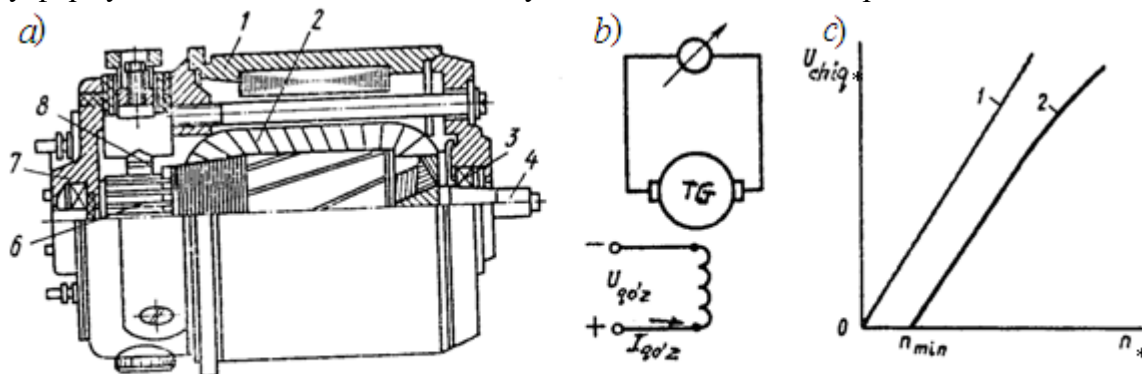
**Ўзгармас ток тахогенераторлари.** ЎТ тахогенераторлари конструкцияси ва ишлаш принципи бўйича мустақил электромагнит қўзғатишли ёки қўзғатиш майдони доимий магнит билан ҳосил қилинадиган кам қувватли коллекторли ЎТ машиналаридир (32.1–расм). Улар чиқиш клеммаларидаги кучланиш катталигига қараб айланиш частотасини ўлчаш учун ҳамда автоматик назорат қилиш ва ростлаш схема-ларида

валнинг айланиш частотасига мутаносиб бўлган электр сигналлари олиш учун хизмат қилади.

Кўзғатиш токи ўзгармас, яъни магнит оқим  $\Phi = \text{const}$  бўлганда тахоге-нераторнинг чиқиш клеммаларидаги ЭЮК  $E_{\text{chiq}}$  айланиш частотаси  $n$  га тўғри мутаносиб равишда ўзгаради:

$$E_{\text{chiq}} = C_E \Phi \cdot n. \quad (32.1)$$

Бу формула магнит оқими  $\Phi = \text{const}$  бўлган доимий магнитлар билан



Ўзгармас ток тахогенератори тузилиши (a) ва принципал схемаси (b) ва тезлик тавсифлари (c)

кўзғатиладиган тахогенераторлар учун ҳам тўғри келади. Унинг чиқиш кучланиши:

$$U = E_a - I_a \Sigma R_a = E_a - U (\Sigma R_a / R_{yu}), \quad (32.2)$$

бу ерда  $R_{yu}$  – юклама (электр ўлчаш асбоби)нинг қаршилиги.

Бирорта механизмнинг айланиш частотасини ўлчаш учун тахогенераторнинг валини механизм вали билан механик равишда бирлаштирилади. Тахоге-нераторнинг чиқиш тавсифси  $\Phi = \text{const}$  ва  $\Sigma R_a = \text{const}$  бўлганда оли-нади ва ишининг аниқлик даражаси мазкур тавсифнинг тўғри чизикли ўзгаришига боғлиқ бўлади, лекин амалда чиқиш тавсифси –  $U_{\text{chiq}} = f(n)$  якорь реакцияси ва чўткалар контактида кучланиш тушиши туфайли тўғ-ри чизикли бўлмайди, ундан ташқари чўтка контактидаги кучланиш тушиши сабабли у координата ўқлари бошидан чиқмай,  $n_{\text{min}}$  айланиш частотадан ке-йингина  $U_{\text{chiq}} > 0$  бўлади (32.1, b-расм, 2).

Қаршилиги катта бўлган ўлчов асбобларини ишлатиш билан чиқиш ха-рактеристикасининг ўзгаришини тўғри чизиклига яқинлаштириб тахогенера-торнинг аниқлик даражаси оширилади. Якорь реакциясининг таъсирини ка-майтириш мақсадида машинанинг магнит занжирини тўйинмаган ёки ниҳоятда тўйинган қилиб лойиҳаланади.

Замонавий ЎТ тахогенераторлари чиқиш тавсифлари тиклиги  $S = 3 \div 100 \text{ mV}/(\text{айл}/\text{мин})$  бўлади (кам қийматлар доимий магнит билан кўзғатиладиган тахогенераторларга хосдир).

Айланиш частота  $n = 0$  дан  $n_{\text{min}}$  гача ошганда  $U_{\text{chiq}} = 0$  бўлган ораликни *носезгирлик зона* дейилади ва чегараси қуйидагича аниқланади (32.1, b-расм):

$$n_{\text{min}} = \Delta U_{\text{chiq}} / (C_E \Phi). \quad (32.3)$$

Асосий магнит майдони доимий магнит билан ҳосил қилинадиган ўз-гармас ток тахогенераторлари мустақил ЎТ манбаси талаб қилинмаганлиги, конструкциясининг оддийлиги ва габаритларининг кичиклиги туфайли улар амалда кенг қўлланилмоқда.

### Ижрочи ўзгармас ток моторлари

Ижрочи ЎТМ лари (32.2-расм) электр сигналларни механик ҳаракатга айлантириш учун мўлжалланган. Бундай моторлар кам инерцияли, яъни бошқариш ЎТМ ни тезкорлик билан механик ҳаракатга оширадиган бўлиши лозим. Одатдаги конструкцияли ЎТМ ларида якорь ўзагининг мавжудлиги якорнинг инерция моментини анча орттиради. Шу сабабли ижрочи ЎТМ лар пазсиз якорли ва якори босма чулғамли қилиб тайёрланади.

Умумий мақсадли ЎТМ ларига қўйиладиган талаблардан ташқари ижрочи ЎТМ ларига бошқариш сигналининг узилиши билан ўз ҳаракатини дарҳол тўхтатиши ва инерциясининг камлиги каби махсус талаблар қўйилади.

Электромагнит кўзғатишли ижрочи ЎТМ ларининг иккита чулғами бўлиб, улардан биттаси электр тармоғига доимий уланиб, уни *кўзғатиш чулғами* дейилади. Валнинг айланиши зарур бўлган ҳолда иккинчи чулғамга, яъни *бошқариш чулғамига* электр сигнали берилади.

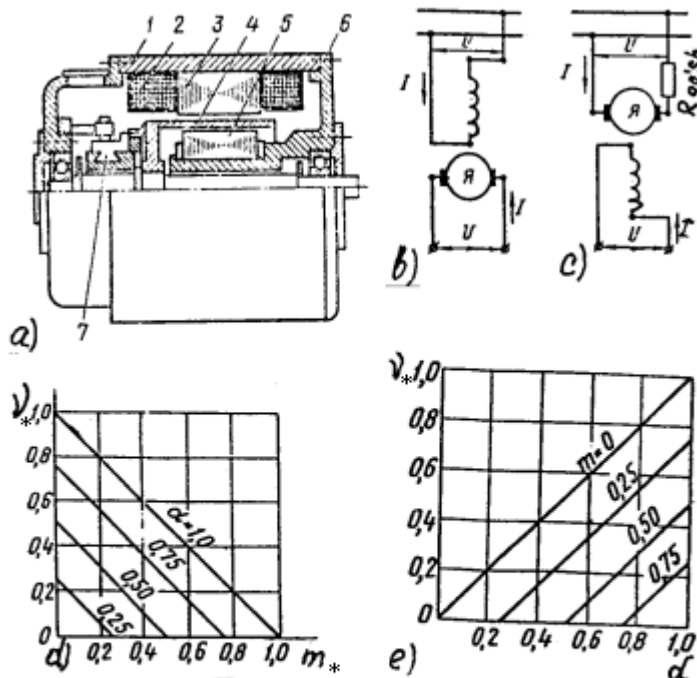
Ижрочи ЎТМ ларининг конструкцияси умумий мақсадли ЎТМ лариникидан *қуйидагилар билан фарқ қилади*, яъни уларнинг якори, станинаси ва кутблари юпқа электротехник пўлат тунукаларидан йиғилган бўлади, чунки бундай моторларнинг иши кўпчилик ҳолларда ўтиш жараёнлар билан боғлиқ бўлади. Ижрочи моторларнинг магнит занжири тўйинмаган бўлади, шу сабабли унинг иш тавсифларига якорь реакцияси деярли таъсир қилмайди.

Мустақил кўзғатишли ижрочи моторларнинг иккита усул билан, яъни якордан ва кутбдан бошқариш мумкин. Тавсифлари чизикли бўлганлиги ва электр сигнали узилганда якорь тезкорлик билан тўхташ қобилиятига эгаллиги каби афзалликлари мавжудлигидан *якордан бошқариладиган* ижрочи ЎТМ лари (32.2, в-расм) амалда кенг қўлланилади.

Буларда кўзғатиш чулғами моторнинг бутун иш жараёнида электр тар-моғига уланган бўлади. Якорь чулғами эса *бошқариш чулғами* дейилади. Бу чулғамга бошқариш сигналини берганда якорь чулғамидан ўтадиган ток кўз-ғатиш чулғами магнит майдони билан таъсирлашиб, айлантирувчи момент ҳо-сил қилиши натижасида якорь айланади.

Ижрочи мотор инерциясини камайтириш мақсадида қуйма ферромагнит ўзак *ички статор* деб номланадиган кўзғалмас қисмда жойлашган бўлиб, якорь чулғами эса цилиндрик каркасга пластмасса билан қуйиб маҳкамла-нади. Демак, якорь чулғами ўтказгичлари пластмасса билан маҳкамланган ци-линдрсимон кавак идишдан иборат бўлар экан.

Ичи кавак якорнинг инерция моменти одатдаги якорникидан анча камли-ги туфайли моторнинг *яхши тезкорликка эгаллиги унинг афзаллиги* бўлса, кўзғатиш чулғами жойлашган ўзак (ташқи статор) ва кўзғалмас ферромагнит ўзак (ички статор) орасида *катта номагнит оралиққа эгаллиги* магнит қарши-ликни ошириб зарурий майдон ҳосил қилиш учун кўзғатиш МЮК ни анча ошириш талаб этилиши (демак, мотор габаритининг нисбатан ошиши) эса *уларнинг камчилигидир*.



Ижрочи ўзгармас ток мотори умумий кўриниши (а) (бунда: 1-корпус; 2-кўзғатиш чулғам; 3-кутб; 4-кақак якорь; 5-ферромагнит ўзак; 6-подшипник калкони; 7-коллектор) ва тавсифлари

Бундай моторларнинг ФИК тахминан одатдаги конструкцияли ЎТМ лар-ники сингари бўлади, асосий майдони доимий магнит қўллаб ҳосил қилина-диган моторларда эса ФИК яна ҳам юқори бўлади.

*Электр машиналарининг қизиши.*

*ЭМ ларининг иш жараёнида энергиянинг бир қисми улардаги исрофларни қоплашга сарфланади. Энергия исрофларининг барча турлари (буларга оид маълумот 34.3-бандда берилган) ис-сиқликка айланиб, асосан ЭМ нинг актив қисмлари хароратсини ошир-са, унинг бир қисми эса атроф муҳитга узатилади.*

*ЭМ си чулғамлар, магнит ўтказгич элементлари ва конструктив деталлар мажмуасидан иборат. Бу қисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги, иссиқлик си-гими ва совитилиш шароитлари ҳар хил бўлади, бу эса, ЭМ да иссиқлик май-дони тақсимланишининг мураккаб характерда эканлигини кўрсатади. Лекин, ЭМ нинг қизиш жараёнидаги умумий қонуниятларни аниқлаш мақсадида ЭМ сини бир жинсли қаттиқ жисм сифатида қаралса қўйилган масалани ечиш-даги биринчи яқинлашиш бўлади. Бундай тахминда ЭМ нинг қизиши унинг бутун ҳажми бўйича бир текис юз беради ва иссиқлик ЭМ сиртининг бутун юзасидан бир хил тарқалади, деб ҳисобланади.*

Бундай шартларда иссиқлик энергиясининг мувозанат тенгламаси (энергиянинг сақланиш қонуни) қуйидагича ёзилади:

$$Q \cdot dt = cm \cdot dt + \alpha \cdot S_{\text{sov}} \cdot \tau \cdot dt, \quad (34.28)$$

бу ерда:  $cm \cdot dt$  – иссиқлик энергиянинг ЭМ сида ютилиб унинг темпера-турасини оширадиган қисми;  $\alpha \cdot S_{\text{sov}} \cdot \tau \cdot dt$  – иссиқлик энергиянинг атроф му-ҳитга тарқаладиган қисми;  $c$  – ЭМ сининг солиштирма иссиқлик сифими (машинанинг 1 кг массаси хароратсини 1 °C га ошириш учун зарур бў-ладиган иссиқлик миқдори), J/(кг · °C);  $m$  – ЭМ нинг массаси, кг;  $\tau = \vartheta_{\text{mash}} - \vartheta_{\text{atrof}}$  – ЭМ хароратсининг совитиш муҳити хароратсидан ошиши, °C;  $\alpha$  – ЭМ совитиш юзасининг иссиқлик бериш коэффиценти, W/(м<sup>2</sup> · °C);  $S_{\text{sov}}$  – ЭМ нинг совитиш юзаси, м<sup>2</sup>.

Иссиқлик атроф муҳитга (ёки совитиш муҳитига) асосан иссиқлик ўт-казувчанлик ва конвекция воситаларида ўтказилади (иссиқликнинг нурланиш кўринишида узатилиш жуда ҳам кам бўлади). ЭМ сининг хароратси  $\vartheta_{\text{mash}}$  ва  $\tau$  катталиги ошган сари атроф муҳитга (совитиш муҳитига) тарқаладиган иссиқлик миқдори ўсиб, ЭМ ички хароратсини оширадиган иссиқлик қисми камаяди. Бу жараённинг боришида ЭМ хароратси ўзининг бар-қарор қийматига етади, яъни иссиқлик мувозанати режими вужудга келиб, ЭМ дан ажралиб чиқадиган иссиқликнинг ҳаммаси атроф муҳитга берилади. Бу ҳолда  $cm \cdot d\tau = 0$  бўлиб, иссиқликнинг мувозанат тенгламаси (34.28) қу-йидаги кўринишда ёзилади:

$$Q = \alpha \cdot S_{\text{sov}} \cdot \tau_{\infty}. \quad (34.29)$$

(34.29) дан  $\tau$  нинг барқарорлашган қиймати ( $\tau_{\infty}$ ) аниқланади:

$$\tau_{\infty} = Q / (\alpha \cdot S_{\text{sov}}), \quad (34.30)$$

демак,  $\tau_{\infty}$  нинг қиймати машина массасига боғлиқ бўлмасдан, вақт бирлигида ЭМ дан ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдори  $Q$  га тўғри мутаносиб бўлиб совитиш сирти юзаси  $S_{\text{sov}}$  га ва иссиқлик бериш коэффиценти  $\alpha$  га тескари мутаносибда бўлар экан. ЭМ нинг юкламаси қанча кўп бўлса,  $Q$  нинг ошиши туфайли  $\tau_{\infty}$  нинг қиймати ҳам мос равишда кўпаяди. Совитилиш шароити яхшиланган сари  $\tau_{\infty}$  камаё боради.

ЭМ ни яхши совитиш мақсадида қуйидаги усуллардан ва воситалардан фойдаланилади: а) ўрта ва кам қувватли ЭМ ларида станинанинг ташқи сир-тига қовурғасимон шакл бериб совитиш юзасини ошириш; б) ички (ёки таш-қи) вентилятор қўйиш (айрим ЭМ ларида иккаласини ҳам); в) катта қувватли ЭМ ларда совитгич қурилмаларидан фойдаланиш; г) ўта ўтказувчанликка асосланган истикболли совитиш системасидан фойдаланиш.

ЭМ сининг совитилиши яхшиланганда иссиқликни конвекция йўли би-лан чиқаришнинг кучайиши ҳисобига коэффициент  $\alpha$  ошади. Совитишни сунъий йўллар билан жадаллаштириш туфайли маълум габаритдаги ЭМ дан катта қувват олишга ёки маълум қувватда ЭМ нинг габаритини камайтиришга эришилади.

(34.28) дифференциал тенгламани ечиб қуйидагини оламиз:

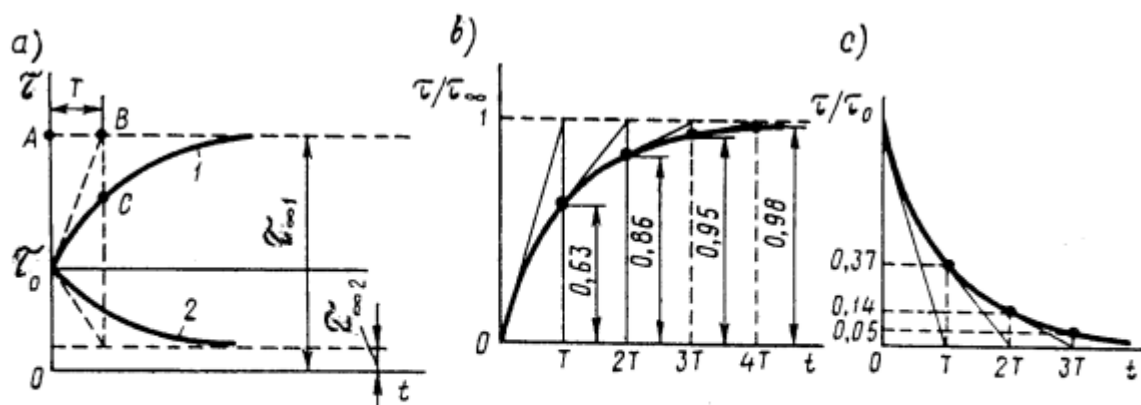
$$\tau = \tau_{\infty} [1 - \exp(-t/T)] + \tau_0 \cdot \exp(-t/T), \quad (34.31)$$

бу ерда  $\tau_0$  – ЭМ хароратси ошишининг бошланғич қиймати;

$T = cm/(\alpha S_{\text{сов}})$  – қизишнинг вақт доимийлиги, яъни ЭМ қизишининг тез-лигини характерловчи катталиқ.

Агар ЭМ ишлашига қадар қиздирилмаган бўлса, яъни унинг температура-тураси атроф муҳит хароратсига тенг бўлганда  $\tau_0 = 0$  бўлади ва қизиш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$T = \tau_{\infty} [1 - \exp(-t/T)]. \quad (34.32)$$



**34.2-расм.** Умумий ҳол учун электр машинасида қизиш (1) ва совитиш (2) жараёнларининг вақт бўйича ўзгариши (a);  $\tau_0 = 0$  дан бошлаб машинанинг қизиши (b); машинанинг  $0^\circ\text{C}$  гача совитиш Қизиш жараёнининг бошланишида барча ҳосил бўлган иссиқлик машинанинг ўзида ютилади ва унинг хароратси тез ўсади. Агар шу жараёнда

ЭМ сидан атроф муҳитга иссиқлик узатилмаганда эди, унда  $\tau = \tau_{\infty}$  мувозанат ҳолат 34.2,a-расмдаги В нуктага тўғри келган бўларди, лекин ЭМ температура-расининг атроф муҳит (ёки совитиш муҳити) хароратсидан ошиши  $\tau$

нинг ўса бориши билан иссиқликнинг совитиш муҳитига бериладиган қисми кўпайиши туфайли хароратнинг ўсиш тезлиги камаяди ва мазкур муво-занат ҳолат С нуктага тўғри келади.

ЭМ хароратсининг совитиш муҳити хароратсидан ошишининг барқарорлашган қиймат  $\tau_{\infty}$  га етгунга қадар кетган вақтга, яъни вақт доимийси  $T$  га боғлиқ бўлади.  $T$  қанча кам бўлса, қизиш жараёни шунча тез кечади, яъни  $t \approx (3\div 4)T$ . Қизиш жараёни учун кетган вақтни график усулда қизиш эгри чизиғи  $\tau/\tau_{\infty} = f(t)$  дан аниқлаш мумкин (34.2,b-расм).

Вақт доимийси ( $T$ ) ЭМ сининг конструкциясига ва қувватига боғлиқ бў-лади. Ўрта қувватли ЭМ лари учун  $T$  бирнеча минутга тенг, катта қувватли ЭМ лари учун эса у бирнеча соатга етади.

Агар  $\tau_{\infty} < \tau_0$  бўлса, (34.31) тенглама ЭМ сининг совитилиши жараёнини ха-рактерлайди. Жисмнинг барқарорлашган хароратси совитиш муҳитиники билан тенглашса ( $\tau_{\infty} = 0$ ), (34.31) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp(-t/T). \quad (34.33)$$

ЭМ совишининг вақт бўйича ўзгариш боғлиқлиги –  $\tau/\tau_0 = f(t)$  ва сови-тиш учун кетган вақтнинг график усулда аниқлаш усули 34.5,с-расмда келтирилган.

Юқорида ЭМ ни бир жинсли жисм сифатида қаралганда содир бўладиган

қизиш ва совиш жараёнларининг қисқача баёни билан танишилди. Ҳақиқатда эса ЭМ нинг айрим қисмлари ҳар хил ҳароратга эга ва, шу сабабли, ЭМ ни ўзаро иссиқлик алмашуви мавжуд бўлган бирнеча бир жинсли жисмларнинг мажмуасидан иборат, деб қаралганда тўғри бўлар эди. Ҳақиқий шароитда  $T$  нинг катталиги ҳам ўзгармас бўлмайди, чунки иссиқлик узатиш коэффи-циентлари айрим даражада ҳароратга боғлиқ бўлади. Ундан ташқари ҳаво ёки бошқа совитиш моддаси вентиляцион каналдан оқиб ўтганда қизиши ту-файли совитиш юзасининг ҳар хил қисмлари учун совитиш муҳитининг тем-ператураси ҳар хил қийматга эга бўлади.

Шундай қилиб, ЭМ нинг қизиш ва совиш эгри чизиқлари экспоненциал ўзгаришига нибатан фарқли бўлади. Лекин кўпчилик амалий ҳолларда юқо-рида кўрилган назарияга асосланган ҳолда мазкур ўзгаришлар экспонента кў-ринишида ўзгаради, деб қаралганда катта хато бўлмайди.

ЭМ ларининг иш режимлари эксплуатация шароитида ҳар турли бўлади, яъни давом-ли, қисқа муддатли, такрорланувчи қисқа муддатли ва нормал иш даври юксиз ишлаш билан алмашилиб турадиган иш режимларига бўлинади.

ЭМ тахминан тўла юклама билан узоқ вақт мобайнида (масалан, электр

станцияларда электр генераторлари, насос қурилмаларида электр моторлари ва бошқалар) ва нисбатан қисқа муддатда (баъзи бир юк кўтариш кран мо-торлари) ишлаши мумкин. Замонавий автоматлаштирилган саноат ва бошқа қурилмаларда ЭМ лари кўпчилик ҳолларда даврий режимда ишлайди. Уму-ман, ЭМ лари ўзгарувчан юклама билан ишлайди.

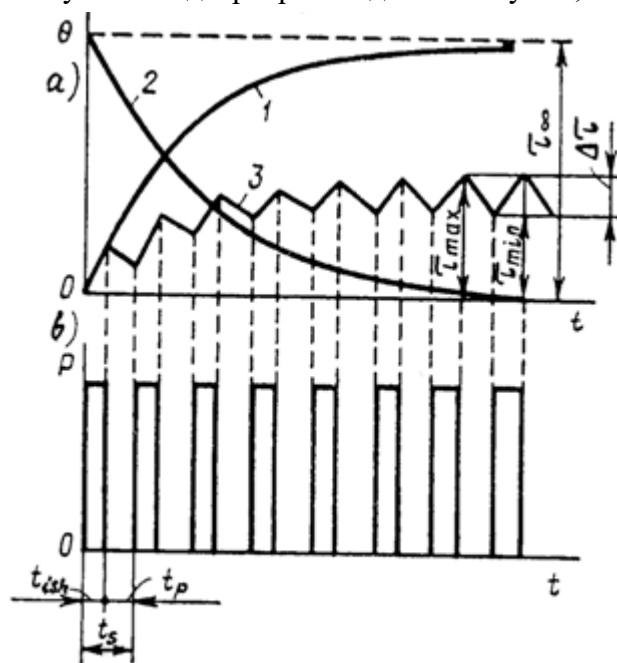
ЭМ нинг ўзгармас номинал юкламадаги иши совитиш муҳити температу-раси ўзгармаганда машина қисмлари ҳароратсининг ошиши камида бар-қарорлашган қийматларига эришган вақтга қадар давом қилса, бундай режим-ни ЭМ нинг **давомли номинал иш режими** дейилади (бу режимнинг стан-дарт бўйича шартли белгиланиши **S1**).

Ўзгармас номинал юкломанинг даврлари, совитиш муҳитининг темпера-тураси ўзгармас бўлганда ЭМ нинг ишдан тўхтатилиш даврлари (паузалари) билан алмашилиб турадиган иш режимига **қисқа муддатли (S2) номинал иш режими** дейилади. Бу режимда юклама даврида ЭМ қисмлари темпе-ратурасининг ошиши барқарорлашган қийматгача етадиган вақтдан анча кам, ЭМ ни тўхтатиш даврлари эса давомли бўлиб, бунда у амалий равишда атроф муҳит ҳароратсигача совишга улгуради. Бундай ЭМ лар 15, 30, 60 ва 90 мин. бўлган давомли иш даврига тайёрланади.

ЭМ ҳароратсининг қисқа муддатли режимдаги ошиши  $\tau_{кр} \leq \tau_{max}$  бўл-гандаги қисқа муддатли режимнинг рухсат берилган давомийлиги  $t_{кр}$  ни қу-йидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$t_{кр} = T) \cdot \tau_{кр} = \tau_{\infty} [1 - \exp(- (34.34)$$

Демак, қисқа муддатли режимда  $\tau_{\infty}$  нинг қийматини давомли иш режим-даги



Такрорий қисқа муддатли иш режими

ЭМга нисбатан  $1/[1 - \exp(-t_{кр}/T)]$  марта ошириш мумкин экан. Қувват исрофлари  $\Sigma P'$  нинг рухсат берилган қийматларини ҳам шунча марта оширса бўлади. Шунинг учун қисқа муддатли режимга ҳисобланган қувватдаги ЭМ ларнинг габарит ўлчамлари ва массаси давомли иш режимга ҳисобланган ЭМларникига нисбатан анча кичик бўлади. Тушунтиришга бошқача ёндашил-ганда, ЭМ ларининг берилган габаритларида материалларнинг сарфланишида қисқа муддатли иш режимидаги ЭМ ларининг қуввати иш режими давом-

ли бўлган ЭМ ларникига нисбатан катта бўлади.

Ўзгармас номинал юкламанинг қисқа муддатли даврлари, совитиш муҳи-ти хароратси ўзгармаганда, ЭМ ишдан тўхтатилиши (пауза)нинг қисқа муддатли даврлари билан алмашилиб турадиган иш режимига **такрорланув-чи қисқа муддатли (S3)** иш режими дейилади. ЭМсининг умумий иш вақти-ни  $t_w = t_{ish} + t_p$  давомийликда даврий такрорланадиган циклларга бўлиб ўрга-нилади. Бу режимда ЭМ нинг нормал иш даврлари ва пауза даврлари кичик бўлиб, юклама билан ишлаган даврида ЭМ хароратсининг ошиши барқа-рорлашган қийматигача етмайди, пауза даврларида эса ЭМ сининг харорати атроф муҳитникигача совишга улгурмайди.

Стандартга биноан ЭМ сининг бу режимда ишлаш циклидаги вақт 10 минутдан ошмаслиги керак. Такрорланувчи қисқа муддатли иш режими ма-шина ишининг давомийлиги билан характерланади (унинг стандартда белгила-

ниши ПВ – “продолжительность включения” русча сўзларнинг 1-ҳарфлари).

$$ПВ\% = (t_{ish}/t_p) \cdot 100 = [t_{ish}/(t_{ish} + t_p)] \cdot 100. \quad (34.35)$$

ПВ нинг стандарт қийматлари 15, 25, 40 ва 60 % лардан иборат.

ЭМ сининг такрорланувчи қисқа муддатли режимдаги ишида қизиш шак-ли аррасимон кўринишга эга бўлади (34.3-расм), чунки қизиш даврлари со-виш даврлари билан алмашилиб туради. Иш даври вақтида ЭМ қизиш эгри чизиғига (расмда, 1) мос ҳолдаги эгри чизик бўйича ошади, пауза вақтида эса совиш эгри чизиғига (расмда, 2) мос ҳолда камаяди.

Такрорланувчи қисқа муддатли режимда узлуксиз давомли иш режимига нисбатан ЭМ нинг юкламасини оширишга рухсат берилади.

Амалиётда ЭМ си қувватини қанчага ошириш мумкинлигини аниқлаш учун эквивалент токдан фойдаланилади:

$$I_{ekv} = I_{ish} \cdot \sqrt{t_{ish}/(t_{ish} + t_n)} = I_{ish} \sqrt{ПВ}, \quad (34.39)$$

бунда  $I_{ish}$  – ЭМ нинг иш давридаги токи; ПН – юкламанинг нисбий давомийлиги (стандартда фоизларда берилади).

Агар  $ПВ_1$  такрорланувчи қисқа муддатли режимдаги ишга мўлжалланган ЭМ  $ПВ_2$  режимда ишлатилса, унинг қуввати  $P$  ни аниқловчи ток кучи қанчага оширилиши (34.36) ёки камайрилиши (34.37) нисбатлардан аниқланади:

$$P_1/P_2 \approx I_1/I_2 \approx \sqrt{ПВ_2/ПВ_1}. \quad (34.36)$$

$$P_1/P_2 = I_1/I_2 = \sqrt{ПВ_1/ПВ_2}. \quad (34.37)$$

(34.36) дан,  $ПВ = 100\%$  даги ЭМ қуввати  $P_{100}$  деб қабул қилинса,

унинг  $ПВ = 60\%$  даги қувватини  $P_{60} = 1,3 P_{100}$  гача ошириш мумкин бўлади.

**Нормал иш даври юксиз ишлаш билан алмашилиб турадиган иш режими.** Мазкур режимда ЭМ нинг юклама билан қисқа муддатли иш давр-лари юксиз ишлаш даврлари (паузала) билан билан алмашилиб туради.

Бу режим юкламанинг нисбий давомийлиги билан характерланади.

$$\text{ПН } (\%) = (t_{\text{ish}} / t_s) \cdot 100 = [t_{\text{ish}} / (t_{\text{ish}} + t_0)] \cdot 100, \quad (34.38)$$

бу ерда  $t_{\text{ish}}$  – иш вақти;  $t_0$  – юксиз ишлаш вақти.

Бу катталикнинг стандарт қийматлари 15, 25, 40 ва 60 % ларни ташкил қилади. Циклнинг давомийлигини 10 минутга тенг, деб қабул қилинади.

$\vartheta_{\text{mash}}$  ва  $\tau$  ларнинг мазкур режимдаги ўзгариш характери такрорланади-ган қисқа муддатли режимдагига ўхшаш бўлади, яъни улар  $t_{\text{ish}}$  ва  $t_0$  вақтда бар-қарорлашган қийматларга эришмайди.

ЭМ ларининг совитиш системаси табиий ва сунъий хилларга бўлинади. Уларини совитиш учун қандай модда қўлланилишига кўра улар ҳаво, водород, мой ва сув билан совитиладиган ЭМ ларига бўлинади. Совитиш усулига кўра улар қуйидагиларга бўлинади:

а) четдан (билвосита) совитиладиган (бунда совитувчи газ ёки суюқлик чулғам ўтказгичларига тегмайди), бундай совитилишга IP44 ҳимояланиш да-ражали ЭМ лари мисол бўла олади;

б) бевосита совитиладиган (бунда совитувчи газ ёки суюқлик ЭМ нинг қизиган актив қисмларига тўғридан-тўғри тегиб совитади), бундай совити-лишга IP23 ҳимояланиш даражали ЭМ лари киради.

Махсус ЭМ ларида буғланма совитиш системаси қўлланилади, бунда су-уюқлик ЭМ нинг иссиқлик ажраладиган юзаларидан буғланади.

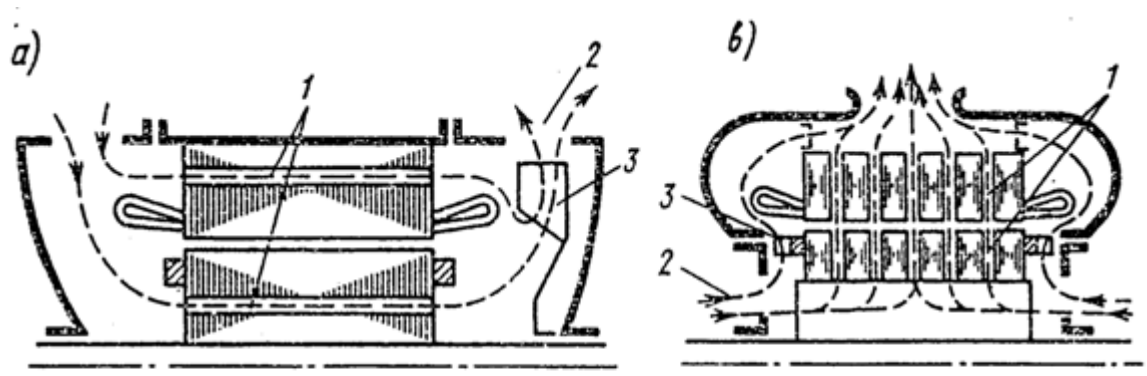
ЭМ нинг габаритлари (ташқи ўлчамлари) совитиш системасини тўғри танлашга боғлиқдир.

Кейинги ярим аср ичида бир хил габаритларда ҳаво билан совитишдан бевосита сув билан совитишга ўтиш туфайли турбогенераторларнинг қуввати-ни 10 марта оширишга эришилди. Бу XX асрдаги энг буюк ютуқлардан бири-дир. Совитиш системасини такомиллаштириш туфайли қувват бирлигига тўғри келадиган массанинг камайиши ЭМ ларининг бошқа турларига ҳам хос бўлган ютуқдир.

Умумий мақсадли ЭМ ларни совитиш учун кўпчилик ҳолда уларнинг қи-зиган қисмларига вентилятор воситасида ҳавони мажбурий ҳайдаб иссиқлик атроф муҳитга чиқарилади ёки ҳаво совитгичда совитилади.

Вентилятор воситасида совитиладиган ЭМ лар ўз-ўзини совитадиган ва мустақил совитиладиган турларга бўлинади. ўз-ўзини совитадиган турида вентилятор валга ўрнатилади ёки ЭМ нинг айланувчи қисмида куракчалар қў-йилган бўлади.





**34.4-расм.** Очиқ ва ҳимояланган электр машиналарининг тегишлича аксиал (а) ва радиал (б) вентиляция системалари схемаси: **1** – вентиляция каналлар; **2** – сови-тиш ҳаво оқимлари; **3** – вентилятор

Ҳаво билан мустақил совитилганда совитиш муҳити ЭМ валига механик уланмаган махсус қурилма воситасида машина ичига берилади. Номинал ай-ланиш частотаси кам бўлган йирик ёки айланиш частотаси кенг кўламда ўз-гартириладиган ЭМ ларида мустақил совитиш системаси қўлланилади.

Агар совитувчи ҳаво оқими ЭМ сининг ичидан ўтказилса – *ички вен-тиляция* (совитиш усули – IC01), бунда машина корпусида ва подшипник қалқонларида ҳаво кириш учун тешиклар бўлади (бажарилиши – IP22 ва IP23), корпусининг қовурғасимон юзасига ташқаридан бериб совитилганда – *ташқи вентиляция* дейилади (бунда совитилиш усулининг белгиланиши – IC0141, бажарилиши – IP44). Ичига ҳаво оқими кирмайдиган ёпиқ ЭМ ла-рида *ташқи вентиляция* ишлатилади. Бу ҳолда ЭМ нинг ичидаги ҳавони ҳа-ракатга келтириб, яъни аралаштириб туриш учун кўшимча ички вентилятор ўрнатилади (34.4,б-расм).

Совитувчи газ оқимлари ҳаракатининг ЭМ ичидаги йўналишига боғлиқ ҳолда *радиал* ва *аксиал* вентиляцияларга бўлинади.

ЭМ айланиш ўқи бўйича каналлардан ўтиб совитилганда *аксиал вен-тиляция* бўлиб (34.4,а-расм), ЭМ нинг айланиш ўқига перпендикуляр йўна-лишда, яъни машинанинг радиуси бўйича жойлашган каналлар орқали сови-тилганда эса *радиал вентиляция* (34.4,б-расм) бўлади.

Радиал вентиляция ЭМ нинг бир текис совишини таъминлайди. Лекин радиал вентиляцияон каналларни бажариш ЭМ нинг конструкциясини мурак-каблаштириб, унинг габаритларини ва таннархини оширади.

Аксиал вентиляцияон каналларни конструктив равишда бажариш радиал каналларга нисбатан оддий, лекин у машинанинг бир текис совишини таъ-минлай олмайди, чунки совитувчи газ ЭМ нинг айланиш ўқи бўйича ўтиш жараёнида нисбатан қизийди. Айрим ҳолларда ЭМ ни совитишда радиал ва аксиал вентиляцияларнинг иккаласи ҳам ишлатилади.

ўртacha ва катта қувватли ЭМ ларида мустақил (мажбурий) вентиляция системаси ишлатилиб машинага совитувчи газ алоҳида юритмали махсус вен-тилятор томонидан берилади (IC05 ва IC37 совитиш усуллари).

ўз-ўзини совитиш-нинг аксиал турида (мус-тақил вентиляцияда ҳам) вентилятор воситасида ЭМ ичига ҳайдалган ҳа-во(ёки газ) вентиляцияон каналлардан ўтиб ташқа-рига чиқарилади (34.5,б-расм).

Совитишнинг бошқача турида эса ЭМ га кирадиган ҳаво (ёки газ)нинг хароратси совитиш муҳитиники билан бир хил бўлади. ЭМ да қизиган ҳаво вентилятор ёрдамида тортиб (сўриб) олинади ва ташқарига чиқарилади (34.5,а-расм). Совитишнинг бу тури олдингига нисбатан афзалроқ ҳисобланади.

**Совитишда водородни қўллаш.** ЭМ ни водород билан совитиш ҳавога нисбатан анча самаралидир, чунки унинг атмосфера босимидаги иссиқлик ўтказувчанлиги 7,1 марта катта; бир хил тезликдаги ўртача иссиқлик узатиш коэффициентлари 1,7 марта, ҳаво билан бир хил оғирликдаги водородни иш-латганда эса – 11,8 марта каттадир. Ҳавога нисбатан кам оғирликдаги во-дород ишлатилганлиги туфайли айланиш частотаси катта бўлган йирик ЭМ ларининг вентиляцияни исрофлари деярли 10 марта камаяди. Водородли совитишда изоляциянинг хизмат муддати ошади, чунки бунда оксидланиш жа-раёни бўлмайди. Шу сабабли қуввати 25 000 кВт ва ундан катта, айланиш частотаси ҳам катта бўлган ўзгарувчан ток машиналарини совитиш учун во-дород кенг қўлланилади.

Водородли совитишда вентиляциянинг ёпиқ системаси қўлланилиб, унинг босими атмосфера босимидан бир оз кўпроқ (1,05 атм) бўлади. Айрим ҳол-ларда совитиш жадаллигини кучайтириш учун совитиш системасидаги во-доронинг босимини 3÷5 атм. га оширилади (бу ҳолда ЭМ нинг герметиклиги кучайтирилади).

**Чулғамларни бевосита совитиш.** Қуввати 300÷ 500 MW ва ундан кат-та бўлган ЭМ ларини водород билан совитиладиган вентиляциянинг ёпиқ сис-темаси ҳам етарли бўлмас экан. Шунинг учун бундай ЭМ ларида чулғам ичи қавак ўтказгичлардан тайёрланади ва бу ўтказгичларнинг ичидан бирнеча ат-мосфера босимда водород ўтказилиб совитилади. *Водороднинг ўрнига дис-тилланган (туздан тозаланган) сувни ишлатса яна ҳам самарали бўлади.* Айрим ЭМ ларининг роторини водород билан, статорини эса сув билан со-витилади. Чулғамга водород компрессор ёрдамида берилади, сувни бериш учун эса насослар қўлланилади.

Чулғамларни бевосита ўтказгичлар ичидан совитишда изоляцияда темпе-ратуранинг тушиши бўлмайди ва ток зичлигини кескин ошириш мумкин. Сув билан бевосита совитилганда ЭМ қувватининг чегараланишига актив қисм-ларининг қизиши эмас, балки бошқа техник ва иқтисодий кўрсаткичлар са-баб бўлади.

Совитиш усуллари бўйича ЭМ ларининг бажарилиши ГОСТ 20459–87 томонидан белгиланади. Совитиш усуллари-нинг белгиланиши латинча ИС, яъни *“International Cooling”* – инглизча сўзларнинг бош ҳарфлари орқали бел-гиланади. Бу ҳарфлардан кейин ёзиладиган рақамлар ва ҳарфлар (А – ҳаво, Н – водород, N – азот, W – сув, V – трансформатор мойи ва бошқ.) совитиш системасини характерлайди. Агар совитиш муҳити ҳаво бўлса, унда ҳарф тушириб қолдирилади. Масалан, IC01 – вентилятор валда ўрнатилган ўз-ўзини вентиляция қилувчи ҳимояланган ЭМ; IC0141 – ЭМ валида жойлаштирилган ташқи вен-тилятор томонидан ҳайдалган ҳаво оқими билан совитиладиган ёпиқ машина; ICW37A81 – ҳаво билан совитиладиган (совитгичидаги сувнинг циркуляцияси алоҳида насос билан ёки сув ўтказгич тармоғидан амалга ошириладиган) ва бошқалар.

**Ҳар хил тирдаги ЭМ ларининг вентиляцияни тизимлари.** IP44 ҳи-мояланиш даражали, ички ва ташқи вентиляцияни системаларга эга бўлган асинхрон моторлар (34.6-расм) кенг қўлланилмоқда. Вентиляциянинг ташқи системаси очиқ бўлиб, аксиал йўналишда совитилади. Ташқи ўрнатилган мар-каздан қочирма вентилятор атроф муҳитдан ҳавони сўриб кам қувватли ма-шиналарда корпусининг қовурғалараро каналларига ёки катта қувватли ЭМ ларда иссиқликни алмаштириб берувчи трубади қурилмага йўналтирилиб, улардан атроф муҳитга яна чиқариб юборилади (34.6-расм).

Кам қувватли ЭМ ларида вентиляциянинг ички системаси ёпиқ ҳолда ра-диал йўналишда бўлади. Вентилятор сифатида роторнинг қисқа туташган ҳал-қаларидаги қанотчалардан фойдаланилади (34.7-расм). Улардан чиққан ҳаво иккита оқимга бўлиниб биттаси чулғамларнинг паздан ташқари қисмидан оқиб ўтса, бошқаси шу қисмда махсус ўрнатилган «панжара»дан ўтади. Бу оқимлар яна бирлашиб, иссиқликни алмаштириб бериш вазифасини бажа-рувчи – станина ва подшипник қалқонларининг ички юзасидан оқиб ўтиб, совиган ҳаво яна ишчи қанотчаларга берилади.

Ички ҳавонинг ҳаракатини тўғри йўналтириш учун айланиш ўқи баланд-

лиги 160 мм дан баланд бўлган асинхрон моторларда «диффузор» деб ата-лувчи махсус тўсиқлар қўйилади.

Катта қувватли асинхрон машиналар аксиал ҳаво оқими кўп йўналиш-ли ёпиқ ички вентиляция системасига эга. Ички вентилятор ҳавони станина-нинг ички томонидаги чуқурчаларга ёки трубали совитгичларга босим билан ҳай-далади. Совиган ҳаво вентиляторга қарама-қарши томондаги статор чулғамининг паздан ташқари қисмидан иккита параллел йўл билан (роторнинг аксиал каналлари машинанинг ҳаво оралиғи орқали) вентиляторга келади ва совитилиш шу тарзда давом қилади.

IP23 ҳимояланиш даражали асинхрон моторлар вентиляциянинг радиал системасига эга (34.7-расм). Уларда вентилятор сифатида ротор куракчалари хизмат қилади. Моторга ҳаво подшипник қалқонларидаги дарчалар орқали кириб, вентилятор орқали ўтади ва статор чулғамининг паздан ташқари қисм-ларини совитади, сўнгра статор ўзаги ва станина орасидаги канал орқали ўтадиган ҳаво станина те-шиклари орқали ташқарига чиқарилади.

**Ўзгармас ток машиналарини совитиш.** Булар одатда аксиал вентиляция системасига эга (34.8-расм). ЭМ сига ҳаво подшипник қалқонидаги пардали панжара орқали кириб коллекторни совитгандан кейин иккита оқимга бў-линади: улардан биттаси индуктор кутблари орқали, иккинчиси – коллектор каналлари ва якорь чулғамининг паздан ташқари қисмлари орқали ўтиб, якор-нинг аксиал каналларига киради. Вентиляторга кириш олдида иккала оқим бирлашади ва кейин машинадан ташқарига чиқарилади.

**Турбогенераторларнинг совитиш тизимлари.** Катта қувватли турбо-генераторларда вентиляциянинг аксиал (34.9-расм) ва радиал схемалари (34.12-расм) ёки уларнинг аралашган (радиал-аксиал) схемаси (34.10-расм) кенг ишлатилади.

Қуввати 30 MW гача бўлган турбогенераторларда ташқаридан (сиртидан) ҳаво ёрдамида совитилади. Қуввати  $P > 60$  MW бўлган турбогенераторларда чулғам ичи кавак ўтказгичларининг ичидан водородни, дистилланган (яъни туздан тозаланган) сувни ва трансформатор мойини ўтказиб совитилади. *Бу-лардан яхши совитиш қобилиятига эгалари* трансформатор мойи ва дистил-ланган сув ҳисобланади. Масалан, совитиш муҳитларининг бир хил тезлигида, ҳавога нисбатан водород 7,1 марта, трансформатор мойи 16,5 марта, сув эса 125 марта кўп иссиқликни совитиш муҳитига узатиш қобилиятига эга.

34.9-расмда қуввати 300 MW, вентиляциянинг *аксиал системасига* эга бўлган турбогенераторнинг конструктив схемаси кўрсатилган. Бу системада ҳаво босимини ҳосил қиладиган элемент битта бўлиб, вентиляция схемаси шохобчаларга бўлинган. Совитувчи газнинг айланиши (циркуляцияси) ёпиқ цикл бўйича амалга оширилади:

1) статор ва ротор чулғамлари ва статорнинг пўлат ўзагини оширилган босимли водород билан совитишнинг *аксиал системаси*, яъни валнинг ўқиға параллел йўналган совитиш системаси;

2) машинанинг радиуси бўйича йўналган (*радиал*) каналлардан ҳосил бўл-ган совитиш системасидан оширилган босимли водород билан совитиш сис-темаси;

3) статор ва ротор чулғамлари ўтказгичларининг ичидаги совитиш ка-налларидан *дистилланган сув ўтказиб* (34.11-расм), статор ва ротор пўлат ўзақларини эса ҳаво ёки водород билан совитиш системаси;

4) статор чулғами ўтказгичларининг ичидаги ва пўлат ўзагидаги совитиш каналлардан трансформатор мойини ўтказиб, ротор чулғами ўтказгичларининг ичидан дистилланган сув ўтказиб ва ротор пўлат ўзагини эса ҳаво ёки водо-род билан совитиш системаси.

**Гидрогенераторларнинг совитиш тизимлари.** Гидрогенераторлар учун со-витиш системасининг конструктив бажарилиши уларнинг *осма* ва *соябонсимон* турлари учун умумийдир.

Совитиш ҳавосининг босимини вентилятор ва ротор қисмларининг шамол ҳосил қилувчи қисмлари томонидан ҳосил қилинади.

28-маъруза

### Электр машиналарнинг ривожланиш истиқболлари

*Режа:*

*Вентилли моторлар*

*Магнетогидродинамик машиналар.*

#### Вентилли моторлар

Вентилли моторлар – эксплуатацион, механик ва технологик мазмунда ўта мураккаб ҳисобланган коллектор-щетка тизими ўрнида ярим ўтказгичли коммутаторлар билан алмаштирилган ўзгармас ток мотори ҳисобланади.

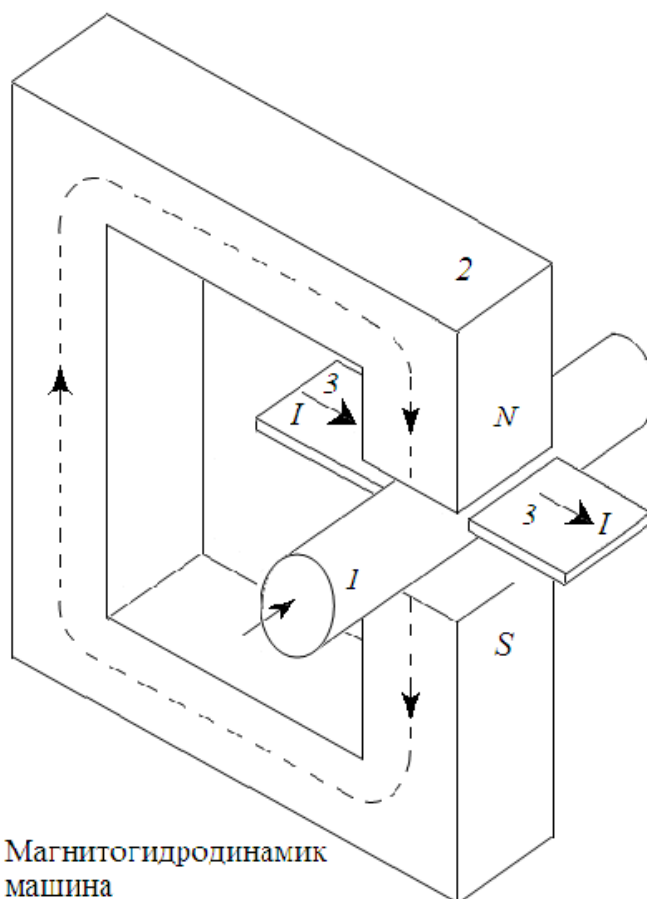
Ўзгармас ток моторларида коллектор-щетка тизимининг мавжудлиги уларни ишлаб чиқариш ва эксплуатациясини мураккаблаштиради (чунки доимий щеткаларни алмаштириш ва коллекторларни тозалаш зарур бўлади), уларнинг чегаравий қувватини чеклайди, агрессив ва портлаш ҳавфи бўлган муҳитларда қўллашни чеклайди. Вентилли моторлар бундай камчиликдан озод этилган. Уларни татбиқ этиш нисбатан яқин вақтларда бажарилган ва ярим ўтказгичлар техникасининг ривожланиши билан боғлиқ. Ҳозирги кунда нисбатан кичик қувватли вентилли моторлар серияли ишлаб чиқаришга қўйилмоқда.

Вентиль моторлардаги ярим ўтказгичли коммутиаторлар ўзгармас токли моторлардаги коллектор-щетка қисмининг вазифасини бажаради, яъни якорь чулғамининг секцияси ўтказгичлари бир қутбнинг таъсир этиш чегарасидан иккинчи қутб чегарасига киришида улагаги токнинг йўналишини ўзгартиради. Бундай коммутациянинг бажарилишидан мақсад, секциядаги оқётган тоқларнинг ҳосил қилган айлантурувчи моменти доимо бир йўналишда бўлишини таъминлашдир.

Якорь чулғамида сирпанувчи контакт бўлмаслигини таъминлаш учун вентиль моторларда аксарият ўзгармас ток машинасининг тескари конструкцияси ишлатилади. Машинанинг бундай тузилишида якорь чулғамини қўзғалмас статорга жойлаштирилади, қутбларни эса роторга ўрнатилади.

Қўзғотиш магнит майдони электромагнит усулда ҳосил қилиниши мумкин, бунинг учун қутбларда қўзғатиш чулғамлари жойлаштирилади. Уларга ўзгармас ток валда жойлашган контакт ҳалқалари ёрдамида ташқи ўзгармас ток тармоғига уланади.

Маълумки, қўзғатиш чулғамининг қуввати якорь чулғами қувватига нисбатан бирнеча ўн марта кичик бўлади. Шу сабабли, қўзғатиш чулғам щетка тизими контактининг ишлаш жараёни якорь щетка-коллектор тизиминикига нисбатан бирқанча ишончлироқ бўлади. Вентиль моторларида электромагнит усулдаги қўзғотиш тизимидан ташқари, аксарият магнетоэлектрик қўзғотиш ҳам ишлатилади. Бунинг учун қутбларда ўзгармас магнитлар ўрнатилади. Ушбу конструкцияда сирпаниш контакт-ти якорь занжирида ҳам, қўзғотиш



Магнетогидродинамик машина

занжирида ҳам бўлмайди. Бундай моторлар контактсиз ўзгармас ток моторлари дейилади.

### **Магнитогидродинамик машиналар**

Магнитогидродинамик машиналар (МГД-машина) деб шундай машинага айтиладики, унда энергиянинг ўзгартирилиши магнит майдонда суюқлик ёки газнинг хараклантирилидан ҳосил бўлади. Улар генератор режимида ҳам, мотор режимида ҳам ишлаши мумкин. Уларнинг энг муҳим афзалликлари ҳаракатланувчи қисмларнинг бўлмаслиги ва иссиқлик энергиясининг электр энергиясига тўғридан-тўғри нисбатан осон айлантиришдир.

Тузилишига кўра МГД-машиналар суюқлик ёки газ оқаиши лозим бўлган 1-каналдан, 2-электромагнитдан ва индуктивланаётган ЭЮК олинаниган 3-электродлардан иборат.

МГД-машина генератор режимида ишлаганда (МГД-генератор) канал орқали аксарият узлуксиз электр ўтказувчи газ – плазма ўтказилади. Плазма табиий ёқилғи (кўмир, нефть, газ) ёниш маҳсулотларидан ва қуйи ионланиш потенциалига эга бўлган кичик миқдордаги қўшимча ишқор металлари ёки уларнинг тузларидан (массаси 0,1-1 %) иборат. Ушбу қўшимчалар туфайли ёниш маҳсулотлари электр ўтказувчанлик хусусиятларига эга бўладилар, яъни қуйи ҳароратли плазма тусига кирадилар.

Плазма МГД-генераторнинг каналига киришдан аввал сопло орқали ўтади ва катта тезликларгача тезланади. Каналга кириш қисмида плазманинг ҳарорати 2500-3000<sup>0</sup> К гача етади, чиқиш қисмида эса 2000<sup>0</sup> К дан кам бўлмаган миқдорда бўлади, чунки ундан кичик ҳароратларда плазма ўтказувчанлик хусусиятини йўқотади. Плазма магнит майдонида ҳаракатланганда электродларда ўзгармас ЭЮК ҳосил бўлади. Бу ЭЮК электродларга уланган юкланишда ток ҳосил қилади. Индуктивланаётган ЭЮК миқдорини ошириш ва МГД-генераторнинг қувватини кучайтириш учун плазманинг юқори тезланишда бўлиши (1000-2000 м/с) ва магнит майдоннинг катта индукцияли бўлиши таъминланади. МГД-генераторда кучли магнит майдон ҳосил қилиш учун ўта ўтказувчан материаллар ишлатилиши мақсадга мувофиқ.

1. Гольдберг О.Д., Хелемская С.П. Электромеханика. –М.: изд-во «Academia», 2007. –512 с.
2. Иванов – Смоленский А.В. Электрические машины. В 2-х т. Учебник для вузов.– М.: Изд-во МЭИ, 2004. Том. 1 – 652 с, Том 2 – 532 с.
3. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам. –Москва:–Издательский центр «Академия». 2012. стр 154
4. Копылова И.П. Электрические машины: Учебник для бакалавр. – Москва: Юрайт, 2012. – 675 с.
6. Набиев Ф.М. Электрические машины. –М.: Изд-во РадиоСофт, 2008. –292 с.
7. Nagrath I.J., Kothari D.P. Electric Machines. Twelfth Reprint. Tata McGraw – Hill, New – Delhi, 1995. – 684 p.
8. Rentzsch H. Elektromotoren. Electric Motors. –ASEA BROWN BOVERI, 1992. 861 p
9. [http://dhes.ime.mrsu.ru/studies/tot/tot\\_lit.htm](http://dhes.ime.mrsu.ru/studies/tot/tot_lit.htm);
10. [http://rbip.bookchamber.ru/description.aspx?product\\_no=854](http://rbip.bookchamber.ru/description.aspx?product_no=854);
11. <http://energy-mgn.nm.ru/progr36.htm>
12. <http://booket.ru/book-57542.html> (“Электромеханические преобразователи энергии”. Епифанов А.Г. Изд-во “Лань”. 2004г.)
13. <http://www.unilib.neva.ru/dl/059/Head.html> (Электронная книга по электромеханике. Леонтьев А.Г.)

