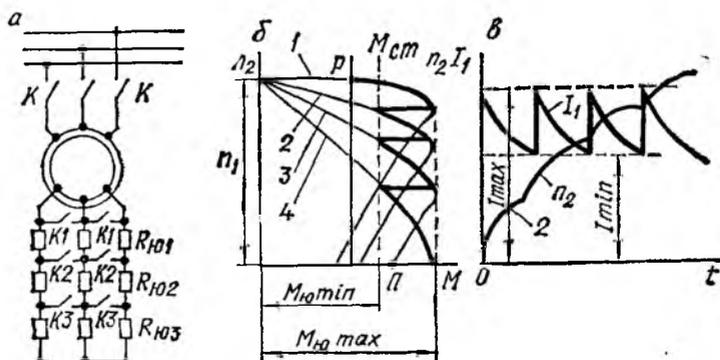


камайгирилади ва юргизиш моменти оширилади. Юргизиш реостати уланганда юргизиш токининг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I_{ю} = \frac{U_1}{\sqrt{(R'_{ю} + R'_2 + R_1)^2 + (x_1 + x'_2)^2}}.$$

Одатда, юргизиш реостати уч, олти босқичли бўлади (119-расм, а). Двигателни юргизишда юргизиш реостати қаршилигини аста камайтириб борилади. Энг олдин двигатель 4-характеристика бўйича ишлай бошлайди (119-расм, б). Бунда реостатнинг қаршилиги $R_{ю} = R_{ю1} + R_{ю2} + R_{ю3}$ га тенг бўлади, айлантирувчи момент максимал моментга тенг бўлади ($M = M_{max}$). Двигателнинг айланиш частотаси ортиб боргани сари айлантирувчи момент камая боради. $M = M_{юmin}$ бўлганида юргизиш реостатининг бир қисми (босқичи) схемадан чиқарилади, контакторнинг КЗ контактлари ёпилади. Бунда айлантирувчи момент бирданга $M_{юmax}$ гача кўпаяди, сўнгра айланиш тезлиги органи сари момент 3-характеристика бўйича камая боради. Бунда реостатнинг қаршилиги $R_{ю} R_{ю1} R_{ю2}$ га тенг бўлади. Момент яна $M = M_{юmin}$ гача камая боради; К2 контакти ёпилади ва двигатель 2-характеристика бўйича ишлай бошлайди, бунда юргизиш реостатининг қаршилиги $R_{ю} = R_{ю1}$ га тенг бўлади. Шундай қилиб, юргизиш реостатининг қаршилиги секин-аста камайтирилганда айлантирувчи момент $M_{юmax}$ дан $M_{юmin}$ гача ўзгаради, айланиш тезлиги эса 2-эгри чизиқ бўйича ўсиб боради (119-расм, в). Юргизишнинг охирида К1 контакт ёпилади ва реостатни схемадан бутунлай чиқаради, ротор чулғамлари қаршиликсиз туташади ва двигатель 1-табий характеристика бўйича ишлай бошлайди. Демак, фаза роторли асинхрон двигателга уланган юргизиш реостатининг босқичи қанча бўлса, двигатель шунча механик характеристикага эга бўлар экан. Бу фаза роторли двигателларнинг муҳим афзаллигидир. Юргизиш реостатининг қаршилиги двигателнинг нагрузка билан ишлаш моментининг қийматига қараб танланади. Агар



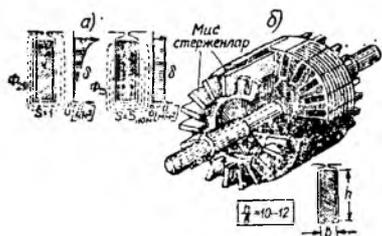
119- расм.

нагрузка билан ишлаш моменти катта бўлса, двигателнинг дастлабки юргизиш моменти максимал моментга тенг бўлиши мумкин. Нагрузка билан ишлаш моменти катта бўлмаса, яъни юргизиш моменти унча катта аҳамиятга эга бўлмаса, реостат қаршилиги янада каттароқ олинади. Бунда юргизиш моменти максимал қийматидан кичикроқ бўлади, лекин юргизиш токи анча камаяди. Юргизиш реостатлари махсус қотишма, металл сим ёки ленталардан тайёрланади. Реостатлар ҳаво ёки мой билан совиғилади, улар фақат қисқа вақт ишлашга мўлжалланган. Двигатель юргизилгандан сўнг баъзи двигателларда чўткалар беҳуда ейилмаслиги учун ва исроф бўладиган қувватни камайтириш мақсадида махсус даста ёрдамида ҳалқалар ўзаро туташтирилади, чўткалар эса улардан кўтарилади. 119-рasm, в да фаза роторли асинхрон двигатель юқоридаги усул билан юргизилганда ток I_1 ва ротор айланиш тезлиги n_2 нинг ўзгариш характери кўрсатилган. Двигатель юргизилаётганда реостатнинг босқичларини схемадан чиқариш қўлда ёки автоматик усулда контакторлар ёрдамида бажарилиши мумкин. Фаза роторли двигателларни юргизиш ва улар тузилишининг мураккаблиги, таннархнинг қимматлиги, назорат талаб қиладиган қисмларининг (чўтка ва ҳалқалар) бўлиши ва техник кўрсаткичларининг пастроқ бўлиши бундай двигателларнинг камчилиги ҳисобланади. Шунинг учун фаза роторли двигателлар асосан юргизиш шароити оғир бўлган механизмларда қўлланилади.

Юқорида қисқа туташтирилган роторли ва фаза роторли асинхрон двигателларни юргизишнинг асосий ва махсус усуллари билан танишдик. Фаза роторли двигателлар ҳам, қисқа туташтирилган роторли двигателлар ҳам маълум афзалликларга ва маълум камчиликларга эга. Амалда қисқа туташтирилган роторли ва фаза роторли двигателларнинг афзаллик томонларини бирлаштирадиган асинхрон двигателлар ҳам ишлатилади. Улар механик характеристикаси яхшиланган асинхрон двигателлардир.

55. Юргизиш моменти катталаштирилган қисқа туташтирилган роторли двигателлар

Қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларнинг тузилиши оддий, ишлатишда пишиқ бўлса ҳам, уларда юргизиш токининг катта бўлиши ва юргизиш моментининг унча катта бўлмаслиги бундай двигателларнинг муҳим камчилиги ҳисобланади. Бу камчиликларни йўқотиш мақсадида М. О. Доливо-Добровольский 1893 йилда „олмахон ҳалқали“ махсус двигатель конструкциясини таклиф қилди. Ундан кейин юргизиш характеристикаси анча яхшиланган чуқур пазли роторли двигатель яратилди. Чуқур пазли ротор ўзагининг пазлари чуқур яъни, баландлиги унинг энидан 10 . . . 12 марта катта бўлади. Пазларда баландлиги энидан анча катта бўлган, кўнда чанг қирқим юзаси тўртбурчак мис симлар — стерженлар ётади. Стерженлар икки томондан мис ҳалқаларга пайвандланади. Юргизишнинг бошланғич пайтида ротор токининг частотаси катта бўлади ($f_2 = f_1$).

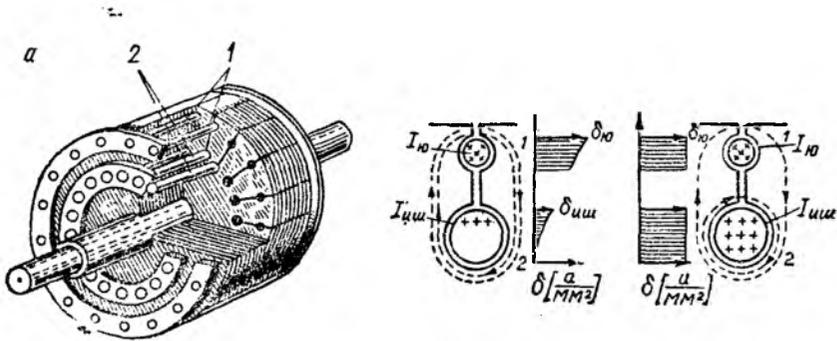


120- рasm. Чуқур пазли ротор.

зичлигининг тақсимланиши кўрсатилган. Юргизиш вақтида ток асосан стерженнинг юқори қисмидан ўтади. Стержен юқори қисмининг кўндаланг кесими бутун стерженнинг кўндаланг кесимидан кичик. Бу ротор стержени актив қаршиликнинг катталашувиغا олиб келади. Актив қаршиликнинг кўпайиши ротор токини камайтиради ва двигателнинг юргизиш моментини оширади. Демак, чуқур пазли двигателнинг юргизиш токи оддий қисқа туташтирилган роторли двигателнинг юргизиш токидан кичик, юргизиш momenti эса анча катта бўлар экан. Бунда двигателни юргизиш шароити анча яхшиланади. 120-рasm, б да чуқур пазли қисқа туташтирилган роторнинг тузилиши кўрсатилган. Двигатель юргизилгандан сўнг, роторнинг айланиш тезлиги ортини билан ротор токининг частотаси камаё боради. Бунда ротор стерженининг индуктив қаршилиги ҳам камаё боради ва ротор токи стерженнинг кўндаланг кесимида баробар тақсимланади. Ротор стерженининг актив қаршилиги ҳам камаёди ва двигатель оддий қисқа туташтирилган роторли двигател каби ишлайди.

Қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларда роторнинг актив қаршилигини ўзгартирмай туриб юргизиш моментини ошириш мақсадида қўш катакли двигателлар кашф этилди. Уларнинг роторида катакли ҳалқа кўринишидаги иккита қисқа туташтирилган стерженлар системаси жойлашади (121-рasm, а). Юқоридаги катак юргизиш катаги дейилади ва стерженларининг кўндаланг кесим юзаси кичкина бўлган ҳамда актив қаршилиги каттароқ бўлган латунь ёки бронзадан тайёрланади. Бу стерженлар роторнинг уст томони а якин жойлашгани учун уларнинг индуктив қаршиликлари кичкина бўлади. Пастки катак иш катаги дейилади, стерженлари мисдан тайёрланади, кўндаланг кесими каттароқ бўлади. Иш катаги стерженларининг актив қаршилиги кичкина, индуктив қаршилиги эса катта бўлади. Электр жиҳатидан иккала катак параллел уланган, шунинг учун ротор токи катакларнинг тўла қаршиликларига тескари пропорциона бўлади:

$$\frac{I_{2ю}}{I_{2иш}} = \frac{z_{2иш}}{z_{2ю}} = \frac{\sqrt{R_{2иш}^2 + x_{2иш}^2}}{\sqrt{R_{2ю}^2 + x_{2ю}^2}}. \quad (3-25)$$



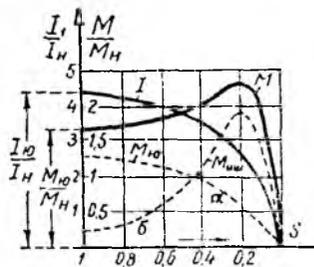
121- расм. Қўш катакли ротор:

1 — юргизиш стержени, 2 — иш стержени.

Юргизишнинг бошланғич пайтида, ротор токининг частотаси катта ва катакларнинг индуктив қаршиликлари уларнинг актив қаршиликларидан бир неча марта катта бўлади. Шунинг учун $\frac{I_{2ю}}{I_{2иш}} \approx \frac{x_{2иш}}{x_{2ю}}$ бўлади, яъни ротор токи асосан юргизиш катагидан ўтади. Бу катакда $x_{2ю} < x_{2иш}$.

Бу вақтда юргизиш катагининг актив қаршилиги катта. Демак, двигателнинг юргизиш momenti катта, юргизиш токи эса кичик бўлади. Роторнинг айланиш тезлиги ортиб борган сари сирпаниши s ва частотаси f_2 камайа боради. Иш катагидаги стерженнинг индуктив қаршилиги ҳам камайа боради. Ротор токи катакларда қайта тақсимланади (121-расм, б). Натижада иш катагидаги стерженда токнинг қиймати ортади. Двигателнинг айлантирувчи momenti ҳам қайта тақсимланади. Двигатель нормал шароитда ишлай бошлаганда ротор токи асосан актив қаршилиги кичик бўлган иш катаги стерженидан ўтади. Токларнинг тақсимланиши қуйидаги нисбат билан аниқланади: $\frac{I_{2ю}}{I_{2иш}} \approx \frac{R_{2иш}}{R_{2ю}}$. Ротор стерженларидан ўтадиган тоklar

бир томонга йўналган айлантирувчи момент ҳосил қилади. Лекин стерженларнинг актив қаршиликлари ҳар хил бўлгани учун уларнинг механик характеристикалари ҳам ҳар хил бўлади. Юргизиш катаги ҳосил қиладиган моментнинг максимал қиймати ($M_{ю}$) сирпаниш катта бўлган томонда бўлади (122-расм, а эгри чизиғи). Иш катаги ҳосил қиладиган момент ($M_{иш}$) оддий қисқа туташтирилган роторли моторнинг механик характеристикасига ўхшашдир (122-расм, б эгри чизиғи). Двигатель роторига таъсир қиладиган умумий айлантирувчи момент $M_{ю}$ ва $M_{иш}$ моментларнинг йиғиндисига тенг: $M =$



122- расм.

$= M_{ю} + M_{инш}$. Демак, қўш катакли двигателнинг механик характеристикаси, гўё роторнинг актив қаршилиги катта ва бошқасида кичик бўлган иккита двигателнинг механик характеристикаларидан иборат бўлар экан. Баъзи двигателларда $M = f(n)$ эгри чизиги иккита максимумга эга бўлиши мумкин. Бундай двигателларда $M_{ю}/M_{ном} = 1,3 \dots 1,7$ ва $I_{ю}/I_{ном} = 4 \dots 6$ бўлади.

Чуқур пазли ва қўш катакли двигателларнинг юргизиш характеристикалари анча яхши бўлса ҳам, ротор стерженларининг индуктив қаршилиги катта бўлгани учун двигателларнинг қувват коэффициенти нисбатан кичкина бўлади. Роторнинг актив қаршилиги катта бўлгани учун унда қувват исрофи каттароқ бўлади. Бу эса двигателнинг фойдали иш коэффициентини камайтиради. Бундан ташқари, бундай роторларни тайёрлаш технологияси мураккаб, таннархи қиммат бўлганлиги уларнинг камчилиги ҳисобланади. Одатда, чуқур пазли двигателларнинг қуввати 100 кВт ва ундан ортиқ; қўш катакли двигателларнинг қуввати 200 кВт ва ундан катта бўлади.

56. Асинхрон двигателнинг айланиш частотасини ўзгартириш (ростлаш) усуллари

Ўққа уланган механик нагрузка ўзгарганда двигатель айланиш частотасининг бир хилда қолиши ёки нагрузка қиймати ўзгармаганда унинг айланиш частотасини ўзгартириш мумкинлиги ҳар қандай двигателларнинг муҳим кўрсаткичларидан ҳисобланади. Нагрузка қийматининг ўзгариши билан асинхрон двигателнинг айланиш частотаси жуда оз бўлса ҳам ўзгаради (1 .. 6%). Сирпаниш формуласидан роторнинг айланиш частотаси қуйидагича аниқланади:

$$n_2 = n_1 (1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s). \quad (3-53)$$

Демак, асинхрон двигателнинг айланиш частотасини ўзгартириш учун двигателга берилаётган кучланиш частотасини ёки жуфт қутблар сонини, ё бўлмаса двигатель сирпанишини ўзгартириш керак.

а) Манба кучланиши частотасини ўзгартириш йўли билан двигателнинг айланиш частотасини ўзгартириш. Асинхрон двигателда айланма магнит майдонининг айланиш частотаси (n_1) тармоқ кучланиши частотасига тўғри пропорционалдир. Амалда тармоқ кучланишининг частотаси ўзгармас $f^1 = 50$ Гц. Шунинг учун кучланиш частотасини ўзгартириш йўли билан двигателнинг айланиш частотасини ўзгартиришда махсус ярим ўтказгич ёки электр машина частота ўзгартиргичлардан фойдаланилади. Асинхрон двигателга турли частотали кучланиш бериб унинг айланиш частотасини катта чегарада текис ўзгартириш мумкин. Амалда асинхрон двигателнинг айланиш частотаси (тезлиги) ни бу йўл билан ўзгартириш анча мураккаб ва қиммат. Шундай бўлса ҳам, баъзи механизмларда бу усул қўлланилади. Манба частотасини ўзгартириш йўли

билан асинхрон двигателъ тезлигини ростлашда двигателнинг $\cos\varphi_1$; η ; $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$ каби параметрлари номинал қийматида қолиши учун М. П. Костенко аниқлаган қуйидаги боғланишга рия қилиш керак:

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{M_{\text{ст}}}{M_{\text{ст.н}}}}, \quad (3-54)$$

бу ерда: U_n ва $M_{\text{ст.н}}$ — номинал частота f_n га тегишли номинал кучланиш ва номинал қаршилик моменти; U ва $M_{\text{ст}}$ — частотанинг бошқа қийматига тегишли кучланиш ва қаршилик моменти.

Агар тезлик ўзгарганда $M_{\text{ст}} = M_{\text{ст.н}} = \text{const}$ бўлса, у ҳолда $\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n}$ бўлиб, асинхрон двигателга бериладиган кучланишни

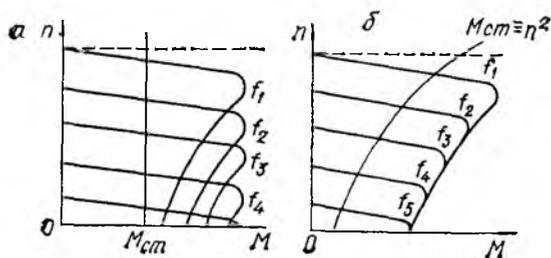
частотага пропорционал равишда ўзгартириш лозим бўлади. Бунинг учун, масалан, бирламчи двигателнинг тезлигини ўзгартириш билан частотаси ўзгартириладиган синхрон генераторнинг қўзғатувчи токини ўзгартирмаслик лозим. Агар тезлик ўзгариши билан $M_{\text{ст}} \equiv n_2^2$ бўлса, $n_2 = \frac{60f_1}{p} (1-s)$ бўлади ва демак, $n_2 \equiv f$

бўлгани учун $M_{\text{ст}} \equiv f^2$; $\frac{U}{U_n} = \left(\frac{f}{f_n}\right)^2$ бўлиб, двигателга бериладиган

кучланиш қийматини частотанинг квадратига пропорционал равишда ўзгартириш керак бўлади. Бунинг учун қўзғатувчи ток қийматини синхрон генераторнинг айланиш тезлигига пропорционал равишда ўзгартириш лозим. (3-54) ифодани олишда асинхрон двигателнинг магнит системаси тўйинмаган ва статор чулғамининг актив қаршилиги $K_1 \approx 0$ деб қабул қилинган. Амалда $R_1 > 0$ бўлиб, частотани ўзгартиришда (3-54) га тўла рия қилинмайди ва демак, асинхрон двигателъ асосий кўрсаткичларининг қиймати бир оз пастроқ бўлади. 123-расмда тезлиги (3-54) ифодага биноан ростланадиган асинхрон двигателнинг турли частоталарда ва:

а) $M_{\text{ст}} = M_{\text{ст.н}} = \text{const}$ ҳамда б) $M_{\text{ст}} \equiv f^2 \equiv n^2$ бўлгандаги механик характеристикалари кўрсатилган.

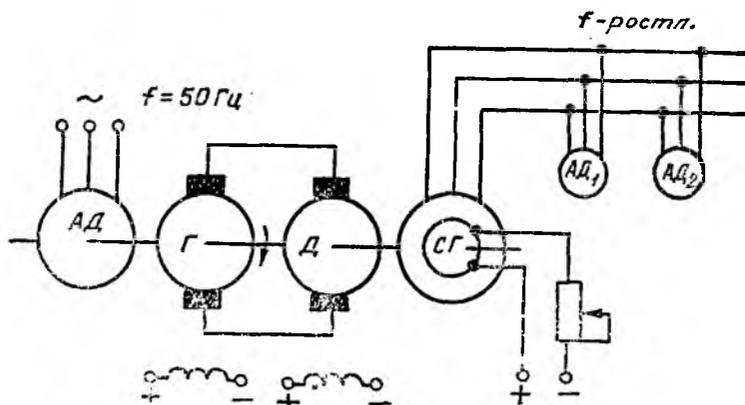
Частота ўзгартиргичлар сифатида синхрон машиналардан ва фаза роторли асинхрон машиналардан фойдаланиш мумкин. Бу



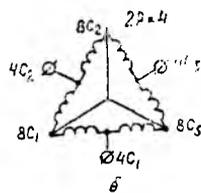
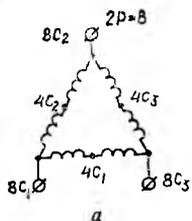
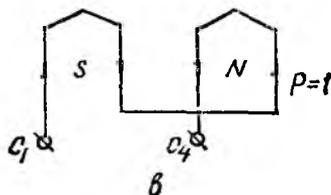
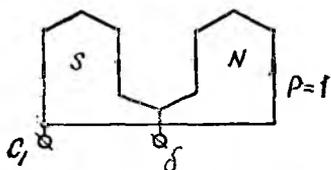
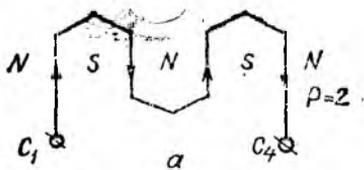
123- расм.

усул бир нечта қисқа туганган роторли асинхрон двигателларнинг айланмиш тезлигини бир вақтда бир хил ўзгартирилиши таълаб қилинадиган механизмларда қўлланилади. Бундай ростлаш системаси прокат станининг рольганг механизмида қўлланилади. Рольгангдаги ҳар бир ролик асинхрон двигатель билан айлантирилиб, бу роликлар тезлигини бир вақтда бир хилда ростлаш талаб қилинади. Бу мақсадда синхрон машина (генератор) частота ўзгартиргичдан фойдаланилади. 124-расмда синхрон генераторли частота ўзгартиргичи ва ундан таъминланадиган асинхрон двигателлар системасининг принципаал схемаси берилган. Частота ўзгартиргичдаги синхрон машина генератор-двигатель системасидаги ўзгармас ток двигатели билан айлантирилади. Схемала қувватлари тахминан бир-бирига тенг бўлган тўртта электр машинасидан фойдаланилади. Кейинги вақтларда частота ўзгартиргичлар сифатида кремнийли вентиллар, конденсаторлар ва трансформаторлардан тузилган бошқариладиган ва бошқарилмайдиган статик частота ўзгартиргичлардан фойдаланилмоқда.

б) Жуфт қутблар сонини ўзгартириш усули. Тармоқ кучланишининг частотаси ўзгармас ($f_1 = 50$ Гц) бўлса, айланма магнит майдонининг айланиш тезлиги жуфт қутблар сонига тескари пропорционал бўлади. Бунда синхрон тезлик жуфт қутблар сонига қараб 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 айл/мин бўлиши мумкин. Бу усул билан роторнинг айланиш тезлиги босқичли ўзгартирилади, яъни жуфт қутблар сони қанча кичик бўлса, двигателнинг айланиш тезлиги шунча катта бўлади. Бу усул асосан қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларда қўлланилади. Двигателнинг айланиш тезлигини бу усул билан ўзгартириш учун двигатель статорига қутблар сони турлича бўлган бир нечта чулғам ёки қутблар сони ўзгартирилиши мумкин бўлган махсус чулғам ўрнатилиши лозим. Двигателда жуфт қутблар сонини ўзгартириш йўли билан тезлиги ростланадиган



124-расм.



126-расм.

125-расм.

асинхрон двигателлар кўп тезликли двигателлар дейилади

Одатда, статор фаза чулғамининг айрим бўлақларини қайта улаш ва улардаги ток йўналишини ўзгартириш йўли билан чулғамнинг жуфт қутблари сони ўзгартирилади. 125-расмда статор чулғамининг икки бўлаги чизилган. Агар чулғам бўлақлари ўзаро кетма-кет уланса, улардан ўтаётган ток чулғамда тўрт қутбли ($p=2$) магнит оқимини ҳосил қилади (125-расм, а). Агар шу бўлақлар параллел уланса, икки қутбли ($p=1$) чулғамга эга бўламиз (125-расм, б). Маълумки, чулғам 4 қутбли бўлса, синхрон тезлик $n_1 = 1500$ айл/мин ва чулғам икки қутбли бўлса, $n_1 = 3000$ айл/мин бўлади. Демак, роторнинг тезлиги ҳам босқичли ўзгаради. Чулғамнинг айрим бўлақларини кетма-кет улаб ҳам икки қутбли чулғам ҳосил қилиш мумкин. Бунинг учун иккинчи бўлақда токнинг йўналиши ўзгартирилиши лозим бўлади (125-расм, в). 126-расмда статор чулғамларининг амалда қўлланиладиган қайта улаш схемаларидан бири келтирилган. Бу схемалардан $p=4$ ва $p=2$ жуфт қутблар олиш мумкин, бунда синхрон тезлик $n_1 = 750$ ва $n_1 = 1500$ айл/мин бўлади. Агар статорга иккита шундай чулғам ўрнатилса, двигателъ 4 хил тезликли бўлади. Қутблар сонини ўзгартиришга имкон берадиган статор чулғами бўлақларининг қисмалари оддий статор чулғами қисмалари каби ифодаланади, фақат шу бўлақнинг қутблар сони қисмада биринчи рақам билан кўрсатилади (126-расм, а ва б). 126-расм, а да чулғамнинг икки бўлаги кетма-кет уланган, лекин уч фаза чулғамлари манбага учбурчак усулида уланган 126-расм, б

да чулғамнинг икки бўлаги ўзаро параллел уланган, параллел уланган фаза чулғамлари эса юлдуз усулида уланган.

Ҳозирги вақтда икки, уч ва тўрт тезликли махсус двигателлар Т серияда ишлаб чиқарилади. Масалан, Т-42/8-6-4-2 маркали двигатель статори 8, 6, 4 ва 2 қутбга қайта уланадиган битта чулғамга эга.

Кўп тезликли асинхрон двигатель, унинг ўқидаги нагрузка турига қараб икки хил режимда ишлаши мумкин: а) двигателнинг тезлиги ўзгарганда унинг айлантурувчи моменти ўзгармас бўлади, лекин қуввати тезликка пропорционал ўзгаради (ўзгармас моменти двигателя); б) двигателнинг тезлиги ўзгарганда унинг қуввати бир хилда қолади, айлантурувчи моменти тезлик ўзгаришига мос ўзгаради (ўзгармас қувватли двигатель). Бундай ишлаш шароитларини статор чулғамларини турли схемаларда улаб олиш мумкин. Кўп тезликли двигателлар ўлчамларининг катта бўлиши, қайта улаш қурилмасининг қўпол ва нархининг қиммат бўлиши уларнинг камчилиги ҳисобланади. Асинхрон двигателнинг айланиш тезлигини ўзгартиришнинг турли усулларида муҳим камчиликлар бўлгани учун, айланиш тезлиги кенг диапазонда жуда текис ўзгартирилиши лозим бўлган машина ва механизмларда шу вақтгача параллел қўзгатишли ўзгармас ток двигателлари ишлатилади.

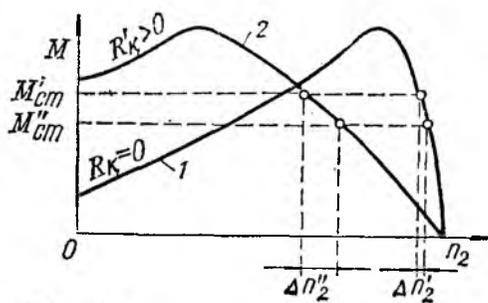
в) Сирпанишни ўзгартириш билан асинхрон двигателнинг тезлигини ўзгартириш. Бу усул фақат фаза роторли асинхрон двигателларда қўлланади. Уларда ротор чулғамининг актив қаршилиги ўзгарса, сирпанишнинг ўзгариши бизга маълум. Актив қаршилик ортиши билан сирпаниш ҳам ортади (бунда нагрузка моменти бир хилда қолади), роторнинг айланиш тезлиги эса камаёди. Двигатель сирпаниши (айланиш тезлиги) нинг ротор чулғамининг актив қаршилигига боғлиқлиги (3-30) ифодадан қуйидагича аниқланади:

$$S = \frac{m_1 I_2'^2 R_2' p}{\omega_1 M}$$

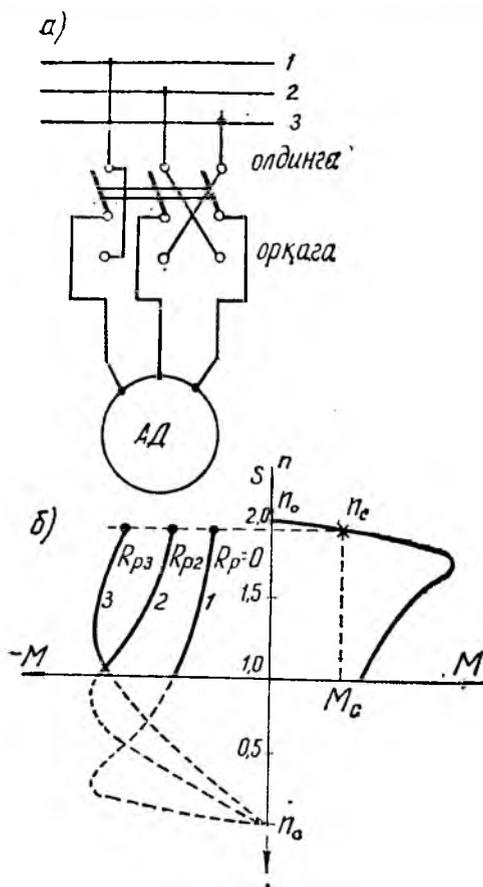
Амалда ротор чулғамининг актив қаршилиги бу занжирга қўшимча қаршилик улаш йўли билан (масалан, юргизиш реостатининг қаршилиги) ўзгартирилади. Бу қаршилик ротор чулғамига кетма-кет уланади. Сирпанишни ўзгартириш йўли билан фақат нагрузкали двигателнинг тезлигини ўзгартириш мумкин. Двигатель салт ишлаганда, ротор чулғамининг актив қаршилиги ўзгарса ҳам унинг айланиш тезлиги деярли ўзгармайди. Олдин айтиб ўтилганидек, ротор занжирида электр исроф сирпанишга тўғри пропорционал ($\Delta p_{э2} = s \cdot P_{эм}$), шундай экан, сирпанишнинг ортиши ротор занжирида қувват исрофини оширади. бунда двигателнинг фойдали иш коэффициентини камаёди. Масалан, нагрузка моменти ўзгармас, яъни $M_2 = \text{const}$ бўлганда, двигателнинг сирпаниши 0,02 дан 0,5 гача ортса, роторнинг айланиш тезлиги тахминан икки марта камайиб кетади. Бу ҳолда двигателда қув-

ват исрофи электромагнит қувватнинг деярли ярмига тенг бўлади. Шунинг учун двигателнинг айланиш тезлигини ўзгартиришда бу усул жуда тежамсиз ҳисобланади. Бундан ташқари, ротор занжирига қўшимча қаршилик уланса, механик характеристикада двигатель турғун ишлайдиган қисмининг қиялиги ортади. Натижада нагрузка моментининг озгина ўзгариши айланиш тезлигининг анча ўзгаришига сабаб бўлади. Буни яхши тушуниб олиш учун 127-расмдаги механик характеристикаларни кўриб чиқамиз. Агар ротор занжирида қўшимча қаршилик бўлмаса ва нагрузка momenti $\Delta M_{ct} = M'_{ct} - M''_{ct}$ га ўзгарса, унинг айланиш тезлиги $\Delta n'_2$ га ўзгаради (1-характеристика). Агар ротор занжирига қўшимча қаршилик уланса, двигателнинг механик характеристикаси бошқача (2-характеристика) бўлади. Бу ҳолда статик нагрузка momenti ΔM_{ct} га ўзгарса, двигателнинг айланиш тезлиги $\Delta n'_2$ га ўзгаради. $\Delta n'_2$ эса $\Delta n'_2$ дан катта. Қайд қилинган камчиликлардан қатъи назар, фаза роторли асинхрон двигателларнинг айланиш тезлиги асосан ротор занжирининг актив қаршилигини ўзгартириш йўли билан ўзгартирилади. Бу усул билан роторнинг айланиш частотасини синхрон тезликка яқин тезликдан унинг номинал айланиш частотасининг 70% гача ораллиғида жуда текис ўзгартириш мумкин бўлади.

Асинхрон двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартириш. Асинхрон двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартириш, яъни реверслаш учун статор магнит майдонининг айланиш йўналишини ўзгартириш керак. Бунинг учун статор чулғамини тармоққа улайдиган симларнинг исталган иккитасини ўзаро ўрнини алмаштириш кифоя. Асинхрон двигателнинг айланиш йўналишини амалда уч қутбли қайта улагич ёрдамида осон ўзгартирилади (128-расм, а). Агар ишлаб турган двигатель тармоққа тескари уланса, статорнинг айланма магнит майдони айланиб турган роторга нисбатан тескари айлана бошлайди. Бунда $S > 1$ бўлади, яъни двигатель тормозланади. Бу шароитда ротор занжирида ток кўпайиб кетади. Бунда ротор чулғами токининг частотаси катта, яъни ротор чулғамининг индуктив қаршилиги катта бўлгани учун двигателнинг айлантирувчи momenti кичик бўлади. Ротор токини камайтириш ва моментни эса катталаштириш учун ротор занжирига қўшимча қаршилик уланади. Бунда тормозлаш механик характеристиканинг тўғри чизиқли қисмида бажарилади (128-расм, б). Олдин айтилганидек, ҳарактеристиканинг қиялиги ротор занжирининг актив қаршилиги қиймати



127-расм.



128- расм.

ҳаракатга келтирилади. Бундай двигателларнинг тузилиши бир хил бўлса ҳам, улар бир-биридан айрим қисмларининг конструкцияси билан фарқ қилади. Бирор механизм учун двигатель танлашда шу механизмнинг механик хусусияти, ишлаш шароити ва двигатель турадиган жойдаги муҳитнинг хусусиятлари эътиборга олиниши лозим.

Ҳозир мамлакатимизда қуввати 0,6 кВт дан 400 кВт гача, номинал кучланиши 220, 380 ва 500 В бўлган кичик ва ўртача қувватли асинхрон двигателлар ишлаб чиқарилмоқда. Бундан ташқари, қуввати 200 дан 1000 кВт гача бўлган, номинал кучланиши 3.00, 6000 В бўлган катта қувватли асинхрон двигателлар ҳам ишлаб чиқарилади. Ўртача ва катта қувватли двигателларнинг корпуси ва асоси нулат ёки чуъндан қўйиб ишланади. Катта қувватли двигателларнинг корпуси айрим бўлақлардан пайвандлаб, кичик қувватли асинхрон двигателларнинг корпуси ва

билан аниқланади. 1-эгри чизиқ ротор занжирида қўшимча қаршилик бўлмагандаги тормозлашга; 2 ва 3-эгри чизиқлар эса ротор чулғамига қўшимча қаршилик улангандаги тормозлашга тааллуқлидир. Ротор занжири актив қаршилигининг катталашуви, бу занжирнинг қувват коэффициентини оширади. Ротор занжирининг актив қаршилиги фаза роторли двигателларда юргизиш реостати билан ростланади. Қисқа туташган роторли двигателларни тескари томонга юргизиш учун у олдин тормозлаб тўхатилади. Акс ҳолда унинг токи кўпайиб кетади.

57. Асинхрон двигателларнинг конструкцияси ва асосий турлари

Халқ хўжалигининг турли соҳаларида машина ва механизмлар асосан уч фаза асинхрон двигателлар ёрдамида

асоси алюминий қотишмасидан тайёрланади. Олдин айтиб ўтилганидек, асинхрон двигателларда статор билан ротор орасидаги ҳаво оралиғи қанча кичик бўлса, статор билан роторнинг ўзаро магнит алоқаси шунча кучли ва двигателнинг техник кўрсаткичлари шунча яхши бўлади. Бу оралиқ кичик қувватли двигателларда 0,25 . . . 0,35 мм; катта қувватлиларда 1 . . . 1,5 мм га тенг.

Асинхрон двигателларнинг айрим деталларини бир хил қилиб тайёрлаш ва лозим бўлганда янги сизга алмаштириш муҳим аҳамиятга эга бўлганлиги учун 1949 йилдан бошлаб мамлакатимизнинг электр машинасозлик заводларида халқ хўжалигининг турли соҳаларида ишлатиладиган уч фазали асинхрон двигателлар А ва АО ягона серияларда ишлаб чиқарила бошланди. 1960 йилдан бошлаб янги ягона А2 ва АО2 серияларда ишлаб чиқариладиган бўлди. Бу сериядаги асинхрон двигателлар 18 хил номинал қувватда тайёрланади. Уларнинг оғирлиги олдинги серияга қараганда тахминан 25% га камайтирилди, двигателларнинг фойдали иш ва қувват коэффициентлари оширилди, двигателларда махсус электротехник пўлат сарфи 10%, мис сарфи 12% камайтирилган, уларнинг ишлашда пишиқлиги оширилган (олдинги сериядагига нисбатан). Иккинчи ягона сериядаги двигателлар асосан 9 хил ўлчамда (статор пўлат ўзаги ички диаметрининг ўлчами) ишлаб чиқариладиган бўлди. Двигатель маркасида унинг габарити 1 дан 9 гача бўлган рақамлар билан кўрсатилади. Бундан ташқари, ҳар бир габаритда статор пўлат ўзагининг узунлиги икки хил ўлчамда (1 ва 2 рақамлари) ишлаб чиқарилади. Шундай қилиб, двигатель маркасида унинг қайси серияга тегишлилиги, габарити, пўлат ўзагининг узунлиги ва қутблар сони кўрсатилади. Масалан, АО2-62-4 маркалисида двигатель 6 габаритга, унинг иккинчи узунлик ўлчамига ва қутблар сони 4 га тенглигини кўрсатади. Бу серияда двигателлар номинал қувватларининг шкаласи қуйидагича: 0,6; 0,8; 1,1; 1,5; 2,2; 3; 4; 5,5; 7,5; 10; 13; 17; 22; 30; 40; 55,75; 100 кВт. Ягона серияла асинхрон двигателларнинг махсус хиллари ҳам ишлаб чиқарилади; масалан, АОП-62-4, АОС-41-2. Бунда П ҳарфи юргизиш моменти; С ҳарфи сирпаниши катталаштирилган двигателларга тегишли. Тўқимачилик саноатида ишлатиладиган двигателлар маркасида қўшимча Т ҳарфи ёзилади; АОТ2-32-4. Тўқимачилик саноатига тегишли механизмлар сутка давомида узлуксиз, деярли бир хил нагрузка билан ишлайди. Шунинг учун АОТ2 сериядаги двигателларнинг фойдали иш коэффициентини каттароқ бўлади.

АОК2-72-6 сериясида К ҳарфи фаза роторли асинхрон двигателларга тегишли.

Маркада Т ҳарфи тропик иқлимда ишлашга мосланган. Х ҳарфи химиявий таъсирга чидамли двигателларга тегишли ва ҳоказо. Саноатнинг айрим соҳаларида катта қувватли (200 . . . 1000 кВт) асинхрон двигателлар ишлатилади. Бу двигателлар А, АК, АЗ, АКЗ, АП серияларда ишлаб чиқарилади. Портлаш хавфи бўлган жойларда МАЗ6 серияли махсус двигателлар ишлатилади, уларнинг номинал қувватлари 22 . . . 400 кВт га тенг. Кўтарма

кранларда ва металлургияда ишлатиладиган баъзи механизмларда МТ серияли (қуввати 3,2 . . .125 кВт) двигателлар кенг ишлатилади. Химия ва кўмир саноатида КО серияли (қуввати 4 . . .100 кВт) двигателлар ишлатилади. Яқингача қўш катакли асинхрон двигателлар ДАМ серияда; чуқур пазли двигателлар ГАМ серияда ишлаб чиқарилар эди. Номинал қуввати 50 . . .600 Вт гача бўлган кичик габаритли уч фазали двигателлар АОЛ серияда ишлаб чиқарилади. Бундай двигателлар кичик станокларда турли хил хўжалик механизмларида ва уй-рўзгор асбобларида ишлатилади.

1978 йилдан бошлаб асинхрон двигателлар яна ҳам янги 4А серияда ишлаб чиқарила бошланди. А2 ва АО2 серияларга қараганда 4А ягона серияли асинхрон двигателларнинг оғирлиги 15—18 % камайтирилган, чулғамининг мис сими ва электротехника пўлати 20—25 % тежалган, энергетик кўрсаткичлари эса олдинги сериядагидек қолган.

Асинхрон двигателларнинг янги ягона 4А серияси А2 сериясидан фарқи ўлароқ, ўлчамлари ва ўрнатиш-улаанишлари жиҳатидан Халқаро Электротехника Комиссияси талабларини тўла қаноатлантиради. Янги конструктив ечимлар қабул қилиниши, янги изоляцион материаллар ишлатилиши ва янада такомиллашган тайёрлаш технологиясидан фойдаланиш натижасида 4А сериядаги асинхрон двигателлар, А2 сериядаги двигателларга нисбатан пишиқ ва ишлатишга қулайдир. 4А сериядаги асинхрон двигателлар атроф-муҳит таъсиридан сақланиш даражасига қараб ГОСТ 17494—72 га биноан икки хил тайёрланади: ҳимояланган асинхрон двигателлар—1Р23, шамоллатиладиган асинхрон двигателлар—1Р44.

4А сериясининг стандарт қувватлари шкаласи: 0,06; 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 80; 110; 132; 160; 200; 315; 400 кВт. Двигателлар ҳамма айланиш частоталарида ишлаб чиқарилади. Фундамент плитасидан двигателлар ўқининг баландлиги шкаласи ХЭК рекомандациясига мос келади: 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100; 112; 132; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355 мм.

4А сериядаги двигателлар маркасидаги рақамлар ва ҳарфлар қуйидагиларни ифодалайди: ҳимояланган двигателлар: А — станинаси алюминийдан (шчитлари ҳам) ишланган, Х — станинаси алюминий, шчитлари чўяндан ишланган; 50 . . . 355 — ўқининг баландлиги; S, L, M — корпусининг ўлчамлари; А — магнит ўтказкичнинг биринчи узунлиги; В — иккинчи узунлиги; 2, 4, 6, 8, 10, 12 — магнит қутблари сони.

Чунончи, 4АА56А2У3 маркаси қуйидагича ўқилади: 4А сериядаги ёпиқ қилиб тайёрланган двигатель, станинаси ва шчитлари алюминийдан; ўқининг баландлиги 56 мм; биринчи магнит ўтказкич узунлиги; икки қутбли; иқлими мўътадил районлар учун; ўрнатиш категорияси учинчи.

Қуввати 0,12 дан 0,37 кВт гача бўлган двигателларнинг кучланиши 220/380 В; 0,55 дан 110 кВт гача двигателларда 220/380 В

ва 380/660 В; қуввати 132 дан 400 кВт гача бўлган двигателларнинг кучланиши 380/660 В. Двигателдан чиқариладиган симлар сони 6 та; чулғамларининг уланиши Δ/Y усулида.

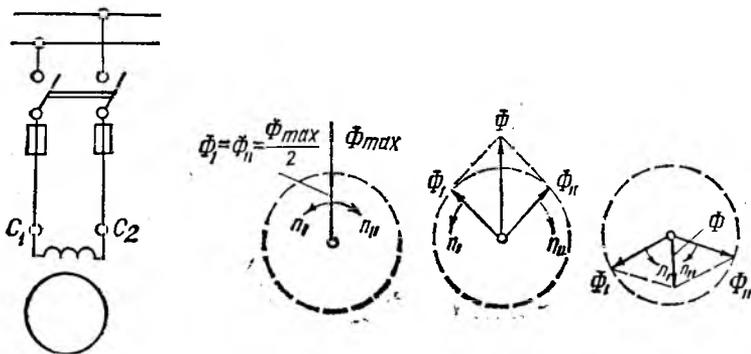
XI БОБ. БИР ФАЗАЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

58. Бир фазали асинхрон двигателларнинг тузилиши, ишлаш принципи ва ишлатилиши

Бир фазали асинхрон двигателлар хонадон электр асбоб-ускуналарида, автоматика қурилмаларида қўлланилади. Бир фазали двигателлар кичик қувватли (15 . . . 600 Вт) бўлиб, улар кўпинча айланиш частотаси ўзгартирилмайдиган қурилмаларда ишлатилади.

Бир фазали асинхрон двигателнинг статорида битта чулғам бўлади (129-расмда). Бу чулғам статор ўзаги пазларининг $2/3$ қисмида жойлаштирилади. Чулғамлар бундай жойлашганда ҳаво оралиғида магнит юритувчи куч ва магнит индукцияси деярли синусоидал тарзда тарқалади. Кўпинча уч фазали чулғамнинг бир фазасини олиб ташлаб, қолган иккитасини кетма-кет улаб бир фазали чулғам ҳосил қилинади. Бир фазали двигателнинг ротори оддий қисқа туташтирилган ротордир.

Агар бир фазали асинхрон двигателнинг статор чулғами бир фазали ўзгарувчан ток тармоғига уланса, статор чулғамидан ўтувчи ток вақт бирлигида фақат қиймати ўзгарадиган қўзғалмас магнит оқими Φ_m ни ҳосил қилади. Қиймати ўзгариб турадиган бу магнит оқимини бир-бирига нисбатан тескари айландиган ва қиймати $\Phi_m/2$ га тенг бўлган иккита Φ_I ва Φ_{II} магнит оқимларига ажратиш мумкин (129-расм, б). Бу магнит оқимларининг айланиш частотаси тенг. Двигатель тармоққа уланганда унинг ротори айланмайди, лекин исталган томонга қўл билан айлантириб юборилса, у ишлаб кетади. Айланиш йўналиши роторнинг айланиш йўналиши билан бир хил бўлган оқим Φ_I ни тўғри оқим; унинг тескарисига айланадиган оқим Φ_{II} ни



129- расм.

тескари оқим дейлади. Айланувчан тўғри ва тескари оқимлар роторда тўғри ва тескари айлангирувчи моментлар M_I ва M_{II} ҳосил қилади. Агар роторнинг айланиш йўналиши тўғри оқим йўналиши билан бир хил бўлса, тўғри оқимга нисбатан роторнинг сирпаниши:

$$s_I = \frac{n_{IT} - n_2}{n_{IT}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - \frac{n_2}{n_1},$$

бу ерда: $n_{IT} = n_{I\text{тес}} = n_1 = n_{II}$. Тескари оқимга нисбатан роторнинг сирпаниши: $s_{II} = \frac{n_{I\text{тес}} + n_2}{n_{I\text{тес}}} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} = 1 + \frac{n_2}{n_1}$.

Тўғри ва тескари оқимлар ҳосил қиладиган тўғри ва тескари электромагнит моментлар M_I ва M_{II} қарама-қарши йўналган бўлади. Бир фазали двигателнинг йиғинди айлангирувчи momenti шу моментларнинг айирмаси билан аниқланади: $M = M_I - M_{II}$.

Φ_I ва Φ_{II} магнит оқимлар қўзғалмас ротор чулғамида ўзаро тенг ва бир-бирига нисбатан қарама-қарши йўналган E_I ва E_{II} ЭЮК ларни ҳосил қилади. Бу ЭЮК лар ўз навбатида ротор чулғамида I_{2I} ва I_{2II} тоқларни ҳосил қилади. Бу шаронгта роторга тенг ва қарама-қарши йўналган тўғри M_I ва тескари M_{II} айлангирувчи моментлар таъсир этади ва двигателнинг бошланғич айлангирувчи momenti нолга тенг бўлади.

Агар ротор тўғри оқим йўналишида айланса, сирпаниш формулаларидан маълумки, $s_I < s_{II}$ бўлади. Олдин айтиб ўтилганидек, ротор тоқининг частотаси унинг сирпанишига тўғри пропорционал ($f_2 = f_1 \cdot s$). $s_I < s_{II}$ бўлгани учун, тескари оқим таъсирида ротор чулғамида ҳосил бўладиган ток I_{2II} нинг частотаси ток I_{2I} нинг частотасидан анча катта бўлади. Масалан, бир фазали асинхрон двигателда $n_1 = 1500$ айл/мин; $n_2 = 1450$ айл/мин ва $f_1 = 50$ Гц бўлса:

$$s_I = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,03; \quad s_{II} = \frac{1500 + 1450}{1500} = 1,96 \text{ га тенг бўлади.}$$

Бу ҳолда I_{2I} токнинг частотаси $f_{2I} = 0,033 \cdot 50 = 1,8$ Гц; I_{2II} токнинг частотаси $f_{2II} = 1,96 \cdot 50 = 98$ Гц бўлади. Шу сабабдан ротор чулғамининг индуктив қаршилиги катталашади. Бу шаронгта I_{2II} токни реактив ток дейиш мумкин. Бу реактив ток тескари оқимга қарши йўналган магнит оқими ҳосил қилади, натижада Φ_{II} оқим камайиб кетади. Тўғри оқим Φ_I билан I_{2I} (токнинг актив қисми катта) токнинг ўзаро таъсири натижасида M_I айлангирувчи момент ҳосил бўлади. Бир вақтда тескари оқим Φ_{II} билан I_{2II} токнинг ўзаро таъсири натижасида анча кичик M_{II} айлангирувчи момент ҳосил бўлади. Бу токнинг частотаси катта, актив қисми эса кичкина бўлади. Шундай қилиб, бир фазали асинхрон двигателнинг йиғинди айлангирувчи momenti $M = M_I + M_{II}$ бўлади.

130-расмда бир фазали двигателъ учун $M = f(s)$ боғланиш берилган. Бу график $M_I = f(s_I)$ ва $M_{II} = f(s_{II})$ боғланишлар асосида қурилган. Агар $s_I = s_{II} = 1$ бўлса, M_I ва M_{II} моментлар ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналди, бунда йиғинди момент нолга тенг бўлади. Бир фазали двигателда $s < 1$ бўлганда, унинг роторига айлантурувчи момент таъсир эта бошлайди.

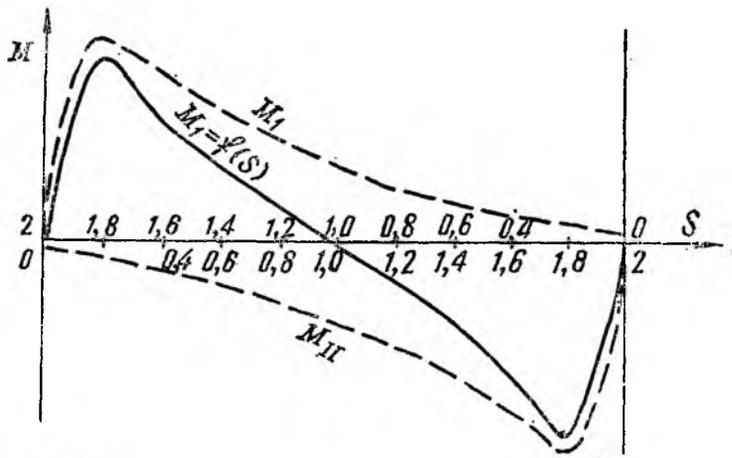
Юқоридагилардан қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин:

а) бир фазали двигателъ ўзининг юргизиш моментига эга эмас, у ташқи куч таъсир этган томонга айлана бошлайди;

б) салт ишлаш шароитида тескари оқим ҳосил қиладиган тормозловчи момент таъсирида бир фазали двигателнинг айланиш частотаси уч фазали двигателникига қараганда кичикроқ бўлади;

в) бир фазали двигателнинг иш характеристикалари уч фазали двигателникига қараганда ёмонроқ; у нагрузка нормал бўлганда анча катта сирпанишга эга, ФИК ва ўта нагрузкаланиш қобилияти кичикина; булар ҳам тескари оқим таъсири натижасидир.

Бир фазали асинхрон двигателъ тармоққа уланиши билан ишга тушиб кетиши учун у махсус юргизиш чулғами билан таъминланади. Кўпинча бу чулғам статор пазларининг бўш қолган 1/3 қисмида жойлаштирилади. Бунда юргизиш чулғамининг магнитловчи кучи асосий чулғамнинг магнитловчи кучига нисбатан 120° га сурилади. Умуман, турли йўл билан иш ва юргизиш чулғамлари токлари орасида силжиш бурчаги ҳосил қилинса, бир фазали двигателъ тармоққа уланиши билан ишлаб кетаверди. Кўпинча юргизиш чулғами занжирига актив ёки индуктив қаршилиқ ёки сизим уланади. Двигателъ ротори айланиб кетгандан сўнг юргизиш чулғами узиб қўйилади. Иш ва юргизиш чулғамлари ёрдамида айланма магнит майдонини ҳосил қилиш учун



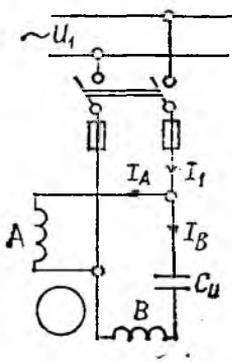
130-расм.

иш ва юргизиш чулғамларининг магнитловчи кучлари фазода бир-бирдан 90° га силжиган ва ўзаро тенг бўлиши ҳамда бу чулғамлар токлари ўзаро 90° га силжиган бўлиши лозим. Агар бу шартлар тўла бажарилса, статор майдони доира бўйича айланади, бунда электромагнит момент энг катта қийматга эришади. Шартлар тўла бажарилмаса, айланма магнит майдони эллиптик шаклда бўлади. Эллиптик майдон қийматлари тенг бўлмаган тўғри ва тескари томонга айланадиган иккита доиравий майдондан тузилади. Фаза силжитувчи элемент сифатида конденсатордан фойдаланиш энг яхши юргизиш шароитини таъминлайди. Юргизиш чулғами ингичка симдан тайёрланса ва ўрамлар сони оз бўлса, унинг актив қаршилиги катта, индуктив қаршилиги эса кичкина бўлади. Асосий иш чулғамининг ўрамлар сони катта бўлса, унинг индуктив қаршилиги катта бўлади; натижада бу йўл билан ҳам иккала чулғам токлари орасида 90° яқин силжиш бурчаги ҳосил қилиш мумкин.

Махсус юргизиш чулғамли бир фазали двигателларнинг қуввати 18...270 Вт, номинал кучланиши 127, 220 ва 380 В бўлади. Бир фазали двигателлар тикув машиналарида, вентиляторларда, кир ювиш машиналарида, касса аппаратларида ва бошқа юргизиш моменти кичкина бўлган механизмларда кенг ишлатилади.

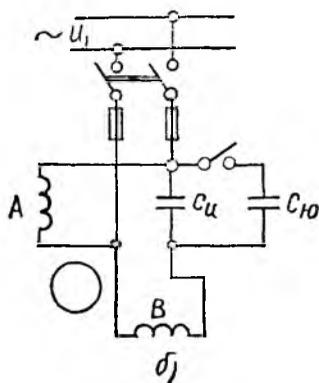
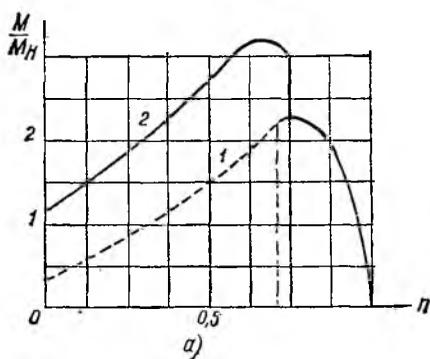
59. Бир фазали конденсаторли асинхрон двигатель

Бир фазали конденсаторли двигателда иккита чулғам бўлиб, бу чулғамлар фазода бир-бирдан 90° бурчакка силжитиб ўрнатилади. Чулғамларнинг бири асосий, яъни иш чулғам (А); иккинчиси эса қўшимча, яъни юргизиш чулғами (В) дейилади. Асосий чулғам бевосита тармоққа уланади, юргизиш чулғами эса шу тармоққа иш конденсатори орқали уланади (131-расм). Бу шароитда двигатель юргизилгандан сўнг юргизиш чулғами узиб қўйилмайди ва двигателнинг бутун иши давомида тармоққа уланган ҳолда қолади. Шунинг учун бундай двигатель



131- расм.

конденсаторли двигатель дейилади. Иш сифими С юргизиш чулғамидаги ток билан иш чулғами токи орасида 90° га яқин силжиш бурчаги ҳосил қилади. Агар конденсаторсиз бир фазали двигатель юргизиш чулғами узиб қўйилгандан сўнг гульсланувчи майдон билан ишласа, конденсаторли двигатель доиравий (ёки унга яқин) айланма магнит майдони билан ишлайди. Фаза силжитиш конденсатор билан амалга оширилганда юргизиш чулғамида кучланиш: $\vec{U}_{1\sigma} = \vec{U} - \vec{U}_c = \vec{U}_1 + j\dot{I}_{10}x_c$ билан аниқланади. Бу кучланиш иш чулғамига берилган зармоқ кучланишига нисбатан маълум бурчакка силжиган. Натижада иш чулғами токи I_A ва юргизиш чулғами токи I_B

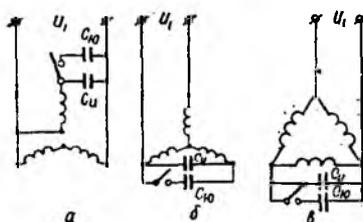


132- расм.

хам маълум бурчакка силжийди. Фаза силжитувчи конденсатор сиғимини танлаб, двигателнинг бирор иш режими учун доиравий айланма магнит майдони олинади, бошқа режимда ишлаганда майдон эллиптик бўлади. Кўпинча конденсаторнинг сиғими двигателнинг нагрукаси номинал ёки унга яқин бўлганда магнит майдони доиравий айланма майдон бўладиган қилиб танланади. Конденсаторли двигателларнинг ФИК 60 — 75% ва қувваг коэффициенти 0,8...0,95 гача боради. Конденсаторли двигателнинг юргизиш momenti номинал моментнинг 50% ини ташкил қилади. Бундай двигателнинг механик характеристикаси 132-расм, а да 1-эгри чизиқ билан кўрсатилган. Бундай двигателлар юргизилиши энгил бўлган механизмларда ишлатилади. Двигателнинг юргизиш momentини ошириш учун схемага махсус юргизиш конденсатори $C_{ю}$ уланади (132-расм, б). Юргизиш конденсатори қисқа вақт ишлашга ҳисобланади, яъни двигатель ишга тушиб кетгандан сўнг, у тармоқдан узиб қўйилади. Юргизиш конденсатори двигателнинг механик характеристикасини анча яхшилади (132-расм, а, 2-эгри чизиқ). Бундай двигателлар юргизилиши анча оғир механизмларда қўлланилади.

60. Уч фазали асинхрон двигателни бир фазали двигател сифатида ишлатиш

Ўртача қувватли баъзи асинхрон двигателларни уч фазали двигател сифатида ҳам, бир фазали двигател сифатида ҳам ишлаши мумкин. Бундай двигателлар универсал двигателлар дейилади. Двигател статорида уч фазали чулғам бўлади, ротори оддий қисқа туташтирилган. Универсал двигателни бир фазали двигател сифатида ишлатиш учун унинг статорининг чулғамлари 133-расмда келтирилган схемалар бўйича бир фаза ток манбаига уланади. Схемаларда иш ва юргизиш конденсаторларининг қандай уланиши ҳам кўрсатилган. Иш конденсатори $C_{и}$ нинг сиғими номинал нагруканда ишлаш режимига мос-



133- расм.

нинг сизими қуйидаги эмпирик формулалар билан микрофара (мкф) ларда аниқланади:

$$C_{и} = 2740 \frac{I_{ин}}{U_{ин}} \quad (143\text{- расм, а});$$

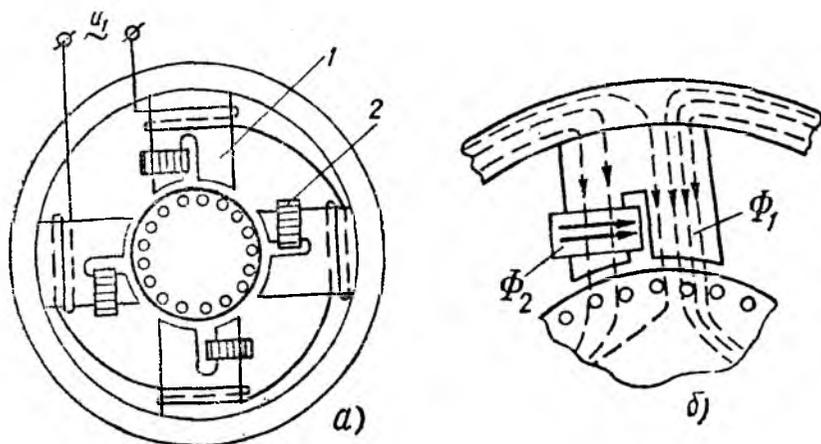
$$C_{и} = 2800 \frac{I_{ин}}{U_{ин}} \quad (143\text{- расм, б});$$

$$C_{и} = 4800 \frac{I_{ин}}{U_{ин}} \quad (143\text{- расм, в}).$$

Агар двигатель салт ишлаш шароитида ёки кам нагрузка билан юргизилса, юргизиш конденсатори керак бўлмайди. Номинал нагрузка билан юргизишда схемага юргизиш конденсатори уланади. Юргизиш конденсаторининг сизими $C_{ю} = (2,5 \dots 3) \cdot C_{и}$ қилиб олинади. Бунда двигательнинг юргизиш моменти номинал моментга деярли тенг бўлади. Агар юргизиш моментини янада ошириш лозим бўлса, юргизиш конденсаторининг сизими оширилади. Агар $C_{ю} = (6 \dots 8) \cdot C_{и}$ га тенг бўлса, юргизиш моменти двигательнинг максимал моментига яқинлашади.

61. Аён қутбли асинхрон двигатель

Бир фазали кичик қувватли асинхрон двигательлар статорига аён қутбли электромагнитлар ўрнатилиши ҳам мумкин. Бунда двигательнинг конструкцияси янада соддалашади. Кўпинча, статорда бир ёки икки жуфт магнит қутблари ўрнатилади. Ҳар бир магнит қутбнинг (1) учиди унинг ўқи йўналишида паз ҳосил қилинади. Магнит қутбнинг кичикроқ учига мис ҳалқача (қисқа туташган ўрам 2) ўрнатилади. Бир фазали чулғам қутбларнинг иккинчи (корпус яқинидаги) учига ўралади (134-расм, а). Ҳар бир қутбларда чулғам ўрамлари сони бир хил бўлади. Двигательнинг ротори оддий қисқа туташтирилган ротордир. Статор чулғами бир фазали ўзгарувчан ток тармоғига уланганда унинг токи фақат қиймати ўзгарадиган магнит оқими ҳосил қилади. Бунда қутбнинг учига ўрнатилган мис ҳалқада, яъни қисқа туташган ўрамда ток ҳосил бўлади. Бу ток қутбнинг шу қисмида асосий магнит оқими Φ_1 га қарши йўналган магнит оқими Φ_2 ни ҳосил қилади. Натижада қутбнинг шу қисмида магнит оқими ка-



134- расм.

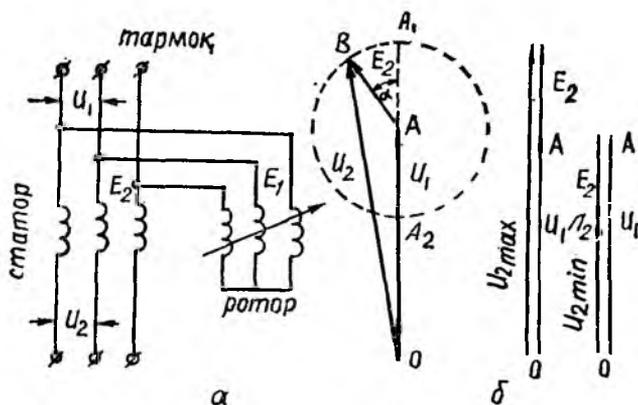
маяди (134-расм, б). Қутбнинг иккинчи қисмидан магнит оқими Φ_1 ўтади. Шундай қилиб, бу оқимлар орасида силжиш бурчаги ва шу асосда айланма магнит майдони ҳосил бўлади. Лекин магнит оқимларининг қиймати ҳар хил ва улар орасидаги силжиш бурчаги вақт бирлиги ичида ҳар хил бўлгани учун айланма магнит майдони эллипс бўйича айланадиган майдон бўлади. Двигателнинг юргизиш моментини ошириш мақсадида қўшни магнит қутблари орасига (уларнинг уч томонига) пўлат пластинка (магнит шунти) қўйилади. Бунда қутбнинг пўлат пластинка қўйилган томонида магнит оқими ортади ва майдон доиравий айланма майдонга яқинлашади. Бундай двигателларнинг ФИК 0,3 дан ошмайди; ўта нагрузкаланиш қобилияти 1,1...1,2; қувват коэффициенти 0,4...0,6 бўлади. Сирпаниш 0,3...0,1 орасида. Двигатель ишлаганда қувват исрофи нагрузка қийматига боғлиқ бўлмагани учун чулғамлар температураси ҳам нагрузкага боғлиқ бўлмайди. Бу двигателнинг яхши ишлашини таъминлайди. Олдин аён қутбли асинхрон двигателларнинг номинал қуввати 5...25 Вт дан ошмас эди. Сўнгги вақтларда қуввати 300 Вт гача бўлган двигателлар ишлаб чиқарилмоқда. Бундай двигателлар вентиляторларда, электр патефонларда, кир ювиш машиналарида ва бошқа жойларда кенг ишлатилади. Уларнинг юргизиш momenti номинал моментнинг 0,2...0,6 қисмини ташкил қилади. Баъзан двигатель характеристикасини яхшилиш мақсадида қутбнинг пўлат пластинкали қисмида ҳаво оралиғи кичикроқ қилинади.

62. Уч фазали индукцион регулятор

Махсус тайёрланган фаза роторли асинхрон машина индукцион регулятор сифатида ишлатилиши мумкин. Бундай регулятор ёрдамида кучланишни кенг диапазонда ўзгартириш мумкин (автотрансформатор каби). Шунинг учун индукцион регулятор айланма автотрансформатор дейилади. Индукцион регуляторда статор ва ротор чулғамларининг бош учлари электр тармоғига уланади, статор чулғамининг охириги учлари эса истеъмолчига уланади; ротор чулғамининг охириги учлари ўзаро (юлдуз усулида) уланади (135-расм, а). Бирламчи чулғам сифатида ротор чулғами ишлатилади. Индукцион регуляторда ротор чулғамининг вазияти статор чулғамига нисбатан 0° дан 360° гача ўзгартирилиши мумкин. Индукцион регуляторнинг ишлаш принципи қуйидагича: регуляторнинг чулғамлари гармоққа уланганда унда ҳосил бўладиган айланма магнит майдони статор ва ротор чулғамларида ЭЮК лар E_1 ва E_2 ҳосил қилади. Агар статор ва ротор чулғамларининг ўқлари фазода бир-бирига тўғри келса, айланма магнит оқими ротор чулғамида ҳам, статор чулғамида ҳам фазалари бир хил, яъни бир томонга йўналган ЭЮК лар ҳосил бўлади. Бунда индукцион регулятордан истеъмолчига бериладиган кучланиш \dot{U}_2 ўзининг энг катта, яъни $\dot{U}_{2\max}$ қийматига эга бўлади (135-расм, б). Унда:

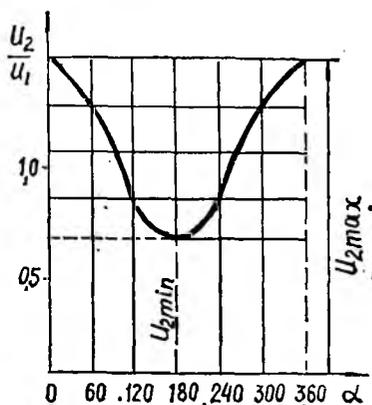
$$\dot{U}_{2\max} = OA_1 = \dot{U}_1 + \dot{E}_2.$$

Агар ротор червяк узатмаса ёрдамида маълум, масалан α бурчакка бурилса, \dot{E}_2 вектор ҳам α бурчакка бурилади. Бунда регулятордан олинadиган кучланиш \dot{U}_1 ва \dot{E}_2 векторлар йиғиндиси



135-расм. Индукцион регулятор схемаси (а) ва кучланишлар вектор диаграммаси (б).

билан аниқланади. Бунда \dot{U}_2 кучланишнинг қиймати камай бошлайди. Агар ротор $\alpha = 180^\circ$ га бурилса, индукцион регулятордан олинadиган кучланиш ўзининг энг кичкина қийматига, яъни \dot{U}_{2min} га эришади. Бунда: $\dot{U}_{2min} = \overline{OA}_2 = \dot{U}_1 - \dot{E}_2$. Умуман, ротор 360° га бурилса, \dot{U}_1 ва \dot{E}_2 векторларнинг йиғиндиси билан аниқланadиган \dot{U}_2 векторнинг геометрик ўрни радиуси AB ва маркази A бўлган айланада жойлашади. Шундай қилиб, индукцион регулятор орқали истеъмолчига берилadиган кучланишни \dot{U}_{2min}



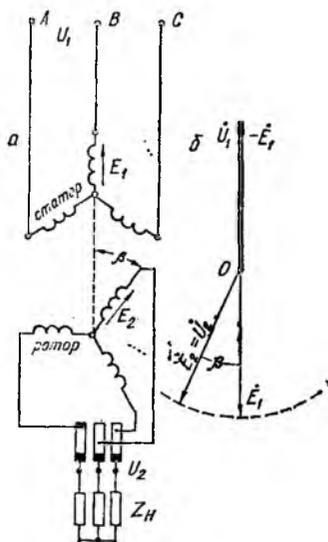
136-расм.

ва \dot{U}_{2max} гача ўзгартириш мумкин бўлади. 136-расмда \dot{U}_2 кучланишнинг роторнинг бурилиш бурчаги α га боғланиши кўрсатилган ($\dot{U}_2 = f(\alpha)$).

Индукцион регулятор ишлаганда унинг роторига катга айлантирувчи момент таъсир қилади. Червяк узатмаси маховик ёрдамида роторни буриш ва бир вақтда уни тормозлаш учун хизмат қилади. Ротор бурилганда E_2 нинг фазаси \dot{U}_1 кучланиш фазасига нисбатан ўзгаради. Натижада кучланиш \dot{U}_2 вектори, кўпинча, тармоқ кучланиши векторига нисбатан маълум бурчакка силжиган бўлади. Шунинг учун бундай регулятор трансформатор билан параллел ишлай олмайди. Иккита асинхрон машинадан тuzилган қўш индукцион регуляторда \dot{U}_2 ва \dot{U}_1 кучланишлар доимо бир фазада бўлади. Индукцион регуляторлар илмий тадқиқот лабораторияларида, автоматикада, ўлчов приборларини соzлашда кучланишни жуда аниқ ва текис ўзгартиришда кенг қўлланади.

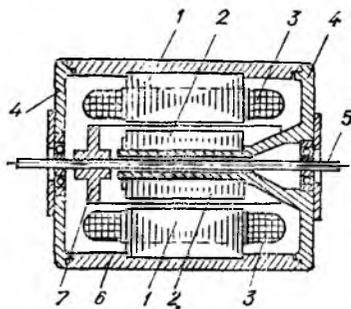
63. Фазарегулятор

Тормозланган фаза роторли асинхрон двигатель фазарегулятор, яъни кучланиш фазасини ўзгартирувчи машина сифатида ҳам ишлай олади. Фазарегуляторда статор ва ротор чулғамлари электр жиҳатидан ўзаро боғланмаган бўлади. Унинг статор чулғами тармоққа уланади, ротор чулғамларидан эса фазаси ўзгарган кучланиш олинади (137-расм). Фаза регуляторнинг ротори червяк узатмаси орқали маховик ёрдамида бурилади. Ротор бурилганда ундan олинadиган кучланишнинг (тармоқ кучланишига нисбатан) фақат фазаси ўзгариб, қиймати эса ўзгармайди. Фазарегуляторлар автоматика қурилмаларида, электр ўлчов приборларини, масалан, электр сўтчикларни текширишда кенг ишлатилади. Ҳозир мамлакагимизда қуввати 1 дан 15 кВА гача бўл-



137-расм. Фазарегулятор схемаси (а) ва кучланишлар вектор диаграммаси (б).

ли (қалинлиги 0,2...1,0 мм) бўлади. Цилиндр бир томондан вал 5 га маҳкамланади. Цилиндрик ротор статорнинг ташқи 1 ва ички 2 ўзаклари орасидаги ҳаво бўшлиғида жойлашади (138-расм). Ротор билан статор ўзаклари орасидаги ҳаво бўшлиғи 0,1...0,25 мм ни ташкил қилади. Статор ўзаклари оралиғи 0,5...1,0 мм га тенг. Ташқи статор оддий конденсаторли двигателнинг статори каби тайёрланади. Унда бир-биридан фазода 120° га силжиган иккита чулғам 4 бўлади. Ички статор ҳаво бўшлиғи орқали ўтувчи магнит оқимининг йўлида учрайдиган магнит қаршилиқни камайтиради. Баъзи двигателларнинг ички статори пазларида ҳам битта ёки иккита чулғам бўлади. Ишлаш принципи қуйидагича: двигатель тармоққа уланганда ҳосил бўлалиган айланма магнит майдонининг ротордаги уярма тоқлар билан ўзаро таъсири натижасида роторга электромагнит момент таъсир қилади. Ротор енгил бўлгани учун двигателнинг инерция momenti кичкина, бу эса двигателнинг тез ишлаб кетишини таъминлайди. Ҳаво бўшлиғи катта бўлгани учун двигателнинг салт ишлаш токи катта бўлади (баъзан номинал токнинг 90% гача етади). Бу эса двигателнинг ФИК ини камэйтиради. Бундай двигателларнинг қувваг коэффициенти 0,4...0,5, ФИК 20...40% булади. Юпқа алюминийдан ишланган цилиндрлик роторли двигателларнинг қуввати ватт улушларидан бир неча юз ваттгача боради. Двигателлар 50 Гц саноат частогасида ёки юқори час-



138-расм.

ган ФР ва ФРО маркали уч фазали фазарегуляторлар ишлаб чиқарилади.

64. Ичи бўш цилиндр роторли асинхрон двигатель

Бундай двигателнинг ротори алюминий котишмасидан ишланган цилиндр 7 кўринишида бўлиб, унинг ичи бўш, юпқа деворли (қалинлиги 0,2...1,0 мм) бўлади. Цилиндр бир томондан вал 5 га маҳкамланади. Цилиндрик ротор статорнинг ташқи 1 ва ички 2 ўзаклари орасидаги ҳаво бўшлиғида жойлашади (138-расм). Ротор билан статор ўзаклари орасидаги ҳаво бўшлиғи 0,1...0,25 мм ни ташкил қилади. Статор ўзаклари оралиғи 0,5...1,0 мм га тенг. Ташқи статор оддий конденсаторли двигателнинг статори каби тайёрланади. Унда бир-биридан фазода 120° га силжиган иккита чулғам 4 бўлади. Ички статор ҳаво бўшлиғи орқали ўтувчи магнит оқимининг йўлида учрайдиган магнит қаршилиқни камайтиради. Баъзи двигателларнинг ички статори пазларида ҳам битта ёки иккита чулғам бўлади. Ишлаш принципи қуйидагича: двигатель тармоққа уланганда ҳосил бўлалиган айланма магнит майдонининг ротордаги уярма тоқлар билан ўзаро таъсири натижасида роторга электромагнит момент таъсир қилади. Ротор енгил бўлгани учун двигателнинг инерция momenti кичкина, бу эса двигателнинг тез ишлаб кетишини таъминлайди. Ҳаво бўшлиғи катта бўлгани учун двигателнинг салт ишлаш токи катта бўлади (баъзан номинал токнинг 90% гача етади). Бу эса двигателнинг ФИК ини камэйтиради. Бундай двигателларнинг қувваг коэффициенти 0,4...0,5, ФИК 20...40% булади. Юпқа алюминийдан ишланган цилиндрлик роторли двигателларнинг қуввати ватт улушларидан бир неча юз ваттгача боради. Двигателлар 50 Гц саноат частогасида ёки юқори час-

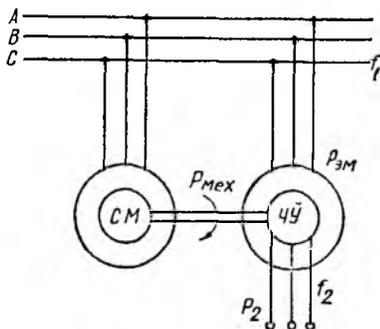
тоталарда (200, 400, 500 ва 1000 Гц) ишлашга мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Бундай двигателлар автоматика қурилмаларида иш бажарувчи двигатель сифатида ишлатилади. Мамакатимизда бундай асинхрон двигателлар АДП, ДИД ва ЭМ серияларида ишлаб чиқарилади.

65. Асинхрон частота ўзгартиргич

Фаза роторли асинхрон двигатель частота ўзгартирувчи машина сифатида ишлаши мумкин. Бунда фаза роторли асинхрон машинанинг статор чулғами частотаси $f_1 = 50$ Гц бўлган тармоқ кучланишига уланади. Ўзгартirilган частотада ишлайдиган истеъмолчи, масалан, қисқа тугаштирилган роторли асинхрон двигатель фаза роторли машинанинг ротор чулғамига уланади. Агар фаза роторли машинанинг ротори қўзғалмас бўлса, ротор занжиридан олинadиган кучланиш частотаси ҳам $f_2 = 50$ Гц га тенг бўлади. Бунда фаза роторли асинхрон машина трансформатор каби ишлайди. Фаза роторли машина частота ўзгартиргич сифатида ишлаши учун унинг ротори бирорта бошқа двигатель (масалан, ўзгармас ток, асинхрон ёки синхрон двигатель) ёрдамида, айланма магнит майдони йўналишида ёки тескари томонга айлантирилиши лозим. Бунда ротор чулғамидан олинadиган кучланишнинг частотаси ўзгаради. Бунда фаза роторли асинхрон двигатель билан ўзгармас ток двигатели бир ўқда ўрнатилади (139-расм). Агар частота ўзгартиргичнинг ротори (ўзгармас ток двигатели ёрдамида) айланма магнит майдони йўналишида айлантирилса $f_2 < f_1$, сирпаниш эса $s < 1$ бўлади. Агар частота ўзгартиргич ротори магнит майдони йўналишига тескари айлантирилса, ротор чулғами кучланишининг частотаси 50 Гц дан катталашади, бунда $f_2 > f_1$ бўлади. Асинхрон частота ўзгартиргичда ротор чулғамининг қуввати P_2' асинхрон машинанинг электромагнит қуввати $P_{эм}$ ва бирламчи двигателдан олинadиган механик қувват $P_{мех}$ дан иборат бўлади:

$$P_2' = P_{эм} + P_{мех}.$$

Бу қувватлар нисбати сирпанишга боғлиқ ва $s = 2$ бўлганда улар тенглашади. Бунда ротор чулғами қувватнинг ярмини статордан, қолган ярмини эса бирламчи двигателдан олади. Бирламчи двигатель сифатида кўпинча ўзгармас ток двигатели ишлатилади. Лекин ротор чулғамидан маълум $f_2 = \text{const}$ частотали кучланиш олиш талаб қилинса, бирламчи двигатель сифатида асинхрон ёки синхрон двигателлардан ҳам фойдаланилади.



139-расм.

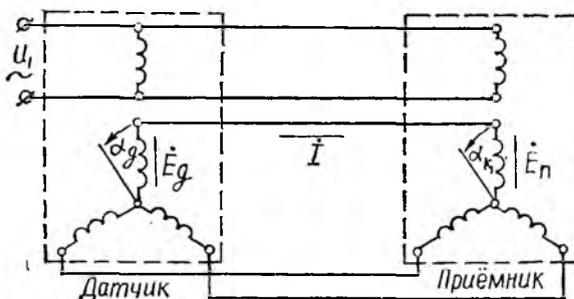
66. Синхрон узатма системасида асинхрон машинанинг ишлатилиши

Автоматика қурилмаларида маълум масофада турган ва ўзаро механик боғланмаган валларнинг бир вақтда, яъни синхрон айланиши ёки маълум бурчакка баробар бурилиши талаб қилинади. Бундай ҳолда синхрон узатмадан фойдаланилади. Бунда валлар орасидаги механик боғланиш уларнинг электр боғланиши билан алмаштирилади. Синхрон узатманинг асосий элементи сельсиндир. Сельсин бу ўз-ўзидан синхронланадиган демакдир. Сельсин икки чулғами электр машина бўлиб, унинг бир фазали чулғами қўзғатиш чулғами дейилади. Юлдуз усулида уланган уч фазали чулғам синхронлаш чулғами дейилади. Қўзғатиш чулғами роторда, бошқаси статорда жойлашади.

Индуктор режимида ишлайдиган оддий синхрон узатма иккита сельсиндан, яъни сельсин-датчик ва сельсин-приёмникдан ташкил топган (140-расм). Сельсинларнинг қўзғатиш чулғами \dot{U}_1 кучланишли тармоққа уланса, қўзғатиш чулғамининг токи уларда пульсланувчи магнит оқимини ҳосил қилади. Бу оқим датчикнинг синхронлаш чулғамида E_d ни; сельсин-приёмникнинг синхронлаш чулғамида E_n ЭЮК ларни ҳосил қилади. Бу ЭЮК лар бир-бирига қарама-қарши йўналади. Сельсин-приёмник ротори унинг статорига нисбатан қандай вазиятда турган бўлса, датчик ротори ҳам ўзининг статорига нисбатан шундай вазиятда турганда E_d ва E_n ЭЮК лар қиймати ўзаро тенг бўлади. Бу ҳолда синхронлаш чулғамида ЭЮК лар йиғиндиси нолга тенг ва, демак, синхрон узатма мувозанатда бўлади. Агар сельсин датчик ротори маълум α_d бурчакка бурилса, синхронлаш чулғамининг ЭЮК нинг қиймати ўзгаради, ЭЮКлар мувозанати бузилади. У ҳолда синхронлаш чулғамида йиғинди ЭЮК ҳосил бўлади: $\Delta E = E_d + E_n$. Бу ЭЮК синхронловчи ток ҳосил қилади:

$$I_c = \frac{\Delta E}{z_d + z_n + z_l},$$

бу ерда: z_d , z_n — датчик ва приёмник синхронловчи чулғамининг қаршиликлари; z_l — линия қаршилиги,



140- расм.

Датчикнинг синхронловчи токини магнит оқим билан ўзаро таъсири натижасида унинг роторига электромагнит момент таъсир этади. Бу момент датчик роторининг ҳаракатига тескари йўналида, шунинг учун бу момент датчик роторини α_d бурчакка бурадиган механизм momenti билан мувозанатлашади. Приёмник синхронлаш токининг қўзғатиш чулғами ҳосил қилган магнит оқими билан ўзаро таъсири натижасида датчик ротори ҳаракати йўналишида электромагнит момент ҳосил қилади; бу момент синхронловчи момент дейилади. Бу момент таъсирида приёмникнинг ротори бурилади. Лекин у $\alpha_p \approx \alpha_d$ бурчакка бурилганда статорга нисбатан датчик ротори вазиятида бўлганда ЭЮК лар E_p, E_d га тенг бўлади ва система яна мувозанатлашади. Агар датчик ротори яна маълум бурчакка бурилса, приёмник ротори ҳам худди шу бурчакка бурилади. Датчик ротори маълум тезлик билан айланса, приёмник ротори ҳам шу томонга ва шу тезликда айланади. Лекин приёмникнинг ротори датчик ротори бурилган бурчакка тенг бурчакка бурилмайди, яъни уларнинг бурилиши маълум бурчакка фарқ қилади, яъни:

$$\Theta = \alpha_d - \alpha_p.$$

Приёмникнинг ротори бурилиши учун синхронловчи момент, подшипникларнинг ва контакт ҳалқаларининг ишқаланиши, баъзан эса приёмник валида фойдали нагрузка таъсирида ҳосил бўладиган моментни енгиши керак.

Сельсин-приёмник ротори датчик кетидан синхрон ҳаракатланади. Лекин сельсинлар роторининг бурилиш бурчаклари орасида ҳар доим фарқ бўлади. Сельсин-приёмник валида тескари таъсир этувчи момент қанча катта бўлса бу бурчаклар фарқи (Θ) шунча катта бўлади. Сельсинларда бу бурчак $2,5^\circ$ дан ошмайди; жуда аниқ ишлайдиган сельсинларда эса $0,75^\circ$ дан ошмайди.

Сельсин-приёмникнинг синхронловчи momenti қуйидагича аниқланади:

$$M_c = M_{\text{смак}} \cdot \sin \Theta,$$

бу ерда: $M_{\text{смак}}$ — бурчак $\Theta = 90^\circ$ га мос синхронловчи моментнинг максимал қиймати.

Юқоридаги формуладан бурчак фарқи 0° дан 90° гача ўзгарганда синхронловчи момент ортади, бу эса синхрон узатманинг турғун ишлашини таъминлайди. Θ бурчак бир градусга ўзгарганда синхронловчи моментнинг ўзгариши солиштирма синхронловчи момент дейилади. Солиштирма синхронловчи момент қанча катта бўлса, сельсин приёмник шунча аниқ ишлайди:

$$M_{\text{с-сол}} = \frac{dM_c}{d\Theta} = M_{\text{смак}} \cdot \cos \Theta.$$

бу ерда: $M_{\text{с-сол}}$ — солиштирма синхронловчи момент.

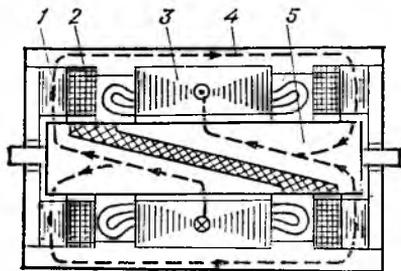
Сельсинлар контактли ва контактсиз сельсинларга бўлинади. Контактли сельсин уч ҳалқали асинхрон двигателдан ҳеч фарқ

қилмайди. Баъзан сельсиннинг статор ва ротори аён қутбли қилиб ишланади. Бундай сельсинда синхронловчи момент каттароқ бўлади. Сельсинда қўзғатиш чулғами роторда жойлашса, иккита контакт ҳалқа, статорда жойлашса — учта бўлади. Контакт ҳалқали сельсинлар қўпол бўлади, турғун ишлмайди.

Кейинги вақтларда анча такомиллашган контактсиз сельсинлар кенг ишлатилмоқда. Бундай сельсинда бир фазали қўзғатиш чулғами 2 ҳам, уч фазали синхронлаш чулғами 3 ҳам унинг қўзғалмас қисмида жойлашади. Синхронлаш чулғами статор пўлат ўзаги пазларига ўрнатилади. Статор 5 нинг икки томонида юпқа электротехника пўлатидан йиғилган тороидал пўлат ўзак 1 ўрнатилади (141-расм). Контактсиз сельсиннинг қўзғатиш чулғами 2 иккита ҳалқа ғалтак кўринишида тайёрланади ва статор чулғами билан тороидал пўлат ўзак орасига ўрнатилади. Қўзғатиш ва синхронлаш чулғамлари қўзғалмас бўлгани учун бундай сельсин сирпанувчи контактлардан холи.

Сельсин ишлаганда синхронлаш чулғами билан қуршаладиган магнит майдон унинг қўзғатиш чулғами томониан ҳосил қилинади. Контактсиз сельсиннинг ротори 5 цилиндр шаклида бўлиб, бир-биридан қийшиқ ажратилган иккита пўлат ўзакдан (магнит қутбидан) тузилади. Улар орасидаги қийшиқ оралиқ 6 магнит хусусиятига эга бўлмаган материал (алюминий, силуним ёки пластмасса) билан тўлдирилади. Контактсиз сельсиннинг магнит системаси тороидал чекка пўлат ўзак 1, статор пўлат ўзаги 3, ташқи магнит ўтказгич (алюминийдан) 4 ва роторнинг ўнг ва чап пўлат ўзаклари 5 дан иборат бўлади. Сельсиннинг корпуси алюминийдан тайёрланади.

Сельсин ишлаганда унинг ротори айланади. Магнит хусусиятига эга бўлмаган оралиққа эга бўлганлиги сабабли магнит носоимметриклиги натижасида қўзғатиш чулғами ҳосил қилган магнит оқими ҳам ротор билан бирга айланади. Қўзғатиш чулғамининг пульсланувчи магнит оқими сельсиннинг магнит ўтказгичи орқали беркилади. Бу оқим куч чизиқларининг ўтиш йўли 141-расмда кўрсатилган. Берилган вақт давомида қўзғатиш чулғами тоқининг ҳосил қилган магнит оқими унинг ўнг ғалтагидан чап ғалтагига йўналади. Бу оқим роторни иккига ажратувчи магнит хусусиятига эга бўлмаган материалдан ўтмайди. Оқим ўтиш йўли



141-расм Контактсиз сельсиннинг тузилиши:

1 — ҳалқасимон ўзак, 2 — қўзғатиш чулғами, 3 — статор ўзаги, 4 — ташқи магнит ўтказгич, 5 — ротор, 6 — магнитмас материал.

қуйидагича: ўнг тороидал ўзак, ҳаво оралиғи, роторнинг ўнг пўлат ўзағи, ротор билан статор орасидаги ҳаво оралиғи, статорнинг пўлат ўзағи, ҳаво оралиғи орқали роторнинг чап қутби, ҳаво оралиғидан чап тороидал ўзак орқали ўтиб беркилади. Контактсиз сельсиннинг ишлаш принципи сельсин ротори айланганда қўзғатиш чулғамининг магнит оқими синхронлаш чулғами симларини кесиб ўтади ва чулғамнинг айрим фазаларида трансформацияланадиган ЭЮК ларнинг ўзгаришига асосланган

Контактсиз сельсин анча аниқ ва пишиқ ишлайди. Сирпанувчи контактларнинг йўқлиги бурилиш бурчакларини узатишда хатони камайтиради. Контактсиз сельсин ишлаганда магнит оқими ҳаво оралиғи орқали тўрт марта ўтади. Шунинг учун берилган қувватда қўзғатиш чулғамининг магнит оқими кичкина бўлади. Тузилишининг мураккаблиги, қувват коэффициентининг кичиклиги бундай сельсинларнинг камчилиги ҳисобланади.

IV БЎЛИМ. СИНХРОН МАШИНАЛАР

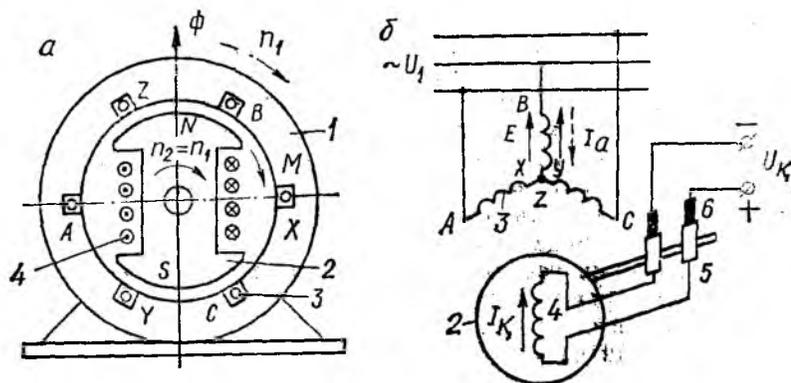
ХIII БОБ. СИНХРОН МАШИНАНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ, ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАТИЛИШИ

67. Синхрон машинанинг ишлаш принципи

Синхрон машина ҳам асосан икки қисмдан, яъни қўзғалмас қисми — статор ва айланувчи қисми ротордан иборат. Машинанинг статори тузилиши жиҳатидан асинхрон машинанинг статоридан фарқ қилмайди. Статор 1 машинанинг корпуси, статорнинг пўлат ўзаги ва пўлат ўзак пазларига жойлаштирилган битта ёки учта чулғам 3 дан тузилган. Синхрон машина бир фазали ва уч фазали бўлиши мумкин. Машинанинг роторига магнит кутблари ўрнатилади (142-расм, а). Қутбларнинг пўлат ўзагида ўзгармас ток манбаидан таъминланадиган чулғам 4 бор. Бу чулғам синхрон машинанинг қўзғатиш* чулғами дейилади. Ротор 2 кутбларидаги бу чулғамга ўзгармас ток ҳалқа 5 ва чўтка 6 орқали ўзгармас ток манбаидан берилади (142-расм, б). Синхрон машинанинг асосий магнит оқимини қўзғатиш чулғамининг токи ҳосил қилади. Агар ротор қандайдир бирламчи двигатель ёрдамида, масалан n_2 тезлик билан айлантирилса, қўзғатиш чулғами ҳосил қиладиган магнит оқими статор чулғами симларини кесиб ўтади ва унда частотаси $f_1 = \frac{n_2 p}{60}$ билан аниқланадиган ЭЮК ҳосил қилади (142-расм, б). Агар статор чулғамига уч фазали истеъмолчи уланса, чулғамлардан уч фазали нагрузка токи ўта бошлайди. Бу тоқлар статор ичида айланма магнит майдони ҳосил қилади. Бу майдоннинг айланиш частотаси $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ билан аниқланади. Юқорида келтирилган формулалардан $n_1 = n_2$ бўлишини аниқлаймиз. Демак, синхрон машинанинг ротори унинг статори ичида нагрузка токи ҳосил қиладиган айланма магнит майдонининг айланиш частотаси билан бир хил тезликда айланар экан. Шунинг учун ҳам бундай машиналар синхрон машиналар дейилади.

Синхрон машинада (умуман электр машиналарида) унинг асосий ЭЮК ҳосил бўладиган ва нагрузка тоқлари ўтадиган чулғам (статор чулғами) якорь чулғами дейилади. Қўзғатиш чулғами ўрнатилгани (ротори) индуктор дейилади. Демак, 142-расмда келтирилган синхрон машинада статори — якорь; ротори эса ин-

* Қўзғатиш чулғами — магнит майдонини қўзғатадиган, яъни ҳосил қиладиган чулғам демакдир.



142-расм Синхрон машинанинг электромагнит схемаси (а) ва унинг уланиши (б).

дуктор ҳисобланади. Умуман, ишлаш принципи жиҳатидан синхрон машинада унинг якори қўзғалмас, индуктори айланувчан ёки аксинча бўлиши мумкин. Баъзи машиналарда нағрузка тоқлари ўтадиган якорь чулғами роторга, қўзғатиш чулғами эса статорга ўрнатилади. Лекин ҳозирги замон катта қувватли синхрон генераторларида қулайлик яратиш учун якорь чулғами статорда, ўзгармас ток манбаидан таъминланадиган қўзғатиш чулғами роторда ўрнатилади.

Синхрон машина генератор сифатида ҳам, двигател сифатида ҳам ишлай олади. Лекин амалда бундай машиналар асосан генератор сифатида ишлатилади. Саноат корхоналарида баъзи ўртача ва катта қувватли механизмларни ҳаракатга келтириш учун синхрон двигателлар ҳам қўлланилади.

Синхрон машина генератор сифатида ишлаши учун унинг роторини қандайдир бирламчи двигател ёрдамида айлантириш лозим. Бунда машинанинг асосий магнит майдони статор чулғами ўрамларини кесиб ўтади ва бу чулғамда ЭЮК ҳосил қилади. Демак, синхрон генератор электромагнит индукцияси қонуни асосида ишлайди. Бунда бирламчи двигателнинг механик энергияси синхрон генераторда электр энергияга айланади.

Агар синхрон машинанинг статор чулғамлари кучланиш U ва частота f_1 бўлган электр тармоғига кейинги параграфларда ўрганиладиган шартларга риоя қилган ҳолда уланса, чулғамлардан ўтувчи уч фазали тоқлар, асинхрон машинадагига ўхшаб, статор ичида айланма магнит майдони ҳосил қилади. Бу майдоннинг машина қўзғатиш чулғамининг токи I_k ҳосил қилган майдон билан ўзаро таъсири натижасида машинанинг роторига айлантирувчи электромагнит момент таъсир эта бошлайди. Машина двигател бўлиб ишлаганда электромагнит момент айлантирувчи момент бўлади. Генератор сифатида ишлаганда бу момент тормозловчи

момент бўлади. Машина турғун режимда ишлаб турганда унинг ротори магнит майдонига нисбаган қўзғалмасдир ва ротор валидаги механик нагрузкага боғлиқ бўлмаган ҳолда $n_1 = n_2$ частота билан айланади. Синхрон машина турғун режимда ишлаганда қ. йидаги ўзига хос хусусиятларга эга бўлади:

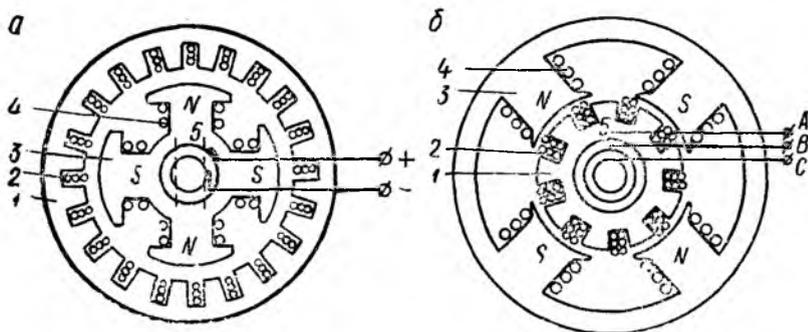
а) машина генератор ёки двигатель режимида ишлаганда унинг ротори магнит майдонининг айланиш частотасига тенг бўлган ўзгармас частота билан айланади;

б) якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК нинг частотаси роторнинг айланиш частотасига пропорционал бўлади;

в) машина турғун режимда ишлаб турганда унинг ротор чулғамида ЭЮК ҳосил бўлмайди, машинанинг МЮК қўзғатиш токи билан аниқланади ва унинг ишлаш режимига боғлиқ бўлмайди.

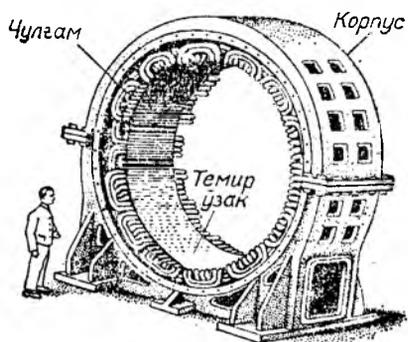
68. Синхрон машинанинг тузилиши

Олдин айтиб ўтилганидек, синхрон машиналарнинг якори қўзғалмас ёки айланувчан бўлиши мумкин. Машинанинг статорида ҳосил буладиган электр энергиясини истеъмолчиларга узатиш осон бўлиши учун катта қувватли синхрон генераторлар қўзғалмас якорли қилиб тайёрланади (143-расм, а). Одатда, қўзғатиш чулғамининг қуввати машинанинг якоридан олинadиган қувватга нисбатан анча кичкина (0,3 . . . 2%) бўлади. Бу шароитда қўзғатиш чулғамига иккита ҳалқа ва чўтка орқали ўзгармас ток бериш унча қийинлик туғдирмайди. Қуввати унча катта бўлмаган синхрон машиналар қўзғалмас якорли ёки айланувчан якорли қилиб тайёрланиши мумкин. 143-расмда қўзғалмас (а) ва айланувчан якорли (б) синхрон машинанинг конструктив схемаси келтирилган. Синхрон машиналарда статор пўлат ўзаги қалинлиги 0,35 . . . 0,5 мм (катта машиналарда 1—1,5 мм) бўлган ва махсус пўлатдан тайёрланган айрим пластинкалардан йигилади. Якорь, яъни статор чулғамлари мис симлардан тайёрланади. Чулғамларнинг бош учлари С1, С2, С3 ва охириги учлари С4, С5, С6



143-расм Қўзғалмас ва айланувчи якорли синхрон машинанинг конструктив схемаси:

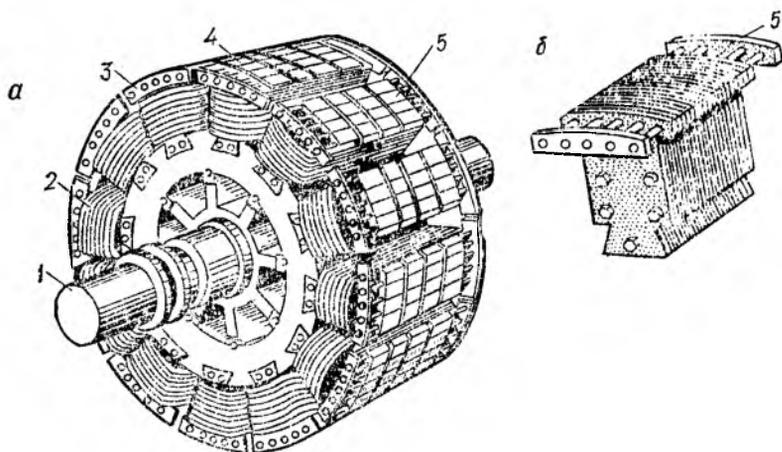
1 — якорь, 2 — якорь чулғами, 3 — индуктор қутблари, 4 — қўзғатиш чулғами, 5 — ҳалқа ва чўткалар.



144-рasm. Синхрон машинанинги ста-
тори.

145-рasm. Аён қутбли ротор (а) ва
қутб пўлат ўзаги (б):

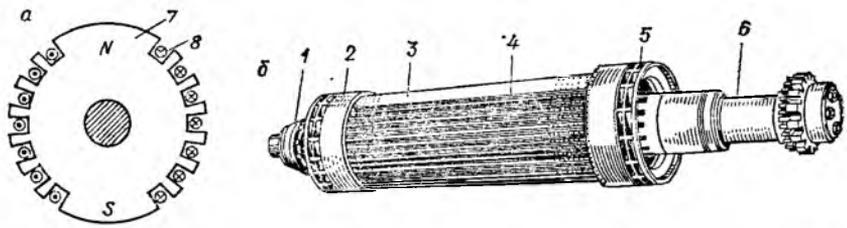
1 — вал, 2 — қўзғатиш чулғами, 3 — юргизиш
стерженлари, 4 — магнит қутби, 5 — тивч-
лантирувчи (демпфер) чулғам.



ҳарфлар билан белгиланади. 144-рasmда синхрон машина ста-
торининг умумий кўриниши берилган.

Синхрон машиналар роторининг тузилишига қараб икки хил
бўлади: а) магнит қутблари яққол кўриниб турадиган, яъни аён
қутбли ротор; б) магнит қутблари алоҳида кўринмайдиган, яъни
аёнмас қутбли ротор.

Аён қутбли ротор (145-рasm, а) асосан вал ва унга кийди-
рилган ротор гардиши ва шу гардишга маҳкамланадиган магнит
қутблардан тузилади. Қутблар пўлат ўзаги ҳам штампланган юп-
қа пўлат пластинкалардан йиғилади. Қутб учларига маълум шакл
берилади: бунда қутб марказидаги ҳаво оралиғи унинг четлари-
даги ҳаво оралиғига нисбатан кичкина бўлади (145-рasm, б).
Шу йўл билан ҳаво оралиғида магнит индукциясини синусоида-
га яқин шаклда тарқалишига эришилади. Аён қутбли роторнинг
ҳар бир қутбларига уралган қўзғатиш чулғами узаро кетма-кет
уланади. Бу чулғамнинг икки учи валга маҳкамланган ва ундан
яқши изоляцияланган мис ёки латунь ҳалқаларга уланади. Ҳал-
қаларда чўткалар сирпанади. Чўткалар симлар ёрдамида маши-

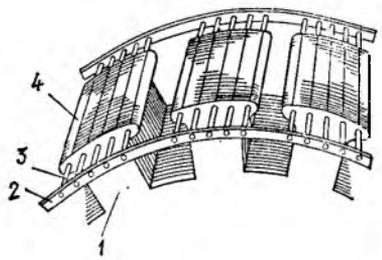


146- расм. Аёнмас қутбли ротор пазлари (а) ва шундай роторнинг умумий кўриниши (б):

1—контакт ҳалқалари, 2—ҳалқа бандажлар, 3—ротор танаси, 4—металл поналар, 5—вентилятор, 6—вал, 7—ротор пўлат ўзаги, 8—қўзғатиш чулғами

нанинг ташқи клеммасига уланади. Қўзғатиш чулғами клеммалари I_1 ва I_2 ҳарфлар билан белгиланади.

Аёнмас қутбли ротор валдан ва валга кийдирилган махсус пўлатдан ясалган цилиндрик (яхлит ёки йиғма) ротор танасидан иборат. Ротор танасида қўзғатиш чулғами ўрнатиладиган пазлар бор. Ҳаво оралиғида магнит индукциясини тахминан синусоидал тақсимланишини таъминлаш мақсадида пазлар ротор танаси айланасининг $2/3$ қисмидагина бўлади (146- расм, а). Қўзғатиш чулғамининг учлари ҳалқа ва чўткалар орқали машинанинг таш-

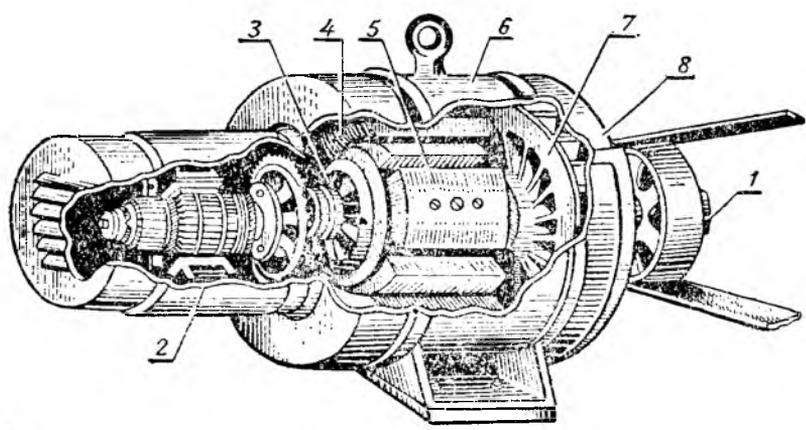


147- расм. Синхрон двигателларда юргизиш (синхрон генераторларда—демпфер) чулғамининг тузилиши:

1—ротор қутби, 2—қисқа туташтирувчи ҳалқа, 3—стерженлар, 4—қутб бошмоқлари.

148- расм. Синхрон генераторнинг асосий қисмлари:

1—вал, 2—қўзғатгич, 3 — контакт ҳалқалар, 4—статор чулғами, 5—қўзғатиш чулғами, 6—станина, 7—вентилятор, 8—подшипник шчити.



қи клеммаларига чиқарилади. 146-расм, б да аёнмас қутбли роторнинг умумий кўриниши берилган.

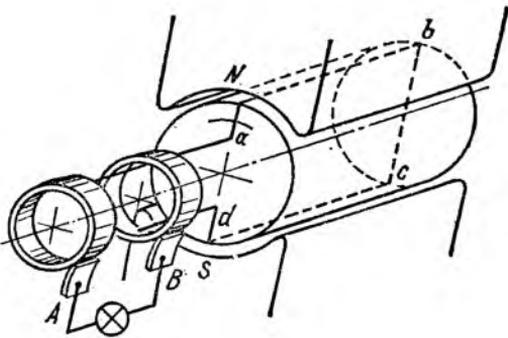
Аён қутбли роторли синхрон двигателларнинг айрим қутблари учига юргизиш чулғамининг латундан тайёрланган стерженлари ўрнатилади (147-расм). Синхрон генераторларда худди шундай чулғам мис стерженлардан тайёрланади. Бу чулғам (стерженлар) тинчлантирувчи чулғам ёки демифер чулғам дейилади. Тинчлантирувчи чулғам синхрон машина ўткинчи режимларда ишлаганда ҳосил бўладиган роторнинг тебранишларини тезроқ тўхтатишга ёрдам беради. Синхрон машиналарда юқорида қайд қилинган асосий қисмлардан ташқари подшипниклар ўрнатиладиган қопқоқлар, чўткалар қурилмаси ва ўртача қувватли машиналарда ротор валига ўрнатишга вентилятор ва бошқа қўшимча қисмлар бўлади. 148-расмда кичик қувватли синхрон генераторнинг асосий қисмлари кўрсатилган.

69. Синхрон генераторларнинг турлари

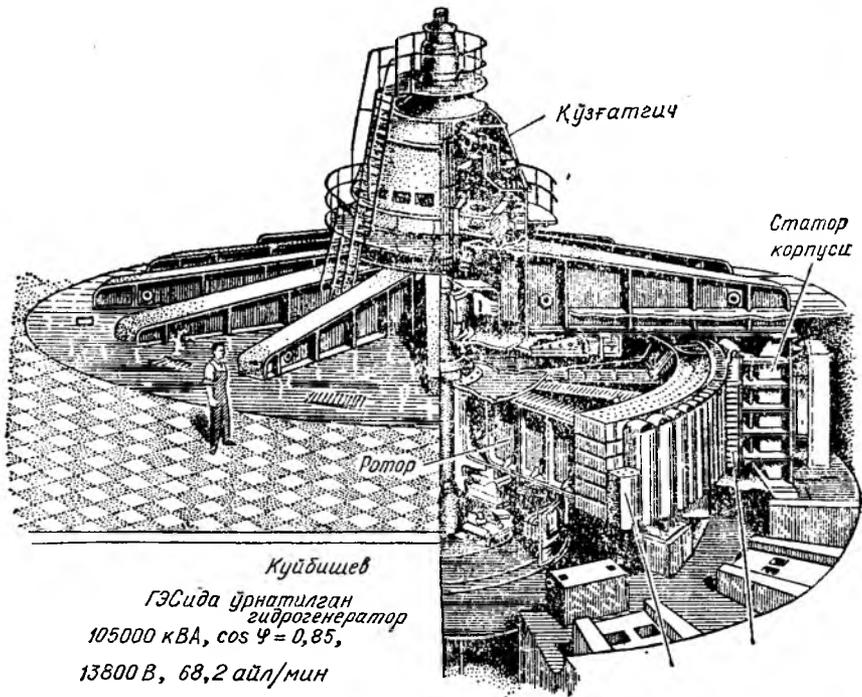
Олдин айтиб ўтилганидек, синхрон генератор электромагнит индукцияси қонуни асосида ишлайди. Генератор ишлаши учун унинг қўзғатиш чулғами ўзгармас ток манбаига уланади. қўзғатиш токи машинанинг асосий магнит оқимини ҳосил қилади. Машинанинг ротори бирламчи двигатель ёрдамида айлантирилганда магнит майдонининг куч чизиқлари статор чулғамларида ЭЮК ҳосил қилади. 149-расмда ўзгарувчан ток генераторининг энг оддий модели берилган. Агар статор билан ротор орасидаги ҳаво оралиғида магнит индукцияси синусоидал қонун бўйича тарқалса ($B = B_m \sin \alpha$), статор чулғамларида синусоидал ЭЮК ҳосил бўлади: $e = Blv = B_m lv \sin \alpha$. Амалда уч фазали синхрон генераторлар жуда кўп ишлатилади. Уч фазали синхрон генератордан уч фазали синусоидал ўзгарувчан ЭЮК олинади.

Синхрон генераторларни турли хил бирламчи двигателлар ҳаракатга келтиради. Бирламчи двигателлар сифатида буғ турбинаси, гидротурбина, ички ёнув двигателлари (дизеллар ёки локomobilлар) ишлатилади. Буғ турбиналари ёрдамида ҳаракатга келтириладиган генератор турбогенератор; гидротурбина ёрдамида ҳаракатга келтириладигани гидрогенератор дейилади. Булардан ташқари, дизель-генераторлар ҳам кенг ишлатилади.

Гидроэлектр станцияларда гидрогенераторлар ўрнатилади (150-расм) ва улар гидротурбина ёрдамида ҳаракатга келтири-



149-расм.



Куйбишев
ГЭСида ўрнатилган
гидрогенератор
105000 кВА, $\cos \varphi = 0,85$,
13800 В, 68,2 айл/мин

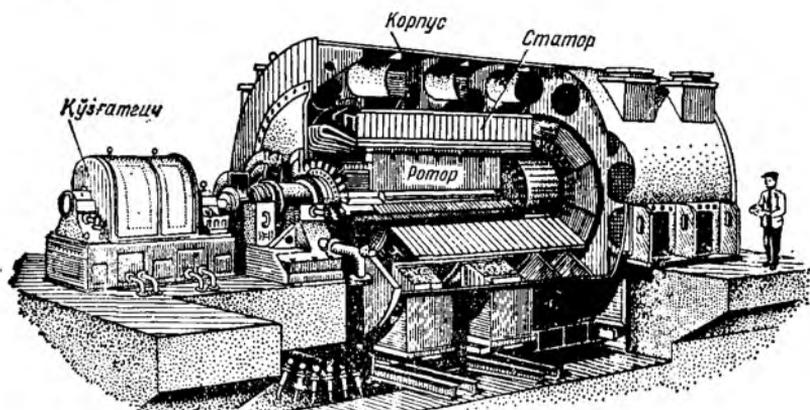
150-расм. Куйбишев ГЭС ида ўрнатилган кучлиниши 13800 В, қуввати 105000 кВА бўлган гидрогенератор; $U_n = 13,8$ кВ; $n = 68,2$ айл/мин.

лади. Гидрогенераторларнинг айланиш частотаси унча катта эмас ($n_2 = 60 - 500$ айл/мин). Гидрогенераторларнинг ротори аён қутб-лидир. Статор чулғамида саноат частотасига тенг частотали ўзгарувчан ЭЮК ҳосил бўлиши учун роторда анча магнит қутблари ўрнатишга тўғри келади. Масалан, гидрогенераторнинг айланиш частотаси $n_2 = 250$ айл/мин бўлса, генератор роторида $p = \frac{60 \cdot f_1}{n_2} = \frac{300}{250} = 12$ жуфт магнит қутби ўрнатиш лозим бўлади;

шундагина ундан олиннадиган ЭЮК нинг частотаси $f_1 = 50$ Гц бўлади. Демак, гидрогенераторлар кўп қутбли, секин айланадиган, вертикал вазиятда ўрнатилади-ган аён қутбли машиналардир.

Ҳозирги вақтда гидроэлектр станцияларда ўрнатилаётган генераторларнинг қуввати 200 ... 1000 МВ · А гача боради. Масалан, Саяно-Шушенское ГЭСида қуввати 7640 МВ · А бўлган генераторлар ўрнатишмоқда; генераторнинг айланиш частотаси 143 айл/мин; роторнинг диаметри 12 м га яқин; статор магнит ўтказгичининг узунлиги 2,75 м.

Иссиқлик электр станцияларида турбогенераторлар ўрнатилади (151-расм) ва улар буғ турбиналари ёрдамида ҳаракатга кел-



Турбогенератор қирқими.
150000 кВА, 11000 В, 3000 айл/мин

151-расм. Кучланиши 11000 В, қуввати 150000 кВА, айланиш частотаси 3000 айл/мин бўлган турбогенератор.

тирилади. Турбогенераторларнинг айланиш частотаси кўпинча $n_2 = 1500 \dots 3000$ айл/мин бўлади, бундай айланиш частотасида роторнинг жуфт қутблари сони мос ҳолда $p = 2$ ва $p = 1$ бўлади. Шунда турбогенератордан олинadиган ЭЮК нинг частотаси $f_1 = 50$ Гц булади. Турбогенераторларда айланиш частотаси катта бўлгани учун уларда аёнмас қутбли цилиндрик ротор ўрнатилади. Турбогенератор ишлаганда унинг роторига, айланиш частотаси квадратига пропорционал бўлган, марказдан қочирма кучлар таъсир этади. Аён қутбли роторни марказдан қочирма кучлар таъсирига чидамли қилиб тайёрлаш анча мураккаб иш бўлгани учун бундай роторлардан турбогенераторларда фойдаланилмайди. Аёнмас қутбли цилиндрик роторнинг диаметри унинг актив узунлигидан анча кичкина бўлади. Айланиш частотаси 3000 айл/мин бўлганда механик мустаҳкамлиги жиҳатидан роторнинг энг катта диаметри 1,2... 1,25 м ни ташкил қилади; роторнинг актив узунлиги 6,0... 6,5 м Турбогенераторлар горизонтал вазиятда ўрнатиладиган машиналардир. Ҳозирда иссиқлик электр станцияларида қуввати 300, 500, 800 ва 1200 МВ · А бўлган турбогенераторлар ўрнатишмоқда

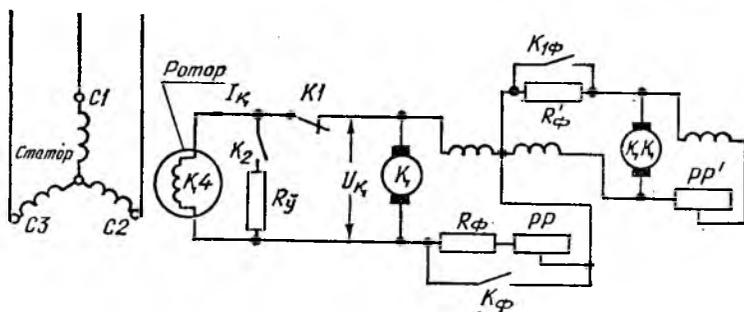
Ички ёнув двигателлари ёрдамида ҳаракатга келтириладиган дизель-генераторлар энергетика системаларидан узоқда жойлашган истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлашда кенг ишлатилади.

Қувватига ва айланиш частотасига қараб синхрон генераторларнинг номинал кучланиши 0,23; 0,4; 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 20; 24 ва 36,75 кВ, қўзғатиш чулғамининг номинал кучланиши 24... 400 В бўлади. Синхрон двигателларнинг номинал кучланиши 0,22; 0,38; 3; 6; 10 кВ бўлади.

70. Синхрон машиналарни қўзғатиш усуллари

Синхрон машинанинг роторида ўрнатиладиган қўзғатиш чулғами машинанинг асосий магнит майдонини ҳосил қилиш учун хизмат қилади. Бу чулғам ўзгармас ток манбаидан таъминланади. Ўртача ва катта қувватли синхрон генераторларнинг қўзғатиш чулғамлари шу генератор валида ўрнатиладиган ўзгармас ток генераторидан таъминланади (148, 150 ва 151-расмлар). Бу генератор қўзғатгич дейилади. Қўзғатгич синхрон генераторнинг қўзғатиш чулғамини ўзгармас ток билан таъминлайди. Одатда, қўзғатгичнинг қуввати синхрон генератор номинал қувватининг 0,3... 5% ини ташкил қилади. Бу ерда кичик рақам катта қувватли генераторларга тегишлидир.

Катта қувватли синхрон генераторларнинг қўзғатиш системасида асосий қўзғатгичдан ташқари унинг мустақил қўзғатиш чулғамини таъминлайдиган иккинчи қўзғатгич (қўзғатгичнинг қўзғатгичи) ҳам бор (152-расм). Синхрон генераторларнинг қўзғатиш системаси анча мураккаб бўлиб, бу системада қуйидагилар бўлади: асосий қўзғатувчи (K), қўзғатгичнинг қўзғатгичи (KK), ростлаш реостатлари (PP ва PP'), контакторлар (K_1 ва K_2), масофадан бошқариш аппаратлари, кучланишни автоматик усулда ростлайдиган қурилмалар. Катта қувватли синхрон генераторнинг қўзғатиш токи бир неча юз ампергача боради. Бу токнинг қиймати қўзғатгичнинг кучланишини ростлаш йўли билан ростланади. Бу мақсадда 152-расмдаги PP ва PP' реостатлардан фойдаланилади. Қўзғатиш системасида, баъзан авария вазиятида қўзғатиш токини жуда тез камайтирадиган, яъни магнит майдонини „ўчирадиган“ махсус қурилма ҳам бўлади. Умуман, синхрон машиналарда магнит майдони нормал эксплуатация шароитида ҳам, авария шароитида ҳам (статор чулғамлари қисқа туташганда) махсус автомат ёрдамида ўчирилади. Бу қурилма K_1 ва K_2 контакторларни ва майдон ўчирадиган R_y қаршиликларни ўз ичига



152-расм. Катта қувватли синхрон генераторни электр машина ёрдамида қўзғатиш схемаси:

K —қўзғатгич (параллел ёки мустақил қўзғатишли) ўзгармас ток генератори, KK —қўзғатгичнинг қўзғатгичи, PP ва PP' — ростловчи реостатлар, K_f ва K'_f — форсировка қилиш контакторларининг контактлари, R_f ва R'_f — резисторлар, K_1 ва K_2 — майдон учирувчи автоматнинг контактлари, R_y — токни сўндирувчи (магнит майдонини йўқотувчи) резистор.

олади (152-расм). Агар контактор контакти K_1 тўғридан-тўғри узилса, майдон ўчирилиши давомида электр ёйи қаршилигида майдоннинг ҳамма энергияси ажралади. Бу энергия контактор контактларини эритиб юборади. Бундан ташқари, қўзғатиш токининг жуда тез камайиши чулғамда жуда катта ўзиндукция ЭЮК ини ҳосил қилади, бу эса машинанинг изоляциясини шикастлаши мумкин. Бундай ҳодисалардан қутулиш учун олдин қўзғатиш чулғамини ўчириш $R_y = 5R_k$ қаршиликка улайдиган K_2 контактор бекилади, сўнгра K_1 контакт узилади. Бунда қўзғатгич синхрон машинанинг қўзғатиш чулғамидан ажралади.

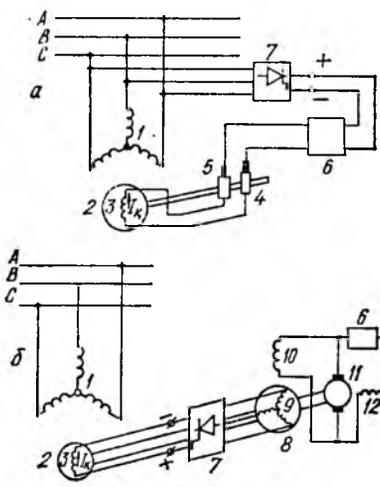
Тармоқ кучланиши жуда камайиб кетганда (қисқа туташуш узоқда бўлганда) синхрон машинани синхронизмда ушлаб қолиш учун қўзғатиш токини энг катта қийматгача ошириш, яъни форсировка қилиш қўлланилади. Форсировка қилиш машинанинг сақлагич реле асбоблари томонидан K_ϕ ва $K_{1\phi}$ контактларининг ишлашига автоматик импульс бериш йўли билан бажарилади. Бунда K_ϕ ва $K_{1\phi}$ контактлар бекилади ва R_ϕ ҳамда R'_ϕ қаршиликлар ва PP ростловчи реостат қисқа туташтирилади. Бу шароитла қўзғатиш токи энг катта қийматга эришади ва натижада қўзғатгичнинг якоридан кучланиш ўзининг энг катта қийматигача ўсиб боради.

Қўзғатиш чулғамини ўзгармас ток билан таъминлаш усулига қараб синхрон машиналарнинг қўзғатиш системаси икки хил бўлади: а) мустақил қўзғатиш системаси; б) ўз-ўзидан қўзғатиш системаси.

Мустақил қўзғатиш системасида қўзғатиш чулғами синхрон генератор валига ўрнатилган ўзгармас ток генератори, яъни қўзғатгичдан таъминланади (152-расм). Бу усул энг яхши усул ҳисобланиб, ГОСТ асосида гидрогенераторларда ҳам, турбогенераторларда ҳам кенг қўлланилади. Баъзан қўзғатиш чулғами махсус синхрон ёки асинхрон двигатель ҳаракатга келтирадиган қўшимча ўзгармас ток генераторидан таъминланиши ҳам мумкин.

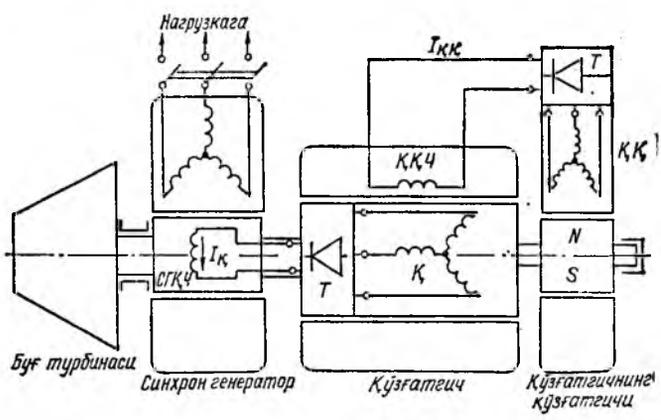
Ўз-ўзидан қўзғатиш системасида синхрон машинани қўзғатиш учун энергия унинг якорь чулғамидан олинади. Якордан олинган ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш бошқариладиган ёки бошқарилмайдиган ярим ўтказгичли тўғрилагичлар билан амалга оширилади (153-расм, а). Ҳозирда диод ёки тиристорлар билан йиғилган ярим ўтказгичли тўғрилагичлар ҳар хил қувватли синхрон двигательларда ҳам, генераторларда ҳам, шунингдек катта қувватли гидро ва турбогенераторларда ҳам қўлланилмоқда.

Сўнги вақтларда синхрон генераторларда чўтқасиз қўзғатиш системаси қўлланилмоқда. Бунда қўзғатгич сифатида якорь чулғами роторда жойлашган синхрон генератордан фойдаланилади. Тўғрилагич эса машинанинг валига маҳкамлаб ўрнатилади. Қўзғатгичнинг қўзғатиш чулғами иккинчи қўзғатгичдан таъминланади (153-расм, б) ва бу қўзғатгичнинг якорь кучланиши кучла-



153-расм. Синхрон генераторнинг қўзғатиш схемалари (а, б ва в):

1—якорь чулғами, 2—ротор, 3—қўзғатиш чулғами, 4—ҳалқа, 5—чўтка, 6—кучланиш регулятори, 7—тўғрилагич, 8—қўзғатгич ротори, 9—қўзғатгичнинг якорь чулғами, 10—қўзғатгичнинг қўзғатиш чулғами, 11—қўзғатгичнинг қўзғатгичи, 12—қўзғатгичнинг қўзғатиш чулғами.



ниш регулятори орқали бошқарилади. Қўзғатишнинг бундай системасида синхрон генераторнинг қўзғатиш чулғами занжирида сирпанувчи контактлар (ҳалқа ва чўткалар) бўлмайди. Бу эса қўзғатиш системасини яхши ва пишиқ ишлашини таъминлайди.

Энди синхрон генераторнинг ўз-ўзидан қўзғатиш принципи ҳақида тўхталамиз. Олдин бирламчи двигателъ ёрдамида ротор айлантирилади. Бунда магнит қутбларининг қолдиқ магнегизмининг куч чизиқлари статор чулғамларини кесиб ўтади ва уларда жуда кичик (10... 20 В) ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилади. Ўзгарувчан ток ярим ўтказгичли тўғрилагичлар ёрдамида ўзгармас токка айлантрилиб, қўзғатиш чулғамига берилади. I_K қўзғатиш гоки магнит майдонини кучайтиради, статор чулғамида каттарок ЭЮК ҳосил бўлади. Бу ЭЮК қўзғатиш чулғамида каттарок ток ҳосил қилади, натижада ЭЮК яна ошади ва ҳоказо. Бу процесс синхрон генераторнинг кучланиши ўзининг номинал қийматига

эришгунча давом этади ва машинанинг магнит системаси тўйинишга яқинлашади. 153-расм, в да ҳозирги замон катта қувватли турбогенератор чўткасиз қўзғатиш системасининг структура схемаси келтирилган.

71. Синхрон генераторнинг салт ишлаши

Олдин айтиб ўтилганидек, синхрон генераторнинг асосий магнит оқими Φ_0 қўзғатиш чулғами томонидан ҳосил қилинади. Ротор бирламчи двигатель ёрдамида айлантирилганда бу оқим статор чулғами симларини кесиб ўтади ва улардан ЭЮК ҳосил қилади. Уч фазали генераторнинг бир фазасида ҳосил бўладиган ЭЮК нинг таъсир этувчи қийматини (3 — 4) да аниқлаган эдик:

$$E_1 = 4,44\omega_1 k_1 f_1 \Phi_m, (B)$$

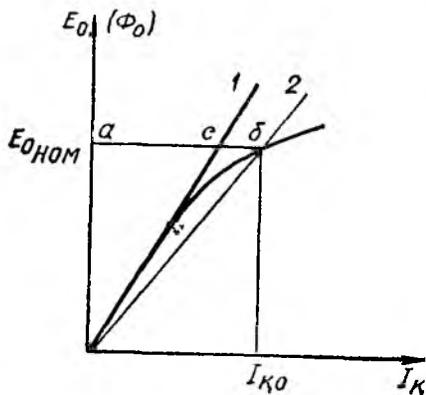
бу ерда: ω_1 — фаза чулғамининг ўрамлар сони; k_1 — чулғам коэффиценти; Φ_m — қўзғатиш чулғамининг максимал магнит оқими.

Қўзғатиш чулғамидан ўтувчи ток кичкина бўлганда магнит оқими ҳам кичкина бўлади, машинанинг магнит ўтказгичи (унинг пўлат қисмлари) ҳали тўйинмаган бўлади. Бу шароитда уларнинг магнит қаршиликлари ҳам кичкина. Бу ҳолда магнит оқими фақат ротор билан статор орасидаги ҳаво оралиғининг магнит қаршилиги билан аниқланади. Бу вақтда $\Phi_0 = f(I_K)$ боғланиш тўғри чизик кўринишида бўлади (154-расм, 1-чизик). Қўзғатиш токи ўсиб борган сари магнит оқими ҳам ўсиб боради. Натижада магнит ўтказгич пўлат қисмларининг магнит қаршилиги ҳам катталаша боради. Пўлат қисмларда магнит индукцияси 1,7... 1,8 Т дан ошганда, пўлат қисмларнинг магнит қаршилиги жуда тез катталашади. Бу шароитда магнит оқимининг қўзғатиш токига боғланиши эгри чизик кўринишида бўлади. Синхрон генераторнинг номинал иш режими шу эгри чизикнинг тахминан эгилган қисмига тўғри келади. Бунда тўйиниш коэффиценти K_T , яъни

аб чизикнинг ас чизикка нисбати $(K_T = \frac{ab}{ac})$ 1,1... 1,4 бўлади.

154-расмда 2-эгри чизик машина пўлат қисмларининг ўртача тўйинган ҳолатини $\Phi_0 = f(I_K)$ ёки $E_0 = f(I_K)$ боғланишни кўрсатади

Синхрон генератор ЭЮК ининг шакли Салт ишлаш шароитида якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК нинг шакли синусоидал бўлиши лозим. ГОСТ 183 — 71 асосида қуввати 1 МВ · А гача бўлган генераторларда, агар



154-расм.

ЭЮК эгри чизигининг бирор нуқтасининг ординатаси ҳақиқий синусоиданинг шу нуқтадаги ординатасидан фарқи 10% дан ошмаса, ЭЮК эгри чизиги амалда синусоидал ҳисобланади; қуввати 1 МВ·А дан катта генераторларда ЭЮК амплитудасининг фарқи синусоида амплитудасидан 5% дан ошмаса, синусоидал ҳисобланади. Машинадан синусоидал ЭЮК олиш учун унинг статори билан ротори орасидаги ҳаво оралиғида магнит оқими синусоида қонуни бўйича тарқалган бўлиши лозим. Бунга эришиш учун аёнмас қутбли машиналарда қўзғатиш чулғамини юқори гармоника магнит юритувчи кучларининг амплитудалари қиймати кичкина бўладиган қилиб ўрнатилади. Аён қутбли машиналарда бу мақсадда, қутб бошмоқларининг четларидаги ҳаво оралиғи унинг марказидаги оралиққа нисбатан каттароқ қилиб олинади. Бундан ташқари, якорь чулғамида тақсимланган ва одими қисқартирилган чулғам ($y = 0,8\tau$) қўлланилади. Токнинг учинчи гармоникасини йўқотиш ва машинада қувват исрофини камайтириш мақсадида уч фазали генераторларнинг якорь чулғами юлдуз усулида уланади. Бунда линия кучланишлари таркибида ҳам учинчи гармоникалар бўлмайди. Фаза кучланишлари таркибидаги учинчи гармоника ташкил этувчиларини чулғам одимини қисқартириш йўли билан йўқотиш рационал ҳисобланмайди, чунки қадам $y = 0,66\tau$ га қисқартирилганда, кучланишнинг биринчи гармоникаси ҳам анча камайиб кетади. Юқорида қайд қилинган тадбирларни амалга ошириш натижасида машинада магнит оқими ва якорь чулғамларидан олинadиган ЭЮК деярли синусоидал бўлади.

XIV БОБ. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ НАГРУЗКА БИЛАН ИШЛАШИ

72. Синхрон машинада якорь реакцияси

Синхрон генератор статорининг айрим фаза чулғамларига қийматлари тенг ва бир хил характердаги нагрузка уланса, чулғамлардан бир-бирига нисбатан 120° га силжиган уч фазали тоқлар ўта бошлайди. Бу тоқлар статор ичида айланиш частотаси n_1 бўлган айланма магнит майдонини ҳосил қилади. Синхрон машиналарда айланма магнит майдонининг айланиш частотаси n_1 роторнинг айланиш частотасига тенг ($n_1 = n_2$). Нагрузка токи якорь магнит оқими Φ_a ни ҳосил қилади. Бунда якорьнинг магнит оқими Φ_a ва қўзғатиш чулғамининг Φ_0 магнит оқими бир-бирига нисбатан қўзғалмас бўлиб, бу оқимлар биргаликда машинанинг йиғинди Φ_{Σ} магнит оқимини ва сочилма оқимини Φ_{cl} ҳосил қилади.

Умуман, нагрузкали генераторда йиғинди магнит оқими Φ_{Σ} қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи F_0 билан якорь чулғамининг магнитловчи кучлари F_a нинг биргаликда таъсири натижасида ҳосил бўлади. Қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи генераторнинг нагрузкасига соғлиқ бўлмайди. Якорьнинг магнит оқими нагрузка қиймаги ва характерига боғлиқ. Шунинг учун ҳам

нагрузкали генераторда ҳосил бўладиган йиғинди магнит оқими машина салт ишлаганда фақат қўзғатиш чулғами томонидан ҳосил қилинадиган магнит оқимидан анча фарқ қилади. Якорь магнит оқими Φ_a нинг қўзғатиш чулғами ҳосил қиладиган магнит оқими Φ_0 га таъсири якорь реакцияси дейилади.

Синхрон генераторларда якорь реакцияси нагрузка қиймати ва характериға боғлиқ бўлади, нагрузка қиймати ва характери турлича бўлганда машинанинг йиғинди магнит оқими турлича бўлади. Умуман, синхрон машиналарда якорь реакцияси машинанинг ўзига хос хусусиятларига, масалан, қўзғатиш чулғамининг МЮК ига, магнит системасининг хусусиятларига боғлиқ бўлади.

Аёнмас қутбли машинада якорь реакцияси. Бундай машинада статор билан ротор орасидаги ҳаво оралиги статор айланаси бўйича бир хил бўлади. Машинанинг салт иш лаш характеристикаси асосида йиғинди магнитловчи куч орқали йиғинди магнит оқими Φ_a ни турли нагрузкада шу оқим ҳосил қиладиган ЭЮК E_0 ни аниқлаш мумкин. Бироқ, машинанинг магнит занжири тўйинмаганда йиғинди магнит оқими Φ_a ни магнит оқимлар Φ_0 ва Φ_a нинг йиғиндиси сифатида аниқласа ҳам бўлади:

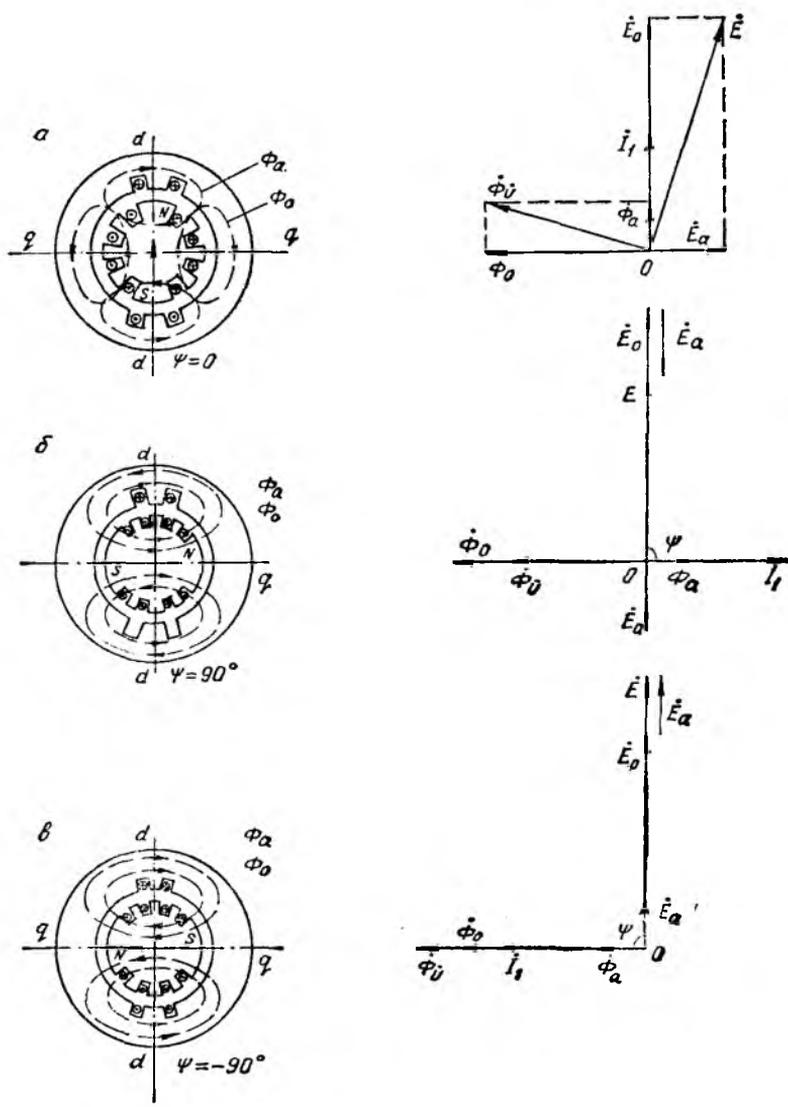
$$\dot{\Phi}_a = \dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_a. \quad (4-1)$$

Энди нагрузка характери ҳар хил бўлганда генераторнинг иш хусусиятларига якорь реакциясининг таъсирини кўриб чиқамиз. Нагрузка характери турлича бўлганда генераторнинг ЭЮК E_1 билан якорь токи I_1 орасидаги силжиш бурчаги ψ турлича бўлади, бурчак қиймати нагрузка қаршиликлари R , x_L ва x_C қийматларига боғлиқ.

Агар нагрузка фақат актив қаршиликдан иборат, яъни $\psi = 0$ бўлса, генераторнинг AX фазасида ток ўзининг максимум қийматига, фақат роторнинг N ва S қутбларининг ўқи кўриладиган чулғамнинг ўрта пазиға тўғри келганда эришади (155-расм, a). Бунда Φ_a оқими Φ_0 оқимига нисбатан 90° кейинда бўлади. Умуман, синхрон машиналар назариясида N ва S қутблар ўртасидан ўтадиган ўқ бўйлама ўқ дейилади ва $d-d$ билан белгиланади; турли хил қутблар орасидан ўтадиган ўқ кўндаланг ўқ дейилади ва $q-q$ билан белгиланади (155-расм). Шундай қилиб, синхрон генераторнинг нагрузкаси фақат актив қаршиликдан иборат ($\psi = 0$) бўлса, якорьнинг магнит оқими машинанинг кўндаланг ўқи бўйлаб таъсир этади; бунда ҳар бир қутбнинг ярми магнитсизланади, қолган ярми эса кучлироқ магнитланади. Йиғинди магнит оқими векторининг модули:

$$\Phi_a = \sqrt{\Phi_0^2 + \Phi_a^2}$$

билан аниқланади.



155-рaсм. Нагрузка характери ҳар хил бўлганда аёнмас қутбли синхрон генераторда янорь реакцияси ҳамда магнит оқими ва ЭЮК лар вектор диаграммаси.

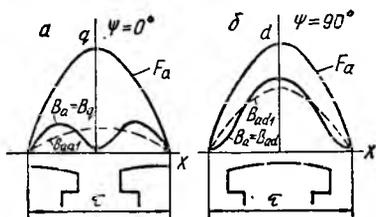
Агар нагрузка индуктив характерда яъни, $\psi = 90^\circ$ бўлса, (155-расм, б) AX фазада ток ўзининг максимал қийматига ЭЮК E_0 нинг максимал қийматига нисбатан чорак давр кейинроқ эришади. Якорь магнит оқими $\dot{\Phi}_a$ машинанинг бўйлама ўқи бўйича ($\dot{\Phi}_0$ оқимга нисбатан тескари) йўналади. Йиғинди оқим $\dot{\Phi}_\pi = \dot{\Phi}_0 - \dot{\Phi}_a$ билан аниқланади ва унинг қиймати камаяди. Бунда генераторнинг ЭЮК ҳам камаяди. Шундай қилиб, нагрузка қаршилиги индуктив характерда бўлса, якорь реакцияси натижасида машинанинг магнит оқими камаяр экан. яъни якорь реакцияси магнитсизловчи таъсир кўрсатар экан.

Агар нагрузка қаршилиги сиғим характерида, яъни $\psi = -90^\circ$ бўлса (156-расм, в), якорьнинг магнит оқими $\dot{\Phi}_a$ бўйлама ўқ бўйлаб таъсир этади ва қўзғатиш чулғами оқими $\dot{\Phi}_0$ бўйича йўналади. Бунда $\dot{\Phi}_\pi = \dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_a$ бўлади. Демак, сиғим характеридаги нагрузкада якорь реакцияси натижасида йиғинди магнит оқими кўпаяди, яъни якорь реакцияси магнитловчи таъсир кўрсатади.

Амалда синхрон генераторларнинг нагрузкаси доим турли характердаги қаршиликлардан иборат бўлади. У ҳолда якорь токи \dot{I}_1 билан ЭЮК E_1 орасидаги силжиш бурчаги ψ нинг қиймати нагрузка характерига қараб $+90^\circ$ дан -90° гача ўзгариши мумкин. Юқорида кўрганмиздек якорь токи \dot{I}_1 векторининг \dot{E}_1 векторга нисбатан маълум бурчак олдинда ёки кейинда бўлишига қараб. якорь реакциясининг таъсири ё магнитловчи ёки магнитсизловчи бўлади.

Аён қутбли генераторда якорь реакцияси. Аён қутбли машинада статор билан ротор орасидаги ҳаво оралиғи бир хил эмас, бу оралиқ қутб бошмоқлари четида унинг ўртасидагига нисбатан каттароқ бўлади ва қўшни қутблар орасидаги зонада жуда катталашиб кетади. Бу шароитда якорь магнит оқими фақат якорь МЮК нинг қиймати билангина эмас, балки ротор қутбларига нисбатан МЮК нинг тарқалиш эгри чизиғи, яъни

$F_a = f(x)$ нинг вазиятига ҳам боғлиқ. Натижада якорьнинг бир хил МЮК унинг фазодаги вазиятига қараб ҳар хил магнит оқимини ҳосил қилади. Масалан, агар $\psi = 0$ бўлганда (156-расм, а) магнит индукциясининг тарқалиш эгри чизиғи, магнит юритувчи куч \dot{F}_a синусоидал тарқалган бўлса ҳам эгарсимон шаклда бўлади (156-расм, а). Ҳаво оралиғининг магнит қаршилиги максимал қийматга эга бўлса ҳам \dot{F}_a



156-расм. Аён қутбли машинада якорь МЮК ининг (F_a) ва у ҳосил қиладиган магнит индукцияларининг тарқалиш эгри чизиқлари.

МЮК ининг максимал қийматига унча катта бўлмаган индукция тўғри келади

Агар $\psi = 90^\circ$ бўлса, яъни якорь магнит оқими машинанинг бўйлама ўқи бўйлаб йўналганда магнит индукциясининг эгри чизиғи $d - d$ ўқиға нисбатан симметрик бўлади (156-расм, б). Ҳаво оралиғининг магнит қаршилиғи унча катта бўлмаганлиғи учун, магнит индукциясининг қиймати катта бўлади, бунда индукциянинг биринчи гармоникалари B_{ad1} ва B_{aq1} ҳам мос ҳолда турлича максимал қийматға эға бўлади.

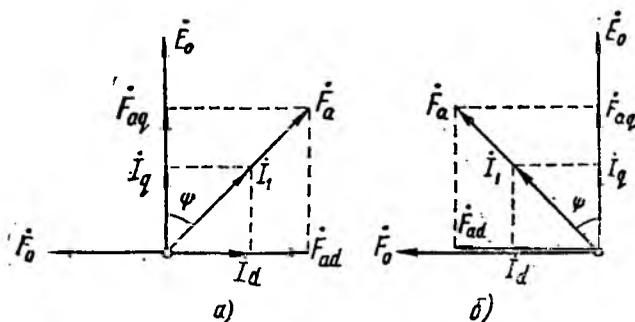
Умумий ҳолда \dot{F}_a магнит юритувчи куч ўзининг иккита ташкил этувчисига эға бўлади: бўйлама таъсир этувчи қисми:

$$\dot{F}_{ad} = \dot{F}_a \cdot \sin \psi \quad (4-2)$$

ва кўндаланг таъсир этувчи қисми:

$$\dot{F}_{aq} = \dot{F}_a \cdot \cos \psi. \quad (4-3)$$

Агар генераторнинг нағрузкаси актив-индуктив характерли бўлса, \dot{F}_a вектор \dot{E}_0 вектордан $0 < \psi < 90^\circ$ бурчакка кейинда бўлади (157-расм, а). Шунингдек, агар генераторнинг нағрузкаси актив-сиғим характерли бўлса, \dot{F}_a вектор \dot{E}_0 вектордан $0 < \psi < 90^\circ$ бурчакка олдинда бўлади (157-расм, б). Якорьнинг кўндалангига таъсир этувчи магнитловчи кучи (\dot{F}_{aq}) якорь тоқининг актив қисми $\dot{I}_q = \dot{I}_1 \cos \psi$ га; бўйига таъсир этувчи қисми (\dot{F}_{ad}) токнинг реактив қисми $\dot{I}_d = \dot{I}_1 \sin \psi$ га пропорционал бўлади. Агар токнинг реактив қисми (\dot{I}_d) \dot{E}_0 дан кейинда бўлса (актив-индуктив характерли нағрузка), МЮК \dot{F}_{ad} генераторнинг магнит майдонини сусайтиради, якорь реакцияси магнит сизловчи таъсир кўрсади. Агар токнинг реактив қисми \dot{I}_d ЭЮК \dot{E}_0 векторидан олдинда булса, МЮК \dot{F}_{ad} машинанинг магнит майдонини кучайтиради,



157-расм.

яъни якорь реакцияси магнитловчи таъсир кўрсатади. Шундай қилиб, индуктив реактив токнинг якорь реакцияси магнитловчи характерга; сиғим реактив токнинг якорь реакцияси магнитловчи характерга эга бўлади. Якорь реакцияси генераторнинг ЭЮК, бинобарин, унинг кучланиш қийматини ўзгартиради.

Аён қутбли машинада қўшни магнит қутблари оралиғининг магнит қаршилиги қутб бошмоқлари билан статор орасидаги оралиқнинг магнит қаршилигидан катта бўлади. Шунинг учун аён қутбли генераторда якорь магнит оқимининг кўндаланг йўналган қисми аёнмас қутбли машинаникига қараганда анча кичкина. Бу қиймат ҳисоблаш формуласига якорьнинг кўндаланг МЮК ининг камайишини (эффeктив қийматини) характерлайдиган махсус коэффициент киритиш билан эътиборга олинади:

$$\dot{F}_{aq} = k_q \dot{F}'_{aq} = k_q \cdot \dot{F}_a \cdot \cos \psi,$$

бу ерда: k_q — якорьнинг кўндаланг реакция коэффициенти.

Бу коэффициент қиймати аён қутбли машинадаги якорь кўндаланг йўналган магнит оқимининг аёнмас қутбли машинадаги кўндаланг йўналган магнит оқимига нисбати билан аниқланади. Одатда, $k_q = 0,3 \dots 0,65$ бўлади.

Шунингдек, аён қутбли машина магнитловчи кучининг якорь ўқи бўйича йўналган қисмини ҳисоблаш формуласига k_d коэффициенти киритилади:

$$\dot{F}'_{ad} = k_d \dot{F}_{ad} = k_d \dot{F}_a \sin \psi,$$

бу ерда: k_d — якорьнинг бўйлама реакция коэффициенти.

Бу коэффициент одатда $k_d = 0,8 \dots 0,95$ бўлади.

73. Синхрон генераторнинг ЭЮК лари тенгламаси

Синхрон генератор нагрукасиз ишлаганда унинг клеммаларидаги кучланиш статор чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК га тенг бўлади. Лекин генератор нагрукка билан ишлаганда якорь реакцияси, сочилма магнит оқими таъсирида ва статор чулғамининг актив қаршилигидаги кучланиш пасайиши натижасида клеммаларидаги кучланиш статор чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК дан кичик бўлади. Юқорида айтиб ўтилганидек, синхрон машинада умумий магнит оқимини бир неча магнитловчи кучлар биргаликда ҳосил қилади. Турли магнитловчи кучлар машинада ўзининг алоҳида магнит оқимини, бу магнит оқимлари статор чулғамида ўзининг ЭЮК ини ҳосил қилади деб фарз қилиш мумкин.

Олдин аён қутбли синхрон генераторда ҳосил бўладиган ЭЮК ларни кўриб чиқамиз:

1. Қўзғатиш чулғамнинг магнитловчи кучи F_0 генераторнинг асосий магнит оқими $\dot{\Phi}_0$ ни, бу магнит оқими эса асосий ЭЮК E_0 ни ҳосил қилади.

2. Якорь магнитловчи кучининг бўйлама йўналган қисми F_{ad} эса $\dot{\Phi}_{ad}$ магнит оқимини, бу магнит оқими эса якорь реакцияси ЭЮК ининг бўйлама йўналган қисми E_{ad} ни ҳосил қилади:

$$\dot{E}_{ad} = -j\dot{I}_d x_{ad},$$

бу ерди: $\dot{I}_d = \dot{I}_1 \sin \phi$ — статор токининг реактив қисми, x_{ad} — бўйлама ўқ бўйича якорь реакциясига эквивалент статор чулғамининг реактив қаршилиги.

Синхрон машинанинг магнит занжири системаси тўйинган бўлганидаги якорь реакциясининг бўйлама ўқ бўйича йўналган магнит оқими магнит системаси тўйинмаган генераторниқидан кичкина бўлади. Чунки, бу оқим бугунлай тўйинган пўлат орқали беркилади. Тўйинган пўлатнинг магнит қаршилиги эса катта бўлади. x_{ad} нинг қиймати пўлат ўзакнинг тўйиниш даражасига боғлиқ. Тўйиниш даражаси ортганда x_{ad} нинг қиймати камаяли.

3. Якорь магнитловчи кучининг кўндаланг ўқ бўйича йўналган қисми F_{aq} эса $\dot{\Phi}_{aq}$ магнит оқимини ҳосил қилади. Бу оқим якорь реакцияси ЭЮК ининг кўндаланг йўналган қисми E_{aq} ни ҳосил қилади:

$$\dot{E}_{aq} = -j\dot{I}_q x_{aq}, \quad (4-5)$$

бу ерда: $\dot{I} = \dot{I}_1 \cos \phi$ — статор токининг актив қисми, x_{aq} — кўндаланг ўқ бўйича якорь реакциясига эквивалент статор чулғамининг индуктив қаршилиги.

x_{aq} нинг қиймати машина пўлат ўзагининг тўйиниш даражасига боғлиқ эмас, чунки аён қутбли машинада Φ_{aq} магнит оқими анча катта бўлган қўшни қутблар орасидаги ҳаво оралиғидан ўтади. Аён қутбли машиналарда $x_q < x_d$ бўлади.

4. Статор пўлат ўзаги ва қисман ҳаво оралиғи орқали беркиладиган сочилма магнит оқими $\dot{\Phi}_{c1}$ статор чулғамларида сочилма ЭЮК \dot{E}_{c1} ни ҳосил қилади:

$$\dot{E}_{c1} = -j\dot{I}_1 x_{c1}, \quad (4-6)$$

бу ерда: x_{c1} — статор чулғамининг сочилма индуктив қаршилиги.

5. Статорнинг фаза чулғамидан \dot{I}_1 ток ўтганда унинг актив қаршилиги R_1 да кучланиш пасаяди:

$$\dot{U}_{R1} = \dot{I}_1 R_1. \quad (4-7)$$

Одатда, R_1 кичкина бўлгани учун, номинал токда ҳам \dot{U}_{R1} жуда кичкина бўлади.

Шундай қилиб, синхрон генераторнинг статор чулғами клем-

маларидаги кучланиш юқорида қайд қилинган ЭЮК ларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_{ad} + \dot{E}_{aq} + \dot{E}_{c1} - \dot{U}_{R1}$$

ёки

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d x_{ad} - j\dot{I}_q x_{aq} - j\dot{I}_1 x_{c1} - \dot{I}_1 R_1. \quad (4-8)$$

Бу ифода аён қутбли синхрон генераторнинг ЭЮК лари тенгламасидир.

Аёнмас қутбли генераторда x_{ad} ва x_{aq} индуктив қаршилиқлар тахминан тенг. Чунки бундай машинада статор айланаси бўйлаб ҳаво оралиғи бир хилдир. Шунинг учун бундай машиналарда якорь реакциясининг умумий магнитловчи кучи \dot{F}_a ни эътиборга олиш кифоя. Якорь реакциясининг магнитловчи кучи \dot{F}_a якорь магнит оқимини ҳосил қилади, бу оқим эса якорь реакцияси ЭЮК ини ҳосил қилади:

$$\dot{E}_a = -j\dot{I}_1 x_a,$$

бу ерда: x_a — статор чулғамининг якорь реакциясига эквивалент индуктив қаршилиги.

Бу ерда ҳам сочилма магнит оқими Φ сочилма ЭЮК ни ҳосил қилади

$$\dot{E}_{c1} = -j\dot{I}_1 x_{c1}.$$

Машинада якорь магнит оқими Φ_a ни ва сочилма магнит оқими Φ_c ни ток I_1 ҳосил қилади, шунинг учун якорь реакциясининг индуктив қаршилиги x_a билан сочилма индуктив қаршилиқ x_{c1} ни қўшиш мумкин:

$$x_a + x_{c1} = x_c.$$

x_c — аёнмас қутбли синхрон машинанинг синхрон қаршилиги дейилади. Унда:

$$\dot{E}_0 = -j\dot{I}_1 x_a + (-j\dot{I}_1 x_{c1}) = -j\dot{I}_1 x_c,$$

Аёнмас қутбли синхрон генераторнинг ЭЮК лар тенгласи қуйидагича ёзилади:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_c - \dot{U}_{R1}. \quad (4-9)$$

74. Синхрон генераторнинг вектор диаграммаси

Аён қутбли синхрон генераторнинг вектор диаграммасини қуриш учун (4-8) тенгламадан фойдаланамиз. Умуман, синхрон генератор турли характерли нагрузкала ишлайди. Вектор диаграмми актив-индуктив характерли нагрузка билан ишлайдиган генератор учун қураимиз.

Синхрон генераторнинг вектор диаграммасини қуриш учун қуйидагилар маълум бўлиши керак;

а) салт ишлаганда генераторнинг ЭЮК \dot{E}_0 ;

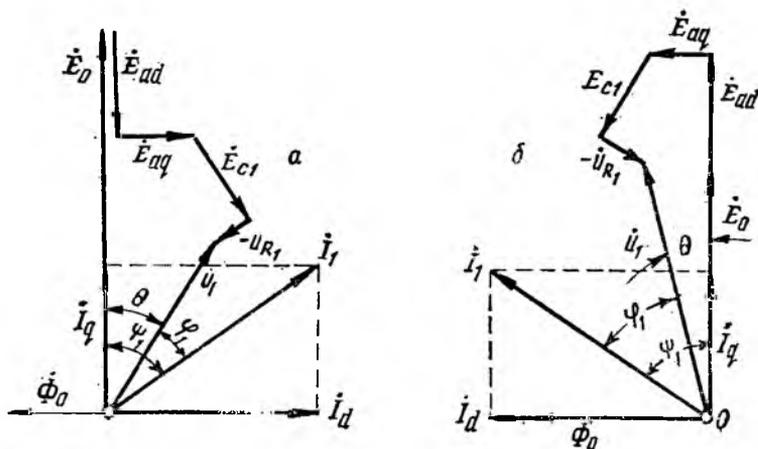
б) нагрузка токи I_1 билан \dot{E}_0 орасидаги силжиш бурчаги ψ_1 ;

в) якорь реакциясининг бўйлама (x_{ad}) ва кўндаланг (x_{aq}) индуктив қаршиликлари;

г) статор фаза чулғамининг актив қаршилиги R_1 .

Айрим фаза токлари ўзаро тенг бўлганда, яъни тенг нагрузкали генераторда, вектор диаграммани фақат бир фазаси учун қурилади. Диаграммани қўзғатиш чулғами ҳосил қиладиган магнит оқимининг векторини бирор йўналишда масалан, абсцисса ўқи бўйича чап томонга йўналтириб чизишдан бошлаймиз. Статор чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК \dot{E}_0 вектори магнит оқими векторидан 90° кейинда чизилади. Статор токи I_1 нагрузка характерига қараб \dot{E}_0 векторга нисбатан маълум силжиш бурчаги билан чизилади. Агар нагрузка актив-индуктив характерда бўлса, статор токи I_1 ЭЮК \dot{E}_0 векторидан ψ_1 бурчакка орқада (158-рasm, а) ёки актив-сиғим характерда бўлса, I_1 ток \dot{E}_0 вектордан олдинда (158-рasm, б) келадиган қилиб чизилади. Нагрузка токи I_1 ни $I_q = I_1 \cos \psi_1$ ва $I_d = I_1 \sin \psi_1$ ташкил этувчиларга ажратамиз; бунда I_q вектор \dot{E}_0 билан бир фазада, I_d вектор ундан 90° кейинда чизилади.

Якорь реакциясининг бўйлама ва кўндаланг йўналган магнит оқимлари \dot{E}_{ad} ва \dot{E}_{aq} ЭЮК ларни ҳосил қилади; \dot{E}_{ad} вектори йўналиши бўйича \dot{E}_0 га тескари; \dot{E}_{aq} эса \dot{E}_0 векторидан 90° кейин-



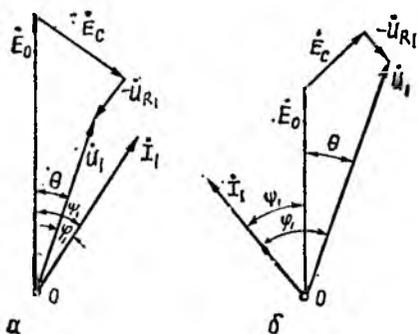
158- расм.

да чизилади. \dot{E}_{ad} ва \dot{E}_{aq} ларнинг геометрик йиғиндиси якорь реакцияси ЭЮК \dot{E}_a га тенг бўлади. Статор чулғамининг сочилма магнит оқими сочилма ЭЮК \dot{E}_{c1} ни ҳосил қилади. \dot{E}_{c1} нинг вектори \dot{E}_a вектор йўналишига мос, яъни I_1 ток векторидан 90° орқада чизилади. Статорнинг актив қаршилиги R_1 да кучланиш пасайиши, яъни $-\dot{U}_{R1}$ вектор \dot{I}_1 векторга нисбатан тескари йўналади. Векторлар бошланган O нуқтани U_{R1} векторнинг учи билан бирлаштириб, статор чулғами клеммаларидаги кучланиш \dot{U}_1 векторини аниқлаймиз. Бунда \dot{U}_1 вектор \dot{E}_0 , \dot{E}_a , \dot{E}_{c1} ва $-\dot{U}_{R1}$ векторларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади.

Агар генератор нагрзукаси актив-сиғим характерда бўлса, статор токи I_1 нинг вектори \dot{E}_0 вектордан ψ_1 бурчакка оллинда бўлади. Бу ҳолда якорь реакцияси бўйлама магнит оқими Φ_{ad} нинг йўналиши Φ_0 вектори йўналишида бўлади, яъни якорь реакцияси магнит ловчи таъсир кўрсагади. Шунинг учун якорь реакцияси бўйлама магнит оқими ҳосил қиладиган \dot{E}_{ad} ЭЮК векторининг йўналиши олдинги диаграммага нисбатан 180° га ўзгаради, диаграмманинг қолган қисми юқорида келтирилган усулда қурилади. Лекин нагрзука актив-сиғим характерда бўлганда статор клеммаларидаги \dot{U}_1 кучланиш вектори салт ишлаш ЭЮК \dot{E}_0 векторидан катта бўлиши ҳам мумкин.

Энди аёнмас қутбди синхрон генераторнинг вектор диаграммасини (4-9) формула асосида қурамиз. Диаграмма бирор йўналишда магнит оқими Φ_0 нинг векторини чизишдан бошланади. \dot{E}_0 вектор Φ_0 вектордан 90° кейинда бўлади. Статор токнинг вектори I_1 генераторнинг нагрзукаси характерига қараб \dot{E}_0 дан кейинда (актив-индуктив) ёки олдинда (актив-сиғим) чизилади. \dot{E}_0 вектор охиридан I_1 векторга тик йўналишда \dot{E}_c векторни чизамиз. \dot{U}_{R1} вектор ток векторига параллел, йўналиши эса унга тескари чизилади. \dot{U}_{R1} вектор учини O нуқта билан бирлаштириб \dot{U}_1 векторни аниқлаймиз. 159-расмда актив-индуктив (а) ва актив-сиғим (б) характерли нагрзука билан ишлайдиган аёнмас қутбди синхрон генераторнинг векторлар диаграммаси келтирилган.

Синхрон генераторнинг векторлар диаграммасида \dot{E}_0 вектор, билан, I_1 ток вектори орасидаги бурчак ψ билан; \dot{U}_1 билан I_1 орасидаги бурчак φ билан; \dot{E}_0 вектор билан \dot{U}_1 вектор орасидаги бурчак θ билан белгиланади. θ бурчак нагрзука бурчаги дейилади. Синхрон машина генератор сифатида ишлаганда \dot{U}_1 кучланиш доимо \dot{E}_0 ЭЮК дан θ бурчакка кейинда бўлади. Бу



159- расм.

1) нагрузка билан ишлаб турган генераторнинг кучланишини ўзгартириш учун якорнинг бўйлама ўқи бўйича йўналган магнит оқими ҳосил қиладиган $E_{ад}$ ЭЮК ни ўзгартириш лозим;

2) генераторнинг нагрузкиси актив-индуктив характерли бўлса, нагрузка ортиши билан статор чулғами клеммаларидаги кучланиш камаяди, чунки бунда якорнинг бўйлама реакцияси магнитсизловчи таъсир кўрсатади, ва аксинча, генераторнинг нагрузкиси актив-сигим характерли бўлса, нагрузка қийматининг ортиши билан унинг кучланиши \dot{U}_1 ҳам ортади, чунки бу ҳолда якорнинг бўйлама реакцияси магнитловчи таъсир кўрсатади.

75. Синхрон генераторнинг асосий характеристикалари

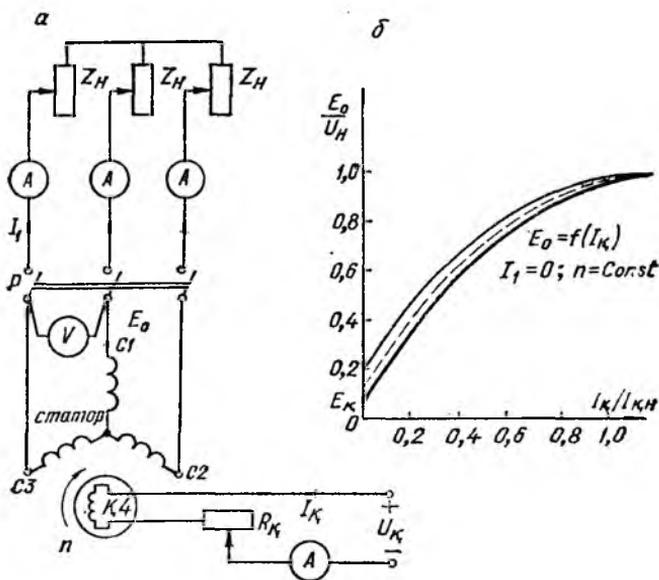
Синхрон машиналарнинг ишлашини тадқиқ қилишда уларнинг асосий характеристикаларидан фойдаланилади. Генераторнинг характеристикалари, унинг ишлаш хусусиятларини характерлайдиган катталикларни ўзаро боғланишини кўрсатадиган эгри чизиқлардир. Синхрон генераторнинг асосий характеристикалари унинг айланиш частотаси токнинг номинал частотасига мос ва ўзгармас, яъни $n = n_{1н} = \text{const}$ бўлганда олинади. Характеристикалар тажриба йўли билан генераторнинг асосий параметрларини аниқлашга ва унинг ўзига хос муҳим хусусиятларини ўрганишга имкон беради. Характеристикаларни тажриба ўтказиш йўли билан ёки график усулда қуриш мумкин.

а) Салт ишлаш характеристикаси. Салт ишлаш характеристикаси генератор салт ишлаганда унинг кучланиши \dot{U}_{10} ни ёки ЭЮК \dot{E}_0 ни қўзғатиш чулғамининг токи I_k билан қандай боғланганлигини ифодалайди. Бу характеристика нагрузка токи нолга, яъни $I_1 = 0$ тенг ва айланиш частотаси ўзгармас бўлганда текширилади, яъни:

$$\dot{E}_0 = \dot{U}_{10} = f(I_k), \quad n = \text{const}. \quad (4-10)$$

Салт ишлаш характеристикаси амалда тажриба ўтказиш йўли билан аниқланади. Бунинг учун 160-расм, а да берилган схема йиғилади. Схемада статор ва қўзғатиш чулғами занжирларига амперметр уланади. Турли фазалар орасидаги кучланиш эса вольтметр билан ўлчанади. Қўзғатиш чулғамининг токи R_K реостат билан ростланади.

Бирламчи двигателъ юргизилади ва қўзғатиш чулғамининг токи аста оширилади. Ток ортгани сари статор чулғами клеммаларида ЭЮК ёки кучланиш токка деярли пропорционал равишда ўсиб боради, машинанинг ферромагнит ўзаги тўйингани сари, кучланишнинг ўсиши секинлашади. Роторнинг магнит қутбларида қолдиқ магнит индукцияси мавжудлигидан салт ишлаш характеристикаси нолдан эмас, балки кучланишнинг маълум кичик қийматидан бошланади. Бирламчи двигателъ юргизилгандан сўнг қўзғатиш чулғамида ток нолга тенг бўлса ҳам статор чулғамида қандайдир E_K ЭЮК ҳосил бўлади. Қўзғатиш токни нолдан максимал қийматгача оширилади ва токнинг турли қийматларида кучланиш қийматлари ёзиб борилади. Сўнг қўзғатиш токи максимал қийматдан нолгача камайтирилади. Олинган маълумотлар асосида салт ишлаш характеристикаси (160-расм, б) қурилади. Олинган эгри чизиқларнинг ўртасидан чизилган эгри чизиқ ҳисоблаш учун асос қилиб олинандиган салт ишлаш характеристикаси ҳисобланади. Салт ишлаш характеристикасининг қиялиги ҳаво



160-расм. Синхрон генераторнинг асосий характеристикаларини олиш учун схема (а) ва генераторнинг салт ишлаш характеристикаси (б).

оралиғининг магнит кучланиши, характеристика учининг эгилиши магнит заңжирининг тўйиниш даражаси билан аниқланади.

Генераторнинг турли характеристикалари, одатда, нисбий birlikларда ифодаланади. Шунинг учун координата ўқларига абсолют миқдорлар эмас, балки уларнинг номинал қиймагларига нисбати қўйилади. Масалан, салт ишлаш характеристикасининг координата ўқларига:

$$U_0^* = \frac{U_0}{U_{1H}}, \quad I_k^* = \frac{I_k}{I_{кн}} \quad (4-11)$$

қўйилади.

Нисбий birlikдаги катталиклар юлдузча^(*) билан кўрсатилади. Характеристика нисбий birlikларда қурилганда кучланишлар ўқида birlik кучланиш сифатида, номинал кучланишга тенг салт ишлаш кучланиши $E_0 = U_0 = U_{1H}$ олинади; токлар ўқида birlik ток сифатида $U_0 = U_{1H}$ кучланишга мос номинал қўзғатиш токи $I_{кн}$ олинади.

Турли синхрон генераторларнинг нисбий birlikларда қурилган салт ишлаш характеристикалари деярли бир хил бўлади. Шунинг учун электр машинасозлик тажрибаси асосида умумлаштирилган характеристикадан фойдаланилади. Бу характеристика нормал салт ишлаш характеристикаси дейилади. 4-1-жадвалда аён қутбли ўртача ва катта қувватли синхрон генераторларнинг нормал салт ишлаш характеристикасини ифодловчи қийматлари келтирилган.

4-1-жадвал

$I_k / I_{кн}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
E_0 / U_{1H}	0,58	1,0	1,21	1,33	1,4	1,46	1,51

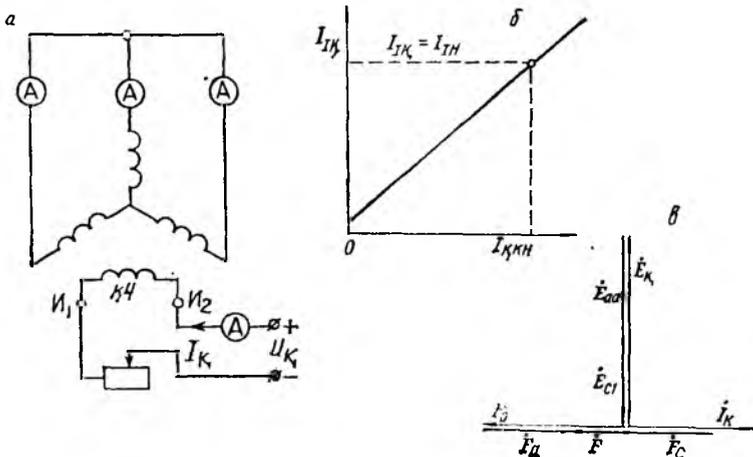
Янги ишлаб чиқарилган генераторнинг салт ишлаш характеристикаси нормал салт ишлаш характеристикасига солиштирилганда, уларнинг фарқи кичик бўлиши керак. Характеристика тўғри чиқикли қисмининг бир хил бўлмаслиги ҳаво оралиғи тўғри танланмаганлигини кўрсатади.

Синхрон машиналар назариясида қаршиликлар ҳам нисбий birlikларда ифодаланади. Масалан, статор чулғамининг нисбий birlikдаги сочилма индуктив қаршилиги шу қаршилиқдаги кучланиш пасайшининг генераторнинг номинал кучланишига нисбати билан ифодаланади:

$$x_{c1}^* = \frac{I_{1H} \cdot x_{c1}}{U_{1H}} \quad \text{ёки} \quad x_d^* = \frac{I_{1H} x_d}{U_{1H}}; \quad (4-12)$$

б) Қисқа туташ иш характеристикаси. Статор чулғамидаги қисқа туташ токнинг ($I_{1к}$) генераторнинг қўзғатиш

токига (I_K) боғланиши $I_{1K} = f(I_K)$ қисқа туташуш характеристикаси дейилади. Характеристикани $n = \text{const}$ ва $U_1 = 0$ бўлганда олинади. Қисқа туташуш характеристикасини олиш учун 161-расмдаги схема асосида қисқа туташуш тажрибаси ўтказилади. Бунда генераторнинг статор чулғамлари қисқа туташтирилади ва ротори номинал тезликда айлантирилади. Қисқа туташуш характеристикаси графигини қуриш учун генераторнинг қўзғатиш токи нолдан бошлаб, статорнинг қисқа туташуш токи унинг номинал токидан 25 % ошгунга қадар ($I_{1K} = 1,25I_{1н}$) ошириб борилади. Қисқа туташуш шароитида генераторнинг ЭЮК жуда кичкина булади. Магнит оқими ҳам кичкина бўлгани учун генераторнинг магнит занжири тўйинмаган бўлади. Шунинг учун ҳам қисқа туташуш характеристикаси (161- расм, б) тўғри чизиқли бўлади. Одатда, статор чулғамининг актив қаршилиги (R_1) унинг индуктив қаршилигидан анча кичкина бўлади, шунинг учун (R_1) эътиборга олинмайди. Демак, қисқа туташушда синхрон генераторнинг нарузкаси индуктив характерда бўлади. Статорнинг қисқа туташуш токи индуктив ток бўлгани учун генераторда якорь реакцияси бўйлама магнитсизловчи характерда бўлади. Якорь реакциясининг магнитловчи кучи \dot{F}_a қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи \dot{F}_0 га тескари йўналади. Машинанинг йиғинди магнитловчи кучи $\dot{F}_н$ юқоридаги магнитловчи кучларнинг айирмаси билан аниқланади. Шунинг учун унинг қиймати ва у ҳосил қиладиган магнит оқими ҳам кичкина бўлади. Машинанинг магнит қутбларида қолдиқ магнит индукциясининг мавжудлиги сабабли бу характеристика ҳам аслида нолдан бошланмайди. 161-расм, в да генераторнинг қисқа туташуш тажрибасида унинг битта фазасига тегишли вектор диаграмма кўрсатилган. Бу шароитда статор чулғамида ҳосил



161- расм.

бўладиган $\dot{E}_{1\kappa}$ ЭЮК якорнинг бўйлама реакцияси ЭЮК $\dot{E}_{ad} = -jI_1 x_{ad}$ ҳамда сочилма ЭЮК $\dot{E}_{c1} = -jI_1 x_{c1}$ билан тўла мувозанатлашади, яъни $\dot{E}_{1\kappa} = \dot{E}_{ad} + \dot{E}_{c1}$.

Сочилма оқимнинг магнитловчи кучи F_{c1} машинанинг умумий магнитловчи кучи F_0 билан тула мувозанатлашмайди, чунки сочилма магнит оқимининг куч чизиқлари роторнинг магнит қутбларидан ўтмайди.

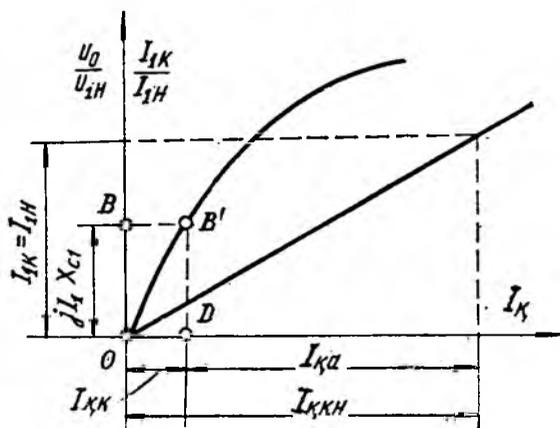
Салт ишлаш ва қисқа туташш характеристикалари юқорида қайд қилинган магнитловчи кучларга мос келадиган қўзғатувчи ток улушларининг қийматларини аниқлашга имкон беради. Шу мақсадда бу характеристикалар бир координата системасида қурилади (162-расм). Ордината ўқига кучланиш масштабида сочилма ЭЮК $\dot{E}_{c1} = -jI_1 x_{c1}$ OB чизиғи қўйилади. Сўнгра B нуқтадан абсцисса ўқига параллел ўтказилади ва B' нуқта аниқланади ва абсцисса ўқигача $B'D$ чизиқ ўтказилади. Бунда D нуқта қисқа туташишда номинал қўзғатиш токини ($I_{\kappa\kappa\kappa}$ ни) икки қисмга бў-

лади. Биринчиси $-jI_1 x_{c1}$ кучланиш пасайишини компенсациялаш учун лозим бўлган қўзғатиш токи; иккинчиси $I_{\kappa a}$ бўйлама магнитсизловчи якорь реакциясини компенсациялаш учун лозим бўлган қўзғатиш токидир.

в) Синхрон генераторнинг ташқи характеристикаси. Синхрон генераторнинг статор клеммаларидаги кучланишнинг нагрзука токи билан боғланиши унинг ташқи характеристикаси дейилади ва у қуйидаги шароитда текширилади:

$$U_1 = f(I_1); n = \text{const}, I_{\kappa} = \text{const}; \cos \varphi = \text{const}.$$

Одатда, генераторнинг ташқи характеристикаси нагрзука характериға қараб ҳар хил бўлади. Шунинг учун бу боғланиш



162-расм.

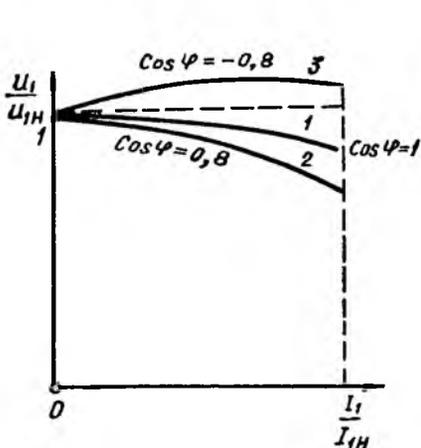
актив, индуктив ва сиғим қаршиликли нагруккада текширилади. Ташқи характеристикани қуриш учун 163-расм, а да келтирилган схемадан фойдаланилади. Олдин генератор юргизилади, сўнгра қўзғатиш токи номинал қиймаггача оширилиб, генератор клеммаларида $U_1 = U_{1н}$ кучланиш ҳосил қилинади. Синхрон генераторнинг ташқи характеристикасини унинг нагруккаси орта борганда ёки камаё борганда текшириш мумкин. Генератор кучланиши $U_1 = U_{1н}$ бўлганда нагрукка токи аста-секин номинал қиймаггача кўпайтириб борилади. Токнинг бир неча қийматлари учун ўлчов приборларининг кўрсатаётган қийматлари ёзиб олинади ва масштабда ташқи характеристика графиги қурилади (163-расм). Характеристика учун приборларнинг кўрсагишини, олдин нагрукка қийматини $I_1 = I_{1н}$ гача етказиб, сўнгра уни секин-аста камайтириб олиш ҳам мумкин.

Актив қаршиликли нагруккада нагрукка токи ортгани сари генераторнинг кучланиши камаё боради (1-эгри чизиқ). Бунда нагрукка токи ортиб борганда статор чулғамида кучланиш пасайиши ортади ва якорь реакциясининг кўндаланг ўқ бўйича йўналган оқими ҳам ортади. Индуктив қаршиликли нагруккада нагрукка токи ортган сари кучланиш кўпроқ камаёди, чунки бунда якорь реакциясининг бўйлама оқими кўпаяди, натижада унинг магнитсизловчи таъсири ортади (2-эгри чизиқ). Сиғим қаршиликли нагруккада нагрукка токи ортган сари генераторнинг кучланиши ортади (3-эгри чизиқ). Бунда якорь реакциясининг сиғим қаршиликли нагрукка ҳосил қиладиган магнитловчи таъсири кўпаяди.

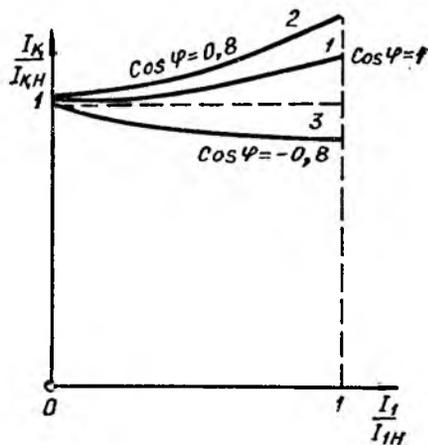
Синхрон генераторнинг кучланиши нагрукка ўзгаришига қараб доимо ўзгариб туради. Генератор кучланишининг салт ишладан то номинал нагрукка билан ишлагунча ўзгариши кучланишнинг номинал ўзгариши дейилади. Кучланишнинг номинал ўзгаришини ташқи характеристика ёрдамида аниқлаш мумкин. Кучланишнинг бундай ўзгаришини номинал кучланишга нисбатан процент ҳисобида аниқланади:

$$\Delta u \% = \frac{E_0 - U_{1н}}{U_{1н}} 100 \%. \quad (4-13)$$

Одатда, синхрон генераторлар актив-индуктив характерли нагрукка билан ишлайди. Бунда $\cos \varphi = 0,9 \dots 0,85$ бўлади. Бу ҳолда кучланишнинг номинал ўзгариши $\Delta u \% = 25 \dots 35$ бўлиши керак. Генераторга уланган истеъмолчиларда номинал кучланиш бўлиши учун у кучланишни автоматик ростлайдиган қурилмага эга бўлиши керак. Δu % нинг кичик бўлиши мақсадга мувофиқдир. Унинг қийматини камайтириш учун аёнмас қутбли машиналарда синхрон индуктив қаршилиқ x_c қийматини; аён қутбли машиналарда x_d ва x_q қийматларини камайтириш лозим. Бунинг учун ротор билан статор орасидаги ҳаво оралиғи каттароқ бўлиши керак. Бу ўз навбатида қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучини оширишга олиб келади, бу эса машинани қимматлаштиради.



163- расм.



164- расм

г) Ростлаш характеристикаси Генераторнинг кучланиши $U_1 = U_{1N} = \text{const}$ бўлганда унинг қўзғатиш токи I_K ни нагрузка токи I_1 га боғланиши, яъни $I_K = f(I_1)$ генераторнинг ростлаш характеристикаси дейилади. Бу характеристика $n = \text{const}$ ва $\cos \varphi = \text{const}$ бўлганда текширилади.

Истеъмолчиларда кучланиш қиймати доим бир хил бўлиши лозим. Синхрон генераторнинг нагрузкаси ўзгарганда унинг кучланиши ўзгариб туради. Кучланиш ўзгармаслиги учун қўзғатиш токнинг қийматини нагрузка ўзгариши билан ўзгартириб туриш керак. Генераторнинг ростлаш характеристикаси ҳам нагрузка характериға қараб турли кўринишда бўлади (164-расм). Актив қаршиликли нагрузка қиймати ортгани сари генераторнинг кучланиши камая боради. Кучланиш камаймаслиги учун қўзғатиш токни кўпайтириш керак (1-эгри чизиқ). Индуктив қаршиликли нагрузка ортган сари кучланиш тезроқ камаяди. Якорь реакциясининг бўйлама магнитсизловчи таъсирини камайтириш учун, яъни кучланиш бир хилда қолиши учун қўзғатиш токни янада кўпроқ ошириш лозим бўлади (2-эгри чизиқ). Сиғим қаршиликли нагрузка ортган сари якорь реакциясининг бўйлама магнитловчи таъсири натижасида умумий магнит оқими, генераторнинг кучланиши кўпаяди. Бунда кучланиш бир хилда қолиши учун қўзғатиш токни камайтириш лозим бўлади (3-эгри чизиқ).

76. Синхрон генератор ЭЮК ининг амалий диаграммаси

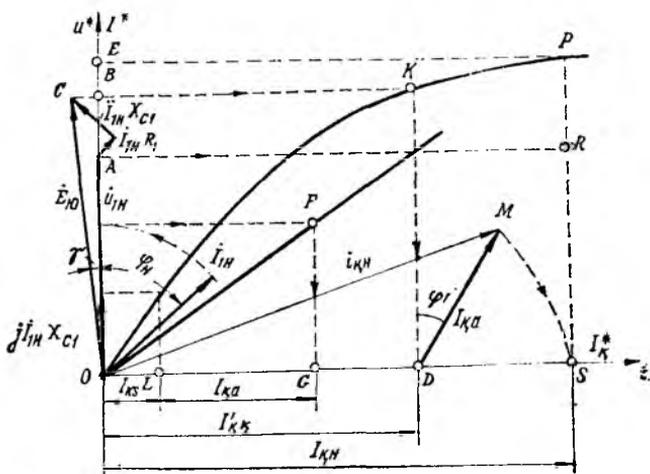
Номинал нагрузка билан ишлаб турган синхрон генераторнинг нагрузкаси бирданига нолгача камайиб қолса, роторнинг айланиш частотасининг кўпайиб кетиши натижасида генераторнинг кучланиши номинал қийматдан кўпайиб кетади. Бунда қўзғатиш токнинг қиймати аввалгидек қолади. Генератор кучланишининг номинал қийматидан қанчага ортиб кетишини график усулда

ЭЮК нинг амалий диаграммасидан аниқлаш мумкин. Бунинг учун битта координата ўқида генераторнинг салт ишлаш ва қисқа туташиш характеристикалари қурилади. Бу характеристикалар графигини қолдиқ магнетизмни эътиборга олмай, нолдан бошлаб қурамыз. Катталиклар нисбий бирликларда берилади. Ордината ўқи йўналишида номинал кучланиш вектори $\dot{U}_{1н} = OA$ ни чизамиз (165-расм). Номинал ток $\dot{I}_{1н}$ вектори $\dot{U}_{1н}$ вектордан φ_n бурчакка кейинда чизилади. Сўнгра $\dot{U}_{1н}$ векторга $\dot{I}_{1н}R_1$ ва $j\dot{I}_{1н}x_{c1}$ векторларни қўшиб ($\dot{I}_{1н}R_1$ вектори ток вектори йўналишида; сочилма индуктив қаршиликда кучланиш пасайиши $\dot{I}_{1н}$ векторга тик йўналишда) нагруккали генераторнинг ЭЮК $\dot{E}_н = OC$ ни аниқлаймиз, яъни

$$\dot{E}_н = \dot{U}_{1н} + \dot{I}_{1н}R_1 + j\dot{I}_{1н}x_{c1}.$$

Энди OC радиусда айлана чизиб ордината ўқида B нуқтани топамиз. Бу нуқтадан салт ишлаш характеристикаси билан кесишгунча чизиқ ўтказиб K нуқтани топамиз. K нуқтадан абсцисса ўқига тик тушириб нагруккали генераторнинг ЭЮК $\dot{E}_н$ ни ҳосил қиладиган қўзғатиш токи $\dot{I}'_{кн} = OD$ ни аниқлаймиз. Лекин генератор салт ишлаганда унинг ЭЮК \dot{E}_0 нагруккали генераторнинг ЭЮК $\dot{E}_н$ дан бўйлама якорь реакцияси ЭЮК $\dot{E}_{ад}$ қиймагича катта, яъни:

$$\dot{E}_0 = \dot{E}_н + \dot{E}_{ад}.$$



165-расм.

Якорь реакцияси таъсирини эътиборга олиш учун $I_{1н}$ векторни радиус қилиб айлана чизамиз ва ордината ўқи билан кесишган нуқтадан қисқа туташиш характеристикаси билан кесишгунча горизонтал чизиқ ўтказиб F нуқтани топамиз. Бу нуқтадан абсцисса ўқига тик тушириб $I_{кк} = OG$ қўзғатиш токини аниқлаймиз.

Энди якорь реакцияси ЭЮК $\dot{E}_{ад}$ нинг қийматини аниқлаш учун $\dot{I}_{кк}$ дан сочилма ЭЮК $\dot{E}_{с1}$ ни ҳосил қилалиган қўзғатиш токи $I_{кс}$ ни айирамиз. Сочилма ЭЮК вектори $j\dot{I}_{1н}x_{с1} = OP$ ни ордината ўқи йўналишида O нуқтадан бошлаб чизамиз. Бу вектор учидан салт ишлаш характеристикаси билан кесишгунча чизиқ ўтказамиз ва улар кесишган нуқтадан абсцисса ўқига тик тушириб, қўзғатиш токи $\dot{I}_{кс} = OL$ ни аниқлаймиз. Юқорида айтиб ўтилганидек,

қисқа туташишда генератор ЭЮК сочилма ЭЮК $\dot{E}_{с1}$ ва якорь реакцияси ЭЮК $\dot{E}_{ад}$ билан мувозанатлашади. Шундай экан $I_{кк}$ қўзғатиш токидан $I_{кс}$ ни айириб $I_{ка} = LG$ ни топамиз. Қўзғатиш токнинг бу қисми якорь реакциясининг бўйлама ЭЮК $\dot{E}_{ад}$ ни ҳосил қилади. $I_{кк}$ ва $I_{ка}$ қўзғатиш тоklarининг геометрик йиғиндиси $I_{кн}$ га тенг бўлади. $I_{кн}$ қўзғатиш токи эса генераторда салт ишлаш ЭЮК \dot{E}_0 ни ҳосил қилади. Энди $I_{ка} = DM$ векторни D нуқтадан $\varphi' = \varphi_n + \gamma$ бурчак остида чизамиз. Бу вектор учини, яъни M нуқтани O нуқта билан бирлаштириб $I_{кн} = OM$ векторни оламиз. MD радиусда абсцисса ўқи билан кесишгунча айлана чизиб S нуқтани аниқлаймиз. Бу нуқтадан салт ишлаш характеристикаси билан кесишгунча тик чизиқ ўтказамиз, бунда $SP = OE$ чизиғи E_0 ЭЮК ига тенг бўлади. У ҳолда агар номинал нагрузка билан ишлаб турган генераторнинг нагрузкаси бирданга нолгача камайиб қолса, генератор кучланишининг ўзгариши $\Delta u \% = \dot{E}_0 - \dot{U}_{1н} = AE$ билан аниқланади. Одатда, кучланишининг бундай ўзгариши $\dot{U}_{1н}$ га нисбатан процент ҳисобида аниқланади:

$$\Delta u \% = \frac{SP - SR}{NR} 100 \% = \frac{E_0 - U_{1н}}{U_{1н}} 100 \%.$$

Генератор сиғим қаршиликли нагрузка билан ишлаганда Δu манфий бўлади. Генераторнинг нагрузкаси номинал қийматдан нолгача камайганда кучланишининг ўзгариши 30 ... 40 % дан ортмаслиги лозим. Лекин эксплуатация шароитида нагрузка қиймати бирданга нолгача камайганда роторнинг айланиш частотаси ортиб кетади. Агар қўзғатгич шу синхрон генератор ўқига жойлашган бўлса, қўзғатиш токи ҳам кўпайиб кетади. Албатта, бу икки параметр сабабли генератор кучланишининг ўзгариши нормада кўрсатилгандан ортиқ бўлиши мумкин.

77. Синхрон машиналарда қувват исрофи. Машинанинг фойдали иш коэффициенти

Синхрон машина асосан генератор сифатида ишлатилади, лекин корхоналарда синхрон двигателлар ҳам қўлланилади. Машина генератор сифатида ишлаганда ҳам, двигатель сифатида ишлаганда ҳам уларда маълум миқдорда қувват исроф бўлади. Қувват исрофи қуйидагилардан иборат бўлади:

1) машина айланадиган қисмларининг ишқаланишига сарфланадиган қувват, яъни механик исроф $\Delta p_{\text{мех}}$. Подшипникларнинг ишқаланиши; роторнинг ҳавога ёки совитувчи муҳитга ишқаланиши; чўткаларнинг ҳалқаларда ишқаланиши сабабли маълум миқдорда қувват исроф бўлади. Механик исрофни аниқ ҳисоблаш қийин. Заводларда механик қувватни ҳисоблашда машинани синаш тажрибаларидан олинган маълумотлардан фойдаланилади. Баъзан эмпирик формулалардан фойдаланилади. Масалан, „Электросила“ заводда аён қутбли синхрон машинада умумий механик исроф қувватини аниқлашда қуйидаги формуладан фойдаланилади:

$$\Delta p_{\text{мех}} = 0,82p \left(\frac{v}{40} \right) \sqrt{\frac{l_1}{19}}; \quad (4-15)$$

бу ерда: p — жуфт қутблар сони; v — роторнинг айлана тезлиги, l_1 — статорнинг тўла узунлиги, см.

2. Магнитланиш процессида қувват исрофи, яъни магнит исроф. Статор темир ўзагида гистерезис ва уярма тоқлар таъсири натижасида қувват исрофи бўлади. Магнит исроф қиймати магнит индукциясига ва ўзакнинг қайта магнитланиш частотасига боғлиқ. Магнит исроф машинанинг нагрукаси қийматига боғлиқ эмас, агар $n = \text{const}$ бўлса, магнит исроф қиймати бир хилда қолади. Гистерезис натижасида қувват исрофи (1-74) да ва уярма тоқлар таъсирида қувват исрофи (1-75) да келтирилган формулалар билан аниқланади.

3. Статор чулғамида электр исрофи статор фаза токнинг квадратига пропорционал бўлади:

$$\Delta p_{\text{эя}} = m I_{\phi}^2 R_{75} \cdot 10^{-3}, \quad (4-16)$$

бу ерда: m — фазалар сони; R_{75} — статор фаза чулғамининг 75°C даги актив қаршилиги (75°C ишлаб турган машина температураси).

4. Қўзғатиш чулғамида электр исрофи. Қўзғатиш чулғамида, ростловчи аппаратларда, қўзғатгичда, иккинчи қўзғатгичда (улар синхрон машина билан бир валда ўрнатилганда) қувват исроф бўлади. Қўзғатгич бўлмаганда қўзғатиш чулғамида қувват исрофи қуйидагича аниқланади:

$$\Delta p_{\text{эя}} = (I_{\kappa}^2 R_{\kappa} + 2\Delta U_{\kappa} / \kappa) 10^{-3}, \quad (4-17)$$

қўзғатгич бўлганда:

$$\Delta p_{\text{эқ}} = \frac{I_{\text{к}}^2 R_{\text{к75}} + 2\Delta U_{\text{чк}}}{\eta_{\text{к}}} \cdot 10^{-3}. \quad (4-18)$$

Қуввати кичик бўлган қўзғатгич учун $\eta_{\text{к}} = 0,7 \dots 0,8$.

5. Қўшимча қувват исрофи. Қўшимча қувват сарфи сочилма оқим томонидан ҳосил қилинадиган уярма тоқлар таъсирида; чулғамларда ва машинанинг оғир қисмларида юқори гармоника оқимлари таъсирида; аёнмас қутбли машиналарда; статор ва ротор тишларида магнит оқимининг пульсланиши натижасида вужудга келади. Уларни аниқ ҳисоблаш анча қийин. Қуввати 100 кВ·А гача бўлган синхрон машиналарда ГОСТ 11826—66 га биноан қўшимча қувват исрофи машина номинал қувватининг 0,5 % га тенг қилиб олинади. Катта қувватли машиналарда тажриба асосида олинган маълумотлардан аниқланади.

Шундай қилиб, синхрон машинада умумий қувват исрофи:

$$\sum \Delta p = \Delta p_{\text{мех}} + \Delta p_{\text{маг}} + \Delta p_{\text{эя}} + \Delta p_{\text{к}} + \Delta p_{\text{қўш}}. \quad (4-19)$$

Механик исроф, магнит исроф ва қўзғатиш занжиридаги исроф салт ишлаш исрофи дейилади. Салт ишлашда қувват исрофи:

$$\sum \Delta p_0 = \Delta p_{\text{мех}} + \Delta p_{\text{маг}} + \Delta p_{\text{к}}, \quad (4-20)$$

166-расм а ва б да синхрон генератор ва синхрон двигателнинг энергетик диаграммаси берилган.

Синхрон машинанинг фойдали иш коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta p}{P_1}, \quad (4-21)$$

бу ерда; P_1 — бирламчи двигателниг механик қуввати, $P_2 = P_2$ — синхрон генераторнинг қуввати.

Синхрон генераторнинг ФИК қуйидагича аниқланади:

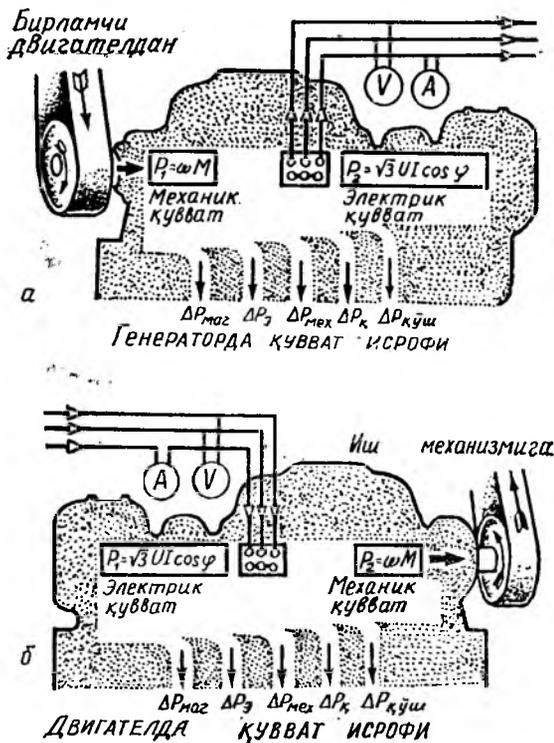
$$\eta_{\text{г}} = 1 - \frac{\sum \Delta p}{P_2 + \sum \Delta p}, \quad (4-22)$$

бу ерда; $P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ — генераторнинг фойдали қуввати. Синхрон двигателнинг ФИК қуйидагича аниқланади:

$$\eta_{\text{д}} = 1 - \frac{\sum \Delta p}{P_1}, \quad (4-23)$$

бу ерда; $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ — двигателга тармоқдан бериладиган қувват.

Ўртача қувватли синхрон машиналарнинг (100 кВА гача) ФИК 85 .. 90 % гача; катта қувватли машиналарда 96 .. 98 % гача боради. Синхрон машинанинг ФИК нагрузка қийматига ва қувват коэффициентига боғлиқ.



166-расм.

XV БОБ. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

78. Синхрон генераторларни параллел улашда бажариладиган шартлар

Одатда, электр станцияларда бир нечта синхрон генераторлар ўрнатилади. Бу генераторлар ўзаро параллел уланади ва умумий истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлайди. Электр станциянинг умумий қуввати параллел уланган генераторларнинг номинал қувватлари йиғиндиси билан аниқланади. Синхрон генераторларнинг параллел ишлаши истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлаш узлуксизлигини оширади. Ҳар бир генератордан тўла фойдаланишга шароит ярадади. Лозим бўлганда баъзи генераторларни, истеъмолчиларни узмасдан ремонт қилиш мумкин бўлади. Ҳозирги вақтда ўта катта қувватли электр станциялар ҳам ўзаро параллел ишлайди ва шу асосда энергетика системалари ҳосил қилинади. Генераторлар параллел ишлаганда истеъмолчилар қуввати камайиб кетса, баъзи генераторлар тўхтатиб қўйилади ва шу асосда электр стан-

циясининг тежамли ишлашига эришилади. Синхрон генераторларнинг параллел ишлашига оид масалаларни урганиш энергетика системаларини яхши ва тургун ишлашини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга

Синхрон генераторни ишлаб турган бошқа генераторлар билан ёки электр тармоғи билан параллел улаш учун қуйидаги асосий шартлар бажарилиши лозим:

1. Параллел уланадиган генераторнинг ЭЮК (E_0) электр тармоғининг кучланиши (U_T) га тенг ва фазаси жиҳатидан 180° га силжиган, яъни тескари фазада бўлиши лозим.

2. Параллел уланаётган генератор ва электр тармоғи кучланишининг частоталари ўзаро тенг ($f_T = f_T$) бўлиши лозим.

3. Параллел уланаётган генератор клеммаларида ва электр тармоғида кучланиш фазаларининг кетма-кетлиги бир хил бўлиши лозим. Учинчи шарт фақат уч фазали синхрон генераторларга тегишлидир.

Синхрон генераторни бошқа генераторлар билан ёки электр тармоғи билан параллел улашга тайёрлашда унинг ЭЮК ва частотаси ростланади. Генераторнинг ЭЮК унинг қўзғатиш токини ўзгартириш билан ўзгартирилади; частотаси эса бирламчи двигателнинг айланиш тезлигини ўзгартириш билан ўзгартирилади.

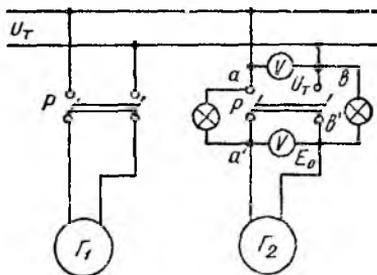
Генераторни параллел улаш мақсадида юқоридаги шартларни бажариш процесси синхронлаш дейилади.

79. Синхрон генераторларни параллел улаш усуллари

Аниқ синхронлаш усули. Бу усулда генераторни параллел улаш шартлари жуда аниқ бажарилиши лозим. Биринчи ва учинчи шартларни бажариш анча осон. Бунда уланаётган ва ишлаб турган генераторлар занжирга вольтметрлар ва фаза кўрсаткичлар улаб бу шартларнинг аниқ бажарилишига ишонч ҳосил қилиш мумкин. Лекин уланаётган генератор ва тармоқ частоталарининг ўзаро тенглигини частотаметрлар ёрдамида аниқлаш бу шартнинг аниқ бажарилишидан далолат бермайди. Амалда бу шартнинг бажарилиш вақтини аниқ белгилайдиган махсус приборлар ва схемалар ишлатилади. Частоталар бир хил бўлган вақтни амалда махсус прибор — синхроноскоп ёрдамида аниқланади. Амалда турли хил синхроноскоплар ишлатилади. Энг оддий синхроноскоп лампали синхроноскопдир.

Қуйида бир фазали синхрон генераторни лампали синхроноскоп ёрдамида синхронлаш вақтини аниқлаш билан танишамиз. Бир фазали синхрон генераторни параллел улашда лампали синхроноскопнинг улашиш схемаси 167-расмда берилган. Одатда тармоқ частотаси доимо бир хил бўлади. Параллел уланаётган генераторнинг частотаси унинг бирламчи двигателининг айланиш тезлигини ўзгартириш билан ўзгартирилади. Генератор параллел улашишга тайёрланаётганда лампалар ёниб-ўчиб туради. Лампа-

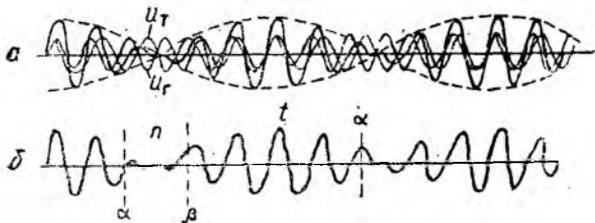
ларнинг ёниб-ўчиш вақти генератор частотаси билан тармоқ частотасининг фарқига боғлиқ. Бу фарқ қанча катта бўлса, лампалар тез ёниб-ўчади; қанча оз бўлса, шунча секин ёниб-ўчади. Агар параллел уланадиган генераторнинг ЭЮК ва тармоқ кучланиши векторлар тенг ва қарама-қарши йўналган бўлса, лампалар ёнмайди. Шу вақт частоталар тенг бўлган пайт бўлади, лекин бу узоқ вақт давом этмайди. Частоталар тенг бўлмаганда



167-рasm

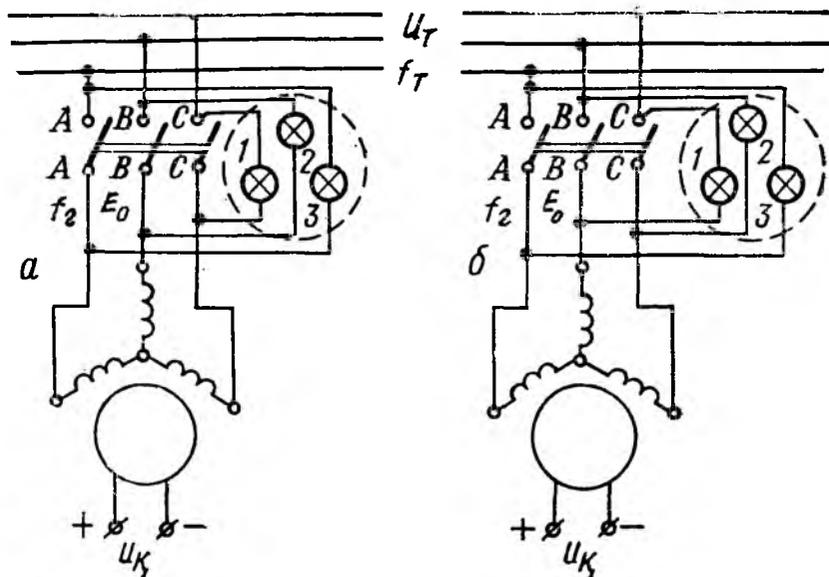
кучланишлар эгри чизиқлари фазалари жиҳатидан бир-бирига нисбатан силжиганлиги учун кучланишлар фарқи ҳосил бўлаверади ва бу вақтда лампалар ёниқ бўлади.

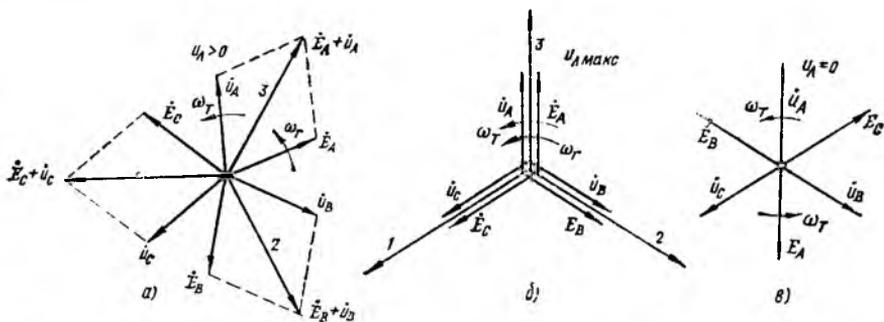
Синхронлашда содир бўладиган ҳодисаларни тушуниш мақсадида генератор ЭЮК ва тармоқ кучланишининг вақт бирлиги ичида ўзгариш эгри чизиқлари, яъни $E_0 = f(t)$ ва $U_T = f(t)$ боғланишлари (168-рasm, а) маълум масштабда чизилган. Вақтнинг ихтиёрий пайтида уларнинг ординаталарини қўшиб, лампалардаги кучланишнинг ўзгариш эгри чизиғи (пунктир чизиқ билан) кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, частоталар аниқ тенг бўлмаслиги нагижасида генератор ва тармоқ кучланишлари баъзан бир-бири билан тўла мувозанатлашади, яъни ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналлади (лампалар ўчган пайт); баъзан улар бир томонга йўналганлиги учун уларнинг қийматлари ўзаро қўшилади (лампалар ёнган пайт). 168-рasm, б да лампалардаги кучланишнинг ўзгариш эгри чизиғи алоҳида чизилган. Бурчак α дан β гача ўзгарган вақт оралиғида лампалар ўчади; β дан кейинги бурчак α гача бўлган вақт оралиғида лампалар ёнади; t пайтда лампалар тўла чўғланиб ёнади. Синхронлашда генератор частотасини тармоқ частотасига яқинлаштириш мақсадида унинг амплитудаси тезлиги секин-аста ўзгартирилиб, лампаларнинг ёниб-ўчиши секинлаштирилади. Аниқ синхронлашганда лампалар 3...5 секунд ўчиб туради ва яна ёна бошлайди. Шундай вазиятнинг бир нечтасини ўтказиб туриб, яъни лампалар ўчиб турган вақт n пайтда генератор тармоққа (параллел ишлашга) уланади.



168-рasm

Уч фазали синхрон генераторни тармоққа бошқа генераторлар билан параллел улашда ҳам юқорида келтирилган асосий шартлар аниқ бажарилиши лозим. Бу ерда ҳам биринчи ва учинчи шартларнинг бажарилмаслиги юқоридаги оқибатларга олиб келади. Бунда ҳам иккинчи шартнинг аниқ бажарилиш вақти лампали синхроноскоп ёрдамида аниқланади. Уч фазали генераторларда учта лампали синхроноскоп ишлатилади. Уч лампали синхроноскоп лампалари „ўчиш“ (169-расм, а) ёки „ёруғлик айланиши“ схемалари (169-расм, б) бўйича уланади. „Ўчиш“ схемасида лампалар бир вақтда ёнади ва бир вақтда ўчади. Синхронлашда, илгари кўрганимиздек, параллел уланаётган генератор частотаси унинг айланиш тезлигини ўзгартириб тармоқ частотасига яқинлаштирилади, бунда лампаларнинг ёниб-ўчиши секинлашади. Генератор параллел уланишга тайёрланаётганда унинг ЭЮК (E_A, E_B, E_C) ва тармоқ кучланиши (U_A, U_B, U_C) вақт бирлиги ичида, уларнинг частоталарига мос равишда, турли бурчак тезлик билан (ω_T ва ω_r) айланиб туради. Бир фазали синхрон генераторда кўриб ўтганимиздек, ихтиёрий вақтда лампаларга бериладиган кучланиш генератор ЭЮК ва тармоқ кучланишининг геометрик йиғиндиси билан аниқланади ва унинг қиймати нолдан $2U_\phi$ гача ўзгариб туради. Генератор ЭЮК ва тармоқ кучланиши векторларининг йўналиши мос келганда лампалар равшан ёнади; уларнинг йўналиши қарама-қарши бўлганда лампалар ўчади. Уланаётган генератор бирламчи двигателнинг





170- расм.

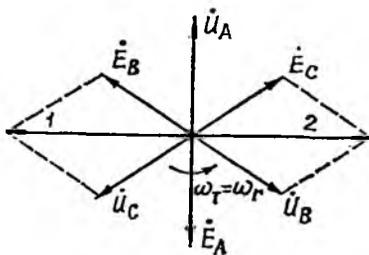
тезлигини ўзгартириб, $\omega_2 = \omega_T$ га эришилади. Бунда лампаларнинг ёниб-ўчиши секинлашади. Худди шу вақтда генератор тармоққа уланиши лозим. 170-расмда ихтиёрий пайт учун ЭЮК ва тармоқ кучланиши векторларининг вазияти ҳамда лампалардаги кучланишнинг ўзгариш диаграммаси келтирилган.

Агар лампалар „ёруғлик айланиши“ схемасида уланса, ω_T билан ω_r орасида фарқ бўлганда, лампалар айлана бўйлаб бириккетин ёниб „ёруғлик айланиши“ эффектини ҳосил қилади. $\omega_T > \omega_r$ бўлганда ёруғлик бир томонга айланса, $\omega_T < \omega_r$ бўлганда тескари томонга айланади. Уланаётган генератор бирламчи двигателнинг айланиш тезлигини ўзгартириб $\omega_r = \omega_T$ га эришилганда, иккита лампа равшан ёнади, учинчиси ўчади; шу вақтда генератор тармоққа уланиши лозим. 171-расмда „ёруғлик айланиши“ схемаси учун ЭЮК ва кучланиш векторлари диаграммаси келтирилган.

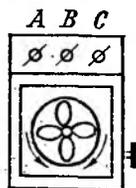
Уч фазали синхрон генераторларни параллел улашда учинчи шартнинг бажарилиши махсус „фаза кўрсаткич“ прибори ёрдамида текшириб кўрилади. Агар параллел уланаётган генератор ЭЮК ва тармоқ кучланишининг айрим фазаларининг кетма-кет келиши бир хил бўлмаса, синхроскоп лампалари „ўчиш“ схемаси бўйича уланганда ҳам „ёруғлик айланиши“ эффектини беради. Генератор ЭЮК ва тармоқ кучланиши айрим фазаларининг кетма-кет келиши бир хилда булиши учун генератордан келаётган исталган икки фаза симининг ўрнини алмаштириш кифоядир. 172-расмда „фаза кўрсаткич“ прибори кўрсатилган.

Ҳозирги вақтда лампали синхроскоплар қаторида янада мукамаллашган стрелкали синхроскоплар ҳам кенг ишлатилади. Стрелкали синхроскоп синхронлаш вақтини янада аниқроқ кўрсатади. Частоталар фарқи кичкина бўлганда унинг стрелкаси секин айланади. Синхроскоп шкаласининг бир томонида „тезроқ“ ва иккинчи томонида эса „секинроқ“ сўзлари ёзилган. Синхроскоп стрелкасининг вазияти генераторнинг айланиш тезлигини қандай ростлаш лозимлигини кўрсатади.

Электр станцияларда махсус синхронлаш панеллари ўрнатилади. Бу панелда генератор ЭЮК ва тармоқ кучланишини ўл-



171- расм.



172- расм.

чаш учун 2 та вольтметр, частоталарни ўлчаш учун иккита частотаметр, синхроскоп ва лампали синхроскопга бериладиган кучланишни ўлчаш учун махсус ноль вольтметр ўрнатилади. Бу вольтметрнинг шкаласи $2U_{\phi}$ га мос танланади. Генератор синхронланаётганда ноль вольтметрнинг стрелкаси доим ўзгариб туради. У нолни кўрсатганида генераторни тармоққа улаш керак.

Синхрон генератор ишлаб турган генератор ёки электр тармоғи билан юқоридаги шартларни аниқ бажариб синхронлаш аниқ синхронлаш дейилади. Электр станцияларда аниқ синхронлаш процесси автоматлаштирилади.

Но аниқ синхронлаш усули. Электр станцияларда баъзан битта ёки бир нечта синхрон генераторлар электр тармоғига параллел улашиб, ишдан тез-тез тўхтатиб турилади. Бу шароитда ҳар гал аниқ синхронлаш кўп вақт ва малака талаб қилади. Сўнги вақтларда параллел улашнинг янги усули, яъни но аниқ синхронлаш усули ишлаб чиқилди ва бу усул турли электр станцияларда кенг татбиқ қилинмоқда. Бу усулда ҳатто кучланиш ва частоталарнинг фарқи анча катта бўлган шароитда ҳам генераторни қисқа вақт ичида тармоққа параллел улаш мумкин. Но аниқ синхронлашда генераторнинг бирламчи двигатели ишга туширилади ва магнит майдони ҳали қўзғатилмаган генератор роторининг айланиш тезлиги бирламчи двигатель ёрдамида, синхрон тезликка ёки ундан 2...5% кам тезликка етказилади. Генератор унда магнит майдони ҳосил қилинмасдан тармоққа уланади ва шу заҳоти унга номинал қўзғатиш токи берилади. Бу шароитда генератор 2...3 с ичида ўз-ўзидан тармоқ билан синхрон ишлаб кетади. Генераторнинг қўзғатиш чулғами, у параллел уланаётганида, бошқа бирорта қаршиликка уланган бўлади. Генератор тармоққа уланганда, тармоқ кучланиши таъсирида (генераторнинг ЭЮК нолга тенг) статор чулғамидан катта ток ўта бошлайди ва роторга катта механик куч таъсир эта бошлайди. Лекин бу катта ток ва унинг механик таъсири генератор учун хавfli бўлмайди. Тармоққа улангандан сўнг 2...7 с ўтгач, статор токи номинал қийматгача камаяди ва у нормал ишлай бошлайди. Синхронлаш вақтида генераторнинг айланиш тезлиги тахометр ёки частота релеси билан ўлчанади. Синхрон-

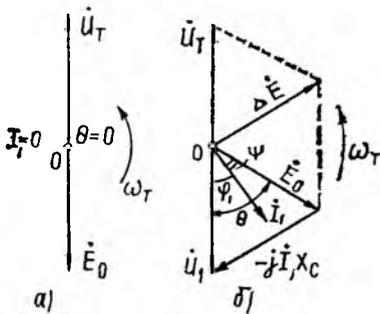
лашдан олдин генератор ва тармоқ кучланиши айрим фазаларининг кетма-кет келиши текшириб кўрилган бўлиши керак. Бу усул синхрон генераторнинг ўз-ўзидан синхронланиш усули ҳам дейилади.

80. Параллел уланган синхрон генераторнинг нагрузка билан ишлаши

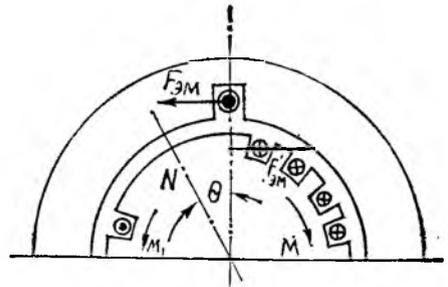
Синхрон генераторни муайян қувватли бир ёки бир неча синхрон генераторларга ёки ўта қувватли энергетика системасига параллел улаб ишлатиш мумкин. Синхронлаш вақтида машинада содир бўладиган ҳар қандай ўзгаришлар электр тармоғига ҳеч қандай таъсир этмайди, яъни тармоқ кучланиши ва частотаси доимо бир хилда қолаверади. Тармоқ кучланиши вектори вақт бирлиги ичида бир текисда доимий бурчак тезлик ($\omega_T = 2\pi f_1$) билан айланиб туради. Синхронлаш вақтида генератор ЭЮК ининг частотаси узоқ вақт электр тармоғи кучланиши частотасига тенг бўлмайди. Лекин генератор тармоққа улангандан сўнг, бошқа генераторлар сингари синхрон ишлаб кетади. Энди тармоққа уланган синхрон генератор қандай кучлар таъсирида синхрон ишлаб кетишини кўриб чиқамиз.

Синхронлашнинг ҳамма шарглари бажарилган ҳолда тармоққа уланган генератор олдин нагрузкасииз ишлай бошлайди. Бунда генераторнинг ЭЮК \dot{E}_0 тармоқ кучланиши \dot{U}_T га тенг ва унга қарама-қарши йўналганлиги учун статор чулғамида ток полга тенг бўлади (173-расм, а). Бирламчи двигателдан генераторга берилаётган механик қувват бу шароитда салт ишлашга сарфланади, яъни $P_1 = \Delta p_{\text{мех}} + \Delta p_{\text{маг}} + \Delta p_{\text{к}} = P_0$. Статор токи полга тенг бўлгани учун роторни тормозловчи электромагнит куч ҳам полга тенг бўлади. Бу шароитда генератор нейтрал режимда (генератор ҳам эмас, двигатель ҳам эмас) ишлайди. Нагрузка уланганда ҳосил бўладиган статорнинг айланма магнит майдони ротор билан бир хилда айланса, машина нейтрал режимда ишлайверади.

Машина генератор сифатида ишлаши учун ротор магнит майдонининг ўқи статор магнит майдони ўқиға нисбатан қандайдир бурчакка олдинда айланиши керак. Бунинг учун бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментини ошириш лозим. Айлантирувчи момент таъсирида ротор олдинги вазиятиға нисбатан бирор θ бурчакка бурилиб, айлана бошлайди. Бунда \dot{E}_0 ЭЮК вектори ҳам олдинги вазиятиға нисбатан худди шу бурчакка олдинға силжиган ҳолда айлана бошлайди. Бу шароитда \dot{E}_0 билан \dot{U}_T орасидаги бурчак 180° га тенг бўлмайди (173-расм, б). Бунда \dot{E}_0 ва \dot{U}_T векторлари йиғиндисига тенг ΔE ЭЮК ҳосил бўлади ва бу ЭЮК статор чулғамларида I_1 токни ҳосил қилади. Бу токнинг қиймати параллел уланган генератор статор чулғамининг актив қаршилигини ҳисобға олмаганда унинг синхрон қаршили-



173- расм.



174- расм.

ги билан аниқланади: $I_1 = -j \frac{\Delta E}{X_c}$. Шундай қилиб, I_1 ток ΔE дан (индуктив ток бўлгани учун) 90° кейинда бўлади. Статор токи ва ротор магнит майдонининг ўзаро таъсири натижасида статор чулғамининг ҳар бир симига $F_{эм}$ электромагнит куч таъсир эта бошлайди. Бу шароитда генератор электр тармоғига $P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ актив қувватни беради ва тармоқ кучланиши \dot{U}_T генератор кучланиши \dot{U}_1 билан мувозанатлашади. Электромагнит куч ротор қутбларида ўзига тенг ва қарама-қарши йўналган $F_{эм}^1$ кучни ҳосил қилади, бунда $F_{эм} = -F_{эм}^1$ бўлади (174-расм). Шундай қилиб, роторга тормозловчи момент таъсир эта бошлайди. Бирламчи двигатель эса нагрузка билан ишлай бошлайди. Бунда албатта бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти роторга таъсир этувчи тормозловчи моментдан катта бўлади ва шунинг учун бирламчи двигателнинг механик энергияси генераторда электр энергияга айланади.

Бирламчи двигателнинг механик қуввати P_1 қисман салт ишлаш қувватини қоплашга сарфланади, қолгани генераторнинг электромагнит қувватини ҳосил қилади, яъни:

$$P_1 = P_0 + P_{эм}. \quad (4-24)$$

Генератор параллел ишлаганда ундан олиналган фойдали қувват P_2 қийматини унинг бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментини ўзгартириш йўли билан ўзгартирилади. Бунда:

$$P_2 = P_{эм} - m_1 I_1^2 R_1, \quad (4-25)$$

бу ерда: m —фазалар сони; R_1 —статор фаза чулғамининг актив қаршилиги.

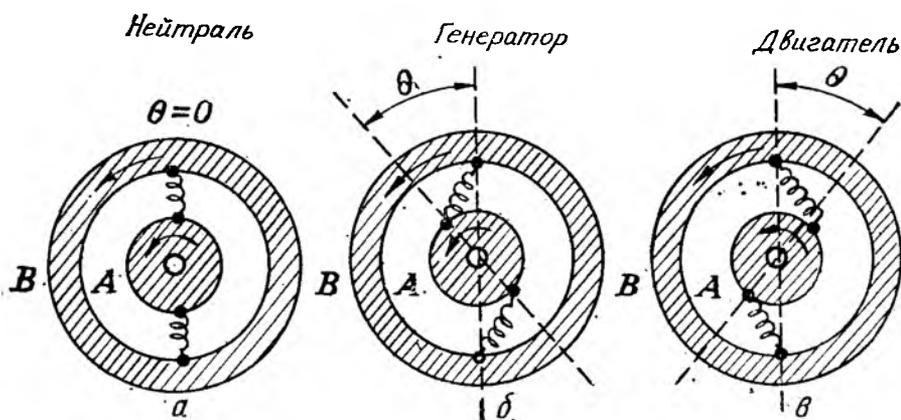
Агар тармоққа уланган генераторнинг ротори статорнинг айланма магнит майдонидан секинроқ айланса, майдонлар орасида бурчак (тескари томонда) ҳосил бўлади ва статор чулғамда I_1 ток йўналишини ўзгартиради. Бу токни ротор магнит майдони

билан ўзаро таъсири натижасида роторга электромагнит момент таъсир эта бошлайди, энди бу момент айланувчи момент булади. Бу шароитда машина тармоқдан олаётган электр энергиясини механик энергияга айлантиради, яъни двигатель сифатида ишлайди.

Демак, синхрон машинанинг ротори статорнинг айланма магнит майдони билан узвий боғланган. Машина турли шароитда ишлаганда унда ҳосил бўладиган электромагнит кучлар бу майдонларни узвий боғловчи кучлар ҳисобланади.

Юқоридаги мулоҳазалар асосида машинада ҳосил бўладиган электромагнит кучларни иккита, яъни *A* айланувчи шкив ҳамда *B* ҳалқани ўзаро боғловчи эластик пружинага ухшатса бўлади (175-расм). Бунда *A* шкив ротор магнит майдонини; *B* ҳалқа эса статорнинг магнит майдонини ифодалайди. *A* шкивга таъсир этувчи механик кучнинг ҳар қандай ўзгариши шкив билан *B* ҳалқа орасида турли фазовий бурчак ҳосил бўлишига ҳамда пружинанинг турли даражада чўзилишига олиб келади. Пружина билан ўзаро боғланган айланувчи шкив ҳамда ҳалқа синхрон машинанинг ишлашини кўрсатувчи механик модел бўла олади.

Шкив билан ҳалқа орасида ҳеч қандай бурчак бўлмаса, бу машинани нейтрал режимда ишлашини ифодалайди. Бунда θ бурчак нолга тенг (175-расм, *a*). Машина генератор бўлиб ишлаганда роторнинг магнит майдони (*A*) етакчи; статорнинг айланувчи магнит майдони (*B*) етакланувчи бўлади; θ бурчак чап томонда жойлашади (175-расм, *б*). Машина двигатель бўлиб ишлаганда эса, статорнинг айланма магнит майдони (*B*) етакчи; роторнинг магнит майдони (*A*) етакланувчи бўлади; бунда θ бурчак ўнг томонда жойлашади.



175- расм.

81. Синхрон машинанинг электромагнит қуввати ва бурчак характеристикаси

Синхрон машина генератор сифатида ишлаганда электр тармоғига $P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ актив (фойдали) қувват беради. Бундан ташқари, статор чулғамидан I_1 ток ўтганда унинг актив қаршилигида қувватнинг бир қисми исроф бўлади. Бу қувват $\Delta p_{\text{эл}} = m_1 I_1^2 R_1$ билан аниқланади. Шу иккала қувватнинг йиғиндиси машинанинг электромагнит қуввати ($P_{\text{эм}}$) дейилади. Электромагнит қувват роғордан статорга магнит майдони воситасида узатилади:

$$P_{\text{эм}} = P_2 + \Delta p_{\text{эл}}.$$

Бирламчи двигателдан генераторга бериладиган қувват:

$$P_1 = P_0 + P_{\text{эм}}.$$

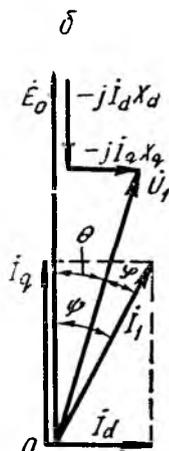
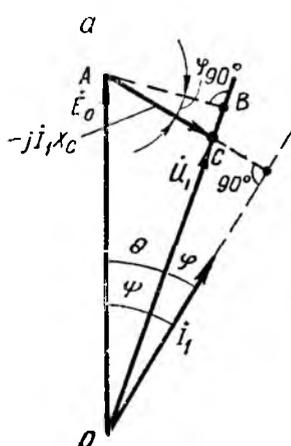
Демак: $P_2 = P_{\text{эм}} - m_1 I_1^2 R_1$.

Одатда, синхрон машиналарда статордаги электр исрофи унинг номинал қувватини 1% дан камроғини ташкил қилади. Шунинг учун амалда уни эътиборга олмай $P_2 \approx P_{\text{эм}}$ дейиш мумкин. Бунда:

$$P_2 \approx P_{\text{эм}} = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

бўлади.

Энди синхрон генераторнинг электромагнит қувватини ва электромагнит моментини θ бурчакка боғлиқлигини кўриб чиқамиз. Аввал аёнмас қутбли машина учун электромагнит қувват формуласини аниқлаймиз. Бунинг учун $R_1 = 0$ бўлганда синхрон генераторнинг соддалаштирилган вектор диаграммасини қурамиз (176-рasm, a).



генераторнинг соддалаштирилган вектор диаграммасини қурамиз (176-рasm, a). Вектор диаграммадаги OAB ва ACB учбурчаклардан:

$$\overline{AB} = \overline{OA} \sin \theta = \overline{AC} \cos \varphi,$$

$$\overline{OA} \sin \theta = \dot{E}_0 \cdot \sin \theta;$$

$$\overline{AC} \cos \varphi = I_1 x_c \cos \varphi.$$

Демак, $\dot{E}_0 \sin \theta = I_1 x_c \cos \varphi$,

$$\text{бундан } I_1 = \frac{E_0 \sin \theta}{x_c \cdot \cos \varphi}.$$

Агар $P_{\text{эм}} = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi$ бўлса, унда:

$$P_{\text{эм}} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_c} \sin \theta. \quad (4-25)$$

Энди аён қутбли синхрон генератор учун электромагнит қувват формуласини аниқлаймиз. 176-расм, б да аён қутбли генераторнинг вектор диаграммаси келтирилган. Диаграммадан:

$$\varphi = \psi - \theta.$$

Унда электромагнит қувват:

$$P_{эм} = m_1 U_1 I_1 \cos(\varphi - \theta) = m_1 U_1 (I_1 \sin \psi \cdot \sin \theta + I_1 \cos \psi \cdot \cos \theta) = m_1 U_1 (I_d \sin \theta + I_q \cos \theta) \quad (4-27, a)$$

I_d ва I_q тоқларни аниқлаш учун \dot{E}_0 ЭЮК \dot{U}_1 кучланиш. $jI_d X_d$ ҳамда $-I_q X_q$ векторлар модуллирини \dot{E}_0 векторга параллел ва унга тик ўқларга проекцияларини аниқлаймиз:

$$\text{Унда } \dot{E}_0 = \dot{U}_1 \cos \theta + \dot{I}_d x_d; \quad \dot{U}_1 \sin \theta = \dot{I}_q x_q.$$

Демак: $I_d = \frac{E_0 - U_1 \cos \theta}{x_d}$, $I_q = \frac{U_1 \sin \theta}{x_q}$, I_d ва I_q ифодаларни (4-27, a) га қўйиб:

$$P_{эм} = m_1 \dot{U}_1 \left(\frac{E_0 - U_1 \cos \theta}{x_d} \right) \sin \theta + \frac{U_1 \sin \theta}{x_q} \cdot \cos \theta.$$

Энди $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cdot \cos \theta$ дан фойдаланиб:

$$P_{эм} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (4-27)$$

ёки

$$P_{эм} = P_{AC} + P_p.$$

Демак, аён қутбли синхрон машинанинг электромагнит қуввати асосий P_{AC} ва реактив P_p қувватлардан иборат бўлар экан.

Юқорида келтирилган аён ва аёнмас қутбли синхрон генераторларнинг электромагнит қувват формулаларидан (ёки статор токи формуласидан) маълумки, $U_1 = U_T = \text{const}$ бўлганда актив қувват қийматини ўзгартириш учун фақат E_0 ЭЮК қийматини ёки унинг U_1 кучланишга нисбатан силжиш бурчаги θ ни ўзгартириш лозим. Агар генератор бирламчи двигателнинг айлан-тирувчи моменти оширилса, \dot{E}_0 вектор айланиш йўналишида \dot{U}_1 кучланиш векторига нисбатан θ бурчакка бурилади ва генератор электр тармоғига каттароқ актив қувват беради. Статор чулғамида I_1 ток ҳосил бўлиши билан генератор валига тормозловчи момент таъсир эта бошлайди. Агар бирламчи двигателнинг айлан-тирувчи моменти генератор валига таъсир этадиган тормозловчи момент билан мувозанатлашса, яъни улар ўзаро тенг бўлса, ротор $n = \text{const}$ тезлик билан айланади.

Шундай қилиб, синхрон генераторнинг электр тармоғига берадиган актив қувватини ошириш учун бирламчи двигателнинг айлан-тирувчи моментини ошириш керак экан.

Агар ташқи моментнинг йўналиши ўзгартирилса, яъни бирламчи двигателъ айлантурувчи эмас, балки тормозловчи момент ҳосил қилса, машина автоматик усулда генератор режимидан двигателъ режимига ўтади.

Синхрон генераторнинг электромагнит momenti электромагнит қувватнинг бурчакли тезлиги ω_1 га бўлган нисбати билан аниқланади. Аён қутбли машина учун:

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{m_1 E_0 U_1}{\omega_1 x_c} \sin \theta. \quad (4-28)$$

Аён қутбли машина учун:

$$M_{эм} = \frac{m_1 E_0 U_1}{\omega_1 x_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (4-29)$$

ёки

$$M_{эм} = M_{ас} + M_p.$$

Аён қутбли машинанинг электромагнит momenti икки қисмдан иборат: а) моментнинг асосий қисми

$$M_{ас} = \frac{m_1 E_0 U_1}{\omega_1 x_d} \sin \theta;$$

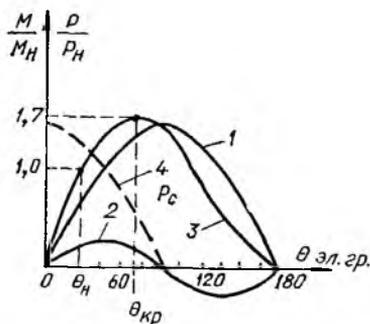
б) моментнинг реактив қисми

$$M_p = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta.$$

Моментнинг асосий қисми тармоқ кучланиш U_1 га ва E_0 ЭЮК ига (қўзғатиш токига) боғлиқ. Моментнинг реактив қисми қўзғатиш токига боғлиқ эмас, у $E_0 = 0$ бўлганда ҳам мавжуд бўлади.

Электромагнит momentни ёки электромагнит қувватни θ бурчакка боғлиқлиги, яъни $M_{эм} = f(\theta)$ ёки $P_{эм} = f(\theta)$ синхрон машинанинг бурчак характеристикаси дейилади. Синхрон машинанинг бурчак характеристикаси $U_1 = \text{const}$ ва $E_0 = \text{const}$ бўлганда олинади

Аён қутбли машинада электромагнит momentнинг асосий қисми бурчакнинг синусига пропорционал ўзгаради, бурчак характеристикаси синусоида кўринишида бўлади (177-расм, 1-эгри чизиқ). Аён қутбли машинада бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича магнит ўтказувчанлик турлича бўлганлиги учун ($x_d \neq x_q$) реактив момент ҳосил бўлади.



177-расм Синхрон машинанинг бурчак характеристикаси.

Реактив момент $\sin 2\theta$ га пропорционалдир (2-эгри чизиқ). Бу моментларнинг йиғиндисидан аён қутбли машинанинг бурчак характеристикасини оламиз. Бу характеристика қийшайган синусоида кўринишида бўлади (3-эгри чизиқ). Машинанинг электромагнит қуввати унинг электромагнит моментига пропорционал бўлгани учун юқоридаги эгри чизиқлар (бошқа масштабда) $P_{эм} = f(\theta)$ боғланишни ифодалайди.

Аёнмас қутбли синхрон машинанинг бурчак характеристикаси синусоида кўринишида (1-эгри чизиқ) бўлади.

Синхрон генераторнинг нагрукаси ортиб борганида, яъни θ бурчак θ дан $\theta_{кр}$ гача ($\theta \ll \theta_{кр}$) ўзгарганда машина турғун ишлайверади. Бунда генераторнинг нагрукаси ортиши (θ бурчакнинг катталашуви) билан унинг электромагнит momenti ўсиб боради. Бунда нагруканинг турли турғун қийматида бирламчи двигателнинг айлантурувчи momenti M_1 тормозловчи M_T ҳамда салт ишлаш моментларининг M_0 йиғиндисига тенг бўлади:

$$M_1 = M_T + M_0.$$

Натижада роторнинг айланиш тезлиги бир хилда қолади ва синхрон тезликда айланаверади, $\theta > \theta_{кр}$ бўладиган нагруканда машинанинг электромагнит momenti камаяди, бу моментлар мувозанатининг бузилишига олиб келади. Бирламчи двигателнинг ортиқча momenti таъсирида роторнинг айланиш тезлиги катталашади ва машина синхронизмдан чиқади. θ бурчак $\theta_{кр}$ га тенг бўлганда электромагнит момент ўзининг энг катта қиймати ($M_{макс}$) га эришади.

Аён қутбли синхрон машина учун $\theta_{кр} = 60 \dots 80^\circ$; аёнмас қутбли машина учун $\theta = 90^\circ$ бўлади. Электромагнит моментнинг максимал қиймати:

$$M_{эм \cdot макс} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 \cdot x_c},$$

шунингдек:

$$P_{эм \cdot макс} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_c}.$$

Электромагнит моментнинг (ёки қувватнинг) максимал қиймати машинанинг статик турғунлик даражасини аниқлайди. Электромагнит моментнинг максимал қийматигача бўлган оралиқда, моментларнинг мувозанат ҳолати бир оз бузилса ҳам, машина қисқа вақт тебраниб яна синхрон ишлаб кетади. Агар бирламчи двигателнинг айлантурувчи momenti тормозловчи моментдан жуда катта бўлса, θ бурчакнинг 90° дан ортиб кетиши натижасида, электромагнит момент камаяди, ортиқча айлантурувчи момент таъсирида ротор тезроқ айлана бошлайди. Бунда θ бурчак янада катталашади, генератор синхрон ишлай олмайди. Тармоқ частотаси билан роторнинг айланиш тезлиги орасидаги автоматик боғланиш бузилади. Генераторнинг ЭЮК ва тармоқ кучланиши бир-бири билан мувозанатлашмайди ва статор чул-

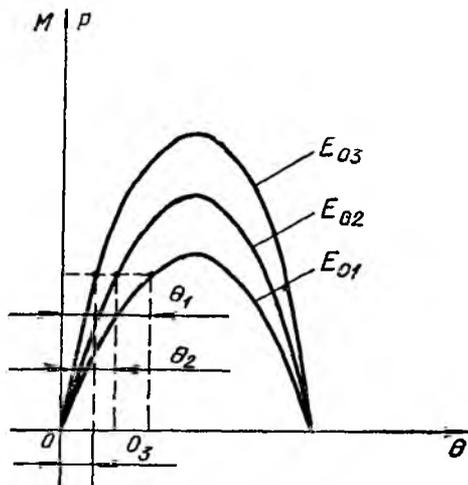
ғамларида ток ҳатто қисқа туташув токигача ортиб кетади, сақловчи автоматлар генераторни тармоқдан узиб қўяди.

Максимал электромагнит моментнинг номинал электромагнит моментга нисбати синхрон машинанинг ортиқча нагрузка билан ёки ўта нагрузка билан ишлаш қобилияти дейилади.

Ортиқча нагрузка билан ишлаш қобилияти генераторнинг статик турғунлигини характерлайди, яъни нагрузка қиймати секин-аста ортганда генератор бера олалиган қувватининг энг катта қийматини характерлайди. Генератор бир турғун режимдан иккинчи турғун режимга ўтаётганда унинг кучланиши ва айланиш тезлиги ўзгармайди.

Нормал шароитда ишлаб турган генераторнинг нагрузкеси бирланига ортиб ёки камайиб кетганда машинанинг синхрон ишлай олиши унинг динамик турғунлиги дейилади.

Синхрон генераторнинг динамик турғунлиги ҳам катта амалий аҳамиятга эга. Генераторга уланган истеъмолчи занжири қисқа туташса, унинг нагрузкеси бирланига кўпайиб кетади. Бунда тармоқ кучланиши пасайиб кетади. Натижада параллел ишлаб турган генераторларнинг динамик турғунлиги пасаяди. Бу вақтда энергетика системасининг иши бузилмаслиги учун генераторнинг қўзғатиш токини (ЭЮК ни) тезда кўпайтириш, яъни форсировка қилиш лозим. Одатда, ҳар бир генераторнинг қўзғатиш системаси қўзғатиш токини тезда кўпайтирувчи махсус қурилма билан жиҳозланади. Синхрон генераторларда $\frac{M_{\max}}{M_n} = 1,4 \dots 2$.



178- расм. E_0 ЭЮК нинг қиймати ҳар хил бўлгандаги бурчак характеристика.

Синхрон генератор номинал нагрузка билан ишлаганда θ бурчакнинг қиймати $20 \dots 35^\circ$ дан ошмайди. Бунда генераторнинг ўта нагрузка билан ишлаш қобилияти $2 \dots 2,5$ бўлади, лекин $1,6 \dots 1,7$ дан кам бўлмаслиги лозим.

Қўзғатиш токининг генераторнинг турғун ишлашига таъсири. Генератор электр тармоғига қандайдир актив қувват бераётган бўлсин. Бунда генераторнинг турғун ишлаши унинг қўзғатиш токига боғлиқ бўлади. Агар қўзғатиш токи ошса, E_0 ЭЮК кўпаяди, бунда моментнинг максимал қиймати ҳам кўпаяди ва машинанинг ишлашда турғунли-

ги ошади. 178-расмда қўзғатиш токи ёки E_0 ЭЮК ҳар хил бўлгандаги бурчак характеристикалар тасвирланган. Расмдан кўри-ниб турибдики, қўзғатиш токи қанча катта бўлса, берилган наг-рузкада θ бурчак шунча кичкина бўлади, демак, $M_{\max} < M_n$ нисбат, яъни генераторнинг ўта нагрузка билан ишлаш қобилияти шунча катта бўлади. Одатда, синхрон генераторлар актив-индуктив ха-рактерли нагрузка билан ишлайди ва тармоққа актив ва реактив қувват беради. Бунда генераторларнинг ўта нагрузка билан иш-лаш қобилиятини ошириш мақсадида, улар каттароқ қўзғатиш токи билан ишлашлари керак.

82. Синхронловчи қувват ва момент

Электр тармоғи билан параллел ишлаб турган синхрон гене-раторнинг ишлаш шароити қисман бузилганда у синхрон ишла-ши учун синхронловчи қувват ва моментга эга бўлиши керак.

Моментларнинг мувозанати бир оз бузилганда генераторнинг тармоқ билан параллел ишлашини тикловчи қувват синхрон-ловчи қувват дейилади. Синхрон машинада θ бурчакнинг ҳар қандай ўзгариши электромагнит моментнинг шунга мос ўз-гаришига олиб келиши керак.

Агар θ бурчак катталашса, электромагнит момент ёки қувват ҳам катталашини, кичиклашса кичиклашини лозим. Демак, син-хрон машина $\frac{\Delta P_{эм}}{\Delta \theta} > 0$ бўлганда доимо турғун ишлайди. Бошқа-ча айтганда, θ бурчак ўзгарганда бу нисбат электромагнит қув-ватнинг ўсиш даражасини характерлайди. Аёнмас қутбли маши-на учун электромагнит қувватнинг ўсиш даражаси унинг θ бурчаги бўйича биринчи тартибли ҳосила билан аниқланади:

$$p_c = \frac{dP_{эм}}{d\theta} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_c} \cdot \cos \theta. \quad (4-30)$$

бу ерда: p_c — солиштирма синхронловчи қувват ёки синхронлов-чи қувват коэффиценти дейилади.

Солиштирма синхронловчи момент:

$$M_c = \frac{dM_{эм}}{d\theta} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_0} \cos \theta. \quad (4-31)$$

θ бурчак $\Delta \theta$ бурчакка ўзгарганда бурчак характеристиканинг турғун қисмининг тиклиги қанча катта бўлса, p_c ва M_c ҳам шун-ча катта бўлади. Характеристиканинг турғун бўлмаган қисмида p_c ва M_c манфий бўлади. Синхрон машинанинг турғун ишлаш шартини $p_c > 0$ ёки $M_c > 0$ билан ҳам ифодалаш мумкин.

Синхрон машинанинг нагрузкаси ўзгарганда бирламчи двига-телнинг ва генератор қувватларининг тенглиги бузилади. Шу шароитда қувватларнинг фарқи ΔP синхронловчи қувват бўлади:

$$\Delta P = p_c \Delta \theta. \quad (4-32)$$

Синхронловчи момент:

$$\Delta M = \frac{\Delta P}{\omega_1} = M_c \Delta \theta. \quad (4-33)$$

Бу момент генератор электромагнит моментининг ва бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментлари фарқидан ҳосил бўлади ва генератор роторига таъсир эгади ва у машинани синхронизмдан чиқармайди. Аёнмас қутбли машина учун

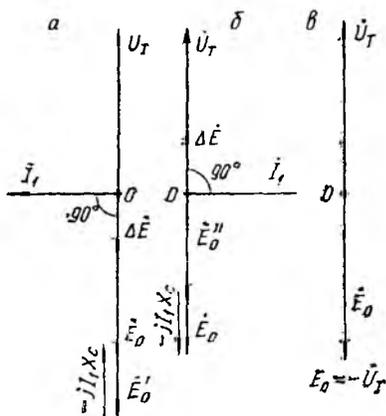
$$p_c = \frac{dP_{эм}}{d\theta} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_c} \cdot \cos \theta.$$

Солиштирма синхронловчи момент $\theta = 0$ бўлганда ўзининг максимал қийматига эришади: θ бурчак катталашуви билан бу момент камая боради ва $\theta = \pi/2$ бўлганда нолга тенг бўлади. Шунинг учун синхрон генератор θ бурчак 90° га яқинлашганда турғун ишламайди. Юқорида келтирилган формулалар асосида $p_c = f(\theta)$ ва $M_c = f(\theta)$ боғланиш графикларини кўриш мумкин. 177-расмда бу боғланиш графиги кўрсатилган (пунктир 4- чизиқ). Синхрон двигателлар ҳам синхронловчи қувват ва моментга эга бўлади.

83. Электр тармоғига параллел уланган синхрон генераторнинг ишлаш режимлари

Олдин айтиб ўтилганидек, генератор катта қувватли электр тармоғига параллел уланганда у дастлаб нагрузкасииз ишлайди, яъни унинг \dot{E}_0 ЭЮК тармоқ кучланиши билан тўла мувозанатлашади. Бунда статор чулғамида I_1 ток нолга тенг бўлади. Генераторнинг шу пайтдаги қўзғатиш токи нормал қўзғатиш токи дейилади.

Агар генераторнинг қўзғатиш токини нормал қийматидан кўпайтирсак, яъни магнит оқимини катталаштирсак, унинг ЭЮК E_0 дан \dot{E}'_0 га кўпаяди. Бу шароитда \dot{E}_0 тармоқ кучланиши \dot{U}_T дан $\Delta \dot{E} = \dot{E}'_0 - \dot{U}_T$ га катта бўлади. $\Delta \dot{E}$ вектор \dot{E}_0 вектор йўналишида бўлади ва генератор чулғамида I_1 токни ҳосил қилади. Бу ток (агар $R_1 \approx 0$ десак) E_0 вектордан 90° кейинда бўлади (179-расм, а). Генераторнинг қўзғатиш токи қанча оширилса, бу реактив токнинг қиймати шунча



179- расм.

катта бўлади. Лекин θ бурчак ўзгармайди, яъни нолга тенг бўлади.

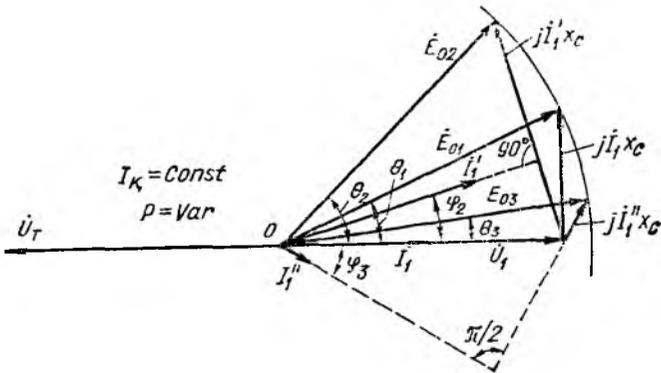
Агар генератор тармоққа улангандан сўнг қўзғатиш токини камайтирсак, унинг ЭЮК \dot{E}_0^* га камаяди. Генератор занжирида яна қандайдир ортиқча ЭЮК $\Delta \dot{E} = \dot{U}_T - \dot{E}_0^*$ ҳосил бўлади. $\Delta \dot{E}$ нинг йўналиши тармоқ кучланиши вектори йўналишида бўлади (179-расм, б). Ортиқча ЭЮК $\Delta \dot{E}$ таъсирида статор чулғамида \dot{I}_1 ток ҳосил бўлади ва бу ток \dot{U}_T вектордан 90° кейинда бўлади, лекин генераторнинг ЭЮК E_0 га нисбатан 90° олдинда бўлади (сигим қаршилигидаги ток каби). Бу ток ҳам реактив ток бўлади, унинг қиймати эса $I_1 = -\frac{\Delta E}{x_c}$ билан аниқланади. Буни яна бошқача тушунтириш мумкин.

Агар генераторнинг қўзғатиш токи нормал қийматдан кўпайтирилса, унинг магнитловчи кучи $\dot{F}_0 = I_k U_k$ ошади, \dot{E}_0 ЭЮК \dot{E}_0^* га кўпаяди. Бунда статор чулғамида генератор ЭЮК ига нисбатан кейинда қоладиган реактив ток \dot{I}_1 (индуктив ток) ҳосил бўлади. Бу ток таъсирида ҳосил бўладиган бўйлама-магнитсизловчи якорь реакцияси қўзғатиш токининг ортиқча магнитловчи кучини компенсациялайди (179-расм, а). Натижада генераторнинг

ЭЮК бир хилда қолади. Қўзғатиш токи камайганда \dot{E}_0 ЭЮК \dot{E}_0^* гача камаяди ва статор чулғамида олдинда келувчи ток ҳосил бўлади, бу токнинг бўйлама-магнитловчи якорь реакцияси қўзғатиш токининг етишмайдиган магнитловчи кучини компенсациялайди (179-расм, б).

Қўзғатиш токи ҳар қанча ўзгарса ҳам, агар бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти бир хилда қолса, генераторнинг актив қуввати ҳам бир хилда қолади, яъни $P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi = \text{const}$. Бунда, агар $U_1 = \text{const}$ бўлса, статор токининг актив қисми ҳам ўзгармас бўлади, яъни $I_1 \cos \varphi = \text{const}$. Синхрон генераторнинг қўзғатиш токи статор токининг фақат реактив қисмигагина таъсир қилади. Шундай қилиб, электр тармоғи билан ишлаб турган синхрон генераторнинг актив қувватини унинг бирламчи двигателининг айлантирувчи моменти ўзгартириш билан; реактив қувватини эса қўзғатиш токини ўзгартириш билан ўзгартирилари экан. Кўпинча, генераторнинг янги иш шароитини таъминлаш учун унинг бирламчи двигателининг айлантирувчи моменти ҳам, қўзғатиш токи ҳам бир вақтда ўзгартирилади.

Энди қўзғатиш токининг қиймати бир хил бўлганда генераторнинг ишлашини кўриб чиқамиз. Аёнмас қутбли машина учун вектор диаграммани $\dot{U}_1 = \dot{E}_0 - j\dot{I}_1 x_c$ тенглама бўйича қурилади. Тармоқ кучланиши генератор кучланишига тенг ва қарама-қар-

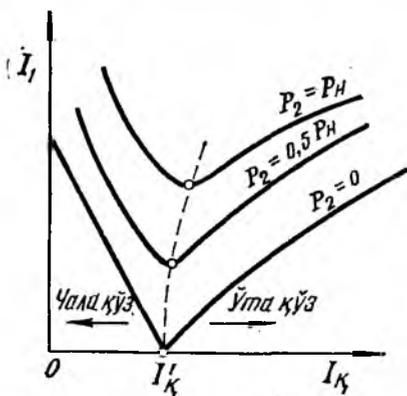


180-расм. Қўзғатиш токи ўзгармас ва актив қуввати ўзгарувчан бўлганда синхрон генераторнинг вектор диаграммаси.

ши йўналган: $\dot{U}_1 = -\dot{U}_T$. Агар генератор $\cos \varphi = 1$ бўлган шароитда ишлаётган бўлса, I_1 токнинг вектори U_1 вектор йўналишида бўлади. E_{01} ЭЮК эса улардан θ_1 бурчак олдинда бўлади (180-расм). Агар нагрузка қиймати P_1 дан P_2 гача ошса, бирламчи двигателнинг моментини ошириш керак бўлади. Бунда θ_1 бурчак θ_2 гача катталашади. Генераторнинг тармоққа берадиган қуввати унинг электр омагнит қувватига тенг деб ($P = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_c} \times \sin \theta$) оламиз. Унда қувватлар нисбати: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$.

Шундай қилиб, нагрузка қувват P_1 дан P_2 гача ошганда E_{02} ЭЮК вектори \dot{U}_1 кучланишдан θ_2 бурчакка олдинда бўлади. Қўзғатиш токи олдингидек қолади. \dot{U}_1 кучланиш векторини E_{01} вектор билан бирлаштириб $jI_1 x_c$ векторни оламиз. Агар қувват P_1 дан P_2 гача камайса, бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментини камайтириш лозим бўлади, бунда янги θ_3 бурчак θ_1 дан кичкина бўлади. Демак, нагрузка ўзгарганда E_0 векторнинг учи радиуси E_0 бўлган доира бўйича сирпанаверади.

Бирламчи двигателнинг айлантирувчи momenti бир хил қолганда генераторнинг ишлаши. Бу шароит генераторнинг қуввати бир хиллиги билан эквивалентдир. Генератор катта қувватли электр тармоғида ишлаганда $\dot{U}_1 = \dot{U}_T = \text{const}$; бунда агар қўзғатиш токи ўзгартирилса, статор токнинг актив қисми бир хилда қолади, яъни $I_1 \cos \varphi_1 = \text{const}$. 181-расмдаги диаграммада I_1 токнинг учи \dot{U}_1 кучланишга тик бўлган AB чизиқ бўйича силжийди ва унинг актив қисми бир хил-



182- расм.

ифодалайди. Бунда генератор тармоққа сиғим характерли реактив қувват беради.

Юқорида синхрон генераторнинг катта қувватли электр тармоғи билан параллел ишлашини кўрдик. Кичик қувватли электр станцияларда кўпинча қувватлари бир хил бўлган синхрон генераторлар параллел ишлайди. Бунда ишлаб турган генераторлар нагрукасини ўзгартириш учун, яъни биринчи генератор кўпроқ нагрукка билан ишлаши учун унинг бирламчи двигателининг қувватини ошириш ва бир вақтда иккинчи генератор бирламчи двигателининг қувватини камайитириш лозим; лекин генераторлар нагрукасини ўзгартириш вақтида уларнинг кучланишлари ўзгармаслиги учун уларнинг қўзғатиш токлари ҳам ўзгартирилади. Параллел ишлаётган генераторлар орасида реактив қувватни қайта тақсимлаш учун уларнинг қўзғатиш токлари ўзгартирилади. Агар биринчи генераторнинг қўзғатиш токи ортса, унинг қувват коэффициентини камаяди. Қўзғатиш токи камайган иккинчи генераторнинг қувват коэффициентини ортади. Биринчи генератор фақат тармоқ учун эмас, балки камроқ қўзғатиш токи билан ишлаётган иккинчи генератор учун ҳам реактив ток бериши мумкин.

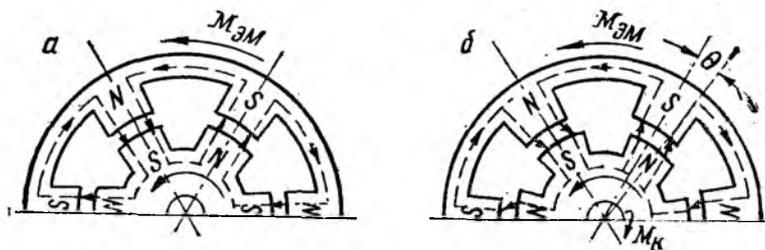
XVI БОБ. СИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

84. Синхрон двигателнинг ишлаш принципи

Электр тармоғи билан параллел ишлаб турган синхрон машинанинг роторига тормозловчи момент таъсир қилса, машина автоматик усулда двигател режимига ўтади. Бунда машина тармоқдан актив қувват олади ва унинг роторига айлантурувчи момент таъсир қилади. Синхрон двигателнинг айланиш тезлиги доимо бир хил ва тармоқ частотаси билан мустаҳкам боғланган, яъни

шади. Расмда статор токининг энг кичик қийматлари пунктир чизиқ билан кўрсатилган. Бу чизиқ $\cos \varphi_1 = 1$ учун қурилган ростлаш характеристикасининг ўзидир.

V симон эгри чизиқнинг ўнг қаноти қўзғатиш токи нормал қийматдан каттароқ (ўта қўзғатиш) бўлишини ($E_0 > U_T$) ифодалайди. Бу шароитда генератор тармоққа индуктив характерли реактив ток ва шунга мос реактив қувват беради. Эгри чизиқнинг чап қаноти қўзғатиш токи нормал қийматдан кичкина (чала қўзғатиш) бўлишини ($E_0 < U_T$)



183- расм.

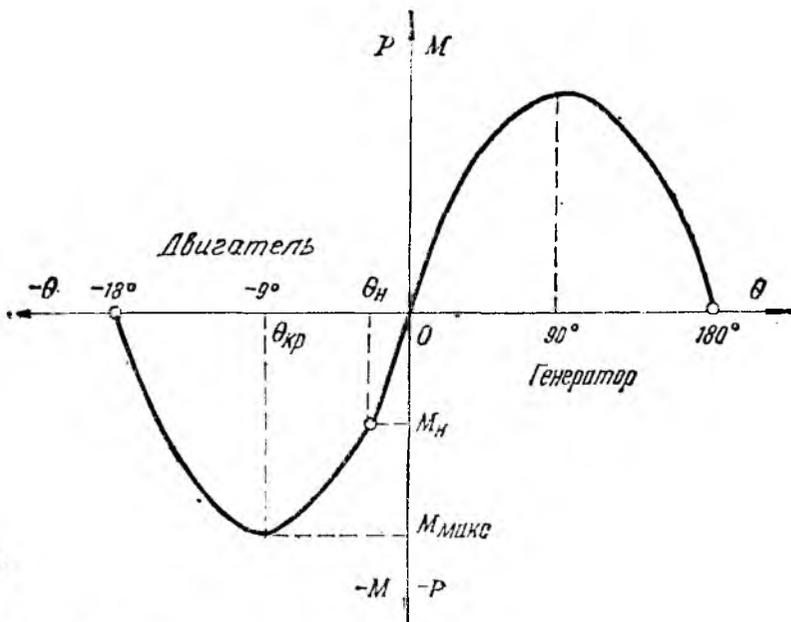


$n_2 = n_1 = \frac{60f_1}{P}$. Бу синхрон двигателнинг муҳим хусусияти ҳисобланади.

Амалда синхрон машина двигатель сифатида ишлаши учун унинг статор чулғамлари уч фазали электр тармоғига, қўзғатиш чулғами эса ўзгармас ток манбаига уланади. Синхрон машина двигатель сифатида ишлаганда ЭЮК E_0 вектор тармоқ кучланиши \dot{U}_T векторидан кейинда бўлади ва улар орасидаги θ бурчак манфий бўлади. Бу шароитда статор чулғамларига электр тармоғидан ток кела бошлайди. Уч фазали статор токи айланма магнит майдони ҳосил қилади. Статорнинг айланма магнит майдонининг ротор қутблари майдони билан ўзаро таъсири нагжасида роторга айлантирувчи момент таъсир этади. Двигатель ротори айланма магнит майдони билан синхрон айлана бошлайди.

183-расмда синхрон двигателнинг модели кўрсатилган. Бунда реал двигателнинг статори ва ротори ораларида ҳаво оралиғи бўлган иккита айланувчан магнит системалари билан алмаштирилган. Ички система ўққа ўрнатилган. Агар ташқи системага айлантирувчи момент таъсир қилса, у айланади ва айланма магнит майдони ҳосил бўлади. Бу уч фазали ток ҳосил қиладиган айланма магнит майдонининг ўзидир. Магнит системаларининг ҳар хил ишорали қутбларининг магнит боғланиши сабабли ташқи система айланганда ички система (ротор) ҳам шу йўналишда айлана бошлайди. Агар тормозловчи момент нолга тенг бўлса, ташқи ва ички магнит системалари бир томонга бир хил тезликда айланади, гўё θ бурчак нолга тенг бўлади (183-расм, а). Агар ички системага (роторга) қандайдир тормозловчи момент таъсир этса, у ташқи системага нисбатан θ бурчакка кейинда қолиб айланади (183-расм, б).

Реал синхрон двигателда θ бурчакнинг қиймати роторга таъсир этадиган тормозловчи момент қиймати билан аниқланади. Демак, синхрон машина двигатель сифатида ишлаганда статорнинг айланма магнит майдони етакчи, роторнинг магнит майдони етакланувчи бўлади. 183-расм, в да статор ва ротор магнит



185- расм.

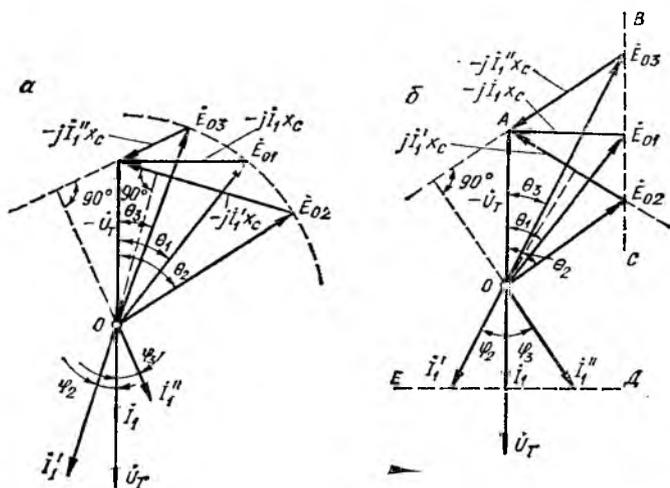
хрон двигателъ барқарор, яъни тургун ишлайди. Нагрузка моменти, яъни тормозловчи момент оргиши билан θ бурчак катгашади ва мос равишда двигателнинг айлантирувчи моменти ҳам орта боради. Синхрон генератор учун аниқланган солиштирма синхронловчи қувват ва момент, ўта нарузкаланиш қобилияти тушунчалари ва формулалари синхрон двигателга ҳам тегишлидир. Синхрон двигателнинг ротори синхрон тезлик билан айланади. Агар роторнинг тезлиги камайса, роторнинг магнит қутблари ташқи системанинг бир хил ишорали қутблари рўпарасига тўғри келади ва магнит системалари орасидаги боғланиш бузилади. Чунки бир хил ишорали магнит қутблари бир-бирдан итарилади ва роторга электромагнит айлантирувчи момент таъсир этмайди ҳамда у тўхтади.

Синхрон двигател номинал нарузка билан ишлаганда θ бурчак $20 - 30^\circ$ орасида ўзгаради. Двигателнинг ўта нарузкаланиш қобилияти, яъни: $\frac{M_{эм макс}}{M_{эм н}} = \frac{1}{\sin \theta} = 2,0 \dots 2,5$ бўлади. Синхрон двигателда ҳосил бўладиган айлантирувчи момент тармоқ кучланишига тўғри пропорционал. Двигателнинг нарузкаси ўзгарганда θ бурчак ўзгаради. Лекин унинг ротори агрегат инерцияси туфайли янги нарузка қийматига мос вазиятни тезда ололмайди ва маълум вақт янги вазият атрофида тебранади. Бу тебраниш тезда сўнади ва у яна барқарор ишлаб кетади.

85 Синхрон двигателнинг V симон характеристикалари

Синхрон двигателнинг хусусиятларини ўрганиш учун қўзғатиш токи ўзгармас бўлиб, нагруканинг тормозловчи моменти ўзгариб турганда двигателнинг ишлашини кўриб чиқамиз. Шу мақсадда аёнмас кутбли двигателнинг вектор диаграммасидан фойдаланамиз. Двигатель $\cos \varphi = 1$ бўлган шароитда ишлаётган бўлсин (186-расм, а). Бу ҳол учун статор токи \dot{I}_1 ва бурчак θ_1 (\dot{E}_{01} ЭЮК ва $-\dot{U}_T$ векторлари орасидаги) берилган. Двигателнинг нагрукаси ортиши билан θ_1 бурчак θ_2 гача катталашади, чунки айлантирувчи момент $\sin \theta$ га пропорционалдир. Бунда \dot{E}_{01} векторнинг учи радиуси \dot{E}_{01} бўлган доира бўйича сурилади. Қабул қилинган шартлар асосида, яъни $I_k = \text{const}$, $\dot{E}_0 = \text{const}$ ва $\dot{U}_T = \text{const}$ бўлганда статор токининг вектори \dot{I}'_1 ҳам O нуқта атрофида бурилади. \dot{I}'_1 ток вектори $-j\dot{I}'_1 x_c$ га тик бўлади. Бунда \dot{I}'_1 токнинг реактив қисми кейинда қолади.

Агар двигателнинг нагрукаси камайса, θ_1 бурчак θ_3 гача камайди. Бу ҳолда двигателнинг \dot{I}''_1 токи ўзининг олдинда келувчи реактив қисмига эга бўлади. Демак, синхрон двигател актив қувватининг ўзгариши унинг қувват коэффициентининг ($\cos \varphi$) ўзгаришига олиб келар экан. Агар двигателнинг нагрукаси ка-



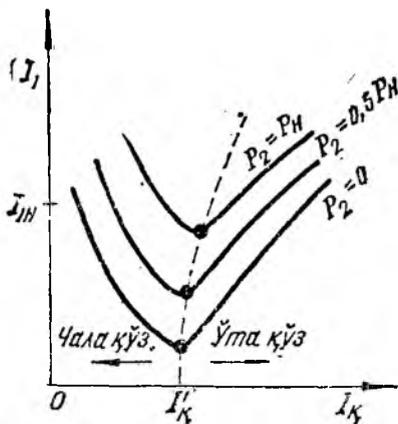
186-расм. Айлантирувчи моменти (а) ва қўзғатиш токи (б) ўзгарувчан бўлганда синхрон двигателнинг вектор диаграммаси.

майса, \dot{I}_1'' ток олдинда келувчи, агар двигателнинг нагруксаи кўпайса \dot{I}_1' ток кейинда келувчи ток бўлади.

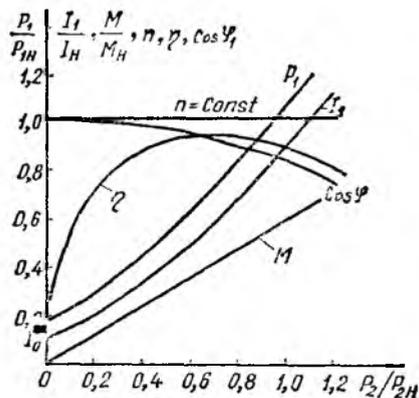
Агар двигателнинг актив қуввати ўзгармас бўлиб, унинг қўзғатиш токи ўзгартирилса, двигателнинг фақат реактив қувваги, яъни унинг қувват коэффициенти ($\cos \varphi$) ўзгаради. Бу ҳол учун векторлар диаграммаси 186-расм, б да берилган. Агар двигатель

$\cos \varphi = 1$ бўлган шароитда ишласа, унинг ЭЮК \dot{E}_{01} ва $-\dot{U}_T$ орасидаги бурчак θ_1 бўлади; қўзғатиш токи камайса, унинг ЭЮК \dot{E}_{02} га тенг бўлади. Агар актив қувват, яъни $P_{эм}$ ўзгармас бўлса, унда $\dot{E}_{01} \sin \theta_1 = \dot{E}_{02} \sin \theta_2$ бўлади. Бундан шу нарса маълум бўладики, генераторнинг қўзғатиш токи ўзгарганда \dot{E}_0 векторнинг учи \dot{U} кучланиш векторига параллел бўлган ва E_0 учидан утадиган BC тўғри чизиқ бўйича сирпанади. Диаграммага θ_2 бурчак θ_1 дан катта. Агар қўзғатиш токи катталашса \dot{E}_{01} ЭЮК \dot{E}_{03} гача катталашади ва θ_3 бурчак θ_1 дан кичкина бўлади. $-jI_1''x_c$ вектори A нукта атрофида айланади, унга мос ҳолда \dot{I}_1' токнинг вектори ҳам йўналишини ўзгартиради ва $jI_1''x_c$ векторига тик йўналади. Актив қувватлар тенглиги шартидан, яъни $\dot{I}_1 \cos \varphi_1 = \dot{I}_1 \cos \varphi_2 = \dot{I}_1 \cos \varphi_3$ дан маълум бўладики, \dot{I}_1 векторнинг учи \dot{U}_T векторга тик бўлган DE тўғри чизиғи бўйича сирпанади.

Юқорида келтирилган вектор диаграмма асосида двигателнинг V симон характеристикасининг, яъни $I_1 = f(I_k)$ боғланишни қуриш мумкин. Бу характеристика синхрон генераторнинг худди шундай характеристикасига ўхшашдир. Бу характеристика $\dot{U}_T = \text{const}$ ва қувваг ўзгармас бўлган шароитда текширилади. Умуман, статор чулғамининг ЭЮК \dot{E}_0 двигателнинг йиғинди магнит оқими томонидан ҳосил қилинади; бу оқимни эса статор ва роторнинг магнитловчи кучлари биргаликда ҳосил қилади. Тармоқ кучланиши $\dot{U}_T \approx (-\dot{E}_0) = \text{const}$ бўлса, машинада йиғинди магнит оқими доимо бир хилда қолади. Агар йиғинди оқимни ҳосил қилувчи магнитловчи кучлардан бири ўзгарса, иккинчиси тескари томонга ўзгаради, натижада йиғинди оқим ўзгармайди. Қўзғатиш токи ортганда роторнинг магнитловчи кучи ортади, демак, бунда статорнинг магнитловчи кучи, яъни статор токи камаяди. Бу двигатель қувват коэффициентининг ортишига олиб келади. Қўзғатиш токининг янада ортиши статор токининг камайишига сабаб бўлади. Қўзғатиш токининг бирор қийматида статор токи \dot{I}_1 ўзининг энг кичик қийматига эришади. Бунда статор токи фақат актив ток ($\cos \varphi = 1$) бўлади (187-расм). Агар қўзғатиш токи \dot{I}_k



187- расм.



188- расм.

дан ортса, статор токи ҳам ортади, лекин бу ток сиғим токи каби тармоқ кучланишига нисбатан слаинда келадиган ток бўлади. Шундай қилиб, синхрон двигателнинг қўзғатиш токи нормал қийматдан кичик бўлганда (чала қўзғатиш) у кейинда қолувчи ток билан; катта бўлганда (ўта қўзғатиш) эса олдинда келувчи ток билан ишлар экан.

Қўзғатиш токи нормал қийматдан катта бўлганда, статор токининг олдинда келувчи ток бўлиши синхрон двигателнинг конденсаторга эквивалент бўлишига имкон беради. Бу фақат синхрон двигателларга хос хусусиятдир. Шунинг учун синхрон двигателлар электр қурилмалари ва тармоқнинг қувват коэффициентини ошириш учун ҳам қўлланилади. Бунда уларда қувват исрофи камаяди ва ФИК ошади. Демак, синхрон двигатель олдинда келувчи ток билан ишлаганда у электр тармоғига реактив қувват берад экан.

86. Синхрон двигателнинг иш характеристикалари

Синхрон двигатель айланиш тезлиги n , статор токи I_1 , двигателнинг тармоқдан оладиган қуввати P_1 , айлантурувчи моменти M , қувват коэффициенти $\cos \varphi$ ва ФИК нинг двигателнинг ўқдаги фойдали механик қуввати P_2 билан боғлиқлиги, яъни n , M , I_1 , P_1 , $\cos \varphi$, $\eta = f(P_2)$ унинг иш характеристикалари дейилади. Иш характеристикалар $\omega_r = \text{const}$, $f = \text{const}$ ва $I_K = \text{const}$ бўлган шаронда текширилади.

Синхрон двигателнинг ротори доимо синхрон тезлик билан айланади. Шунинг учун $n = f(P_2)$ боғланиш абсцисса ўқига параллел чизик кўринишида бўлади (188- расм). Синхрон двигателнинг айлантурувчи моменти $M = \frac{P_2}{\omega_1}$ билан аниқланади. Бунда $\omega_1 = \text{const}$, шунинг учун $M = f(P_2)$ боғланиш фойдали қувват P_2

га пропорционал ўзгарувчи тўғри чизиқ бўлади. Синхрон двигателда $P_1 = P_2 + \sum \Delta p$. Нагрузка ортиши билан P_1 ҳам $\sum \Delta p$ ҳам ортади. Шунинг учун P_1 қувват P_2 га қараганда тезроқ ортади. Бошқача айтганда электр исроф қуввати токининг квадратига пропорционал. $P_1 = I(P_2)$ боғланиш юқорига эгилган чизиқ кўринишида бўлади. Синхрон двигатель $\cos \varphi = 1$ бўлган ҳолда ишлаши мумкин. Одатда, двигатель номинал нагрузка билан ишлаганда унинг қўзғатиш токи каттароқ бўлади ва у олдинда келувчи ток билан ишлайди. Бу ҳолда синхрон двигателда $\cos \varphi = 0,9 \dots 0,8$ бўлади ва двигатель электр тармоғида $\cos \varphi$ ни яхшилайти. Чунки синхрон двигатель токининг олдинда келувчи реактив қисми асинхрон двигателлар токи I_1 нинг кейинда келувчи реактив қисмини компенсациялайди. Двигатель салт ишлаганда $\cos \varphi = 1$ бўлса, нагрузка ортиши билан $\cos \varphi$ камай боради. Синхрон двигателнинг токи $I_1 = \frac{P_1}{m_1 U_1 \cos \varphi_1}$ билан аниқланади. Фойдали қувват ортган сари I_1 ток ҳам орта боради. Двигателнинг нагрузкаси (0,5 ... 0,75) $P_{2н}$ бўлганда унинг ФИК энг катта бўлади.

Синхрон двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартириш учун электр тармоғидан келадиган учта симнинг иккитасининг ўрнини алмаштириш кифоя. 188-расмда синхрон двигателнинг иш хараakterистикалари келтирилган.

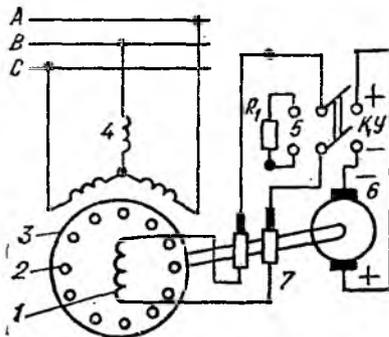
87. Синхрон двигателни юргизиш

Синхрон двигатель бошланғич юргизиш momentiга эга эмас. Агар синхрон двигателнинг ротор чулғамига ўзгармас ток берилса ва ротори айланмаган ҳолда тармоққа уланса, у ишлаб кета олмайди. Чунки ток бир даврга ўзгарганда, унинг электромагнит momenti икки марта йўналишини ўзгартиради, бир давр ичидаги уртача momenti нолга тенг бўлади. Маълум инерцияга эга бўлган ротор ярим давр ичида синхрон тезликкача айланиб кета олмайди. Шунинг учун синхрон двигателни юргизишда унинг ротори бирор двигатель ёрдамида синхрон тезликка яқин тезликка айлантирилиши лозим.

Синхрон двигателни бирор ёрдамчи двигатель билан юргизиш. Двигателни бу усулда юргизиш синхрон генераторни электр тармоғи билан параллел улашга ўхшайди. Олдин двигатель синхрон тезликкача айлантирилади, унга қўзғатиш токи берилади, у генератор режимида ишлайди ва тармоқ билан (учта асосий шартни бажарган ҳолда) синхронланади. Сўнгра ёрдамчи двигатель электр тармоғидан узилади. Ёрдамчи двигателнинг қуввати синхрон двигатель қувватининг 5 ... 15% ини ташкил қилади, шунинг учун двигатель нагрузкасиз ёки кичик нагрузка билан юргизилади. Ёрдамчи двигатель сифатида қутблар сони синхрон двигатель қутблари сонидан икки марта кам бўлган фаза роторли асинхрон двигатель ишлагилади. Кўпинча бу усул билан катта қувватли синхрон компенсаторлар юргизилади.

Синхрон двигателни асинхрон усулда юргизиш. Бу усул билан роторнинг магнит қутбларида махсус юргизиш чулғами бўлган синхрон двигателлар юргизилади. Роторнинг магнит қутблари учиде қисқа туташган юргизиш чулғами ўрнатилади. Бу чулғам синхрон генераторнинг тинчлантирувчи чулғамига ўхшайди. Қисқа туташтирилган стерженлар қаршилиги катта бўлган латундан тайёрланади. $I_k = 0$ бўлган двигателнинг статор чулғамлари тармоққа уланганда айланма магнит майдони роторнинг юргизиш чулғамида ЭЮК ҳосил қилади. Қисқа туташтирилган латун стерженларда ток ҳосил бўлади. Бу токнинг айланма магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида ротор айланади. Роторнинг айланиш тезлиги синхрон тезликка яқинлашганда унга номинал қўзғатиш токи берилади. Бунда синхронловчи момент ҳосил бўлади ва двигатель синхрон ишлаб кетади. Синхрон двигателни бу усулда юргизилганда қўзғатиш токи $I_k = 0$ бўлган қўзғатиш чулғамини очиқ ҳолда қолдириш мумкин эмас. Чунки синхрон тезликда қўзғатиш чулғамини кесиб ўтувчи айланма магнит майдони унда жуда катта ЭЮК ҳосил қилади (қўзғатиш чулғамининг ўрамлар сони катта), бу эса чулғам изоляцияси учун хавфлидир. Шунинг учун ротор тўла айлангунча қўзғатиш чулғами ўз қаршилигидан 8...12 марта катта бўлган разряд қаршилиги (R_1) га қайта улагич (ҚУ) ёрдамида уланади (189-расм). Роторнинг айланиш тезлиги синхрон тезликка яқинлашганда ($s \approx 0,05$) қўзғатиш чулғами разряд R_1 қаршилигидан узилади ва ўзгармас ток манбаига уланади ҳамда ротор синхрон ишлаб кетади. Қўзғатиш чулғамини манбага улаш вақти тўғри танланиши керак. Бунинг учун қўзғатиш чулғамининг занжирига ноль шкаласи ўртада бўлган амперметр уланади. Амперметр стрелкаси сирпанишга мос ҳолда тебраниб туради. Двигатель

тармоққа уланмасдан олдин амперметрдан ўзгармас ток ўтганда унинг стрелкаси қайси томонга оғишини билиб олиш лозим. Қўзғатиш чулғами амперметрнинг стрелкаси олдин аниқланган томонга оғганда уланиши лозим. Бунда ротор қутбларининг ишоралари айланма магнит майдони қутблари ишораси билан мос бўлади ва двигателнинг синхрон ишлаб кетишига яхши шароит яратади. Синхрон двигателнинг юргизиш токи номинал токдан 4...5 марта катта бўлади. Бундай ток ҳосил бўлмаслиги учун статор чулғамларига автотрансформатор ёки реактор ёрдамида пасайтирилган кучланиш бериледи.



189- расм. Синхрон двигателни асинхрон усулда юргизиш:

1—қўзғатиш чулғами, 2—юргизиш чулғами, 3—ротор, 4—статор чулғами, 5—ўчирувчи резистор, 6—қўзғатгич якори, 7—ҳалқа ва чўткалар.

Ишлаб турган синхрон двигателни тўхтатиш учун олдин унинг нагрукаси камайтиради (нолгача), сўнгра статор чулгами тармоқдан узилади; кейин қўзгатиш чулгами ток манбаидан узилиб қаршиликка улаб қўйилади.

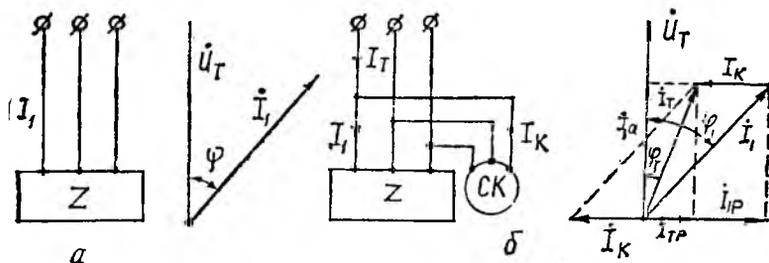
Синхрон двигателнинг айланиш тезлигини таъминловчи кучланиш частотасини ёки жуфт қутблар сонини ўзгартириш билан ўзгартириш мумкин. Асосан биринчи усул кенг қўлланилади. Инерция моменти катта бўлган механизмларда таъминловчи кучланиш частотаси жуда текис ўзгартирилиши лозим, акс ҳолда двигатель синхронизмдан чиқиб кетиши мумкин.

88. Синхрон компенсатор

Синхрон компенсаторлар махсус синхрон машина бўлиб, улар асинхрон двигателлар ва трансформаторлар тармоқдан оладиган реактив қувватни компенсациялаш учун ишлатилади. Синхрон компенсатор нагрукасиз ишлайдиган синхрон двигателдир. Унинг қўзгатиш токи нормал қийматдан катта бўлганда электр тармоғига олдинда келувчи реактив ток беради ва электр тармогининг қувват коэффициентини оширади. Электр энергияси узоқ масофага узатилганда индуктив нагрукка катта бўлганлиги учун линия охирида кучланиш анча пасаяди; нагрукка камайганда, линиянинг сизим қаршилиги таъсирила кучланиш номинал қийматдан анча катта бўлиши мумкин. Нагрукка катта бўлганда синхрон компенсатор каттароқ қўзгатиш токи билан; нагрукка камайганда кичкина қўзгатиш токи билан ишлаб, линия охирида кучланиши бир хилда бўлишини таъминлайди. Бунда қўзгатиш токи автоматик усулда ростлаб турилади, Демак, синхрон компенсаторлар кучланишининг доим бир хилда қолишини таъминлаш учун ҳам ишлатилади. Бунда линиядан ўтувчи реактив юкнинг қиймати камаяди, бу эса қувват исрофини камайтиради.

Синхрон компенсаторнинг энг катта кейинда қолувчи токи $I_{кк}$ қўзгатиш ток $I_{к} = 0$ бўлганда ҳосил бўлади, энг катта олдинда келувчи ток $I_{к0}$ компенсатор актив қисмларининг қизиши билан чегараланади. Одатда, олдинда келувчи токнинг кейинда келувчи токка нисбати 1,5 . . . 2 бўлади. Компенсаторнинг қуввати энг катта олдинда келувчи ток билан аниқланади. Компенсаторларда θ бурчак 0 га яқин бўлади; роторлари аён қутбли; айланиш тезлиги эса 750 — 1000 айл/мин бўлади. Компенсаторларда ҳам синхрон двигателларга ўхшаган юргизиш чулгами (қутблар учиди) бўлади ва асинхрон усулда юргизилади. Нагрукка моменти нолга тенг бўлгани учун улар энгил юргизилади.

Энди синхрон компенсатор ёрдамида электр тармогининг қувват коэффициенти қандай оширилиши билан танишамиз. 190-расм, a да тармоқ кучланиши \dot{U}_T ҳамда истеъмолчи z заңжиридаги ток \dot{I}_1 нинг вектор диаграммаси ва схемаси берилган. Унда \dot{I}_1 ток \dot{U}_T кучланишдан φ бурчакка кейинда чизилган. Агар истеъмолчига синхрон компенсатор параллел уланса ва унинг қўз-



190- расм.

ғатиш токи катта бўлса, унинг токи \dot{I}_K кучланиш \dot{U}_T векторидан олдинда келувчи бўлади. Бунда тармоқдан келадиган ток $\dot{I}_T = \dot{I}_1 + \dot{I}_K$ бўлади. Бу ток билан \dot{U}_T кучланиш орасидаги бурчак φ_T компенсатор уланмасдан олдинги φ_1 бурчакдан анча кичик бўлади (190- расм, б). Компенсатор уланганда тармоқ токи \dot{I}_T нинг қиймати олдинги \dot{I}_1 токдан кичкина бўлади. Синхрон компенсаторнинг актив қуввати жуда кичкина, бу қувват унинг ўзидаги қувват исрофини қоплайди. Компенсатор тармоққа уланмасдан олдин истеъмолчи тармоқдан $P_1 = \sqrt{3} \dot{U}_1 I_1 \cos \varphi_1$ қувватни олади. Компенсатор уланганда, ундаги қувват исрофи эътиборга олинмаса, тармоқдан олинадиган қувват $P_1 = \sqrt{3} \dot{U}_1 I_1 \cos \varphi_T$ билан аниқланади. Бу қувват P_1 га деярли тенг бўлади, яъни $P_T = P_1$.

Агар $P_1 = P_T$ ва $\cos \varphi_T > \cos \varphi_1$ бўлса, албатта $\dot{I}_T < \dot{I}_1$ бўлади. Демак, истеъмолчиларга электр узатиш линиялари орқали келадиган токнинг қиймати камаяди, унда мос ҳолда қувват исрофи ҳам камаяди. Шундай қилиб, синхрон компенсатор электр тармоғидан истеъмолчига бериладиган реактив қувватни камайтиради. Қувватнинг актив қисми бир хилда қолаверади.

Кучланиши 10 кВ, ўртача актив қуввати 1800 кВт бўлган истеъмолчининг қувват коэффициентини 0,6 дан 0,92 гача ошириш учун 1620 кВ · Ар реактив қувват компенсация қилиниши лозим. Реактив қувват компенсация қилингунча истеъмолчига электр тармоғидан $I_1 = 176$ А ток келади. Компенсациялангандан сунг бу ток $I_T = 115$ А гача камаяди, яъни линия токи $176 - 115 = 61$ А га камаяди. Тармоқдан истеъмолчи олаётган қувват ўзгармагани ҳолда токнинг камайиши кўплаб электр энергиясининг тежалишига олиб келади.

Компенсацияланиши лозим бўлган реактив қувват қиймати қуйидаги формула билан аниқланади:

$$Q = P_{\text{урт}} (\text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2), \quad (\text{кВ} \cdot \text{Ар}),$$

бу ерда: Q — компенсацияланадиган реактив қувват, кВ · Ар; $P_{\text{урт}}$ — корхона талаб қиладиган ўртача актив қувват, кВт; $\text{tg } \varphi_1$ — ком-

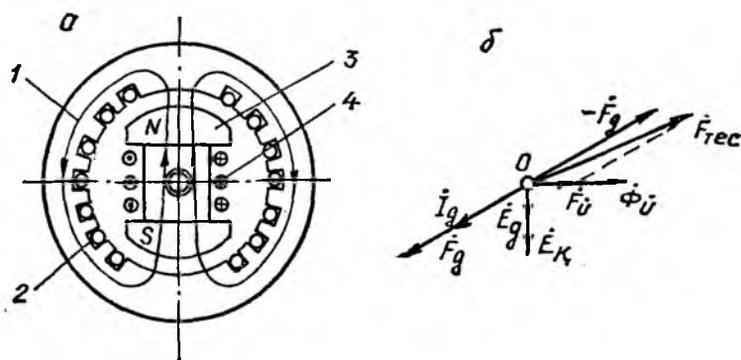
пенсациялашдан олдинги φ_1 бурчак тангенси; $\text{tg } p_2$ — компенсациялангандан сўнги φ_2 бурчак тангенси.

Мамлақатимизнинг электр машинасозлик заводларида қуввати 10 000 дан 160 000 кВА гача номинал кучланишлари 6,6 ... 15,75 кВ бўлган синхрон компенсаторлар ишлаб чиқарилмоқда.

89. Бир фазали синхрон машина

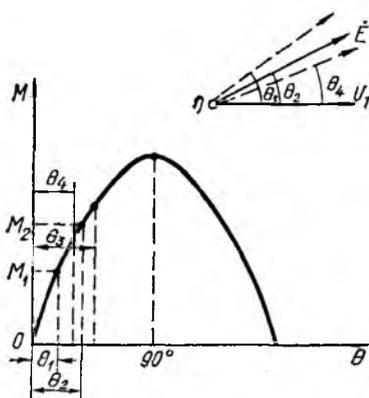
Бир фазали синхрон генераторнинг статорида битта чулғам бўлади. Чулғам статор айланасининг $2/3$ қисмига ўрнатилади (191-расм, *а*). Агар чулғам бутун айлана бўйлаб ўрнатилса, мис сарфи 1,5 марта кўпаяди; машинанинг қуввати эса 1,15 % га ошади. Чунки пазлар сони оширилганда чулғам коэффиценти камади ва баробар тарқатилган чулғамда 0,64 бўлади. Бир фазали машинанинг қуввати, статорининг диаметри бир хил бўлган уч фазали машинанинг қувватидан 1,4 марта кичкина бўлади.

Машина тэрмоққа уланганда статор чулғамидан ўтувчи бир фазали ток тўғри Φ , ва тескари $\Phi_{\text{тес}}$ магнит оқимларини ҳосил қилади (58-§ га қаранг). Тўғри оқим роторга нисбатан қўзғалмас; тескари оқим 2ω , бурчак тезлик билан айланади ва қўзғатиш чулғамида ЭЮК ҳосил қилади. Бу ЭЮК нинг частотаси статор чулғами ЭЮК ининг частотасига қараганда икки марта ортиқ бўлади. Бунда ҳосил бўладиган икки марта ортиқ частотали ток қўзғатгич чўткаларида учқун ҳосил қилади. Бундан қутулиш учун бир фазали машинанинг роторида олмахон ҳалқаси типнда қисқа туташтирилган демпфер чулғам ўрнатилади. Тескари оқим бу чулғамда (стерженларда) икки марта ортиқ частотали ЭЮК ҳосил қилади, натижада шу чулғамнинг магнитловчи кучи F_d статор чулғами ҳосил қиладиган тескари оқим, (яъни $I_{\text{тес}}$ МЮК) йўналишида ва бир хил айланиш частотаси билан айланади. Юқоридаги магнитловчи кучларнинг ўзаро боғланишини кўрсатувчи вектор диаграмма 191-расм, *б* да кўрсатилган. Демпфер чулғам-



191-расм. Бир фазали синхрон машина (*а*) ва МЮК ҳамда ЭЮК лар вектор диаграммаси (*б*).

1—статор, 2—якорь чулғами, 3—ротор, 4—қўзғатиш чулғами.



192- расм. Синхрон генераторнинг ротори тебранганда унинг бурчак характеристикаси.

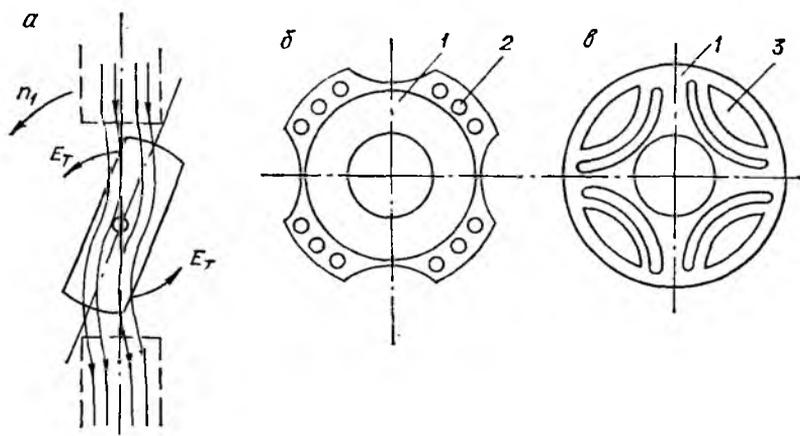
нинг МОК F_d тескари МОК $F_{\text{тес}}$ га магнитсизловчи таъсир кўрсатади. Бунда йиғинди МОК $F_{\text{й}}$ ва у ҳосил қиладиган йиғинди магнит оқими $\Phi_{\text{й}}$ ҳамда демпфер чулғам ЭЮК E_d шунингдек, қўзғатиш чулғами ЭЮК E_k жуда камайиб кетади. Шундай қилиб, демпфер чулғам бўлиши сабабли тескари оқим йўқотилади ва қўзғатиш чулғамидан ўзгарувчан ток ўтмайди.

XVII БО Б. СИНХРОН МАШИНАЛАРНИНГ МАХСУС ХИЛЛАРИ

Кўп соҳаларда қувватлари ватт улушидан то бир неча юз ваттгача бўлган махсус синхрон машиналар қўлланилади. Синхрон микродвигателларнинг айланиш тезлиги $n_1 = n_2$ тармоқ кучланиши частогасига пропорционал боғлиқдир. Бундай двигателлар айланиш тезлиги доимо бир хил бўлишини талаб қиладиган қурилмаларда, масалан, электр соатларда, лента тортиш механизмларида, кино қурилмаларида, радиоаппаратларда ва бошқа механизмларда қўлланилади. Синхрон микромашиналар генератор сифатида ҳам ишлатилади: масалан, юқори частотали ўзгарувчан ток олиш учун (индукторли генераторлар) ва тахогенераторлар сифатида ишлатилади. Синхрон микромашиналар қўзғатиш чулғамисиз тайёрланади, шунинг учун уларнинг конструкцияси содда ва ишда пишиқ бўлади. Доимий магнитли синхрон двигатель ва генератор, реактив синхрон двигатель, гистерезисли двигатель, индукторли генератор ва одимли двигателлар синхрон микромашиналардир.

90. Реактив синхрон двигатель

Реактив синхрон двигатель роторида қўзғатиш чулғами бўлмаган аён кутбли синхрон машинадир. Унинг статори синхрон машинанинг статоридан фарқ қилмайди. Двигателнинг магнит оқими статор токининг реактив қисми томонидан ҳосил қилинади. Бўйлама ва кўндаланг ўқ бўйича магнит ўтказувчанлик ҳар хил бўлгани учун двигателда айлантирувчи момент ҳосил бўлади. Бунда роторнинг магнит кутблари айланма магнит майдонининг магнит куч чизиқларига нисбатан қаршилиқ кам бўладиган вазиятни эгаллашга иштилалади. Нагизада роторга тангенсоидал кучлар таъсир эта бошлайди (193- расм, а) ва бу кучлар айлантирувчи момент ҳосил қиладди. Ротор бу момент таъсирида айланма майдон йўналишида n_1 тезлик билан айланади. Статор чул-



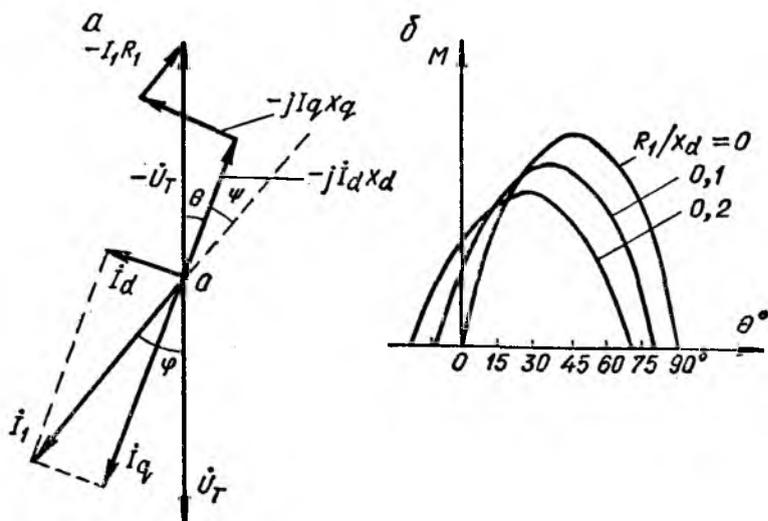
193-расм. Реактив моментнинг ҳосил бўлиши (а) ва реактив дивателларнинг роторлари (б, в):

1—ротор пакети, 2—қисқа туташтирилган чулғам, 3—алюминий қуйиладиган қисми.

ғами икки ёки уч фазали тарқалган чулғам бўлиб, унинг бир фазасига конденсатор уланади. Роторнинг тузилиши ҳар хил бўлади. Оддий ротор конструкцияси 193-расм, б да кўрсатилган. Бундай ротор ботиқ жойлари бўлган айрим пулат пластинкалардан йиғилади. Ботиқ жойлар d ва q ўқлар бўйича индуктив қаршиликнинг ҳар хил бўлишини таъминлайди. Юргизиш учун ротор танасида қисқа туташтирилган чулғам бўлади. Лекин бундай роторнинг техник кўрсаткичлари яхши бўлмайди, конструкцияси такомиллашган ва пазлари алюминий билан тўлдирилган ротор 193-расм, в да кўрсатилган. Бу двигателнинг электромагнит momenti қўзғатиш токи $I_k = 0$ бўлган синхрон двигателнинг айлантирувчи momenti каби аниқланади. Унда моментнинг асосий қисми $E = 0$ бўлгани учун нолга тенг бўлади. Унда момент синхрон двигатель моментининг реактив қисми билан аниқланади, яъни:

$$M = \frac{R_{эм}}{\omega_1} = \frac{mU_1^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta.$$

Катта ва ўртача қувватли машиналарда статор чулғамининг актив қаршилиги R , машинанинг x_d ва x_q қаршиликларидан анча кичкина бўлгани учун, у кўпинча эътиборга олинмайди. Микромашиналарда улар деярли тенг бўлади. Бунда машинада энергия исрофи кўпаяди. Энергия исрофининг кўпайиши электромагнит қувват қийматига ва бурчак характеристикасига таъсир қилади. 191-расм, а да актив қаршилиги эътиборга олинган двига-



194- расм. Реактив двигателнинг вектор диаграммаси (а) ва R_1/x_d турлича бўлганда унинг бурчак характеристикаси (б).

телнинг вектор диаграммаси чизилган. Статорнинг актив қаршилиги ортиши билан двигателнинг максимал моменти камаяди ва бурчак характеристикаси $\theta_{кр}$ бурчак кичкина бўлган томонга сурилади. Двигателнинг максимал моменти актив қаршиликнинг қийматига қараб $\theta_{кр} = 25^\circ \dots 45^\circ$ бўлганда ҳосил бўлади (194-расм, б). Двигателнинг тургун ишлаши солиштирма синхронловчи момент m_c га (бир градус θ бурчакка тўғри келадиган электромагнит моментга) боғлиқ. Бу момент θ бурчак нолга яқин бўлганда аниқланади, яъни $m_c = \left(\frac{dM}{d\theta} \right)_{\theta=0}$. Солиштирма синхрон-

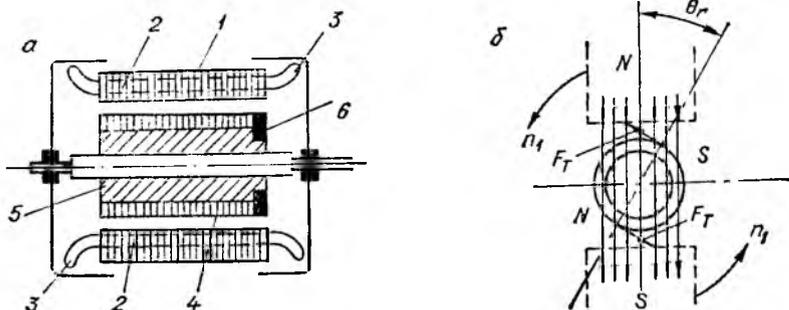
ловчи моментнинг қиймати тармоқ кучланиши \dot{U}_T га ва x_q/x_d нисбатга боғлиқ бўлади. Реактив синхрон двигателда бошланғич юргизиш моменти нолга тенг. Асинхрон усулда юргизиш учун реактив двигатель „олмагон ҳалқаси“ типда юргизиш чулғамига эга бўлиши керак. Шу чулғамнинг ўзи роторнинг тебранишини тезда сундирувчи демпфер чулғам бўлади. Реактив двигателларнинг конструкцияси оддий, ишлашда пишиқ, қўзғатиш чулғами бўлмагани учун тайёрлаш таннарни арзон ва ишлаганда қўшимча узгармас ток манбаини талаб қилмайди. Юргизиш моменти-нинг нисбатан кичиклиги, қувват коэффициентининг кичиклиги (0,5 дан ошмайди) бундай двигателларнинг камчилиги ҳисобланади. Бундай двигателлар овоз ёзиш аппаратларида, лента тортадиган системаларда, умуман, моменти катта бўлмаган ва айланиш тезлиги бир хилда бўлишини талаб қиладиган механизмларда қўлланилади.

91. Гистерезисли синхрон двигателъ

Айлантирувчи моменти ферромагнит материалнинг қайта магнитланишида, яъни гистерезис ҳодисаси асосида ҳосил бўладиган синхрон двигателъ гистерезисли двигателъ дейилади. Статори ўзгарувчан ток машинасининг статори каби бўлиб, унинг пазларида икки ёки уч фазали чулғам бўлади (бир фазасига конденсатор уланади). Ротори қаттиқ магнит материалдан тайёрланган чулғамсиз пўлат цилиндр кўринишида бўлади. Бундай материалда гистерезис сиртмоғи кенг бўлади. Қимматбаҳо махсус қотишмани тежаш мақсадида ротор йиғиб, пўлат ёки алюминий втулкага кийгизилган оғир ҳалқа кўринишида тайёрланади (195-расм, а). Бу двигателнинг ротори синхрон айланганда статорнинг айланма магнит майдони таъсирида магнитланади. Гистерезис ҳодисаси сабабли роторнинг магнитланиш ўқи статорнинг айланма майдони ўқидан θ_r бурчакка кейинда қолади. θ_r гистерезис силжиш бурчаги дейилади. Нагижада ротор қутблари билан статор оқими орасида ўзаро таъсир этувчи кучнинг тангенсиал ташкил этувчиси F_T ҳосил бўлади (195-расм, б). Бу машинада θ_r бурчак фақат ротор материалининг хусусияти билан аниқланади; F_T кучлар ва улар ҳосил қиладиган гистерезис моменти M_r айланмиш частотасига боғлиқ бўлмайди. Ротор материалининг гистерезис сиртмоғи қанча кенг бўлса, θ_r бурчак ва гистерезис моменти M_r шунча катта бўлади.

Двигателни юргизишнинг бошланғич пайтида, яъни ротор тезлиги ҳали n , га тенг бўлмаганда, айланма магнит майдонининг шу майдон туфайли роторда ҳосил қилинадиган уярма токлар билан ўзаро таъсири натижасида асинхрон момент M_{ac} ҳосил бўлади. Роторнинг актив қаршилиги анча катта бўлгани учун $M_{ac} = f(s)$ боғланиш бир оз эгилган чизик кўринишида бўлади (196-расм). $S = 1$ да асинхрон момент максимал қийма-тига эришади. Унда йиғинди момент:

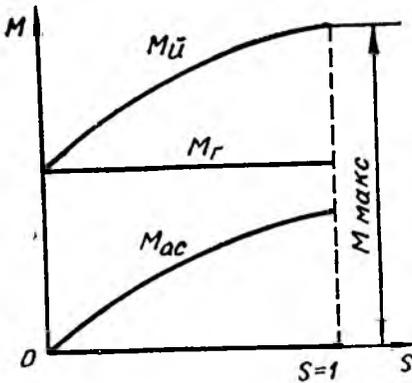
$$M_n = M_r + M_{ac}.$$



195- расм. Гистерезисли двигателнинг конструкцияси (а):

1—корпус, 2—статор пакети, 3—статор чулғами, 4—қаттиқ магнит материалдан ишланган цилиндр, 5—ротор ўзаги ёки втулка, 6—запор ҳалқаси;

гистерезис моментининг ҳосил бўлиши (б).



196- расм. Гистерезисли двигатель моментининг сирпанишга боғланиши $M = f(s)$.

частотаси $f_2 = f_1 \cdot s$ га пропорционал; $\Delta p_{уғ}$ — уурма тоқлар таъсиридаги қувват исрофи; бу исроф f_2^2 га пропорционал, $\Delta p_{рқ}$ ва $\Delta p_{уғқ}$ — ротор қўзғалмас бўлганда ($s=1$) Δp_r ва $\Delta p_{уғ}$ нинг қийматлари.

Демак, M_{ac} сирпанишга боғлиқ, M_r сирпанишга боғлиқ эмас ва $s=1$ бўлганда M_{δ} максимал қийматга эришади (196- расм).

Гистерезисли двигателлар синхрон ва асинхрон режимда ишлаши мумкин. Двигатель асинхрон режимда ишлаганда роторнинг қайта магнитланишида қувват исрофи катта бўлади ва двигателнинг ФИК кичиклашади. Шунинг учун гистерезисли двигателлар синхрон режимда ёки сирпаниши унча катта бўлмаган асинхрон режимда ишлатилади. Синхрон режимда ишлаганда двигателнинг моменти θ бурчак билан аниқланади. Нагрузка ўзгарганда θ бурчак ўзгаради, лекин магнит материалнинг хусусияти билан аниқланадиган θ_r дан катта бўла олмайди. Агар θ бурчак θ_r дан катталашса, двигатель асинхрон режимда ишлай бошлайди.

Юргизиш ва синхронловчи моментларнинг катта бўлиши, юргизиш тоқининг кичик бўлиши ($I_{ю}/I_n = 1,2 \dots 1,5$), тузилишининг оддийлиги, ишончилиги, шовқинсиз ишлаши, ўлчамларининг кичиклиги бундай двигателларнинг афзаллиги ва қувват коэффициентининг ($\cos \varphi$) кичиклиги ($0,4 \dots 0,5$), нагрузка қиймати ўзгарганда тебранишга мойиллиги уларнинг камчилиги ҳисобланади. Бундай двигателларнинг қуввати 2кВт гача, частотаси 50, 400 ва 600 Гц бўлади.

92. Доимий магнитли синхрон машиналар

Бундай машиналар роторида қўзғатиш чулғами ўрнида доимий магнитлар бўлади. Доимий магнитлар қаттиқ магнит материалдан, масалан, кобальтли пўлатдан ёки алюминий, никель,

Асинхрон режимда двигателнинг электромагнит моменти ротордаги электр исрофини ($\Delta p_{э2}$) сирпаниш s га нисбати билан аниқланади, яъни: $M = \frac{\Delta p_{э2}}{s}$. Шундай экан гистерезис ва асинхрон моментлар:

$$M_r = \Delta p_r / \omega_1 \cdot s = s \Delta p_{рқ} / \omega_1 s = \Delta p_{рқ} / \omega_1, \quad (4-37)$$

$$M_{ac} = \Delta p_{уғ} / \omega_1 s = s^2 \Delta p_{уғқ} / \omega_1 \cdot s = s \Delta p_{уғқ} / \omega_1 \quad (4-38)$$

бу ерда: Δp_r — роторнинг қайта магнитланишидаги қувват исрофи (гистерезисда қувват исрофи); қайта магнитланиш

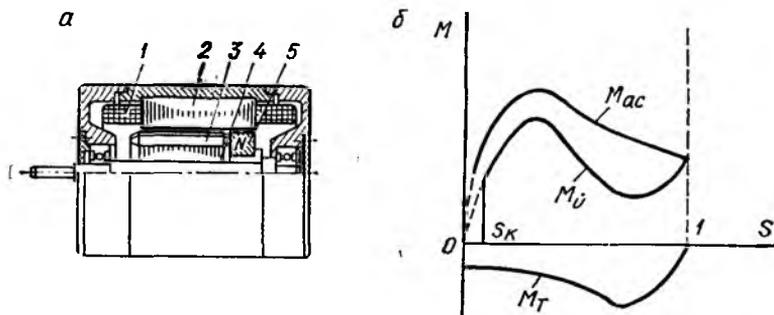
темир ва кобальт қотишмасидан тайёрланади. Бундай материалларда коэрцетив куч катта бўлади. Статори синхрон машинанинг статори каби ишланган, унинг пазларида бир, икки ёки уч фазали чулғам урнатилади. Двигатель роторида юпқа пўлатдан тайёрланган пакет пазларида қисқа туташтирилган юргизиш чулғами ҳам бўлади (197-расм, а). Двигатель юргизилгандан сўнг бу чулғам роторнинг тебранишини сўндирадиган демпфер чулғам ролини бажаради. Двигатель тармоққа уланганда унинг ротори, айланма магнит майдони ҳамда юргизиш токининг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўладиган асинхрон момент M_{ac} таъсирида айлана бошлайди. Бир фазали двигателда айланма магнит майдонини ҳосил қилиш учун конденсатор уланади. Двигатель роторида доимий магнитлар бўлгани учун унда (худди нагрузка моментидек) тормозловчи момент M_T ҳам ҳосил бўлади. Ротор айланганда доимий магнит қутблари майдони статор чулғамида, айланиш тезлиги n_2 га пропорционал бўлган $E_{1ю}$ ЭЮК ини ҳосил қилади; унда ўзгарувчан ток ҳосил бўлади. Бу токнинг ротор магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида роторга таъсир этувчи M_T момент ҳосил бўлади. M_{ac} ва M_T моментлар ўзгариш характерининг сирпанишга боғлиниши турлича; юргизиш чулғамида статор оқими ҳосил қиладиган E_2 ЭЮК сирпанишга тўғри пропорционал; $E_{1ю}$ ЭЮК эса n_2 га ёки $(1-s)$ га пропорционал бўлади. Шунинг учун M_{ac} момент ўзининг максимал қийматига сирпаниш кичкина бўлганда; M_T момент эса $(1-s)$ кичкина бўлганда эришади (197-расм, б).

Двигателнинг йиғинди momenti:

$$M_{\text{й}} = M_{ac} + M_T.$$

Юргизиш чулғами етарли даражада момент ҳосил қилгандан сўнг двигатель синхронизмга (s_k да) киради

Доимий магнит блоклари радиаль ёки аксиал жойлашиши мумкин. Магнитлар радиаль жойлашган машиналарда роторнинг айланиш частотаси унча катта бўлмаганда, яъни сирпаниш катта



197- расм. Доимий магнитли синхрон двигателнинг тузилиши (а) ва $M = f(s)$ боғлиниш (б):

1—статор чулғами, 2—статор, 3—юргизиш чулғами, 4—ротор пакети, 5—доимий магнитлар.

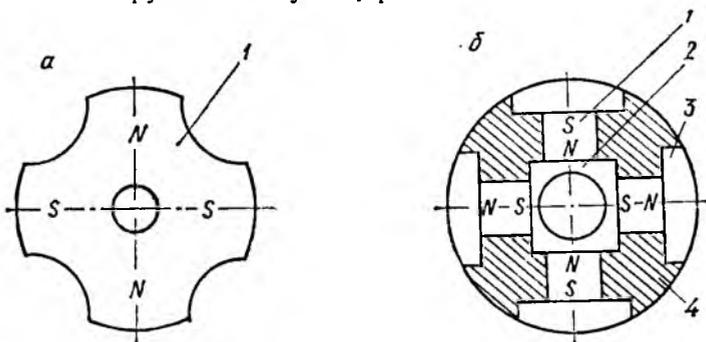
бўлганда, доимий магнит қутблари юргизиш чулғами билан егарли даражада экранланади. Сирпаниш кичкина бўлганда экранловчи таъсир камаяди, якорь реакцияси таъсирида доимий магнит қутблари магнитсизланади. Энг катта магнитсизловчи таъсир ротор қутблари ва якорь чулғамининг МЮК лари қарама-қарши йўналганда ҳосил бўлади. Доимий магнит қутблари блоки аксиал жойлашган машиналарда энг катта магнитсизловчи таъсир тармоққа улашнинг бошланғич пайтида, ротор ҳали кўзгалмаганда ҳосил бўлади. Якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини камайтириш учун, қутблари радиал жойлашган машиналарда, қўшни қутб бошмоқлари орасидаги масофа кичиклаштирилади ва қутб бошмоқларининг эни катталаштирилади. Бундай двигателарнинг ФИК ва қувват коэффиценти анча яхши, ишлашда тургун, тезлиги ўзгармас бўлади. Юргизиш токининг катталиги таннархининг қимматлиги уларнинг камчилиги ҳисобланади.

Доимий магнитли синхрон генераторларнинг ротори қаттиқ магнит материалдан яхлит қилиб (198-рasm, *а*) ёки пўлат втулка ичига ўрнатилган доимий магнитлардан (198-рasm, *б*) йигиб тайёрланади. Магнит қутблари орасига алюминий қуйилади, бунда ротор монолит бўлади.

Тахогенераторлар. Синхрон тахогенератор роторида доимий магнит бўлган, бир ёки уч фазали синхрон машинадир. Бундай генераторнинг ротори айланганда статор чулғамида E_0 ЭЮК ҳосил бўлади. ЭЮК нинг таъсир этувчи қиймати:

$$E_0 = 4,44\omega_1 k_1 f_1 \Phi = 4,44\omega_1 k_1 \Phi \frac{pn}{60} = cn.$$

Демак, ЭЮК роторнинг айланиш частотаси n га пропорционал экан. Тахогенераторнинг чиқиш характеристикаси $U_r = f(n)$ учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин: $\dot{U}_r = \dot{E}_0 - \dot{I}_1 z_1 = \dot{E}_0 - \dot{U}_r(z_1/z_n)$, бу ерда: I_1 — статор чулғамининг (чиқиш) токи, z_1 ва z_n — статорнинг ва нагрзулканинг тўла қаршилиги.



198- рasm. Доимий магнитли генераторларнинг роторлари:

1—доимий магнит блоки, 2—пўлат втулка, 3—қутб бошмоқлари, 4—алюминий қуйилган жой.

Бу формулани яна қуйидагича ёзиш мумкин:

$$U_r = E_0(1 + z_1/z_n) = cn(1 + z_1/z_n).$$

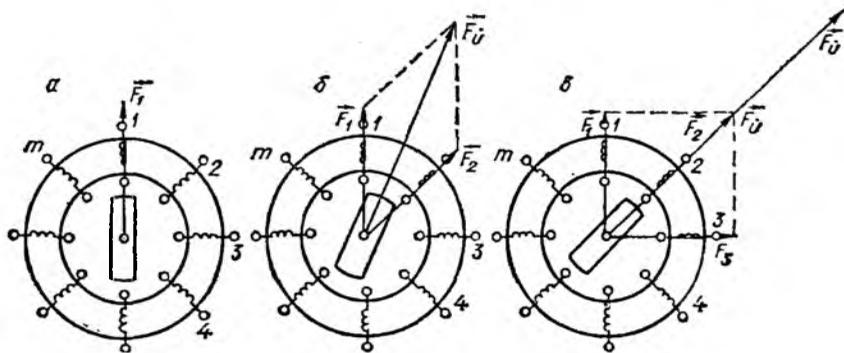
Бу формуладан маълум бўладики, синхрон генератор чиқиш кучланиши U_r нинг айланиш тезлиги n га боғланиши эгри чирик кўринишида бўлар экан. Буни қуйидагича тушунтириш мумкин: айланиш частотаси ўзгарганда чиқиш ЭЮК иниинг частотаси ўзгаради, натижада статорнинг ва нагруканиинг реактив қаршилиги ҳам анча ўзгаради, демак, z_1 ва z_n қаршиликлар ўзгаради. Шунинг учун бундай тахогенераторлар автоматика схемаларида қўлланилмайди, улардан фақат айланиш частотасини ўлчаш учун датчик сифатида фойдаланилади. Амалда уч фазали тахогенераторлар ҳам ишлатилади. Бу тахогенератор махсус истеъмолчи билан бирга ишлайди.

Истеъмолчида тахогенератор роторининг айланиш частотасига тенг айланувчи магнит майдони ҳосил бўлади.

93. Одимли синхрон двигателъ

Одимли двигателларнинг статор чулғами қандайдир коммутатор, масалан, электрон коммутатордан бериладиган кучланиш импульсларидан таъминланади. Ҳар бир импульс таъсирида двигателнинг ротори маълум бурчакка, яъни одимга сурилади. Коммутатор кегма-кет келаётган бошқарувчи импульсларини m фазали бир ёки икки қутбли, тўғри тўртбурчак шаклидаги кучланиш импульсларига айлангириб беради.

199-расмда кўзгатиш чулғамисиз m фазали одимли двигателнинг схемаси берилган. Агар статор чулғамининг 1, 2, 3 ... m фазалари галма-гал бир қутбли кучланиш импульслари билан таъминланса, двигателъ ротори, унинг ўқи 1, 2, 3 ва ҳоказо фазалар ўқи билан бир хил вазиятни олиб сакраб сурилади. Демак, ротор берилган вақт momentiда статор чулғамининг МЮК век-



199-расм. Статор чулғамларининг айрим фазалари таъминланган одимли двигателнинг ишлашини кўрсатувчи схемалар.

тори \vec{F} йўналишига мос ҳолда m тургун ҳолатга эга бўлади (199-расм, а). Бунда роторнинг сакраш одими $2\pi/m$ билан аниқланади.

Статорнинг йиғинди МЮК ини (яъни, магнит оқимини) ва синхронловчи моментини ошириш учун иккита, учта ёки ундан кўп фазага бир вақтда импульс берилади. Масалан, агар иккита фаза бир вақтда таъминланса, йиғинди МЮК векторининг ва ротор ўқининг вазияти икки қўшни фаза ўқлари орасидан ўтадиган чизиқда бўлади (199-расм, б). Агар учта фазага бир вақтда импульс берилса, ротор ўрта фаза ўқи вазиятига сурилади (199-расм, в). Агар галма-галдан ё жуфт (иккита) ёки тоқ (бир ва уч) фазаларга импульс берилса, ротор $2m$ тургун вазиятни олади, бунда одим π/m билан аниқланади.

Одимли двигателлар сифатида доимий магнитли, реактив ва индукторли двигателлар ҳам ишлатилади. Бундай двигателлар юргизиш чулғамсиз, роторнинг диаметри минимал ва катта электромагнит нагрузка билан ишлашга мослаб тайёрланади. Одимли двигателлар галма-галдан юриб тўхтайдиган механизмларда, информацияларни киритиш ва чиқариш учун ишлайдиган лента тортувчи механизмларда қўлланилади.

94. Юқори частотали индукторли генератор

Индукторли генератор бир фазали генератор бўлиб, 100 Гц дан бир неча минг герцгача частотали ўзгарувчан ток энергиясини ишлаб чиқаради. Бундай генераторлар радиолокацияда, электротермияда ва самолёт қурилмаларида қўлланилади.

Индукторли генератор статорида қўзғатиш ва статор чулғамлари урнатилади. Қўзғатиш чулғами ўзгармас ток манбаига уланади. Бу чулғам статорга нисбатан қўзғалмас магнит майдонини ҳосил қилади. Ротори чулғамсиз ва қавариқ тишли қилиб тайёрланади. Статор пазларининг ва ротор қавариқ тишларининг эни бир хилда бўлади. Ротор айланганда магнит ўтказувчанлигининг ўзгариши сабабли магнит оқими Φ_{\max} дан Φ_{\min} гача ўзгаради. Статор тишлари рўпарасига ротор тишлари тўғри келганда оқим Φ_{\max} бўлади; статор тишларига ротор пазлари тўғри келганда оқим Φ_{\min} бўлади (200-расм, а). Оқимнинг доимий ташкил этувчиси $\Phi_{\text{ўрт}}$ машина ишига таъсир қилмайди. Ўзгарувчан ток магнит оқимининг амплитудаси:

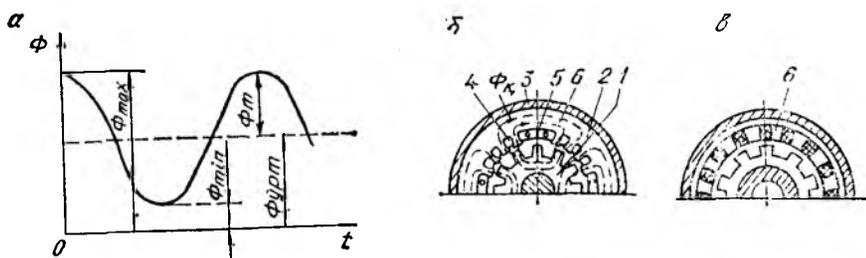
$$\Phi_m = \frac{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}}{2} \text{ билан аниқланади.}$$

ЭЮК нинг асосий гармоникаси: $E_1 = 4,44\omega_1 k_1 f_1 \Phi$.

ЭЮК нинг ўзгариш частотаси: $f = \frac{zn}{p}$ билан аниқланади,

бу ерда: z — тишлар сони, n — роторнинг айланиш тезлиги, айл/мин.

Индукторли генераторлар радиаль қўзғатишли ва ўқли қўзғатишли булади. Радиаль қўзғатишли генераторда қўзғатиш чул-



200- расм. Индукторли генераторда магнит оқимининг ўзгариши (а), радиаль қўзғатишли (б) ва ўқли қўзғатишли (в) индукторли генераторнинг тузилиши:

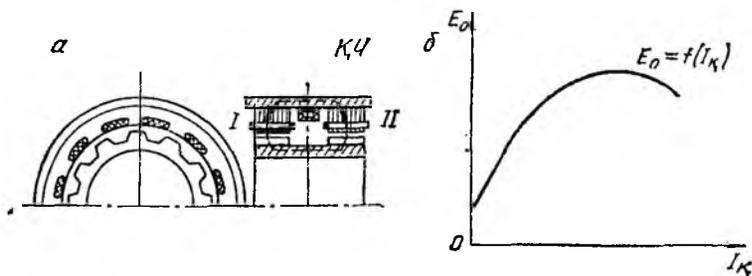
1—ротор, 2—статор пакети, 3—корпус, 4—статор чулғами, 5—қўзғатиш чулғами, 6—статор қутблари.

ғама статорнинг катта пазларига ўрнатилади (200- расм. б). Ўқли қўзғатишли генераторда статор ва роторнинг тишлари (пазлар) тенг бўлади (200- расм. в).

Индукторли генераторлар ишлаганда ЭЮК фақат статор чулғамида эмас, балки қўзғатиш чулғамида ҳам ҳосил бўлади, бу уларнинг камчилиги ҳисобланади. Агар қўзғатиш чулғами шу чулғам билан қўришган оқимни ўзгармайдиган қилиб ўрнатилса, унда ЭЮК ҳосил бўлмайди.

Амалда машина ўқи йўналишида жойлашган икки (I ва II) статорли индукторли генераторлар ҳам ишлатилади. Роторда магнит оқими вал ўқи йўналишида ўтади (201- расм, а). I статср тагидаги ротор пазлари II статор пазларига нисбатан тиш одинининг ярмига сурилган бўлади. Бунда I статор пазлари группаси тагига роторнинг тишлари; II статор пазлари группаси тагига роторнинг пазлари тўғри келади. Шунинг учун чулғамнинг оқими пульсланмайди. Генераторнинг ишлаши аввал кўриб ўтганимиздек.

Озгина тўйинган магнит занжирли индукторли генераторнинг салт ишлаш характеристикаси оддий генераторнинг характеристикасидан фарқ қилмайди. Тўйиниш катта бўлганда магнит оқи-



201- расм. Иккита статорли индукторли генераторнинг конструктив схемаси (а) ва индукторли генераторнинг салт ишлаш характеристикаси (б).

мининг кўп қисми фақат тишлардан эмас, пазлардан ҳам ўтади. Бунда $\Phi_{\text{макс}}$ билан $\Phi_{\text{мин}}$ оқимлар орасидаги фарқи кичиклашади, оқимнинг ва демак, ЭЮК нинг пульсацияланиши камаяди. Шунинг учун тўйинган магнит занжирли индукторли генераторнинг салт ишлаш характеристикаси максимумга эришгандан сўнг пасаяди (201-расм, б). Бундай генераторда якорь реакцияси расмий генераторлардагидек. Ташқи ва ростлаш характеристикалари ҳам ўхшаш, $\cos \varphi = 1$ бўлганда генераторнинг ФИК 0,4 ... 0,75 бўлади. Қайта магнитланиш частотаси катта бўлгани учун пўлагда ва статор чулғамида қўшимча исроф катта бўлади, бу исроф ФИК ни камайтиради.

В Б Ў Л И М. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИ

ХVIII Б О Б. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИНИНГ ИШЛАШИ ВА ТУЗИЛИШИ

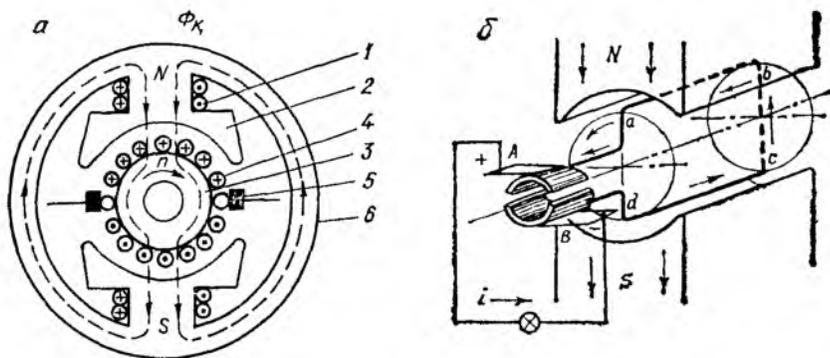
95. Ўзгармас ток машиналарининг ишлаши

Ўзгармас ток машиналари генератор ва двигатель сифатида ишлатилади. Ўзгармас ток машинаси ҳам асосан қўзғалмас қисм — статор ва айланувчи қисми якорь (ротор) дан тузилган (202-расм, а). Статор корпуси ичида аён қутбли магнит (ёки ўзак) лар ўрнатилади. Қутб ўзакларига ўралган чулғам қўзғатиш чулғами дейилади. Қўзғатиш чулғами машинанинг асосий магнит майдонини ҳосил қилиш ва уни ростлаш учун хизмат қилади. Якорнинг пўлат ўзаги пазларига якорь чулғами ўрнатилади.

Энг оддий ўзгармас ток генераторининг тузилиши 202-расм, б да кўрсатилган. Унда магнит қутблари орасида жойлашган, ёркин айланадиган, пўлат цилиндрга бир ўрам мис сим (якорь) ўрнатиладиган. Якорь ўрамининг учлари иккита ярим ҳалқага уланган. Ярим ҳалқаларда иккита қўзғалмас чўткалар (А ва В) сирпанади. Ярим ҳалқалар ўрам сими билан бирга айланади. Ана шу ярим ҳалқалар ўзгармас ток машинасининг коллектори дейилади. Реал машиналарда коллектор бир-биридан изоляцияланган жуда кўп мис пластинкалардан иборат. Цилиндр айлантирилса, якорь симларида, электромагнит индукцияси қонуни асосида, ЭЮК ҳосил бўлади. Бунда симлар икки хил магнит қутблари тагидан ўтгани учун, улардаги ЭЮК нинг йўналиши ўзгаради. Лекин чўткаларга уланган ташқи занжирдан ўзгармас ток ўтади. А чўтка мўсбат, В чўтка манфий қутбга эга бўлади. Якорь 180° га бурилганда ўрам симларида ЭЮК нинг йўналиши ўзгаради, лекин чўткалар қутби, шунингдек, ташқи занжирда ток йўналиши ўзгармайди. Чунки, ўрам симларида ЭЮК нинг йўналиши ўзгарганда чўткалар сирпанадиган ярим ҳалқалар алмашади. Демак, коллектор ўзгарувчан токни (ЭЮК ни) унинг йўналишини ўзгартирмасдан фақат қийматини ўзгартирадиган токка айлантирувчи механик тўғрилагич экан.

Энди реал ўзгармас ток машинасининг ишлаши билан танишамиз (202-расм, а). Машина генератор сифатида ишлаши учун унинг якори қандайдир бирламчи двигатель ёрдамида айлантирилиши лозим. Якорь симлари магнит майдонида айланганда қиймати $e = Blv$ билан аниқланадиган ЭЮК ҳосил бўлади. Якорь чулғами маълум узунликка эга (l). Агар симнинг ҳаракат тезлиги (ўзгармас) $v = \text{const}$ бўлса, унда $e = B \cdot \text{const}$ бўлади.

Демак, якорь чулғаида ҳосил бўладиган ЭЮК нинг қиймати



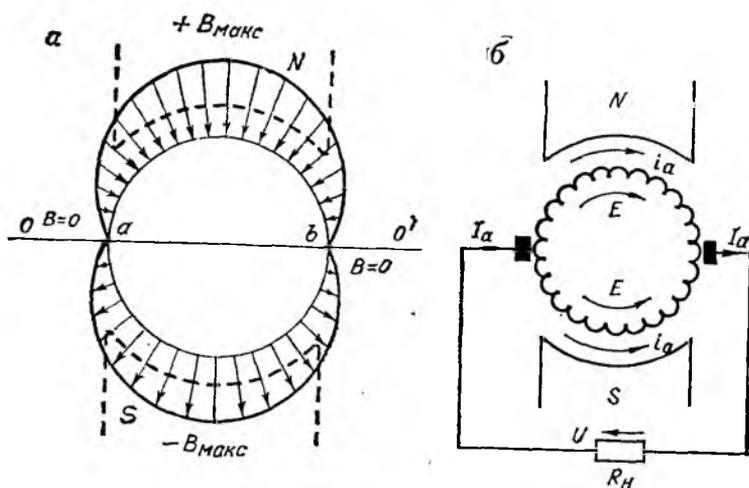
202- расм. Икки қутбли ўзгармас ток машинасининг электромагнит схемаси (а) ва энг оддий ўзгармас ток генератори (б):

1—қўзғатиш чулғами, 2—асосий магнит қутблари, 3—якорь, 4—якорь чулғами, 5—чўтка, 6—корпус.

қутб ўзаги билан якорь орасидаги ҳаво оралиғидаги магнит индукциясининг тарқалиш қонунияти билан аниқланар экан. Машина ишлаганда якорь чулғамида ўзгарувчан ЭЮК ҳосил бўлади. Синусоида қонуни бўйича ўзгарадиган ЭЮК олиш учун ҳаво оралиғида магнит индукцияси шу қонун бўйича тарқалишига эришиш лозим. Бунинг учун магнит қутблари учига, яъни қутб бошмоқларига маълум шакл берилади: қутблар марказида ҳаво оралиғи кичикроқ, чегларида эса каттароқ бўлади. Умуман, магнит куч чизиқлари қутб бошмоқларидан чиқиб якорь сиртига тик йўналади (203-расм, а). Бунда магнит индукцияси қутблар марказида $B = B_m$ га ва четида, яъни OO' нейтрал чизиқда $B = 0$ бўлади. Якорь чулғами симлари қутблар марказида бўлганда уларда ЭЮК максимал қийматга эришади, нейтрал чизиқда бўлганда нолга тенг бўлади.

Якорь чулғами симларида ҳосил бўладиган ЭЮК нинг йўналиши сим қайси қутб тагидан ўтаётганига боғлиқ. Бир хил магнит қутблари тагидан ўтаётган чулғам симларида ЭЮК нинг йўналиши бир хил бўлади. Икки қутбли ўзгармас ток машинасининг электромагнит схемаси 202-расм, а да кўрсатилган.

Машинада ҳар бир магнит қутби тагидан ўтаётган симлар сони бир хилда қолади. Якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК сирпанадиган контактлар орқали ташқи занжирга берилади. Айланувчи коллектор пластинкалари ва қўзғалмас чўткалар сирпанадиган контакт ҳосил қилади. Якорь чулғами симметрик ва берк занжирли қилиб тайёрланади (203-расм, б). Агар чўткалар геометрик нейтралда ўрнатилса (ташқи нағрузка уланмаганда), улар орасида U кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш якорь чулғамининг ҳар бир ярмида ҳосил бўладиган ЭЮК га тенг. Агар чўткалардан чиқарилган симларга (клеммаларга) истеъмолчи уланса, якорь чулғамидан ўзгармас ток I ўтади, у йўналиши бўйича



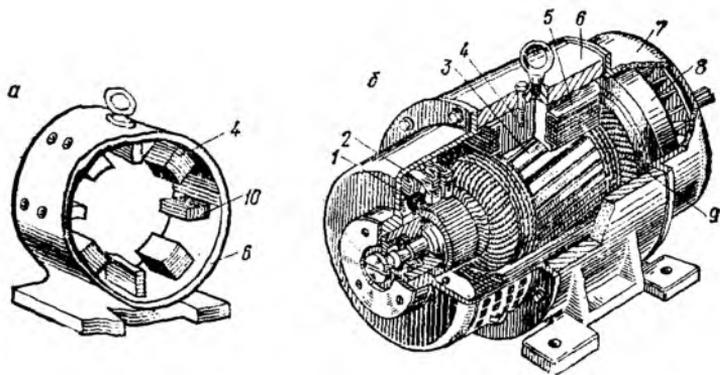
203-расм. Ҳаво оралиғида магнит индукциясининг тарқалиши (а) ва якорь чулғамининг эквивалент схемаси (б).

ЭЮК йўналишида бўлади. Якорь чулғамида бу ток чулғамнинг параллел шохобчаларидан иккига бўлиниб (i_a тоқлари) ўтади. Ўзгармас ток машинасида коллекторнинг ҳар бир қўшни жуфт пластинкаларига якорь чулғамининг бир бўлаги (секцияси) уланади. Чулғам бўлаги бир ёки бир неча ўрамдан иборат бўлиши мумкин. Машина генератор сифатида ишлаганда коллектор ва унинг сиртида сирпанадиган чўткалар механик тўғрилагич вазифасини ўтайди.

Машина двигатель сифатида ишлаганда унинг якорь ва қўзғатиш чулғамлари ўзгармас ток манбаига уланади. Қўзғатиш чулғами токи машинанинг асосий магнит майдонини ҳосил қилади. Якорь чулғами тоқининг магнит майдонини асосий магнит майдон билан ўзаро таъсири натижасида якорь чулғами симларига электромагнит кучлар таъсир этади ва бу кучлар айлантيرувчи момент ҳосил қилади. Шу асосда двигатель электр энергиясини механик энергияга айлантيرиб беради. Бунда коллектор ва чўткалар частота ўзгартиргич сифатида ишлайди ва ўзгармас ток манбаини ўзгарувчан ток ҳосил бўладиган якорь чулғами билан боғлайди. Умуман, якорь чулғами билан ташки занжирни ўзаро боғловчи коллектор ва чўткаларнинг бўлиши ўзгармас ток машиналарига тегишлидир.

96. Ўзгармас ток машинасининг тузилиши

Статор. Машинанинг статори корпусдан (станинадан) (204-расм, а) ва унинг ич томонига ўрнатилган асосий ва қўшимча магнит қутбларидан тузилган. Магнит қутбларида қўзғатиш чулғамлари бўлади. Корпуснинг ён томонларида подшипник шчитлари маҳкамланади (204-расм, б). Машина ишлаганда корпус

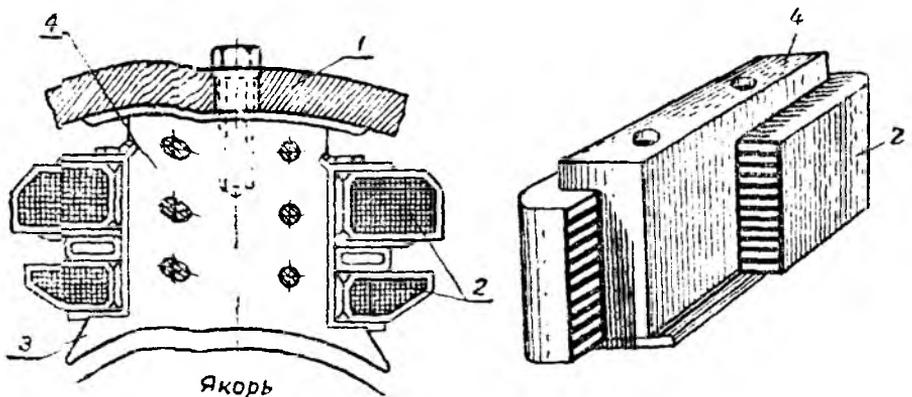


204-ра см. Ўзғармас ток машинасининг статори (а) ва ўзғармас ток машинасининг умумий кўриниши (б):

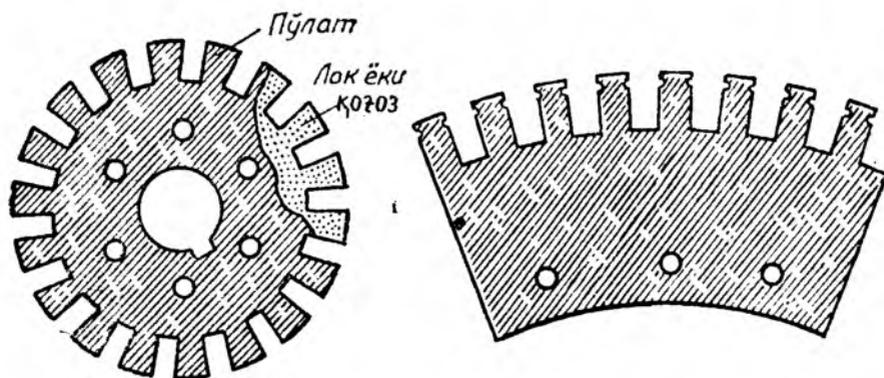
1—коллектор, 2—чўткалар, 3—якорь пўлат ўзаги, 4—асосий қутб ўзаги, 5—қўзғатиш чулғами, 6—корпус, 7—полюсник шити, 8—вентилятор, 9—якорь чулғами, 10—қўшимча қутб ўзаги.

материали орқали магнит оқими ўтади. Демак, корпус машина магнит занжирининг бир қисми ҳисобланади. Шунинг учун машина корпуси магнит киритувчанлиги катта бўлган махсус пўлатдан тайёрланади. Кичик ва ўртача қувватли машиналарда пўлатдан яхлит қилиб қуйиб, катта қувватли машиналарда бир неча бўлақлардан йиғиб тайёрланади. Машинанинг асоси станина билан яхлит (қуйма) ҳолда тайёрланади ёки унга пайвандланади. Станинанинг уст томонида кўтариш учун махсус ҳалқаси бўлади.

Асосий магнит қутблар. Асосий магнит қутблар станина ичига болтлар билан маҳкамланади (205-расм, а). Қутбларнинг пўлат ўзаги (4) электротехника пўлагидан махсус шаклда штамп-



205-расм. Асосий (а) ва қўшимча (б) магнит қутблари:
1—станина, 2—қўзғатиш чулғами, 3—қутб бошмоғи, 4—қутб пўлат ўзаги.

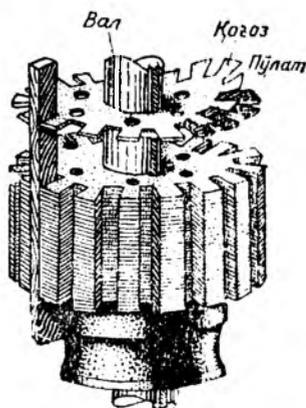


206- расм.

лаб (3) тайёрланади. Қутб бошмоғи магнит майдонининг текис тарқалиши учун хизмат қилади. Уюрма тоқларни камайтириш мақсадида асосий қутбларнинг пўлат ўзаги 0,5 — 2 мм қалинликдаги пластинкалардан йиғилади, сўнгра пресслаб, шпилькалар билан тортиб маҳкамланади. Асосий магнит қутбларига қўзғатиш чулғамлари (2) ўрнатилади. Бу чулғам кўндаланг кесим юзаси доира ёки тўртбурчак шаклидаги изоляцияланган мис симдан каркасга ўраб тайёрланади. Чулғам қизимаслиги учун бир неча бўлакларга бўлинади. Айрим бўлаклари орасида вентиляция каналлари қолдирилади. Машинанинг асосий магнит майдони қутблар пўлат ўзагига ўрнатилган қўзғатиш чулғамининг токи ёрдамида ҳосил бўлади.

Қўшимча қутблар. Қўшимча қутблар статор ичида асосий қутблар орасига ўрнатилади. Қўшимча қутблар қуввати 1 кВт дан катта бўлган машиналарда коммутацияни яхшилаш, яъни чўткалардан учқун чиқишини камайтириш мақсадида ўрнатилади. Қўшимча қутб (205-расм, б) пўлат ўзак 4 ва чулғам 2 дан иборат. Қўшимча қутблар чулғами якорь чулғами билан кетма-кет уланади; шунинг учун чулғам симининг кўндаланг кесим юзаси машинанинг номинал токига мўлжалланган бўлади. Қўшимча қутб ўзаги айрим юпқа пластинкалардан йиғиб ёки қўйиб яхлит қилиб тайёрланади. Қўшимча қутбда магнит индукцияси кичкина бўлади, унда уюрма тоқлар деярли ҳосил бўлмайди.

Якорь машинанинг айланувчи қисми бўлиб, унинг чулғамларида асосий ЭЮК ҳосил бўлади. Ўзгармас ток машиналарида

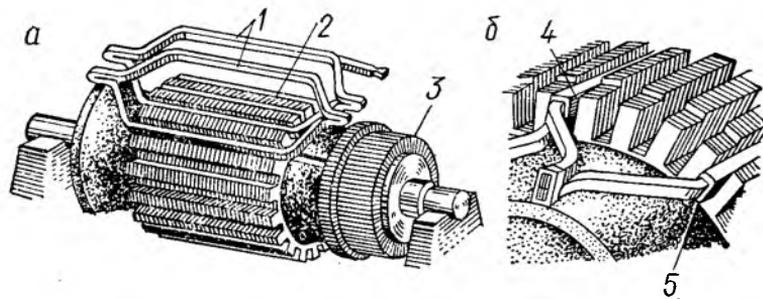


207- расм. Якорь пўлат ўзагини йиғиш (а) ва умумий кўрinishи (б):

1, 3 — қисувчи шайбалар, 2 — бандаж сим ўраладиган жойлар, 4 — коллектор ўрнатиладиган жой.

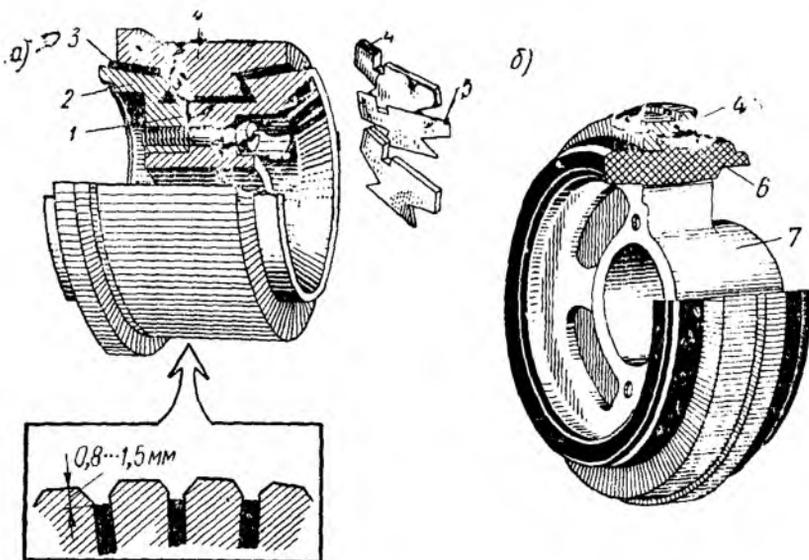
барабан типдаги якорь қўлланилади. Якорь вал ва унга кийгизиладиган юпқа пўлат ўзак пластинкалари, якорь чулғами ҳамда бир томонига ўрнатилган коллектордан иборат. Якорь пўлат ўзаги махсус электротехника пўлатидан штамплаш йўли билан 0,35... 0,5 мм қалинликдаги пластинкалардан йиғилади (206-расм, а); катта қувватли машиналарда пластинкалар айрим сегментлар шаклида тайёрланади (206-расм, б). Уюрма токларни камайтириш мақсадида пластинкалар юпқа қоғоз ёки лок қатлами билан ўзаро изоляцияланади. Пўлат сиртида ҳосил бўладиган юпқа оксид қатлами ҳам яхши изоляция ҳисобланади. Пўлат ўзак пластинкалар валга кийгизилади, пакетлар шайбалар ёрдамида қисилади. 207-расмда якорь ўзагини йиғиш процесси берилган. Якорь ўзагида вентиляция каналлари сиртида ўқ бўйича йўналган пазлар бўлади. Пўлат ўзак пазларига кўндаланг қирқим юзаси доира ёки тўртбурчак шаклидаги изоляцияланган мис симлардан тайёрланган якорь чулғами жойлаштирилади. Катта ва ўртача қувватли машиналарда пазлар очиқ, кичик қувватли машиналарда эса ярим ёпиқ бўлади. Якорь чулғами олдиндан тайёрланган чулғам бўлақларидан (208-расм, а) тузилади. 203-расм, б да чулғам бўлақларининг пазларга жойлаштириш кўрсатилган. Жойлаштиришдан олдин чулғам бўлақлари изоляцион лента билан ўралади. Ўзгармас ток машиналари якориди икки қатламли чулғам қўлланилади. Пазларда турли ғалтакларнинг томонлари ётади. Чулғам ғалтаги бир неча бўлақлардан иборат. Бўлақларнинг бош ва охири учлари тегишли коллектор пластинкаларига кавшарланади. Чулғам пазларга жойлаштирилгандан сўнг пазлар ёғоч пона билан беркитилади. Кичик қувватли машиналарда якорь сиртига пўлат бандаж симлар ўралади. Чулғамнинг пазлардан чиқиб турган қисми, яъни ташқи қисми ҳам бандаж билан маҳкамланади. Якорь вали олий нав пўлатдан тайёрланади. Валга совитувчи вентилятор ўрнатилади.

Коллектор якорнинг пўлат ўзаги ёнига ўрнатилади. Коллектор цилиндр шаклида бўлиб, унинг пластинкалари қаттиқ мисдан тайёрланади. Пластинкалар бир-биридан ва валдан изо-



208-расм. Якорь чулғамини пазларда жойлаштириш:

1—якорь ғалтаклари, 2—якорь пўлат ўзаги, 3 — коллектор, 4 ва 5 — ғалтакнинг устки ва остки томонлари.

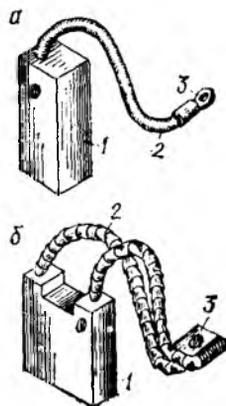


209- расм. Ўзгармас ток машинасининг металл (а) ва пластмасса (б) корпусли коллектори:

1—коллектор корпуси, 2—қисувчи фланец, 3—изоляцияловчи манжет, 4—коллектор пластинкаси, 5—изоляцияцион қистирма, 6—пластмасса, 7—втулка.

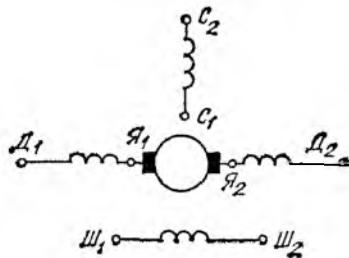
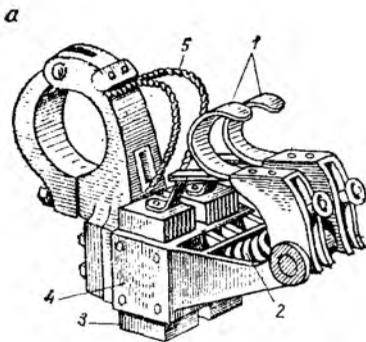
ляцияланади. Пластинкаларнинг бир томонида чиқиғи бўлиб, унга якорь чулғами бўлақларининг учлари кавшарланади. Коллектор пластинкалари бир-биридан миканит қистирма билан изоляцияланади. Қистирма коллектор пластинкаларидан 0,8 ... 1,5 мм пастроқ ўрнатилади. Пластинкаларнинг паст томони «қалдирғоч думи» кўринишида кемтик қилиб ишланади (209-расм, а). Коллектор йиғилгандан сўнг пластинкалар 4 ва қистирмалар 5 корпус билан қисувчи фланец 2 орасида сиқиб маҳкамланади. Коллектор пластинкалар миканит манжет 3 билан изоляцияланади. Кичик ва ўртача қувватли машиналарда коллекторнинг мис пластинкалари ва миканит қистирмалар пластмассага пресслаб ўрнатилади (209-расм, б). Коллектор йиғилгандан сўнг пластинкаларнинг сирти станокда йўнилади ва жилвирланади.

Чўтка апарати. Чўткалар айланувчи коллектор пластинкаларнинг цилиндрик сиртида сирпаниб, электр контакти ҳосил қилади. Чўткалар графит порошоғи асосида тайёрланган кўндаланг кесим юзи тўғри тўртбурчак шаклида бўлиб, узунчоқ қилиб иш-

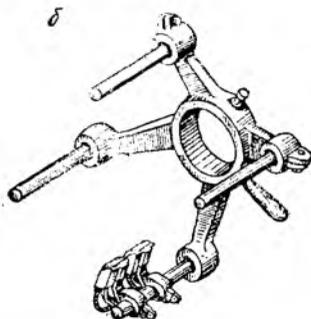


210- расм. Катта (а) ва кичик (б) қувватли машина чўткалари:

1—чўтка, 2 — чўтка сими, 3—учлик.



212-расм.



211-расм. Чўтка туткич (а) ва траверса бармоқлари (б):

1—илгак, 2—пружина, 3—чўтка, 4—қистирма, 5—эгиловчан сим.

ланган (210-расм а ва б). Чўткалар махсус чўтка туткичга ўрнатилади (211-расм, а). Чўтка туткичлар эса траверса бармоқларида (211-расм, б) ўрнатилади. Траверса подшипник шчитларига, катта қувватли машиналарда станинага ўрнатилади. Траверса билан бармоқлар ораси изоляцияланади. Бармоқлар сони машинанинг асосий қутблари сонига тенг. Чўтка туткичда чўтка, обойма ва чўткани коллектор пластинкаларига 1,5 ... 2,5 Н/см² куч билан босиб турувчи пружина бор. Ўзгармас ток машиналарида асосан кўмир-графит чўткалар, паст кучлианишли машиналарда металл-кўмир чўткалар қўлланилади. Чўтка туткич корпусдан изоляцияланади. Чўткалар бир неча жуфт бўлса, бир хил қутбли чўткалар ўзаро уланади ва уланган жойдан машинанинг ташқи клеммасига сим чиқарилади. Одатда, клеммалар панели (қутиси) станинада ўрнатилади. Траверса бармоқлари чўткалар системасини, машинанинг магнит қутбларига нисбатан исалган бурчакка буришга имкон беради.

Ўзгармас ток машиналарида чулғамларининг бош ва охириги учлари қуйидагича белгиланади:

якорь чулғами учлари	+ Я ₁ ва - Я ₂
параллел уланадиган қўзғатиш чулғами учлари	+ Ш ₁ ва - Ш ₂
қўшимча қутб чулғами учлари	Д ₁ ва Д ₂
кетма-кет уланадиган қўзғатиш чулғами учлари	С ₁ ва С ₂
компенсацион чулғам учлари	К ₁ ва К ₂

Электр схемаларда ўзгармас ток машиналарининг чулғамлари 212-расмдаги шартли белгилар билан кўрсатилади.

97. Умумий тушунчалар

Ўзгармас ток машиналарида қўзғатиш чулғами тузилиши жиҳатидан оддий электромагнит чулғамдан фарқ қилмайди. Лекин якорь чулғамининг тузилиши анча мураккаб. Якорь чулғами якорь пўлаг ўзаги пазларида маълум тартибда жойлаштирилади, чулғам ғалтаклари ўзаро боғланган ва чулғам бўлақларининг учлари коллекторга уланган бўлади. Чулғамдан мумкин қадар каттароқ ЭЮК ни олиш ҳамда барабан якорининг пазларида ЭЮК нинг пульсланишини камайтириш мақсадида ўрамлар сони, коллекторда эса пластинкалар сони кўпайтирилади. Олдин айтиб ўтилганидек, якорь чулғами бўлақлардан, бўлақлар эса бир неча ўрамдан иборат. Ҳар бир бўлақ ўзак пазларида ётадиган актив қисмлардан ва актив қисмларни ўзаро бирлаштирувчи ташқи қисмдан иборат. Якорь айланганда бўлақнинг актив қисмларида ЭЮК ҳосил бўлади.

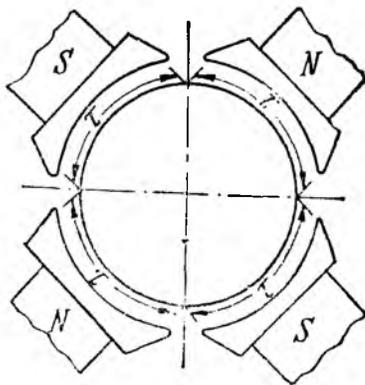
Ўзгармас ток машиналарининг статорига бир ёки бир неча жуфт магнит қутблари ўрнатилади. Битта магнит қутбига тўғри келадиган якорь сирти (213-расм) қутблар оралиғи дейилади. Қутблар оралиғи қуйидагича аниқланади:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}, \quad (5-1)$$

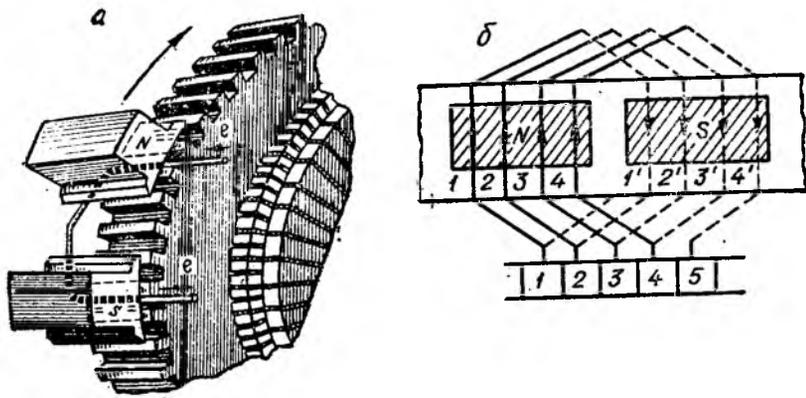
бу ерда: τ — қутблар оралиғи, D — якорь диаметри, $2p$ — асосий магнит қутблари сони.

Бўлақлар актив қисмларининг бири шимолий қутб тагида турганда иккинчиси жанубий қутб тагида бўлади, улар орасидаги масофа қутблар оралиғига тенг бўлади. Бунда бўлақнинг актив қисмларида ҳосил бўладиган ЭЮК лар ўзаро қўшилади. Икки қутб ўртасидан ўтган тўғри чизиқ геометрик нейтрал чизиқ дейилади. Жуфт қутблар сони бир нечта бўлган машинада нейтрал чизиқлар жуфт қутблар сонига тенг.

Якорь чулғамлари бир, икки ёки кўп қаватли бўлади. Бир қаватли чулғамда ўзак пазида бўлақнинг битта актив томони ётади. Кўпинча якорь чулғами икки қаватли қилиб жойлаштирилади. Бунда бўлақнинг биринчи актив томони бир пазнинг тагида ётса, иккинчи актив томони бошқа пазнинг уст томонида ётади.



213-расм.



214- расм.

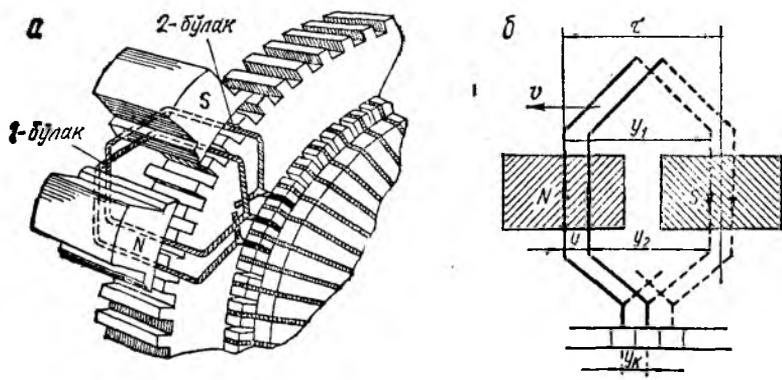
Якорь чулғамининг асосий қисми чулғам бўлагидир. Бўлақлар сони S коллектор пластинкалари сони K га тенг бўлади. Умуман, якорь чулғами машинанинг асосий элементи ҳисобланади. Чулғамга материал тежамли сарфланиши, эксплуатация давомида чулғам механик, иссиқлик ва электр жиҳатдан мустаҳкам бўлиши лозим. Ўзгармас ток машиналарида якорь чулғамларининг қуйидаги хиллари қўлланилади: оддий калава чулғам, мураккаб калава чулғам, оддий тўлқинсимон чулғам, мураккаб тўлқинсимон чулғам ва мураккаб чулғам.

Чулғам схемаларида чулғам бўлақлари шартли равишда бир ўрамли қилиб тасвирланади. Икки қаватли чулғамда устки қаватда ётган актив томони туташ чизиқ билан, пастда ётган актив томон пунктир чизиқ билан кўрсатилади. 214- расм, *a* да чулғам симларини жойлаштириш, 214- расм, *b* да икки қаватли чулғам схемаси берилган.

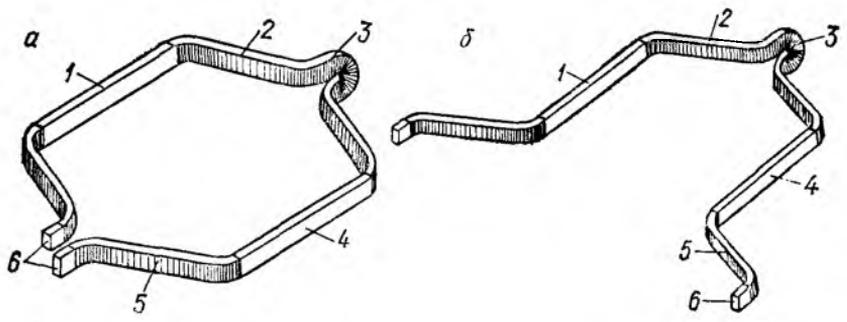
98. Оддий калава чулғам

Оддий калава чулғамда бўлақ учлари қўшни коллектор пластинкаларига уланади (215- расм, *a*). Чулғам назарга жойлаштирилаётганда ҳар бир кейинги бўлақнинг бош учи олдинги бўлақнинг охири учи билан уланади; охирида охириги бўлақнинг охириги учи биринчи бўлақнинг бош учи билан уланади. Шу асосда чулғам ёпиқ занжир ҳосил қилади.

Энг олдин чулғам одимлари аниқланади. Бир бўлақнинг икки актив томонлари орасидаги масофа чулғамнинг биринчи одими дейилади ва u_1 билан белгиланади. Агар чулғамнинг биринчи одими кутблар оралиғига тенг ($u_1 = \tau$) бўлса, чулғам одими диаметрал одим дейилади. Бўлақ одими $u_1 < \tau$ бўлса, қисқартирилган ёки $u_1 > \tau$ бўлса, катталаштирилган одим бўлади. Бирор бўлақнинг иккинчи актив томони билан кейинги бўлақнинг биринчи актив томони орасидаги масофа чулғамнинг иккинчи одими дейилади ва u_2 билан белгиланади (215- расм, *b*). Кетма-



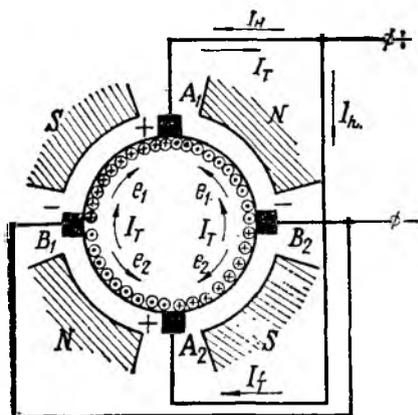
215- расм.



216- расм. Калава (а) ва тўлқинсимон (б) чулғамда бир ўрамли галтак шакллари:

1, 4—актив томонлари, 2, 5—ташқи томонлари, 3—буралган қисми, 6—коллектор пластинкаларига қавшарланадиган учлари.

кет келадиган икки бўлакнинг биринчи актив томонлари орасидаги масофа чулғамнинг умумий одими дейилади ва u билан белгиланади. Бўлакнинг бош ва охири учи қиланадиган икки коллектор пластинкалари орасидаги масофа чулғамнинг коллектор бўйича одими (u_k) дейилади. $K = S$ бўлгани учун $u = u_k$ бўлади. Калава чулғамида $u = y_1 - y_2$ ва $u = u_k$. Агар $u = u_k = \pm 1$ бўлса, чулғам оддий чулғам дейилади. Одатда, $u_k = \pm 1$ олинади. Калава ва тўлқинсимон чулғамда якорь чулғамининг бир ўрамли бўлагининг шакллари 216-расм, а ва б да кўрсатилган. Оддий калава чулғамда ҳар бир жуфт қутблар тагида ётган бўлақлар иккита параллел шохобча ташкил қилади (217-расм). Бунда ҳар бир параллел шохобча $S_{ш} = S/2p$ бўлақдан иборат бўлади. Бутун чулғамда эса параллел шохобчалар сони: $2a = S/S_{ш} = 2p$ бўлади. Қутблар сони қанча кўп бўлса, чулғам шунча кўп параллел шохобчага эга бўлади. Бунда чўтка бармоқлари ҳам кўп.



217- расм.

қутбли ўзгармас ток машинасининг якори учун оддий калава чулғамининг ёйилган схемаси чизилсин.

Е чи ш. Чулғам одимларини аниқлаймиз:

чулғамнинг биринчи одими: $y_1 = \frac{z}{2p} \pm \epsilon = \frac{24}{2 \cdot 2} \pm 0 = 6,$

чулғамнинг иккинчи одими: $y_2 = y_1 - y = 6 - 1 = 5.$

Бунда $z = S = 24$, демак, $S = K = 24$.

Чулғамнинг ёйилган схемасини чизиш учун ўзак пазлари ва чулғам бўлақларининг тартиби (номери) аниқланади. Бўлак номери паз номери билан белгиланади. Калавали чулғам бўлақларининг кетма-кет уланиши ва параллел шохобчалар ҳосил бўлиши 232-расм, а ва б да кўрсатилган. 1, 2, 3 ва бошқа рақамлар билан чулғам бўлагининг устки қаватда ётган актив томонлари; 1', 2', 3' ва бошқа рақамлар билан остки қаватда ётган актив томонлари белгиланади.

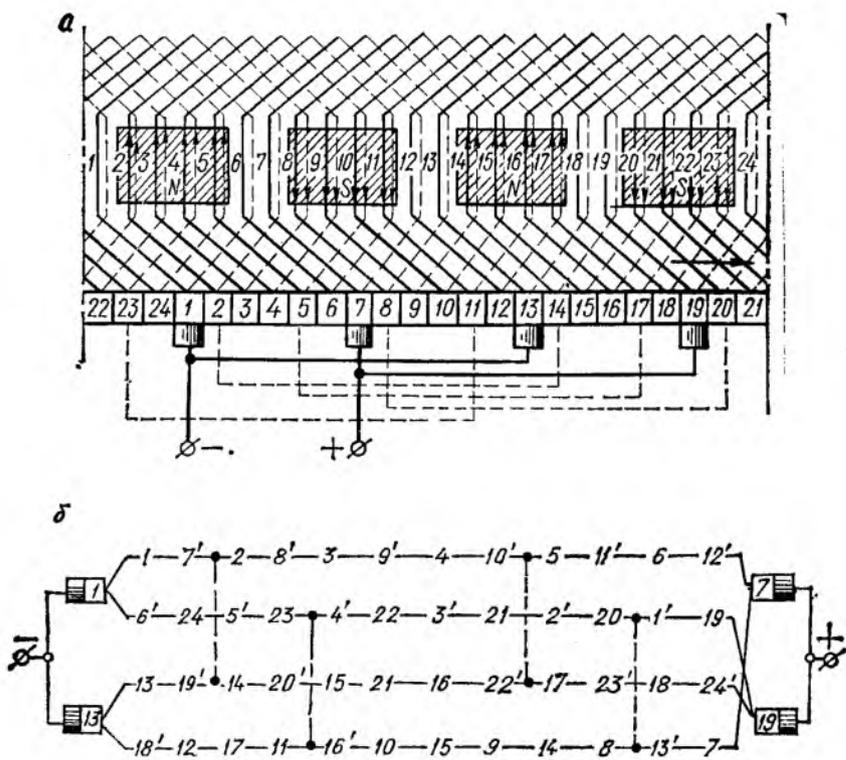
Калава чулғамда параллел шохобчаларда ҳосил бўладиган ЭЮК ларнинг қиймати бир хил бўлиши керак. Лекин турли қутблар тагида ҳаво оралигининг фарқи, корпусдаги дефектлар ва бошқалар натижасида магнит оқимлари оз бўлса ҳам фарқ қилади. Параллел шохобчаларда ЭЮК ляр ҳам 3...5% га фарқ қилади. ЭЮК ларнинг бундай фарқи, қаршилиги жуда кичкина бўлган якорь чулғамида, ҳатто нагрузка уланмаганда ҳам, анча катта бўлган тенглаштирувчи тоқлар ҳосил қилади. Бу тоқлар коллекторда учқун чиқишига сабаб бўлади, чўтқадан ўтадиган ток миқдорини кўпайтиради. Шунинг учун чулғамнинг назарий жиҳатдан потенциаллари бир хил бўладиган нуқталари тенглаштирувчи уланмалар билан улаб қўйилади (218-расм, а, пунктир чизиқлар). Бундай уланмалар коллектор пластинкаларида амалга оширилади. Бундай уланмалар чулғамнинг ташқи қисмлари тагидан ўтказилади, уларда ЭЮК ҳосил бўлмайди.

Оддий калава чулғамининг якорь бўйича биринчи одими қўйидагича аниқланади:

$$y_1 = \frac{z}{2p} \pm \epsilon, \quad (5-2)$$

бунда: $\epsilon < 1$ (ϵ ни z га қўшганда ёки айирганда y_1 бутун сони чиқиши лозим). Чулғамнинг иккинчи одими: $y_2 = y_1 \pm \pm y = v_1 \pm 1$. Оддий калава чулғам учун: $z = S$ ва $S = K$.

Қўйидаги мисолни кўриб чиқамиз. Якорнинг пўлат ўзари $z = 24$ пазга эга. Ҳар бир пазда иккита актив томон ётади, бўлақлар бир ўрамли, чулғам ўнг томонга ўралган. Тўрт



218- расм. Тўрт қутбли машинанинг калава чулғамининг принципал (а) ва эквивалент (б) схемаси. Схемادا:

$$S = K = 24; y = 6; y_2 = 5; y = y_K = 1.$$

Тенглаштирувчи уланмалар токи чулғамнинг параллел шохобчаларидан ўтиб, қўшимча МЮК ҳосил қилади. Натижада магнит оқимлари фарқи камаяди. Машинада чўткалар геометрик нейтрал чизиқда ётадиган симлар билан уланган коллектор пластинкаларида ўрнатилади. Бу симларда ЭЮК нолга тенг, демак, чўтка бир пластинкадан иккинчи пластинкага ўтаётганида шу чўтка билан қисқа туташган бўлакда ток ҳам нолга тенг бўлади. Чўтка орқали қисқа туташадиган бўлакнинг актив томонлари геометрик нейтралда бўлса, шу бўлак уланган коллектор пластинкалари қутб марказида бўлади. 218- расм, а да тўрт қутбли машинанинг калава чулғами, 218- расм, б да унинг эквивалент схемаси келтирилган. Бунда: $S = K = 24$; $y_1 = 6$; $y_2 = 5$ ва $y = y_K = 1$ га тенг. Якорнинг ЭЮК бир шохобчанинг ЭЮКига тенг бўлади, лекин якорь чулғамининг умумий токи айрим параллел шохобчалар токининг йиғиндисига тенг бўлади: $I_a = 2ai_a$, бу ерда I_a — якорь чулғамининг токи, i_a — параллел шохобча токи, $2a$ — якорь чулғамининг параллел шохобчалари сони.

99. Оддий тўлқинсимон чулғам

Оддий тўлқинсимон чулғамда турли қутблар тагида ётган бўлақлар кетма-кет уланади (219-расм, *а*) Чулғам ўнг ёки чап томонга ўралиши мумкин. Чулғам бўлақлари бир ёки кўп ўрамли бўлади. Бунда якорь айланаси бўйлаб бир марта айланиб чиқилгандан сўнг, яъни p бўлақлар кетма-кет улангандан сўнг, чулғам бошланган коллектор пластинкасига қўшни бўлган пластинкага келинади. Чулғамнинг умумий одими $u = u_1 + u_2$, чулғамнинг биринчи ва иккинчи одими ($u_1 \approx u_2$) тахминан қутблар оралиғи τ га тенг бўлади. Коллектор бўйича одим u_k икки қутблар оралиғи, яъни 2τ га тенг (219-расм, *б*). Икки қаватли оддий тўлқинсимон чулғамнинг одимлари қуйидагича аниқланади:

$$u_1 = \frac{z}{2p} \pm \epsilon; Z = S = K.$$

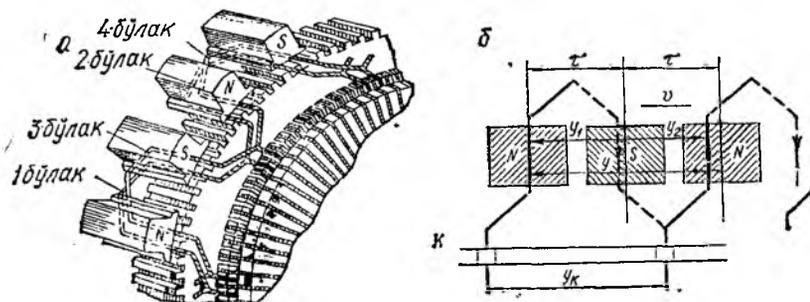
Чулғамнинг иккинчи одими: $u_2 = u - u_1$.

Чулғам кўпинча чап томонга ўралади.

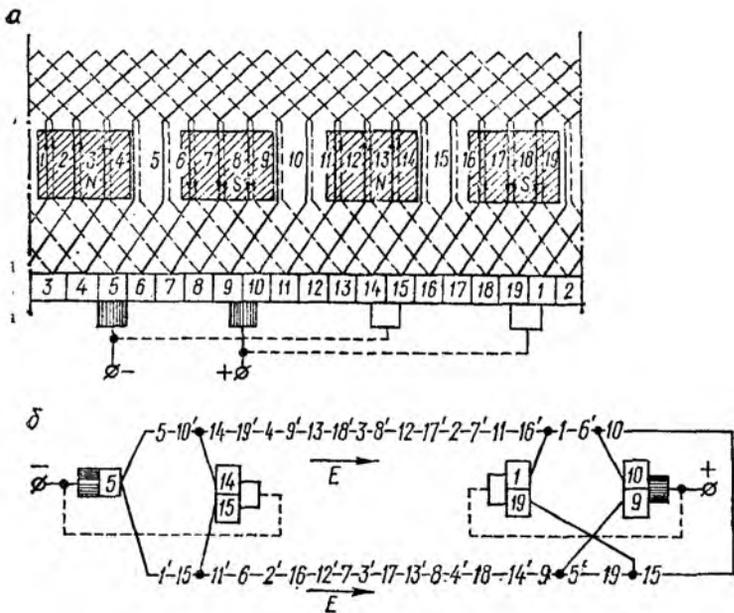
u_k билан коллектор пластинкалари сони z орасидаги боғланиш $pu_k \pm 1 = K$ билан аниқланади. Бундан: $u_k = \frac{K \pm 1}{p}$.

Амалда $u_k = (K - 1)/p$ олинади, бунда мис сым сарфи камаяди. Оддий тўлқинсимон чулғамда, якорь айланасини бир марта айланиб чиқилганда, бўлақнинг $2p$ актив томонлари кетма-кет уланади. Ҳар бир параллел шохобчада бўлақлар сони $S_{ш} = pS/2p = S/2$, чулғамнинг параллел шохобчалари сони; $2a = S/S_{ш} = 2$ билан аниқланади.

Демак, оддий тўлқинсимон чулғамда параллел шохобчалар сони қутблар сонига боғлиқ эмас ва доимо иккита бўлади. Ҳар бир параллел шохобчада бўлақларнинг ҳамма магнит қутблари тагида ётадиган томонлар бўлади. Шунинг учун тўлқинсимон чулғамда тенглаштирувчи уланмалар талаб қилинмайди. Тўлқинсимон чулғамнинг айрим бўлақларининг кетма-кет уланиши (*а*)



219-расм. Тўлқинсимон чулғамни пазларда жойлаштириш (*а*), бўлақларининг уланиши ҳамда одимлари (*б*).



220- расм. Тўрт қутбви машинанинг тўлқинсимон чулғамнинг принцинал (а) ва эквивалент (б) схемаси, бу ерда:

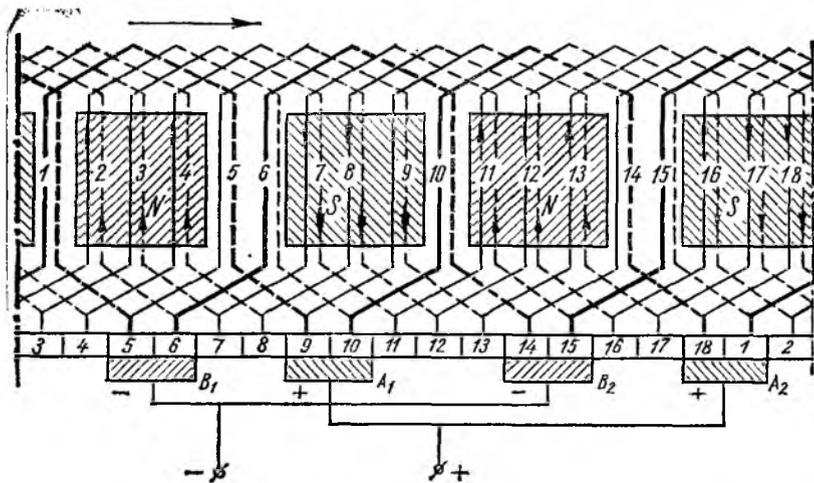
$$S = k = 19; y_1 = 5; y_2 = 4; y = y = 9.$$

ва ҳосил бўладиган параллел шохобчалари (б) 220- расмда кўрсатилган. Кичик қувватли машиналарда чўтка қурилмасида иккита бармоқ; катта қувватли машинада, чўткаларда ток зичлигини камайтириш ва ток ўтишини осонлаштириш мақсадида, $2p$ бармоқ бўлади.

100 Якорнинг мураккаб чулғамлари

1. Мураккаб калава чулғам. Оддий калава чулғамда параллел шохобчалар сони асосий қутблар сонига тенг. Параллел шохобчалар сонини кўпайтириш лозим бўлса (масалан, паст кувчланишли машиналарда), машинанинг асосий қутблари сонини кўпайтиришга тўғри келади, бу эса машинанинг ўлчамларини катта ва таннархнинг қиммат бўлишига олиб келади. Параллел шохобчалари кўп бўлган якорда мураккаб калава чулғам қўлланилади. Бундай чулғам бир якорда жойлашган бир неча оддий калава чулғамдан иборат бўлади. Бунда улар параллел уланади. Чулғамда параллел шохобчалар сони: $2a = 2m$ билан аниқланади. Бу ерда: m — оддий калава чулғамлари сони.

Мураккаб калава чулғамда чўткалар эни энг камида m коллектор пластинкасини қоплаши керак. Чулғамнинг коллектор бўйича одими ёки умумий одими: $y_k = y = \pm m$. Чулғамнинг би-



221- расм.

ринчи одими: $y_1 = \frac{z}{2p} \pm \epsilon$ билан аниқланади. Мураккаб калава чулғам тузилишини қуйидаги мисолда кўриб чиқамиз.

Мисол. Тўрт қутбли ўзгармас тск машинасининг якориди $S = 16$ бўлакдан иборат мураккаб калава чулғамнинг ($m = 2$) ёйилган схемаси чизилсин.

Ечиш: чулғам одимларини аниқлаймиз:

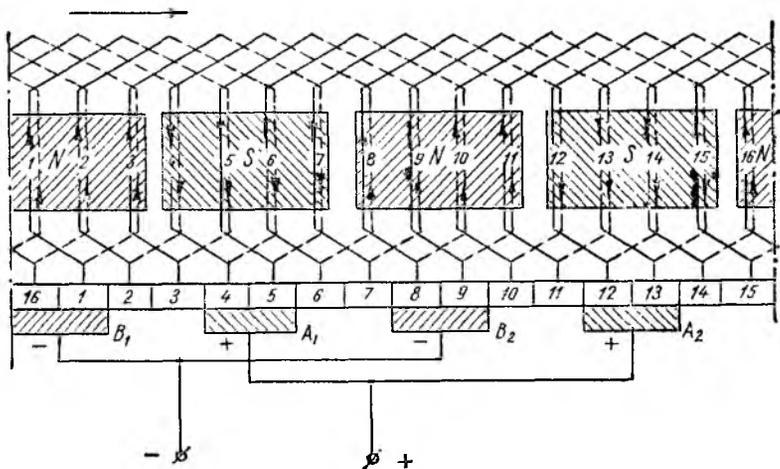
$$y_1 = \frac{z}{2p} \pm \epsilon = \frac{16}{4} \pm 0 = 4, \quad y = y_k = m = 2,$$

$$y_2 = y_1 - y = 4 - 2 = 2.$$

Олдин чулғамнинг уланиш жадвалини тузамиз (5. 1-жадвал). Олдин биринчи калава чулғам бўлаклари (тоқ номерли), сўнгра иккинчи чулғам бўлаклари чизилади (221-расм). Чулғамда параллел шохобчалар сони:

$$2a = 2pm = 4 \cdot 2 = 8 \text{ га тенг.}$$

2. Мураккаб тўлқинсимон чулғам. Мураккаб тўлқинсимон чулғам ҳам бир якорда жойлашган бир неча параллел уланган оддий тўлқинсимон чулғамдан иборат булади. Параллел шохобчалар сони: $2a = 2m$. Бу чулғам ҳам оддий чулғам каби ҳисобланади. Коллектор бўйича одим қуйидагича аниқланади: $y_k = y = \frac{K \pm m}{p}$. 222-расмда $2p = 4$, $z = 18$ ва $m = 2$ бўлган мураккаб тўлқинсимон чулғамнинг ёйилган схемаси чизилган. Бу чулғам иккита оддий чулғамдан, 18 та бир ўрамли бўлакдан иборат, чулғам чап томонга ўралган.



222- расм.

Чулғам одимлари: $y_1 = \frac{z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = 4,$

$$y_k = y = \frac{K \pm m}{p} = \frac{18 - 2}{2} = 8.$$

Чулғамда параллел шохобчалар сони:

Умуман, якорь чулғамда параллел шохобчалар қаршилиги ва уларда ҳосил бўладиган ЭЮК лар тенг бўлса, бундай чулғам симметрик чулғам дейилади. Чулғам носимметрик бўлса, параллел шохобчаларда нағрузка токи баробар тақсимланмайди ва қувват исрофи кўпаяди. Якорь чулғами симметрик бўлиши учун қуйидаги шартлар бажарилиши лозим:

а) параллел уланган жуфт шохобчаларда бўлақлар сони бир хил бўлиши лозим, яъни S/a — бутун сон;

б) ҳар бир параллел шохобчанинг бўлақлари жойлашган пазлар сони бир хил бўлиши керак, яъни z/a — бутун сон;

в) чулғамнинг ҳар бир жуфт параллел шохобчалари магнит қутбларига нисбатан бир хил вазиятда ўрнатилиши лозим, яъни $2p/a$ — бутун сон.

Олдин айтиб ўтилганидек, ҳаво оралиғининг баробар бўлмаслиги, магнит ўстмасининг носимметриклиги, якорнинг марказда аниқ ўрнатилмаслиги ва бошқа сабаблар натижасида юқоридаги шартлар бажарилса ҳам параллел шохобчаларда ЭЮК бир хил бўлмайди. ЭЮК нинг носимметриклиги чулғам хилига ҳам боғлиқ. Тўлқинсимон чулғамда чулғам бўлақлари машинанинг ҳамма магнит қутблари тагида баробар тарқалган. Бундай чулғамда ЭЮК симметрик бўлади.

Калава чулғам бўлақлари бир жуфт қутб тагида жойлашади. Шунинг учун юқоридаги сабаблар натижасида уларда бир хил

5-1-жадвал

Биринчи чулғам			Иккинчи чулғам		
паз номери (устки қават)	бўлак номери	паз номери (остки қават)	паз номери (устки қават)	бўлак номери	паз номери (остки қават)
1	1	5	2	2	6
3	3	7	4	4	8
5	5	9	6	6	10
7	7	11	8	8	12
9	9	13	10	10	14
11	11	15	12	12	16
13	13	1	14	14	2
15	15	3	16	16	4
1			2		

ЭЮК ҳосил бўлмайди. Натижада тенглаштирувчи тоқлар ҳосил бўлади, чўткаларда ток зичлиги ортади, коллектордан учқун чиқа бошлайди. Тоқлар баробар тақсимланиши учун биринчи тур тенглаштирувчи уланмалар қўлланилади. Улар ёрдамида чулғамнинг потенциаллари бир хил бўлган нуқталар ўзаро уланади. Потенциаллари бир хил икки нуқта орасидаги масофа потенциал одими дейилади:

$$u_{\tau} = \frac{K}{a} = \frac{K}{p}.$$

Чулғамда биринчи тур уланмалар сони $N_{\tau} = K/a$ билан аниқланади. Катта қувватли машиналарда бундай уланмаларнинг ҳаммаси, кичик қувватли машиналарда фақат 3–4 таси қўйилади.

Мураккаб калава ва тўлқинсимон чулғамда кўпинча иккита оддий чулғам параллел уланади. Бу шароитда коллекторда чўткалар ёрдамида иккала оддий чулғам учун яхши контакт ҳосил қилиш қийин. Уларда ток баробар тақсимланмайди, коллектордан учқун чиқа бошлайди. Буни йўқотиш учун иккинчи тур тенглаштирувчи уланмалар ишлатилади, бунда оддий чулғамларнинг баробар потенциалли нуқталари ўзаро уланади.

Чулғам хилларининг қўлланилиши. Қуввати ун-

ча катта бўлмаган икки қутбли машиналарда оддий калава чулғам қўлланилади. Ўртача қувватли тўрт қутбли машиналарда кўпинча тўлқинсимон чулғам қўлланилади. Чўткаларда кучланиши катта (1000 В гача) бўлганда бундай чулғам қуввати 200—300 кВт гача бўлган тўрт қутбли машиналарда қўлланилади. Агар кучланиши катта бўлмаса (110—220 В), катта қувватли тўрт қутбли машиналарда калава чулғам қўлланилади. Бунда параллел шохобчаларда ток қиймати камаяди. Катта қувватли машиналарда параллел шохобчалар токи 200—300 А дан ортиқ бўлмаслиги лозим. Ток қиймати катта бўлмаслиги учун катта қувватли машиналарда қутблар сони кўпайтирилади.

XX БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИНИНГ ЭЮК ВА ЭЛЕКТРОМАГНИТ МОМЕНТИ

101. Ўзгармас ток машиналарининг ЭЮК

Ўзгармас ток машинаси ишлаганда унинг якорь чулғамида, электромагнит индукцияси қонуни асосида ЭЮК ҳосил бўлади:

$$e = Blv. \quad (5-3)$$

Магнит қутблари бошмоғи ва якорь орасидаги ҳаво оралиғида магнит индукцияси трапециодал шаклда тарқалади (223-расм). Ҳаво оралиғида магнит индукцияси турлича бўлганлиги учун якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК ни аниқлашда магнит индукциясининг ўртача қийматидан фойдаланилади. Бунинг учун юзаси $ABCD$ трапеция юзасига тенг, асоси қутблар оралиғи τ га тенг $AB'C'D$ тўғри тўртбурчак чизамиз. Магнит индукциясининг ўртача қиймати шу тўртбурчак баландлиги билан аниқланади.

Чулғамнинг бир симида ҳосил бўладиган ЭЮК нинг ўртача қиймати:

$$E_{\text{ўрт}} = B_{\text{ўрт}} lv. \quad (5-4)$$

Агар якорь чулғамида симлар (актив томонлар) сони N ва чулғамнинг параллел шохобчалари сони $2a$ бўлса, айрим параллел шохобчада уланган симлар сони $N/2a$ бўлади. Бунда чулғамнинг ЭЮК:

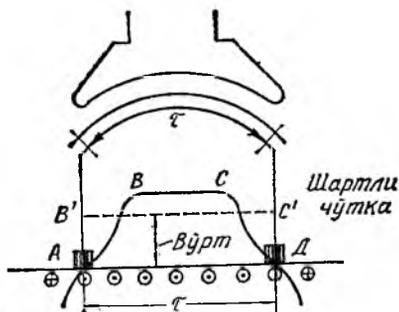
$$E_a = E_{\text{ўрт}} \cdot \frac{N}{2a} = B_{\text{ўрт}} lv \frac{N}{2a}. \quad (5-5)$$

Машинанинг паспортгида якорьнинг айланиш частотаси кўрсатилади:

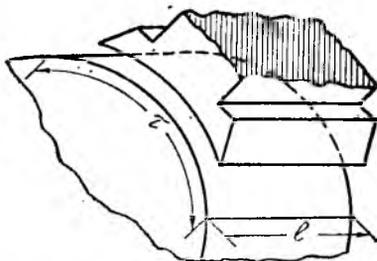
$$v = \frac{\pi D n}{60},$$

бу ерда: n — якорьнинг айланиш частотаси, айл/мин; D — якорь диаметри; якорь айланасининг узунлиги $\pi D = 2\pi r$ га тенг, у ҳолда $v = \frac{\tau 2\pi n}{60}$ якорьнинг ЭЮК:

$$E_a = B_{\text{ўрт}} \cdot l \frac{\tau 2\pi n N}{60 \cdot 2a}.$$



223- расм.



224- расм.

Бунда ($l\tau$) кўпайтма бир қутбнинг магнит оқими ўтадиган юза (224- расм). Бу юзани ўртача магнит индукциясига кўпайтириб магнит оқими аниқланади: $B_{урт} \cdot l\tau = \Phi$.

У ҳолда якорнинг ЭЮК:

$$E_a = \frac{pN}{60a} n\Phi, \quad (B) \quad (5-6)$$

бу ерда: p , N , a — машина учун ўзгармас қийматлардир. Унда $C_e = \frac{pN}{60a} = \text{const}$ машинанинг конструкциясига боғлиқ коэффициент.

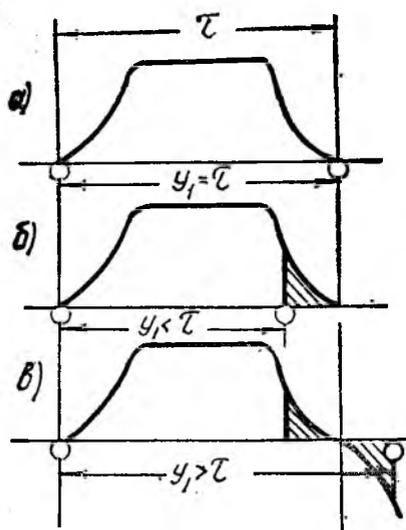
Бунда якорнинг ЭЮК: $E_a = C_e \cdot n\Phi$.

Демак, ўзгармас ток машинасининг якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК якорнинг айланиш частотасига ҳамда магнит оқимига тўғри пропорционал ва машина ўлчамларига боғлиқ экан.

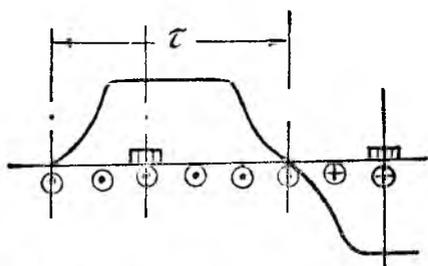
Ўзгармас ток машинаси генератор сифатида ишлаганда ҳам, двигатель сифатида ишлаганда ҳам якорь чулғами симлари қутблар магнит майдони куч чизиқларини кесиб ўтади ва якорь чулғамида ЭЮК ҳосил бўлаверади. Машина генератор бўлиб ишлаганда бу ЭЮК генераторнинг асосий ЭЮК бўлади. Генераторнинг ЭЮК: $E = U + I_a R_a$ билан аниқланади. Машина двигатель бўлиб ишлаганда бу ЭЮК двигателнинг тескари ЭЮК бўлади. Ўзгармас ток двигателига тармоқдан бериладиган кучланиш $U = E_{\text{тес}} + I_a R_a$ бўлади.

102. Машина ЭЮК ига чулғам одими ва чўткалар ўрнининг таъсири

Ўзгармас ток генераторларида якорнинг айланиш частотаси доимо бир хилда ушлаб турилади. Генераторнинг ЭЮК асосан якорь чулғами бўлаклари билан қўршалган фойдали магнит оқим қиймати билан аниқланади. Агар чулғамнинг биринчи одими қутблар оралиғига тенг ($y_1 = \tau$) бўлса, чулғам бўлаклари оқим билан тўла қўршалади (225-расм, а). Шунинг учун тўла одимли бўлакда ЭЮК катта бўлади. Агар чулғамнинг биринчи одими қутблар оралиғидан кичикроқ бўлса, ($y_1 < \tau$) шу бўлакда ЭЮК ҳосил



225- расм.



226- расм.

қилишда магнит оқимининг фақат бир қисмидан фойдаланилади (225-расм, б). Шунинг учун қисқарган одимли бўлакда ЭЮК кичкина бўлади. Катталаштирилган одимли ($y_1 > \tau$) чулғамда ҳам ЭЮК кичкина бўлади. Чунки, бунда бўлакнинг бир қисмида магнит оқимининг йўналиши тескари; фойдали оқимнинг бир қисми унинг тескари таъсирини йўқотиш учун сарфланади (225-расм, в). Амалда якорь чулғамлари тўла ёки қисқарган одимли бўлақлардан тузилади.

Якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК чўткаларнинг коллектордаги ўрнинга ҳам боғлиқ. Машинада чўткалар шартли равишда геометрик нейтралда, яъни қутблар оралиғи чегарасига ўрнатилади. Бунда якорь чулғамининг бир параллел шохобчасига тегишли ҳамма симларда ЭЮК нинг йўналиши бир хил бўлади. Якорь чулғамининг ёки параллел шохобчанинг ЭЮК шартли чўткалар фақат геометрик нейтралда ўрнатилганда шу параллел шохобча бўлақларидаги ЭЮК ларнинг йиғиндисига тенг бўлади. Агар чўтка-

лар геометрик нейтралдан исталган томонга ситжитилса, параллел шохобчага ЭЮК ларнинг йўналиши ҳар хил бўлган симлар кириб қолади (226 расм). Бунда ҳам машинанинг ЭЮК булақларнинг ЭЮК лари йиғиндисидан аниқланади. Бу ЭЮК ҳам кичкина бўлади. Демак, шартли чўткалар геометрик нейтралда ёки ҳақиқий чўткалар коллекторда қутблар марказида ўрнатилганда чулғамда ҳосил бўлайдиган ЭЮК энг катта қийматга эришади.

Ўзгармас ток машиналарида бирер хилдаги якорь чулғамининг қўлланилиши техник-иқтисодий талаблар билан аниқланади. Танланган якорь чулғами номинал ЭЮК ва ток қийматларини бериши керак. Бунинг учун якорь пўлат ўзаги пазларидан тўла фойдаланиш лозим; бу эса пазларни тўлдириш коэффициенти:

$K_n = \frac{S_m}{S_{\Pi}}$ билан аниқланади, бу ерда S_m — бир пазда жойлашган

ҳамма мис симларнинг қўндаланг кесим юзаси: S_n —пазнинг қўндаланг кесим юзаси.

Агар якорь пўлат ўзаги пазларида кўп сим жойлашса, пазнинг кўп қисми сим изоляцияси билан тўлиб қолади. Шунинг учун пазларда симлар кам бўлган чулғам хили танланиши лозим.

ЭЮК нинг асосий формуласи (5-6) дан чулғамдаги симлар сони N ни аниқлаймиз:

$$N = 60a \frac{E_a}{p n \Phi}.$$

Бунда E_a , p ва n ларнинг маълум қийматларида чулғамда симлар сони параллел шохобчалар сони a га тўғри пропорционал. Шунинг учун параллел шохобчалар сони кам бўлган чулғам танланиши лозим. Энг қулай чулғам оддий тўлқинсимон чулғам ҳисобланади. Бундай чулғамда тенглаштирувчи уланмалар бўлмайди. Лекин бундай чулғамни қўллаш қўйидагилар билан чегарланади:

а) компенсация чулғамсиз машиналарда параллел шохобчалар токи 350 А дан, компенсация чулғамли машиналарда 500 А дан ошмаганда;

б) коллекторнинг икки қўшни пластинкалари орасидаги кучланиш катта қувватли машиналарда 25 . . . 28 В дан, ўртача қувватли машиналарда 30 . . . 35 В дан, кичик қувватли машиналарда 50 . . . 60 В дан ортиқ бўлмаслиги лозим. Кучланишнинг ортиб кетиши коллекторда учқун катталашиб кетишига олиб келади, машина ишдан чиқади.

Ўзгармас ток машинасини баъзан номинал кучланишдан фарқ қилувчи кучланишда ишлатишга тўғри келади. Масалан, генератордан 115 В ўрнига 230 В кучланиш олиш талаб қилинсин. ЭЮК нинг асосий формуласи (5-6) дан маълумки, ЭЮК ни икки марта ошириш учун якорнинг айланиш частотасини ёки қўзғатиш чулғами ҳосил қилади ан магнит оқимини ошириш керак. Машинанинг айланиш частотасини икки марта ошириш амалла мумкин эмас, шунингдек магнит оқимини икки марта ошириш ҳам қийин, чунки машинанинг пўлат ўзаги деярли тўйинган шароитда ишлайди. Бундан ташқари, коллекторнинг қўшни пластинкалари орасидаги кучланиш қийматини йўл қўйилган қийматдан ошириш мумкин эмас. Шундай қилиб, ягона йўл, яъни якорь чулғамини ўзгартириш йўли билан ЭЮК ни икки марта ошириш мумкин. Бунда якорь чулғами қайта ҳисобланади, сўнгра ўзгартирилади. Агар якорь чулғамини қайта ўрашдан олдинги ЭЮК E_1 чулғам симлари сони N_1 , жуфт параллел шохобчалар сони a_1 бўлса, қайта ўралгандан сўнг, мос ҳолда E_2 , N_2 , a_2 бўлади. ЭЮК лар формуласи қўйидагича ёзилади:

$$E_1 = \frac{p N_1}{60 a_1} \Phi n; E_2 = \frac{p N_2}{60 a_2} \Phi n$$

E_2 ни E_1 га бўлиб: $E_2/E_1 = \frac{N_2 a_1}{N_1 a_2}$ ни оламиз. Бундан якорь чулғамида ўралиши лозим бўлган симлар сони қуйидагича топилади:

$$N_2 = \frac{E_2 a_2}{E_1 a_1} N_1.$$

Бунда машинанинг айланиш частотаси ва магнит оқими, ўзакнинг пазлар сони ўзгармайди.

103. Ўзгармас ток машинасининг электромагнит momenti

Ўзгармас ток машинаси қайси режимда ишласин якорь чулғамининг параллел шохобчасидан, яъни чулғам симларидан $i_a = I_a/2a$ ток ўтади. Бу токнинг асосий магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида якорь чулғамининг ҳар бир симига электромагнит куч $F_{эм}$ таъсир қилади (227-расм). Бу кучнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$F_{эм} = B_{ўрт} \cdot li_a, \quad (5-7)$$

бу ерда: $B_{ўрт}$ — ҳаво оралиғидаги ўртача магнит индукция; l — якорь узунлиги.

Кучнинг йўналиши чап қўл қоидаси билан аниқланади.

Якорь чулғами симларига таъсир этувчи кучлар электромагнит момент ҳосил қилади. Электромагнит момент қуйидагича аниқланади:

$$M = F_{эм} \frac{D}{2} N = B_{ўрт} \cdot li_a \frac{D}{2} N,$$

бу ерда: N — якорь чулғамининг актив симлари сони; D — якорь диаметри. Агар бу формулага $i_a = I_a/2a$ ҳамда $\pi D = 2p\tau$ ларни қўйсак ва қўзғатиш чулғами ҳосил қиладиган фойдали магнит оқими: $\Phi = B_{ўрт} l\tau$ бўлса, электромагнит момент формуласини қуйидагича ёзиш мумкин:

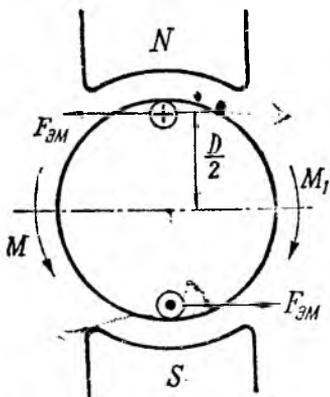
$$\begin{aligned} M &= B_{ўрт} l \frac{I_a}{2a} \frac{2p\tau}{2\pi} N = \\ &= \frac{pN}{2\pi a} I_a \Phi, \quad (N_m) \end{aligned} \quad (5-8)$$

ёки

$$M = C_m I_a \Phi, \quad (5-9)$$

бунда: $C_m = \frac{pN}{2\pi a}$ — машинанинг конструкциясига боғлиқ бўлган ўзгармас коэффициент.

Ўзгармас ток машинаси генератор сифатида ишлаганда унинг якори қандайдир бирламчи двигатель ёрдамида айлантирилади. Генераторга нагрузка уланганда якорь чулғамидан нагрузка



227-расм.

токи ўтади ва якорга электромагнит моменти $M_{эм}$ таъсир эта бошлайди. Генератор режимда бу момент тормозловчи момент бўлади. Моментлар тенгламаси: $M = M_0 + M_{эм}$, бу ерда: M —бирламчи двигателнинг айлант.рувчи моменти, M_0 —салт ишлаш моменти.

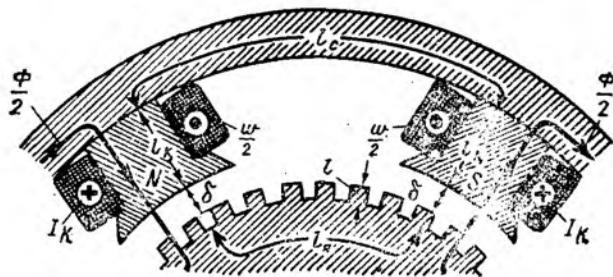
Машина двигатель сифатида ишлаганда унинг якорь ва қўзгатиш чулғамлар тармоқ кучланишига уланади. Якорь чулғамининг токи ҳосил қиладиган электромагнит момент двигателнинг айлант.рувчи моменти бўлади. Бунда моментлар тенгламаси: $M_{эм} = M_0 + M_2$, бу ерда: M_2 —механизмнинг тормозловчи моменти.

XXI БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИНING МАГНИТ СИСТЕМАСИ

104 Ўзгармас ток машинасининг магнит занжири ва уни ҳисоблаш

Ўзгармас ток машинасида қўзгатиш чулғами. куч чизиқлари машинанинг магнит занжири орқали беркилалган магнит майдонини ҳосил қилади. Машинанинг магнит занжири станина, магнит кутблари, якорь пўлат ўзаги ва ҳаво оралиқларидан иборат бўлади. 228-расмда тўрт кутбли ўзгармас ток машинасининг магнит системаси кўрсатилган. Ўзгармас ток машинасининг магнит системаси тармоқланган симметрик магнит занжиридан иборат бўлиб, ҳар бир кутбнинг магнит оқими тенг икки қисмга бўлиниб икки қўшни кутбга йўналади. 229-расмда тўрт кутбли машинанинг ҳаво оралиғи ўлчами δ , паз тишлари қатлами l_T , якорь пўлат ўзаги l_a , кутблар пўлат ўзаги l_k ва станина l_c лардан иборат магнит занжири кўрсатилган.

Магнит занжири учун Ом қонунига биноан магнит оқими Φ магнитловчи куч F га тўғри пропорционал ва магнит занжирининг магнит қаршиликлари йиғиндисига $\sum R_m$ га тескари пропорционалдир: $\Phi = F / \sum R_m$. Якорь чулғамида ЭЮК ҳосил қилади-



228- расм.

ган асосий магнит оқими (5-6) дан ҳам аниқлаш мумкин:

$$\Phi = \frac{a \cdot 60}{\rho N} \cdot \frac{E_a}{n}$$

Кўпинча, машинанинг магнит занжирида магнит оқимини ҳосил қиладиган магнитловчи кучни магнит занжирини ҳисоблаш йўли билан аниқланади. Машинанинг магнит занжири улчамлари ҳар хил ва турли материаллардан тайёрланган бешта қисмдан иборат. Олдин ҳар бир қисмларнинг магнитловчи кучларини (ёки магнит кучланишларини), сўнгра уларни қўшиб бугуч магнит занжири учун йиғинди магнитловчи куч аниқланади. Бунда:

$$F_0 = F_6 + F_T + F_a + F_k + F_c, \quad (5-10)$$

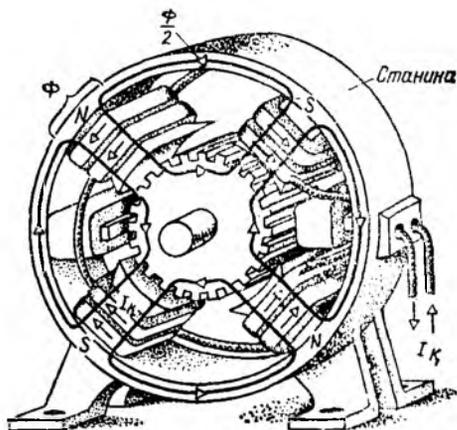
бу ерда: F_0 — бир жуфт магнит қутбининг қўзғатувчи чулғами ҳосил қиладиган магнитловчи куч (МК); F_6 — ҳаво оралиғининг магнитловчи кучи; F_T — темир ўзак тиш қатламининг магнитловчи кучи; F_a — якорь пўлат ўзагининг магнитловчи кучи; F_k — қутблар пўлат ўзагининг магнитловчи кучи; F_c — станина (ярмо) нинг магнитловчи кучи. Йиғинди магнитловчи куч F_0 магнит оқими Φ ни, бу магнит оқими эса машина салт ишлаганда якорь чулғамида асосий ЭЮК E_a ни ҳосил қилади. Нагрузка билан ишлаётган машинада асосий ЭЮК ни ҳосил қилиш учун каттароқ магнитловчи куч талаб қилинади.

Ҳаво оралиғининг магнитловчи кучи қуйидагича аниқланади:

$$F_6 = 2 \frac{B_6}{\mu_0} \delta \cdot K_6, \quad (5-10, a)$$

бу ерда: B_6 — ҳаво оралиғидаги максимал магнит индукцияси, T ; δ — ҳаво оралиғи ўлчами; K_6 — оралиқ коэффициент; бу коэффициент якорь сиртининг тиш қатламида магнит қаршилигининг катталашувини эътиборга олади ($K_6 > 1$), μ_0 — ҳавонинг магнит киритувчанлиги; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, (Гн/м).

Магнит занжирида пўлатдан тайёрланган қисмларининг магнитловчи кучи қуйидагича аниқланади: $F_x = H_x l_x$, бу ерда: H_x — магнит майдони кучланганлиги, бу магнит индукциясига боғлиқ бўлиб, қиймати магнитланиш эгри чизигидан аниқланади; l_x — магнит занжири қисмининг узунлиги.



229- расм.

Магнит занжирининг турли қисмларида магнит индукцияси:

$$B_x = \frac{\Phi}{S_x} \text{ билан аниқланади.}$$

228-расмга биноан йиғинди магнитловчи куч қуйидагича аниқланади:

$$F_0 = 2 \frac{B_\delta \cdot \delta}{\mu_0} K_\delta + 2H_T l_T + H_c l_c + H_a l_a + 2H_k l_k. \quad (5.11)$$

Агар магнит бошмоқларида компенсацияловчи чулғам учун пазлар бўлса, юқоридаги ифодага яна битта магнитловчи куч (паз тиши қатлами учун) киритилади. Турли қисмларнинг магнитловчи кучлари шу қисмларнинг магнит қаршиликларига боғлиқ. Ҳаво оралиғининг магнит қаршилиги анча катта. Шунинг учун йиғинди магнитловчи кучнинг асосий қисми ҳаво оралиғининг магнит қаршилигига сарфланади. Пўлат қисмларнинг магнит қаршилиги пўлатнинг тўйинганлиги даражасига боғлиқ. Паз тишлари қатламида магнит тўйинганлик даражаси юқори, шунинг учун унинг магнит қаршилиги пўлатдан ишланган бошқа қисмлар қаршиликларидан катта бўлади.

Мисол тариқасида куввати 500 кВт, кучланиши 460 В бўлган $2p = 8$ қутбли генератор магнит занжирини ҳисоблаш натижаларини келтирамыз. Магнит занжирини ҳисоблаш магнит оқимининг икки қиймати, яъни $0,5 \cdot \Phi_0$ ва Φ_0 учун бажарилган. Бу ерда Φ_0 салт ишлаш режимида генератор ЭЮК ининг номинал қийматига мос магнит оқим. Ҳисоблаш натижалари жадвалда келтирилган.

V. 2-жадвал

Магнит занжирининг қисмлари	$0,5 \cdot \Phi_0$	Φ_0
	магнитловчи кучлар қиймати, А	
Ҳаво оралиғи, F_δ	4750	9500
Тиш қатлами, F_T	43	3450
Якорь ўзаги, F_a	73	395
Қутблар ўзаги, F_k	115	510
Станина (яро), F_c	234	610
Жуфт қутбларга тўғри келадиган магнитловчи куч, F_0	5065	14365

Қўзғатиш чулғамининг жуфт қутбига тўғри келадиган магнитловчи куч F_0 чулғамнинг бир қутбдаги ғалтагининг ўрамлар сонини аниқлайди.

$$\omega_k = \frac{F_0}{I_k},$$

бу ерда: I_k — қўзғатиш чулғамининг токи, А.

Қўзғатиш чулғами якорь чулғами билан параллел уланганда (қуввати 10 кВт дан 1000 кВт гача бўлган машиналарда) қўзғатиш чулғамининг токи машина номинал токининг 1 ... 3,5% ини; қуввати 1 кВт гача бўлган машиналарда 3,5 ... 7 % ини ташкил қилади. Агар қўзғатиш чулғами якорь чулғамига кетмакет уланса, қўзғатиш чулғамининг токи якорь чулғами токига тенг бўлади.

Ўзгармас ток машиналари магнит занжирининг айрим қисмларида магнит индукцияси тахминан қуйидаги қийматга эга бўлади:

ҳаво оралиғида	0,5 ... 1,1 Т;
қутб пўлат ўзагида	1,2 ... 1,6 Т;
станинада	1,0 ... 1,4 Т;
якорь пўлат ўзаги тишларида	1,8 ... 2,6 Т;
якорь пўлат ўзагида	0,8 ... 1,3 Т.

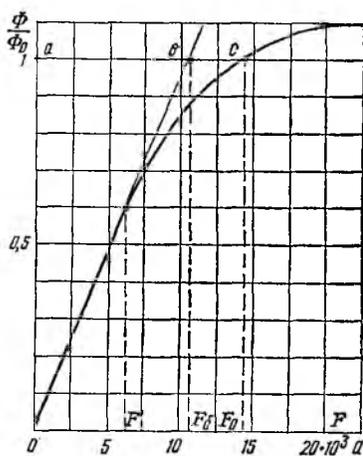
105. Ўзгармас ток машинасининг магнитланиш характеристикаси

Ферромангнит материаллар магнит тўйиниш хусусиятига эга, шунинг учун уларда магнит оқими билан магнитловчи куч ўзаро тўғри чизиқли боғланмаган. Қуйидаги жадвалда магнит оқимининг бир неча қийматлари учун йиғинди магнитловчи кучнинг қийматлари берилган.

V. 3-жадвал

Магнит оқими	$0,5 \cdot \Phi_0$	$0,75 \cdot \Phi_0$	$1 \cdot \Phi_0$	$1,1 \cdot \Phi_0$
Йиғинди магнитловчи куч	5065	8520	14365	20825

Бу маълумотлар асосида $\Phi = f(F)$ боғланиш графиги. яъни машинанинг магнитланиш характеристикаси қурилади (230-расм) Характеристиканинг бошланиши тўғри чизиқли; чунки магнит оқими унча катта бўлмаганда, яъни магнит занжири ҳали тўйинмаганда, қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи фақат ҳаво оралиғининг магнитловчи кучи билан аниқланади, чунки магнит занжирида пўлат қисмларининг магнит қаршилиги жуда кичкина. Магнитловчи куч F_0 (5-10 а) га асосан магнит индукцияси B_0 га ва демак, магнит оқимига тўғри пропорционал.



230- расм.

Шунинг учун магнитланиш эгри чизигига координата бошидан ўтказилган уринма ҳаво оралигидаги магнит кучланиши F_8 ни фойдалади магнит оқими Φ билан, яъни $\Phi = f(F_8)$ боғланишни ифодалайди. Ҳаммадан олдин якорнинг паз тишлари қатлами тўйинади. Шунинг учун ҳам бу қисмининг магнитловчи кучи F_7 магнит оқимининг ўсиши билан, бошқа қисмларнинг магнитловчи кучига қараганла тезроқ орта бошлайди. Агар уринмани $\Phi/\Phi_0 = 1$ нуқтадан ўтган горизонтал чизиқ билан туташгунча давом этгирилса, *ас* чизиги қўзгатиш чулғамининг магнитловчи кучи F_0 ни; *ав* чизиги эса, ҳаво оралигининг магнитловчи кучи F_8 ни ифодалайди. Бу магнитловчи кучларнинг нисбати тўйиниш коэффициентини дейилади:

$$K_\mu = \frac{F_0}{F_8} = \frac{ac}{ab}.$$

K_μ қийматга қараб магнит занжирининг тўйиниш даражаси аниқланади. Одатда, машина магнит занжири тўйинган ҳолда ишлайди, яъни бунда $K_\mu > 1$ бўлади. Амалда $K_\mu = 1,25 \dots 1,75$ бўлади. Магнитланиш характеристикаси юқорида келтирилган генератор учун:

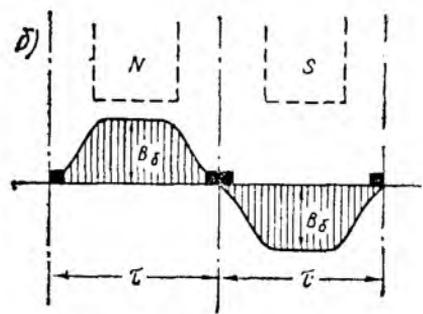
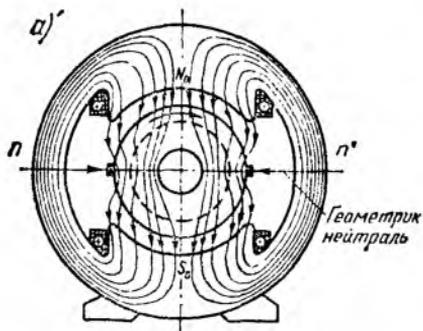
$$K_\mu = \frac{F_0}{F_8} = \frac{14365}{9500} = 1,51.$$

Якорнинг айланиш частотаси ўзгармас бўлганда машинанинги ЭЮК магнит оқимига тўғри пропорционал; қўзгатиш чулғамининг магнитловчи кучи эса қўзгатиш токи I_k га тўғри пропорционал: $F_0 = 2I_k \omega_k$. Шунинг учун магнитланиш характеристикаси, яъни $\Phi = f(F)$ бир вақтда машина ЭЮК ининг қўзгатиш токига боғлиқлигини, яъни $E_a = f(I_k)$ формулани ифодаловчи характеристикадир. Бу характеристика генераторнинг салт ишлаш характеристикаси дейилади.

106. Ўзгармас ток машинасида якорь реакцияси

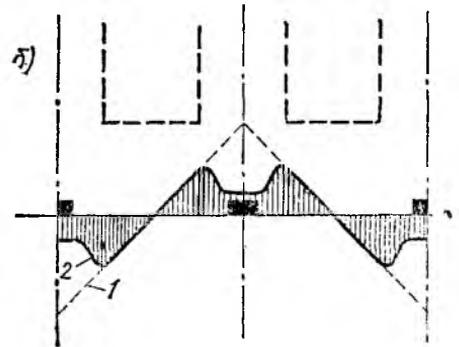
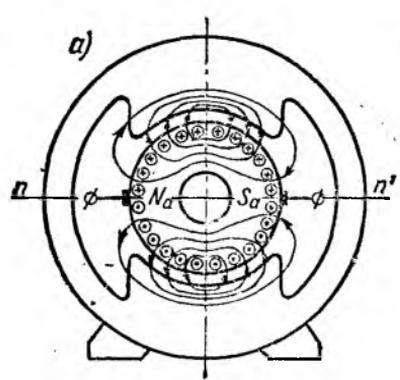
Ўзгармас ток машинасида асосий магнит майдони қўзгатиш чулғамининг магнитловчи кучи F_0 томонидан ҳосил қилинади. Бу ҳолда машинанинги магнит майдони магнит қутблари ўқиға нисбатан симметрик бўлади (231-расм, *а*), ҳаво оралигида магнит индукциясининг тарқалиш эгри чизиги трапециодал эгри чизиққа яқин бўлади (232-расм, *б*). Бунда якорь чулғамининг токи $I_a = 0$.

Машинаға нагрузка уланса, якорь чулғамидан I_a ток ўта бошлайди. Бу ток якорнинг магнитловчи кучи F_a ни ҳосил қилади. Агар қўзгатиш чулғамининг токи $I_k = 0$, яъни бу чулғамнинг магнитловчи кучи нолга тенг бўлса, машинада фақат якорнинг магнитловчи кучи қолади. Якорь токи ҳосил қилган магнит майдонининг кўриниши 246-расм, *а* да кўрсатилган. Якорь чулғамининг магнитловчи кучи геометрик нейтрал чизиқ бўйича йўнал-



231- расм.

ган. Якорь айланса ҳам магнитловчи кучнинг фазовий йўналиши доимо бир хилда қолади, чунки унинг йўналиши фақат чўткалар вазиятига боғлиқ. Чўткалар геометрик нейтралда ўрнатилганда якорь чулғамининг магнитловчи кучи F_a ҳосил қиладиган Φ_a магнит оқими кўндаланг ўқ бўйича йўналган оқим ($F_{a\phi}$) бўлади. Якорь чулғамининг магнитловчи кучи чўткалар чизигида максимал қийматга эришади (232-расм, б, 1-эгри чизиқ); қутблар ўқи чизигида эса нолга тенг бўлади. Ҳаво оралиғида магнит индукциясининг тарқалиши фақат қутб бошмоқлари четидоғина якорьнинг магнитловчи кучи билан бир хил бўлади. Қутблар орасидаги чизиқда магнит индукцияси жуда камайиб кетади (232-расм, 2-эгри чизиқ). Чунки қутблар орасидаги фазода якорь оқимиға нисбатан магнит қаршилиги катта бўлади. Демак, ҳаво оралиғида магнитловчи кучнинг ва магнит индукциясининг тарқалиши фақат қутб бошмоқлари четидоғина бир хил бўлади. Магнит индукцияси қутб бошмоқлари марказида нолга тенг ва бошмоқлар четидоғина энг катта қийматга эришади (2-эгри чизиқ).



232- расм.

Якорь чулғами магнитловчи кучининг қиймати (F_a) қутблар оралиги τ га тўғри келадиган якорь чулғами ўрамлари сони ҳамда бу ўрамдаги ток i_a қиймати билан аниқланади:

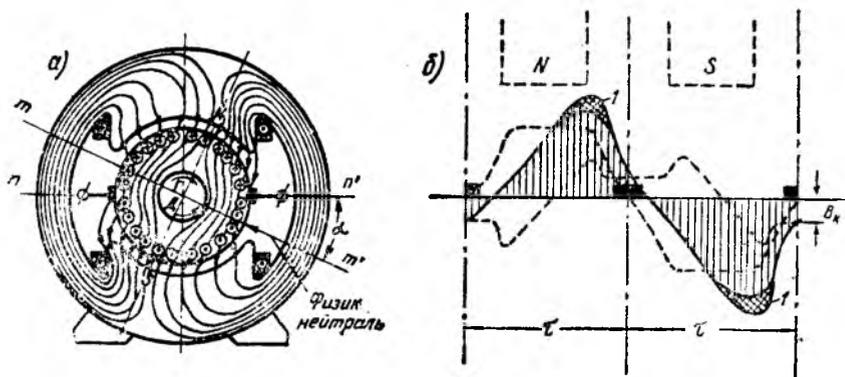
$$F_a = \frac{N}{\pi D} i_a \tau, \quad (5-12)$$

бу ерда: $\frac{N}{\pi D}$ — чулғамнинг якорь айланаси узунлик бирлигига тўғри келадиган симларининг сони; $i_a = \frac{I_a}{2a}$ — якорь чулғами параллел шохобчасининг токи.

Шундай қилиб, нагрузка уланган ўзгармас ток машинасида иккита магнитловчи куч, яъни қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи F_0 ва якорь чулғамининг магнитловчи кучи F_a ҳосил бўлар экан. Машинада бу магнитловчи кучлар қўшилиб умумий магнитловчи куч F ни ва бу эса йиғинди магнит оқимини ҳосил қилади.

Якорь магнитловчи кучининг машинанинг асосий магнит оқимига таъсири якорь реакцияси дейилади. Якорь реакцияси машина асосий магнит майдонининг қутблар ўқиға нисбатан текис тарқалишини ва унинг симметриклигини бузади, натижада қутб бошмоқларининг бир четида кучлироқ, иккинчи четида эса кучсизроқ майдон ҳосил бўлади.

Машина генератор бўлиб ишлаганда ва якорь соат стрелкаси йўналишида айланганда йиғинди майдон куч чизиқларининг кўриниши 233-расм, а да берилган. Машина двигатель бўлиб ишлаганда йиғинди майдон куч чизиқларининг кўриниши шунга ўхшаш бўлади, лекин бунда якорь соат стрелкаси ҳаракатига тескари йўналишда айланиши лозим. Машинанинг магнит системаси тўйинмаган бўлса, якорь реакцияси умумий магнит оқимининг текис тарқалишини бузади, аммо унинг қийматини ўзгартирмайди. Қутб бошмоқлари четида асосий магнит майдонининг ва якорьнинг магнитловчи кучлари бир томонга йўналган қисми-



233- расм.

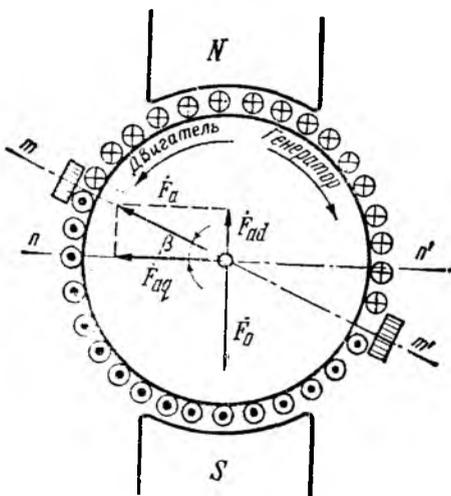
да якорь пази тишлари қатламида магнит майдони кучаяди. Қутб бошмоқларининг иккинчи четида ва якорь пази тишлари қатламида магнит оқимларининг йўналиши ҳар хил бўлгани учун умумий магнит майдони кучсизланади.

Якорь реакцияси натижасида йиғинди магнит оқими $g\epsilon$ қутблар ўқиға нисбатан маълум бурчакка бурилади, яъни геометрик нейтрал (nn') чизиқ a бурчакка бурилади (233-расм, a). Умумий майдон ўқи— mm' чизиқ физик нейтрал чизиқ дейилади. Машинанинг нагрукаси қанча катта бўлса, умумий магнит майдони шунча кўпроқ бузилади; яъни физик нейтрал шунча каттароқ бурчакка бурилади. Машина генератор бўлиб ишлаганда физик нейтрал якорнинг айланиши томонига; двигатель бўлиб ишлаганда якорнинг айланишига тескари томонга бурилади.

Умумий магнит майдонининг бузилиши машина ишиға ёмон таъсир кўрсатади. Якорь реакцияси натижасида физик нейтралнинг геометрик нейтралға нисбатан маълум бурчакка бурилиши чўтка контактлари ишини қийинлаштиради ва коллектордан учкун чиқишиға сабаб бўлади. Умумий магнит майдонининг бузилиши ҳаво оралиғидаги магнит индукциясининг тарқалиш қонуниятини ўзгартириб юборади. Ҳаво оралиғида умумий майдон магнит индукциясининг тарқалиш графиги 233-расм, b да келтирилган. Бу график олдинги иккита графикни қўшиб ҳосил қилинган. Демак, ҳаво оралиғида магнит индукциясининг тарқалиши носимметрик бўлади. Магнит индукцияси қутб бошмоқларининг майдон кучайган четида анча катта бўлади. Натижада якорь чулғами бўлақларининг индукция катта бўлган жойға келган актив томонларида ЭЮК нинг оний қийматлари катта бўлади. Бу эса коллекторда қўшни пластинкалар орасидаги кучланишнинг ортишиға сабаб бўлади. Машина катта нагрукка билан ишлаганда бу кучланиш қиймати йўл қўйилган қийматдан ортиб кетиши натижасида ҳосил бўлган электр ёйи коллекторнинг миканит қистирмаси орқали ўтиб кетади. Коллекторда доим бўладиган графит ва металл кукунни электр ёйини кучайтириб юборади, оқибатда машина ишдан чиқади. Магнит системаси тўйинмаган машинада якорь реакцияси ана шундай оқибатларға олиб келади.

Агар машинанинг магнит системаси тўйинган бўлса, қутблар четида ва якорь пази тишлари қатламида магнит майдонининг кучайиши бошқа четидаги майдоннинг кучсизланишидан камроқ бўлади. Бу ҳаво оралиғида магнит индукциясининг тарқалишини анча яхшилади, яъни индукциянинг максимал қиймати 233-расм, b даги штрихланган 1 қисмға камаяди. Бунда йиғинди оқим қиймати ҳам камаяди. Бошқача айтганда, магнит системаси тўйинган машинада якорь реакцияси магнитсизловчи таъсир кўрсатади. Натижада машинанинг иши ёмонлашади: генератор бўлиб ишлаганда унинг ЭЮК камаяди; двигатель бўлиб ишлаганда эса унинг айлантурувчи моменти камаяди.

Чўткалар геометрик нейтралдан физик нейтралға сурилса, якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири ортади. Чунки, чўткалар сурилганда якорь магнитловчи кучининг вектори ҳам



231- расм.

асосий магнит оқими S ир оз кўпаяди. Машина двигателъ бўлиб ишлаганда F_{ad} F_0 йўналишида оўлади (агар чўткалар айланиш йўналишида сурилса), агар якорь айланишига тескари томонга сурилса, F_0 га қарама-қарши йўналади, машинани магнитсизлайди. Умуман, чўткаларнинг геометрик нейтралдан сурилиши якорь реакциясининг ёмон таъсирини бир оз камайтиради. Чунки чўткалар геометрик нейтралда бўлганда якорнинг магнитловчи кучи F_a кўндаланг йўналган магнитловчи куч бўлади, яъни $F_a = F_{ad}$ бўлади. Чўткалар геометрик нейтралдан β бурчакка сурилса, F_{ad} камаяди, яъни $F_{ad} = F_a \cos \beta$ бўлади.

107. Якорь реакциясининг таъсирини камайтириш йўллари

Якорь реакциясининг чўтка контактига ёмон таъсири машинининг асосий магнит қутблари орасига қўшимча магнит қутблари ўрнатиш билан йўқотилади. Қўшимча магнит қутбларининг магнитловчи кучи геометрик нейтралда (коммутация зонасида) якорь магнитловчи кучининг кўндаланг ташкил этувчисининг таъсирини йўқотади. Ўзгармас ток машиналарида ҳаво оралиғида магнит индукциясининг нотекис тарқалишини, уларда махсус компенсацияловчи чулғам ўрнатиш йўли билан камайтирилади.

Бу чулғам магнит бошмоқлари пазларига ўрнатилади ва якорь чулғами билан кетма-кет уланади. Компенсацияловчи чулғамнинг магнитловчи кучи F_k якорь чулғамининг магнитловчи кучи F_a га тескари йўналади. Компенсацияловчи чулғам ҳамма асосий магнит қутблари бошмоқларида баробар тарқатилиб ўрнатилади. Бу чулғамнинг якорь чулғами билан кетма-кет уланиши, турли

сурилади (234-расм). Бунда якорь магнитловчи кучи F_a нинг кўндаланг гашкил этувчиси $F_{aq} = F_a \cos \beta$ дан ташқари. қўтблар ўқи бўйича йўналган бўйлама ташкил этувчиси $F_{ad} = F_a \cdot \sin \beta$ га ҳам эга бўлади. Машина генератор бўлиб ишлаганда чўткалар якорь айланишининг йўналиши томон сурилса, F_{ad} кўзгатиш чулғамининг магнитловчи кучи F_0 га қарши йўналганлиги учун машинанинг асосий магнит оқими камаяди; чўткалар якорь айланишининг йўналишига нисбатан тескари томонга сурилса, F_{ad} магнитловчи куч F_0 йўналишида бўлади ва машинанинг

нагрузкада якорь чулгами магнитловчи кучининг таъсирини автоматик усулда йўқотишни таъминлайди. Компенсацияловчи чулгамли ўзгармас ток машинаси анча пишиқ ишлайди. Бундай машинада магнит майдони салт ишлашдан тўла нагрузка билан ишлашга қалар деярли ўзгармайди. Лекин бунда машинанинг конструкцияси мураккаблашади ва таннархи ошади. Шунинг учун компенсацияловчи чулгам нагрузкаси доим ўзгариб турадиган катта қувватли (150 кВт ва ундан катта) машиналарда қўлланилади.

Якорь реакцияси таъсирида машина магнит майдонининг камайишини қўзғатиш чулгамининг магнитловчи кучини ошириш йўли билан ҳам тузатиш мумкин. Бунинг учун салт ишлашда қўзғатиш чулгамининг магнитловчи кучини (қутб бошмоқларида ўрнатилган ғалтак ўрамлари сонини ўзгартириш йўли билан) 15 ... 30% га ошириш кифоя.

ХХII БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИДА ТОК КОММУТАЦИЯСИ

108. Чўткалардан учқун чиқиш сабаби

Ўзгармас ток машинаси ишлаганда чўткалар билан коллектор пластинкалари орасидаги контактдан доим ток ўтиб туради. Бу контакт юзаси машинанинг битта чўткага тўғри келадиган иш токи ҳамда танланган чўтка хили учун йўл қўйиладиган ток зичлиги билан аниқланади. Агар чўтка коллекторга ҳамма юзаси билан тегмаса, унинг тегиб турган қисмида ток зичлиги катталашади ва коллектордан учқун чиқа бошлайди.

Умуман, машина ишлаганда жуда кўп сабабларга кўра коллектордан учқун чиқиши мумкин. Кўпинча коллектордан механик, потенциал ва коммутацион сабабларга кўра учқун чиқади. Чўтканинг коллекторга яхши тегмаслиги, коллектор сиртининг нотекислиги ва унинг ифлослиги, коллектор пластинкалари орасидаги изоляциянинг бузилиши, чўткалар траверсаси ёки чўтка тутқичнинг маҳкам ўрнатилмаслиги ва шунга ўхшашлар механик сабаблар ҳисобланади. Бундай сабабларга кўра учқун чиқиши коллектор ва чўткаларни текшириб аниқланади. Қўшни коллектор пластинкалари орасидаги кучланиш қиймати йўл қўйилган қийматдан ошиб кетиши натижасида ҳам учқун чиқади. Бу потенциал сабаб бўлади. Бу сабабга кўра учқун чиқиши жуда хавфли бўлиб, коллекторда бу учқун электр ёйига айланиб кетиши мумкин. Якорь чулгами бўлақларини бир параллел шохобчадан иккинчи параллел шохобчага ўтиш вақтидаги физик процесслар натижасида ҳам коллектордан учқун чиқади. Бу коммутацион сабабга киради. Буни кузатиш ва аниқлаш анча қийин. Баъзан бир вақтнинг ўзида бир неча сабабларга кўра коллектордан учқун чиқади. Одатда, машина узоқ вақт ишлаганда коллектор сирги иссиқлик таъсир қилмайдиган юпка қатиқ оксид парда билан қопланиб қолади. Бу парда чўтка кон-

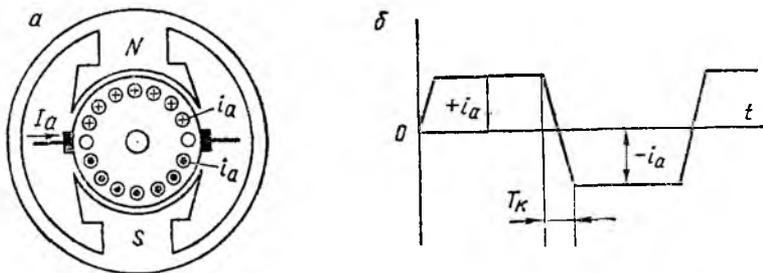
тактини учқун чиқмасдан ишлаши учун яхши шароит яратиб беради. Машина заводда ишлаб чиқарилганда унинг чўткаси коллектордан учқун чиқмайдиган қилиб соланади. Лекин иш давомида коллектор ва чўтка бир оз ейилгандан сўнг чўтка контактидан учқун чиқади, лекин бу машина учун унча хавфли эмас. Чўткадан хавфли даражада учқун чиққанда машинани албатта тўхтатиб, учқун чиқиш сабабини аниқлаш керак. Одатда, чўтка контактидан учқун чиқиш даражаси ГОСТ бўйича беш даража бўлинади: 1; $1\frac{1}{4}$; $1\frac{1}{2}$; 2; 3. Бу кўпинча коммутация классси ҳам дейилади.

Учқун чиқиши 1- даражали бўлса, учқун бутунлай чиқмайди; $1\frac{1}{4}$ даражада чўтканинг бир нуқтасидан кучсиз учқун чиқади; $1\frac{1}{2}$ да чўтканинг кўп қисмидан кучсиз учқун чиқади, коллектор пластинкалари қораяди. Бензин билан артганда бу қора доғ тезда кетади, чўткада ҳам куйган жойлар билинади; 2-даражали учқун чиқишда чўтканинг ҳамма четидан учқун чиқади. Бундай ҳол машинанинг нагрукаси кўпайиб кетганда содир бўлади; бу қисқа вақт давом этиши мумкин. Коллекторда бензин билан артганда кетмайдиган қора доғлар ҳосил бўлади; 3-даражали учқун чиқишда чўтканинг ҳамма четидан учқун чиқади ва учқун чақнайди; коллектор пластинкаларида кетмайдиган доғлар кўпаяди, чўтка куйиб уваланади.

Машина нормал шароитда ишлаши учун чўткадан учқун чиқиш даражаси $1\frac{1}{2}$ дан ортмаслиги лозим.

109. Коммутация ва унинг машина ишига таъсири

Машинанинг якори айланганда коллектор пластинкалари навбати билан чўткаларда сирпанади. Чўтка бир пластинкадан иккинчи пластинкага ўтганда чулғам бўлаклари бир параллел шохобчадан иккинчи параллел шохобчага уланади ва бу бўлақларда ток йўналиши ўзгаради (235-расм). Бир параллел шохоб-



235- расм. Якорь чулгамининг параллел шохобча тарида токнинг йўналиши (а) ва бўлақда токнинг ўзгариш шакли (б).

чадан бошқа параллел шохобчага уланиш вақтида якорь чулғами бўлакларида ток йўналишининг ўзгариши коммутация дейилади. Умуман, машина ишлаганда коллектор пластинкалари сирпанадиган чўткалар тагида бўладиган процесслар кенг маънода коммутация дейилади. Агар чўткалардан учқун чиқмаса, машинанинг коммутацияси яхши. учқун чиқса, машинанинг коммутацияси ёмон дейилади. Коммутация сифати яхши бўлса, машина узоқ вақт яхши ва пишиқ ишлайди.

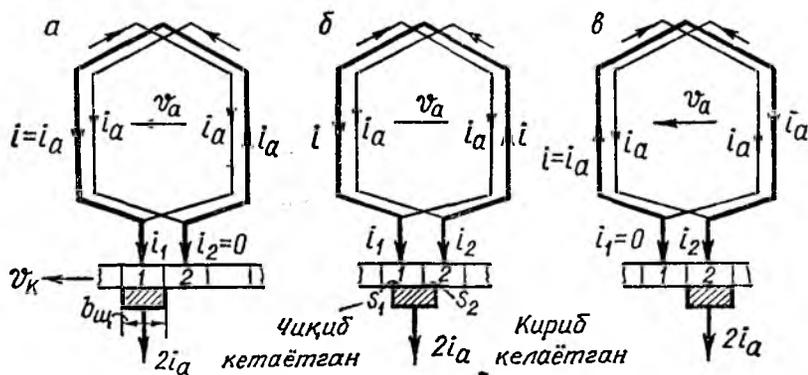
Коммутация содир бўлаётган бўлак коммутацияланаётган бўлак дейилади. Коммутация процесси содир бўлиши учун сарфланган вақт коммутация даври дейилади. Коммутация даври T_k билан белгиланади ва қуйидагича аниқланади:

$$T_k = \frac{60}{Kn} \frac{b_q}{b_k}, \quad (5-13)$$

бу ерда: K — коллектор пластинкалари сони; n — якорнинг айланиш частотаси; b_q — чўтка эни; b_k — қўшни коллектор пластинкаларининг марказлари орасидаги масофа.

Чулғам бўлагида ток йўналишининг ўзгариши T_k вақт ичида содир бўлади. Шу вақт ичида бўлак уланган коллектор пластинкалари чўтка билан туташади.

Энди коммутация даврида чулғам бўлагида токнинг ўзгариш тартибини аниқлаймиз. Бунда чўтка эни коллектор пластинкасининг энига тенг, яъни $b_q = b_k$ деб оламиз. 236-расмда коммутациянинг уч асосий моменти (пайти) кўрсатилган. Вақтнинг бошланғич пайтида 1 ва 2- коллектор пластинкаларига уланган коммутацияланаётган бўлакда ток i га тенг (236-расм, а) ва 2-пластинкадан 1-пластинкага йўналган. Бу вақтда чўтка токи $2i_a$ бутунлай 1-пластинкадан ўтади, яъни $i_1 = 2i_a$ ва $i_2 = 0$. Оралиқ ҳолатда (236-расм, б) чўтка токи $2i_a$ нинг бир қисми, 1-пластин-



236- расм. Вақтнинг турли пайтида чулғам бўлагида ток йўналишининг ўзгариши.

кадан, бошқа қисми 2-пластинкадан ўтади: бунда $i_1 + i_2 = 2i_a$ бўлади. Коммутация даврининг охирида (236-расм, в) 1-пластинка чўтка тагидан чиқади; ундан ўтаётган ток нолга тенг. чўтка токи эса 2-пластинкадан ўтади, яъни $i_2 = 2i_a$ ва $i_1 = 0$ бўлади ва коммутацияланаётган бўлак токи i коммутация бошланиши пайтидагига нисбатан ўз йўналишини ўзгартиради.

Оралиқ ҳолатда коммутацияланаётган бўлак чўтка билан қисқа туташиб қолади ва унда ток аста камая боради. Чунки бунда 1 ва 2-пластинкалардаги i_1 ва i_2 тоқлар, ўткинчи $r_{ч1}$ (чўтка билан чиқиб кетаётган пластинканинг чети орасидаги қаршилик) ва $r_{ч2}$ (чўтка билан кириб келаётган пластинка орасидаги қаршилик) қаршиликларга тескари пропорционал бўлади: $\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_{ч2}}{r_{ч1}}$.

Бунда коммутацияланаётган бўлакда ток i_1 ва i_2 тоқларнинг айирмаси билан аниқланади.

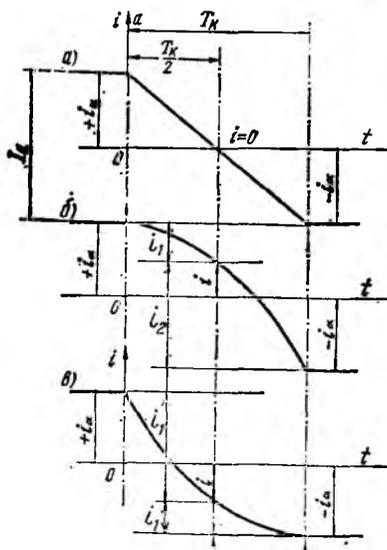
1-пластинка билан чўтка орасидаги контакт кичиклашган сари $r_{ч1}$ қиймати катталашади ва шунинг учун i_1 ток камая боради. Бир вақтда 2-пластинка чўткага уланганда i_1 ток камая боради. Бир вақтда 2-пластинка чўткага уланганда $r_{ч2}$ қаршилик кичиклашади, i_2 ток эса катталашади. Чўтканинг иккала пластинкага уланган юзаси бир хил бўлганда $r_{ч1} = r_{ч2}$ бўлади: коммутацияланаётган бўлакда ток нолга тенг, чунки бир вақтда $i_1 = i_2$ ёки $i_1 - i_2 = 0$ бўлади.

Шундай қилиб, коммутация даврида коммутацияланаётган бўлакда ток $+i$ лан $-i$ гача ўзгаради. 237-расм, а да токнинг ўзгариши тўғри қизиқ билан кўрсатилган. Бундай коммутация тўғри қизиқли ёки идеал коммутация дейилади.

Тўғри қизиқли коммутация коммутациянинг энг яхши хили бўлиб, машина ишига ҳеч қандай салбий таъсир кўрсатмайди. Бундай коммутация даврида чўткалар тагида ток зичлиги доимо бир хилда қолади.

Лекин ўзгармас ток машинасининг реал иш шароитида коммутация процесси анча мураккаб ўтади. Чунки, коммутация даври жуда кичкина ($T = 0,001 - 0,0001$ с га тенг); бўлакда ток ўзгаришининг ўртача тезлиги жуда катта бўлади. Токнинг тез ўзгариши натижасида коммутацияланаётган бўлакда анча катта қийматли ўзиндукция ЭЮК ҳосил бўлади:

$$e_L = -L_s \frac{di}{dt}, \quad (5-14)$$



бу ерда L_s — бўлак индуктивлиги; di/dt — коммутацияланаётган бўлак токининг вақт бирлигида ўзгариши.

Одатда, якорь ўзагининг ҳар бир пазида турли бўлақларга тегишли бир неча актив томонлар ётади. Бу бўлақлар турли чўткаларда қисқи туташиб, бир вақтда коммутация вазиятида бўлади (23*-расм). Бундан ташқари, одатда, чўтка эни коллектор пластинкаси энидан катта ($b_q > b_k$); шунинг учун ҳар бир чўтка бир вақтда бир неча бўлақларни қисқа туташтиради.

Коммутацияланаётган бўлақларнинг актив томонлари бир пазда ётгани учун ҳар бир томоннинг ўзгарувчан магнит оқими бошқасида ўзаро индукция ЭЮК ини ҳосил қилади:

$$e_m = -M_s \frac{di}{dt}, \quad (5-15)$$

бу ерда: M_s — бир вақтда коммутацияланаётган бўлақларнинг ўзаро индуктивлиги.

Шу асосда коммутацияланаётган бўлақда йиғинди ЭЮК $e_p = e_L + e_m$ ҳосил бўлади. Ленц қонуни асосида бу ЭЮК коммутацияланаётган бўлақда токнинг ўзгаришига тескари таъсир этади. Шунинг учун уни реактив ЭЮК дейилади.

Бундан ташқари, якорь реакцияси таъсирида коммутация зонасида магнит индукцияси B_k маълум қийматга эришади (233-расм, б). Бу индукция таъсирида коммутацияланаётган бўлақда ташқи майдон ЭЮК e_k ҳосил бўлади:

$$e_k = B_k \cdot 2l\omega_s v, \quad (5-16)$$

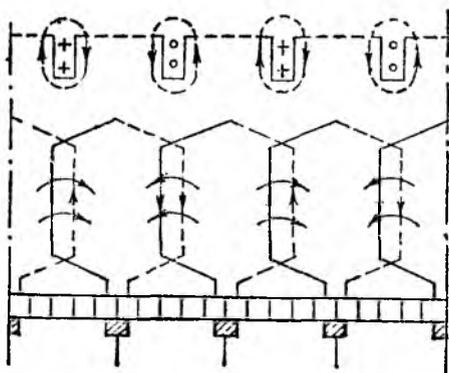
бу ерда: l — бўлак актив томонининг узунлиги; v — бўлак ҳаракатининг чиққили тезлиги; ω_s — бўлак ўрамларининг сони.

Шундай қилиб, коммутацияланаётган бўлақда ҳосил бўладиган ЭЮК ларнинг йиғиндиси:

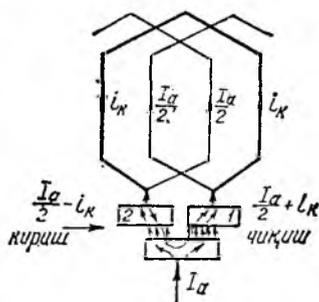
$$\sum e = e_p + e_k, \quad (5-17)$$

билан аниқланади.

Агар машинада қўшимча магнит қутблар бўлмаса, e_p ва e_k ЭЮК ларнинг йўналиши бир хил бўлади ва йиғинди ЭЮК коммутацияланаётган бўлақда қўшимча коммутация токи i_k ни ҳосил қилади. Бу ток коммутация бошланишидаги бўлақнинг иш токи i билан бир хил йўналишда бўлади. Бу тоқларнинг (i ва i_k) ўзаро таъсири натижасида коммутацияланаётган бўлақда токнинг ўзгариши секинлашади. Чунки i_k ток реактив ЭЮК томонидан ҳосил қилинади; маълумки, бундай ток занжир асосий токининг ўзгаришига тўсқинлик қилади. Бу шароитда чўткалар 1 ва 2-пластинкаларга баробар тегиб турганида коммутацияланаётган бўлақда идеал коммутациядаги каби ток нолга тенг бўлмайди. Коммутацияланаётган бўлақда ток фақат коммутация



238- расм.



239- расм.

даврининг иккинчи ярмида нолга тенг бўлади. Бундай коммутация эгри чизиqli ёки секинлашган коммутация дейилади. Бундай коммутацияда токнинг ўзгариш эгри чизиғи 237-расм, б да кўрсатилган.

Қўшимча коммутация токи i_k чўтка орқали ўтиб коммутацияланаётган бўлак орқали беркилади (239-расм). Натижада чўтканинг пластинка кириб келаётган томонида ток зичлиги камаяди; пластинка чиқиб кетаётган томонида ток зичлиги ортади ва коммутация даври охирида анча катта қийматга эришади. Машина ортиқча нагрузка билан ишлаганда чўтканинг ток зичлиги катта бўлган томони қизийди, коллектор билан чўтка орасидан учқун чиқа бошлайди. Бунинг сабаби қисқа туташган бўлак занжирининг чўткадан узилишидир. Бунда қўшимча токли бўлакда магнит майдонининг энергияси ($W = \frac{1}{2} L_b i_k^2$) чўтка тагидан чиқиб кетаётган пластинка билан чўтка орасида электр ёйи ҳосил қилишга сарфланади. Машина ортиқча нагрузка билан ишлаганда бўлакларда ток қиймати ортади ва якорь реакцияси кучаяди. Натижада йиғинди ЭЮК $\sum e$ ва i_k токнинг қиймати ортиши натижасида чўткалардан кўпроқ учқун чиқади.

Юқоридаги мулоҳазалар асосида чўткада қисқа туташган коммутацияланаётган бўлак контури учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$e_p + e_k = i_1 R_1 + i R_b - i_2 R_2,$$

бу ерда: i_1 ва i_2 — 1 ва 2-пластинкалар орқали ўтаётган токларнинг оний қиймати; i — коммутацияланаётган бўлак токи; R_1 ва R_2 — 1 ва 2-коллектор пластинкалари билан чўтка орасидаги контактнинг ўткинчи қаршилиги; R_b — бўлакнинг қаршилиги.

Коммутацияланаётган бўлакнинг қаршилиги чўтка контактининг қаршилигидан анча кичкина, бу қаршилиқнинг коммутация процессига таъсири жуда озгина. Шунинг учун уни эътиборга олмаса ҳам бўлади. Унда:

$$e_p + e_k = i_1 R_1 - i_2 R_2. \quad (5-17, a)$$

Бу тенглама коммутациянинг асосий тенгламасидир.

Тезлаштирилган коммутацияда (237-расм, в) ҳам, секинлаштирилган коммутацияда ҳам чўтка контакти қандайдир қолдиқ токни узади ва бунда чўткадан учқун чиқади. Расмда қолдиқ ток i билан кўрсатилган.

110. Ток коммутациясини яхшилаш усуллари

Ўзгармас ток машиналарида қўшимча коммутация токининг ҳосил бўлиши ток коммутациясини ёмонлаштиради. Қўшимча ток қиймати қуйидагича аниқланади:

$$i_k = \frac{\sum e}{\sum R_k}, \quad (5-18)$$

бу ерда $\sum R_k$ —бўлак қаршилиги, бўлак симларининг пластинкага уланган жойи қаршилиги, чўтка билан пластинка орасидаги контакт қаршилиги ва чўтка қаршилигидан иборат бўлган йиғинди қаршилиқ. Булардан чўтка билан пластинка орасидаги контакт ва чўтка қаршилиқларининг қиймати анча катта бўлади. Агар бу иккала қаршилиқ R_q билан белгиланса, қўшимча коммутация токини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$i_k = \frac{\sum e}{R_q}.$$

Демак, i_k ток қиймагини камайтириш, яъни коммутацияни яхшилаш учун R_q ни кўпайтириш ёки коммутацияланаётган бўлакда $\sum e$ ни камайтириш лозим.

Ўзгармас ток машиналарида қаршилиқлари ҳар хил бўлган чўткалар ишлатилади. Кўпинча чўтка маркаларини тўғри танлаб машинанинг коммутациясини яхшилаш мумкин. Чўткаларни танлашда қуйидаги қоидага эътибор бериш лозим.

1. Айланиш частотаси катта бўлган машиналарда юмшоқ чўткалар қўлланилади; улар тагида кучланиш пасайиши ўртача (1,5... 2,0 В) бўлади.

2. Коммутацияси яхши бўлмаган машиналарда қаттиқ чўткалар ишлатилади; улар тагида кучланиш пасайиши катта (2,4... 3,5 В) бўлади.

3) Контакт ҳалқаларда металлографит чўткалар қўлланилади; уларда кучланиш пасайиши кичкина (0,1... 0,5 В) бўлади.

Чўткаларнинг техник таърифи V. 4-жадвалда келтирилган.

Юқори кучланишли машиналарда қаршилиги катта бўлган чўткалар; ўртача қувватли машиналарда графит чўткалар; паст

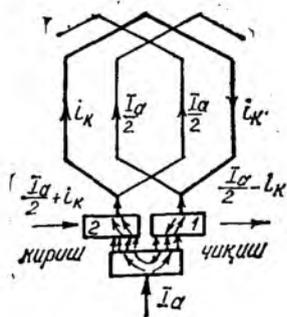
Чўткалар класси ва маркази	Номинал тоқ зичлиги, А/см ²	Максимал айланши тезлиги, м/сек	Совиштирма босим, г/см ²	Совиштирма электр қаршилик, Ом·мм ² /м	Тоқ номинал бўлганда ҳар чўткаларда ўтқинчи қучаганиш пайиши, В	σ_K = 5 м/сек да ишқаланиш коэффициенти	σ_K = 15 м/сек да соат ишлаганда ейилуши, мм
Кўмир-графит (УГ)	6...8	10...15	200...250	40...60	1,5...2,6	0,25...0,3	0,1...0,3
Графит (Г)	7...11	12...25	200...250	25...40	1,2...2,8	0,25...0,3	0,15...0,2
Электрографит (ЭГ)	9...12	25...40	200...250	20...50	1,6...3,4	0,2...0,25	0,1...0,25
Мис графит (МГ)	12...20	20...25	150...200	2...13	0,1...1,6	0,2	0,3...0,8
Бронза графит (БГ)	20	20	200...250	7...13	0,2...0,4	0,25	0,25

кучланишли (30 В гача) машиналарда мис-графит чўткалар қўлланилади. Умуман, чўтка эни коммутация учун катта аҳамиятга эга, чўтка эни қанча катта бўлса, у билан туташадиган пластинкалар сони шунча кўп бўлади, яъни бир вақтда бир неча бўлак коммутацияланади. Бу эса ўзаро индукция ЭЮК e_m қийматини оширади. Одатда, машиналарда эни иккита ёки учта коллектор пластинкасини қоплайдиган чўткалар ишлатилади.

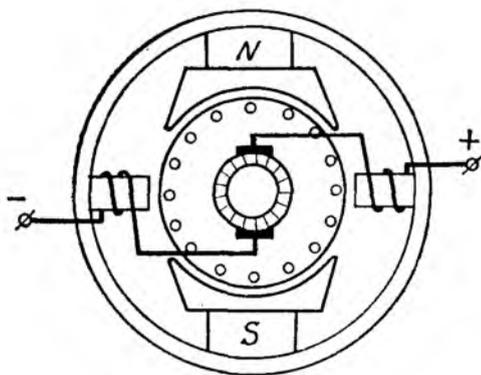
Реактив ЭЮК қийматига якорь чулғами хили ҳам кўп таъсир кўрсатади. Чулғам қисқарган одимли чулғам бўлса ($u_1 < \tau$), бир вақтнинг ўзида коммутацияланаётган бўлақларнинг актив томонлари турли пазларда ётади. Бу эса уларда ўзаро индукция ЭЮК ини камайтиради. Демак, якорда қисқарган одимли чулғамнинг қўлланилиши ток коммутациясини анча яхшилар экан. Реактив ЭЮК қийматини бўлак индуктивлиги L_6 ни камайтириш йўли билан ҳам камайтириш мумкин. Бунга бўлак ўрамлари сонини камайтириш ($L_6 \equiv W_6^2$) ҳамда якорда очиқ ва унча чуқур бўлмаган пазлар ҳосил қилиш билан эришилади. Лекин бу усуллар қўпол ва тежасиз машиналар яратишга олиб келади.

Коммутация зонасида қандайдир магнит индукцияси ҳосил қилиш йўли билан коммутацияланаётган бўлақларда ҳосил бўладиган реактив ЭЮК қийматини камайтириш мумкин. Бу магнит индукцияси бўлақларда йўналиши тескари ва қиймати реактив ЭЮК e_p га тенг бўлган ташқи майдон ЭЮК e_k ни ҳосил қилади. Бунда коммутацияланаётган бўлақда $\sum e$ нолга тенг бўлади ва коммутация тўғри чизиқли (идеал) бўлади. Коммутация зонасида лозим бўлган магнит индукциясини ҳосил қилиш учун қуввати 1 кВт дан ортиқ машиналарда асосий қутблар орасига қўшимча магнит қутблар ўрнатилади. Қўшимча қутбларнинг магнитловчи кучи $F_{кўш} = (1,15 \dots 1,30) F_a$, яъни якорнинг магнитловчи кучидан 15... 30% катта бўлади. Агар $F_{кўш}$ кўрсатилгандан катта бўлса, e_k ЭЮК e_p дан катта бўлади ва коммутация бошланиш даврида, коммутацияланаётган бўлақда йўналиши бўлакнинг иш токи $i = I_a/2$ га тескари бўлган коммутация токи i_k ҳосил бўлади (236-расм, а). Бу ҳолда коммутацияланаётган бўлақда ток ўзининг ноль қийматига $\frac{T_k}{2}$ дан

қисқа вақтда эришади (237-расм, в) ва бу ҳолда коммутация эгри чизиқли тезлаштирилган коммутация бўлади. Бундай коммутацияда ток зичлиги чўтканинг пластинка кириб келаётган томонида ортади ва пластинка чиқиб кетаётган томонида камаяди (240-расм). Янада тезлаштирилган коммутацияда кириб келаётган пластинка томонидан учкун чиқиши мумкин. Машина турли нагрўзка билан ишлаганда реактив ЭЮК қийматини компенсациялаш учун қўшимча қутблар чулғами якорь чулғами билан кетма-кет уланади (241-расм). Бу ҳолда машинанинг йиғинди магнит оқими Φ нагрўзка ўзгариши билан якорь токи I_a га, демак, F_a магнитловчи кучга пропорционал ўзгаради. Машина генератор бўлиб ишлаганда қўшимча магнит ўзагининг қутби



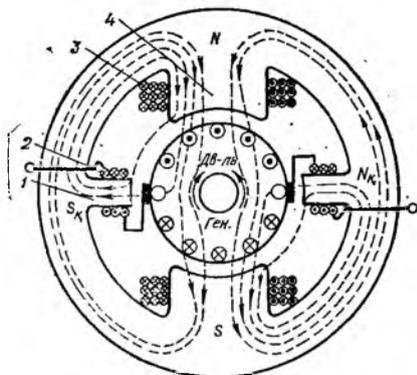
240- расм.



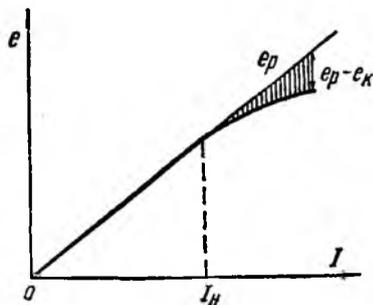
241- расм.

айланиш йўналиши томонида турган асосий магнит қутбига ўхшаш қилиб; двигатель бўлиб ишлаганда эса ундан олдин турган асосий магнит қутбига ўхшаш қилиб олинади (242-расм). Қўшимча магнит қутблари номинал нагрузкага қаноатланарли коммутация билан таъминлайди, лекин нагрузка номинал қиймидан ошганда қўшимча қутбларнинг магнит занжири тўйинган бўлади. Бу ҳолда реактив ЭЮК e_p нагрузка токига пропорционал ўзгаради. Бунда ташқи ЭЮК e_k нинг ўсиши бир оз секинлашади (243-расм). Натижада коммутацияланаётган бўлакда яна ЭЮК ($\sum e = e_p - e_k$) ҳосил бўлади ва коммутация секинлашади.

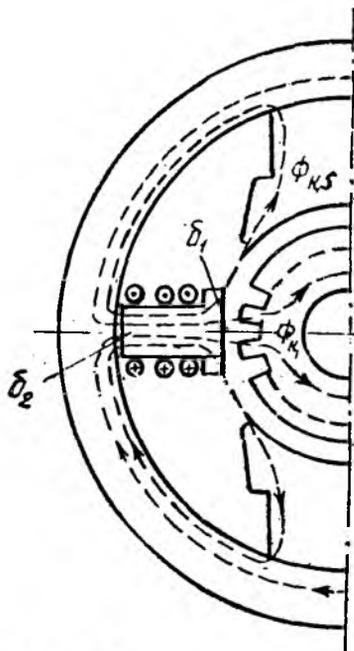
Қўшимча қутб пўлат ўзакни, станина ва асосий магнит қутби ўзаги орқали беркиладиган сочилма магнитоқими Φ_{kc} ни тўйинтиради (244-расм). Бу оқим қийматини камайтириш мақсадида қўшимча қутбда иккита ҳаво оралиғи ҳосил қилинади: бири δ_1 якори билан қўшимча қутб ўзаги орасида; иккинчиси δ_2 қўшим-



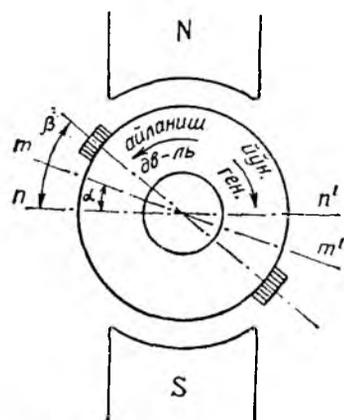
242- расм.



243- расм.



244- расм.



245- расм.

ча қутб ўзаги билан станина орасида. δ_2 ҳаво оралиғи $\Phi_{кс}$ сочилма оқим қийматини чегаралайди. Оралиқ станина билан қўшимча қутб ўзаги орасига магнитмас материалдан қистирма пакет қўйиб ҳосил қилинади. Одатда, машинанинг асосий

қутблари қанча бўлса, қўшимча қутблар ҳам шунча бўлади; баъзи махсус машиналарда икки марта кам бўлади. Қуввати 1 кВт гача бўлган машиналарда қўшимча қутблар бўлмайди. Бундай машиналарда коммутация зонасида e_p ЭЮК ни компенсацияловчи ташқи ЭЮК e_k ни ҳосил қиладиган магнит индукцияси чўткаларни геометрик нейтрал (nn') дан β бурчакка суриб ҳосил қилинади (генераторларда якорь айланиши томонига; двигателларда тескари томонга). Бунда чўткалар физик нейтрал mm' дан каттароқ бурчакка ($\beta > \alpha$) сурилиши лозим. Шундагина e_k ЭЮК ини ҳосил қилувчи магнит индукцияси лозим бўлган йўналишга ва қийматга эга бўлади (245-расм). Лекин бунда турли нагрузкада e_p ЭЮК ни тўла компенсациялаш учун нагрузка ўзгарганда чўткалар ўрнини ҳам ўзгартириб туриш лозим. Амалда чўткалар ўртача нагрузкада реактив ЭЮК ни компенсациялайдиган магнит индукцияси ҳосил қиладиган вазиятда ўрнатилади. Айланиш йўналиши ўзгариб турадиган машиналарда чўткалар геометрик нейтралда ўрнатилади.

111. Коллектор сиртида айлана олов

Машина ортиқча нагрузка билан ишлаганда ёки электр занжири тусатдан қисқа тугашганда коммутация жуда секинлашади. Бу ҳолда чўтканинг пластинка чиқиб кегаётган томонида учкун зўрайиб электр ёйига айланади. Коллектор айланаётгани учун бу

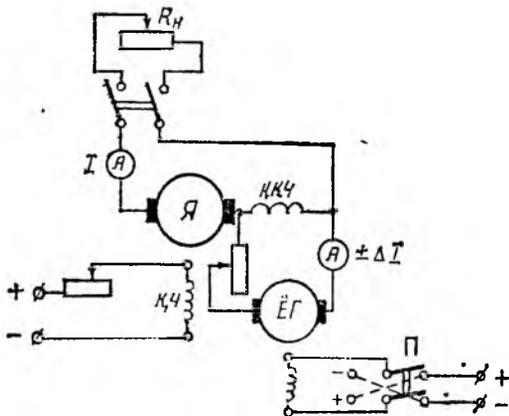
ёй чўзилади. Машина ўта нагрукаланиб ишлаганда якорь реакциясининг кучайиши натижасида ҳаво оралиғида магнит индукцияси нотекис тақсимланади (233-расм, б). Коллекторнинг қўшни пластинкалари орасида кучланиш йўл қўйилган қийматдан ортиб кетади. Бу эса электр ёйи ҳосил бўлишига сабабчи бўлади. Ёйнинг чўзилиши коллекторда айлана олов ҳосил қилади. Бу ёй машина учун жуда хавфлидир. Электр ёйига айланадиган кучли учқун чўтка хилини нотўғри танланишидан; чўткани нотўғри ўрнатилишидан ва чўтка коллекторга босилиб турмаслигидан ҳам ҳосил бўлиши мумкин. Якорь чулғамини электр ёйи таъсиридан сақлаш учун ўта нагрукаланиб ишлайдиган машиналарда коллектор билан чулғам орасига изоляцияловчи экран ўрнатилади. Баъзан электр ёйини подшипник томонга йўналтирадиган ҳаво оқимидан ҳам фойдаланилади. Турли қутбли чўткалар орасига оловбардош махсус изоляцион тўсиқлар ўрнатилади. Энг хавфли айлана олов машина занжири қисқа туташганда содир бўлади. Бунда қисқа туташиш токи хавфли қийматга эришгунча машина занжирини жуда тез ишлайдиган сақлагичлар узиб қўяди

112. Коммутацияни текшириш ва созлаш

Коммутация процесси жуда мураккаб бўлгани учун янги тайёрланаётган машинада қўшимча қутблар чулғами ўрамлар сонини ва улардаги ҳаво оралиғи ўлчамларини тўғри аниқлаш анча қийин. Шунинг учун янги машина коммутациясини созлаш талаб қилинади. Коммутацияни созлаш қўшимча қутблар магнит занжирининг қаршилиги ёки шу қутбдаги қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучини ўзгартириш билан бажарилади.

Коммутацияни тажриба йўли билан анализ қилишда қўшимча қутблар чулғамини „қўшимча ток билан таъминлаш“ усули энг кўп тарқалган усулдир. Бунда машина қўшимча қутбларининг чулғами ёрдамчи ўзгармас ток генератори (ЁГ) дан қўшимча

$\pm \Delta I$ ток билан таъминланади (246-расм). Бу шароитда қўшимча қутб чулғами занжирида $I_a \pm \Delta I$ бўлади. Олдин машина салт ишлатилади, яъни машинада $I_a = 0$ бўлади. Қўшимча қутб чулғамида $+\Delta I$ ток коллектордан учқун чиққунча кўпайтириб борилади; бу тезлаштирилган коммутацияга мос бўлади. Сўнгра схемадаги қайта улагич ёрдамда қўшимча токнинг йўналиши ўзгартири-



246- расм.

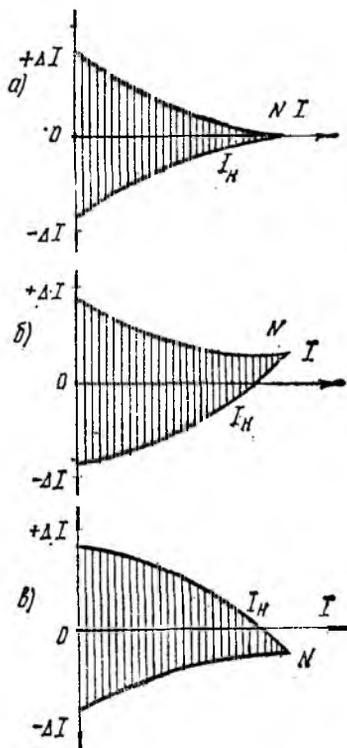
лади ва $-\Delta I$ нинг қиймати коллектордан учқун чиққунча ошириб борилади; бу секинлашган коммутацияга мос бўлади. Сўнгра генераторга нагрузка уланади, қўшимча қутб чулғамига олдин $+\Delta I$ қўшимча ток бериб, сўнгра $-\Delta I$ ток берилади, уларнинг қийматини коллектордан учқун чиққунча ошириб борилади. Нагрузканинг турли қийматида худди шундай таъриба утказиб „қўшимча ток билан таъминлаш“ эгри чизиқлари, яъни $+\Delta I = f(I)$ ва $-\Delta I = f(I)$ боғланишлар эгри чизиқлари қурилади. Шу эгри чизиқлар чегарасида, яъни $\pm \Delta I$ тоқлар зонасида коммутация учқунсиз бўлади. Бу зона қанча катта бўлса, машинада коммутация шунча турғун бўлади. Нагрузка ортиши билан коммутациянинг турғунлиги камаяди.

Қўшимча қутбнинг магнитловчи кучи ва ҳаво оралиғи туғри ҳисобланган бўлса $+\Delta I = f(I)$ ва $-\Delta I = f(I)$ эгри чизиқлари нагрузка ўқи-га нисбатан симметрик бўлади ва ўқнинг N нуқтасида кесишади (247-расм, а).

Агар қўшимча қутбларнинг магнит оқими $\Phi_{\text{қўш}}$ кучсиз бўлса (бу секинлашган коммутацияга мос), N нуқта нагрузка ўқидан юқорида жойлашади (247-расм, б); қўшимча қутблар оқими кучли бўлса (бу тезлаштирилган коммутацияга мос), N нуқта нагрузка ўқининг пастиди жойлашади (247-расм, в). Иккала ҳолда ҳам машинада коммутация турғун бўлмайди, чунки нагрузка токи номинал қийматга эришганда, яъни $I_a = I_{\text{ан}}$ бўлганда $+\Delta I$ ёки $-\Delta I$ қўшимча токнинг жуда озгина қиймати ҳам машинанинг турғун коммутациясини бузади.

Қўшимча ток билан таъминлаш эгри чизиқлари ёрдамида коммутация характерини аниқлаб қўшимча қутбларни ростлашга киришилади: секинлашган коммутацияда $\Phi_{\text{қўш}}$ оқим кучайтирилади; тезлаштирилган коммутацияда $\Phi_{\text{қўш}}$ оқим камайтирилади.

Қўшимча қутблар магнит оқимини δ_2 ҳаво оралиғини ўзгартириб ҳам ростлаш мумкин: бунда δ_2 ҳаво оралиғи магнит материалдан қистирмалар қўйиб ўзгартирилади. Магнит оқимици ошириш учун ҳаво оралиғидаси магнитмас материал магнит материалга алмаштирилади. Ҳаво оралиғи ҳар сафар ўзгартирилганда „қўшимча ток билан таъминлаш“ эгри чизиқлари ҳосил қилина-



247- расм.

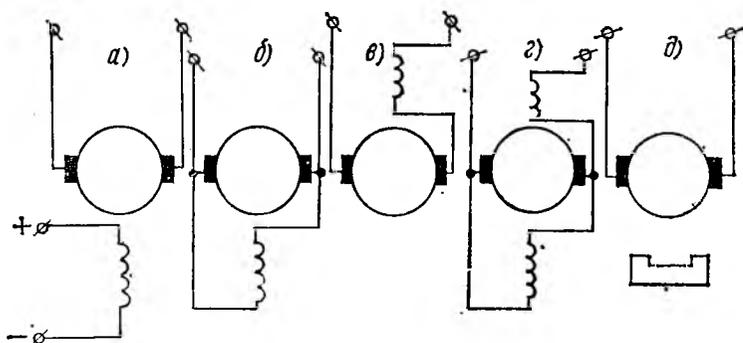
ди. Агар қўшимча қутб магнит оқимини анча кўпайтириш талаб қилинса, қўшимча қутблар чулғамининг ўрамлар сони ўзгартирилади. Қўшимча қутбнинг магнит майдони машинанинг нормал нагрукасида унда сал тезлашган коммутация ҳосил қиладиган бўлиши лозим. Бу машинага ортиқча нагрукка уланганда, яъни қўшимча қутб ўзаги тўйинганда қониқарли коммутация билан таъминлайди.

Ўзгармас ток машинасида коммутация процессида юқори частотали электромагнит тўлқинлар ҳосил бўлади. Бу тўлқинлар радиоприёмник ва телевизион қурилмалар ишига халақит беради. Коллектор воситасида ЭЮК нинг тўғриланиши ҳам радиоприёмниклар ишига халақит беради. Халақит бериш даражаси чўткалар тагидан учқун чиқиш даражасига боғлиқ бўлиб, бундай учқунлар радиоприёмникларда қўшимча шовқин ва шитирлашлар ҳосил қилади. Шунинг учун радиоприёмниклар ишига халақит бериш даражаси стандарт бўйича йўл қўйилган нормалардан ортиқ бўлмаслиги лозим. Шовқинни камайтириш учун электр филтрлар қўлланилади; машина экранланади ва якорь билан кетма-кет уланган чулғамлар симметрикланади. Юқори частотали кучланиш ва токларни филтрлашни яхшилаш учун якорь билан параллел уланган конденсаторлар ва якорь билан кетма-кет уланган чулғамлар симметрикланади. Юқори частотали кучланиш ва токларни филтрлашни яхшилаш учун якорь билан параллел уланган конденсаторлар ва якорь билан кетма-кет уланган индуктив ғалтаклардан тузилган филтрлар қўлланилади.

XXIII БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИ

113. Умумий тушунчалар

Ўзгармас ток генераторлари автомашиналарда, самолётларда, электр ёйи воситасида пайвандлашда, поездларни, кемаларни ёритишда кенг қўлланилади. Генератор ишлаши учун унда магнит майдони бўлиши лозим. Ўзгармас ток генераторида (двигателда ҳам) магнит майдони электромагнитлар воситасида ёки доимий магнитлар ёрдамида ҳосил қилинади. Доимий магнитлар ўрнатилган генератор магнитоэлектр генератор дейилади. Ўзгармас ток машиналари статорида магнит қутблари (ўзақлари) ўрнатилади ва уларга қўзғатиш чулғами жойлаштирилади. Қутблар чулғами ва ўзаги бу оддий электромагнитдир. Қўзғатиш чулғами ўзгармас ток манбаига уланади, чулғамда қўзғатиш токи I_k ҳосил бўлади. Бу ток қийматини ўзгартириб машинанинг магнит оқими ўзгартирилади. Ўзгармас ток генераторлари қўзғатиш чулғамининг қандай таъминланишига қараб икки хил бўлади: а) қўзғатиш чулғами ташқи ўзгармас ток манбаидан таъминланадиган, яъни мустақил қўзғатишли генератор (248-расм. а); б) қўзғатиш чулғами шу генераторнинг якоридан таъминланадиган, яъни ўз-ўзидан қўзғалувчи генераторлар. Ўз-ўзидан қўзғалувчи генераторлар уч хил бўлади:



248- расм.

а) қўзғатиш чулғами якорь чулғамига параллел уланган, яъни параллел қўзғатишли генераторлар (248- расм, б);

б) қўзғатиш чулғами якорь чулғамига кетма-кет уланган, яъни кетма-кет қўзғатишли генераторлар (248-расм. в);

в) қўзғатиш чулғамининг бири якорь чулғами билан параллел, иккинчиси эса у билан кетма-кет уланган, яъни аралаш қўзғатишли генераторлар (248-расм, г).

Доимий магнитлар ўрнатилган генераторда қўзғатиш чулғами бўлмайди (248-расм, д). Бундай генераторларнинг хусусиятлари мустақил қўзғатишли генератор хусусиятларига яқин бўлади.

Мустақил ва параллел қўзғатишли генераторларнинг қўзғатиш чулғами ингичка симдан тайёрланади ва ўрамлар сони катта бўлади; кетма-кет қўзғатишли генераторнинг қўзғатиш чулғами йўғон симдан тайёрланиб ўрамлар сони кам бўлади.

Ўзгармас ток генератори ишлаганда унинг якори чулғамида ЭЮК E ҳосил бўлади. Генераторга нагрузка (истеъмолчи) уланганда якорь занжиридан I_a ток ўта бошлайди; генератор клеммаларида U кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш қуйидагича аниқланади:

$$U = E_a - I_a \sum R, \quad (5.19)$$

бу ерда: $\sum R$ —якорь занжирининг ҳамма қисмлари қаршиликларининг йиғиндиси, яъни:

$$\sum R = R_a + R_k + R_k + R_c + R_q, \quad (5.20)$$

бу ерда: R_a —якорь чулғамининг қаршилиги; R_k —қўшимча қутблар чулғами қаршилиги; R_k —компенсацион чулғам қаршилиги; R_c —кетма-кет уланадиган қўзғатиш чулғамининг қаршилиги; R_q —чўтка контактининг ўткинчи қаршилиги. Генераторда оқорида келтирилган чулғамлардан баъзилари бўлмаслиги мумкин.

Умуман, электр машинаси мўлжалланган шароитда ишлатилса, у узоқ вақт яхши ишлайди. Бу шароит машинанинг номинал иш шароити дейилади. Номинал иш шароити номинал

катталиклар билан характерланади. Масалан, номинал қуввати P_n , номинал кучланиш U_n , номинал токи I_n , номинал тезлиги n_n . Бу шароитда генераторга тегишли бошқа катталиклар ҳам номинал қийматларга эришади. Номинал иш шароитида генератор клеммаларидан олиндиган фойдали қувват унинг номинал қуввати дейилади. Ҳар бир генераторнинг паспортида асосий катталикларнинг номинал қийматлари кўрсатилади.

Генераторнинг иши давомидаги хусусиятлари унинг характеристикалари ёрдамида анализ қилинади, улар генераторга тегишли катталикларнинг (масалан, ЭЮК E , кучланиши U , қўзғатиш токи I_k , якорь токи I_a ва бошқаларнинг) ўзаро боғланишларини ифодалайди. Генераторлар доимо айланиш тезлиги ўзгармас, яъни $n = \text{const}$ бўлган шароитда ишлатилади.

Генераторнинг асосий характеристикалари қуйидагилардир:

1. Салт ишлаш характеристикаси салт (яъни, нагрузкасиз) ишлаш шароитида генератор клеммаларидаги кучланиш U_0 нинг қўзғатиш токи I_k га боғланишини ифодалайди:

$$U_0 = f(I_k),$$

бу ерда: $I_a = 0$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим.

2. Нагрузкаланиш характеристикаси генератор нагрузка билан ишлаганда, масалан, нагрузка токи $I_a = I_n$ бўлганда, унинг клеммаларидаги кучланиш U нинг қўзғатиш токи I_k га боғланишини ифодалайди:

$$U = f(I_k),$$

бу ерда: $I_a \neq 0$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим.

3. Ташқи характеристикаси генератор клеммаларидаги кучланиш U нинг нагрузка токи I_a га боғланишини ифодалайди:

$$U = f(I_a),$$

бу ерда: $I_k = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим.

4. Ростлаш характеристикаси — қўзғатиш токи I_k нинг нагрузка токи I_a га боғланишини ифодалайди:

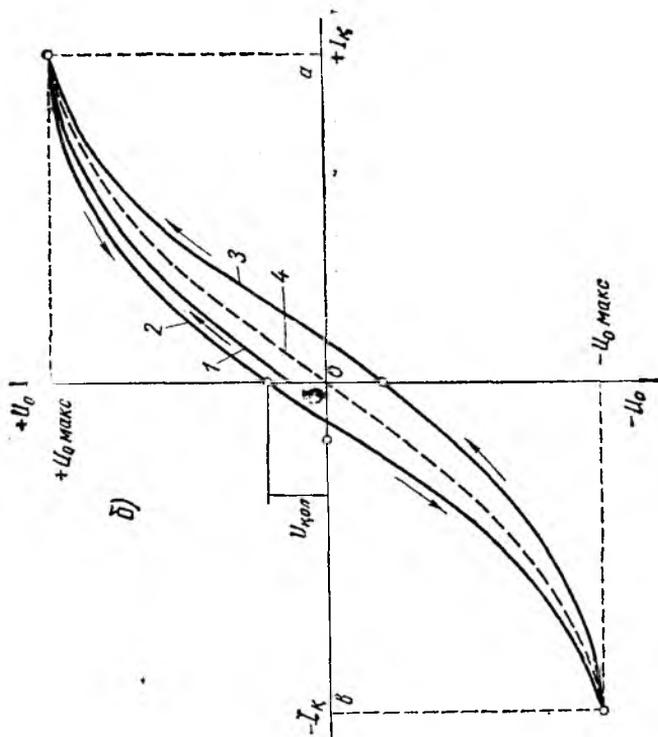
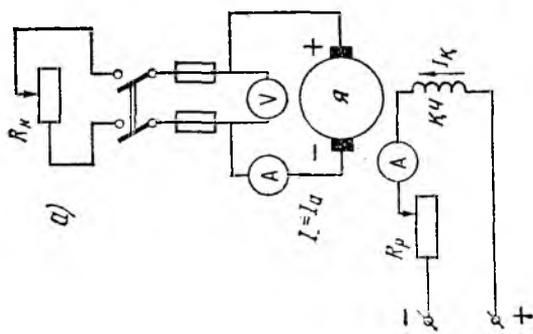
$$I_k = f(I_a),$$

бу ерда: $U = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим.

114. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори

Мустақил қўзғатишли генераторларда қўзғатиш токи I_k якорь токи I_a га (ёки нагрузка токи I га) боғлиқ бўлмайди (249-расм, а). Қўзғатиш токнинг қиймати қўзғатиш чулғами қаршилиги R_k ва унга кетма-кет уланган ростловчи реостат қаршилиги қиймати билан аниқланади:

$$I_k = U_k / (R_k + R_p), \quad (5-21)$$

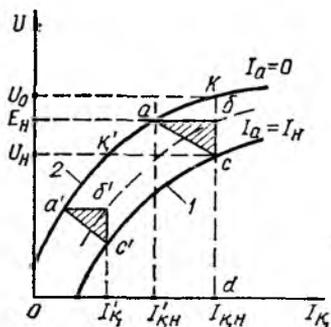


Ўзгармас ток машинасида асосий қўзғатиш токи катта бўлмайди ва якорь токининг 1...3% ни гашкил қилади. Генераторнинг асосий хусусиятини аниқлайдиган характеристикаларини олиш учун схема йиғилади (249-расм, а).

Салт ишлаш характеристикаси: $U_0 = f(I_k)$ бунда: $I = 0$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим. Генератор салт ишлаганда унинг кучланиши U_0 генераторнинг ЭЮК ига тенг бўлади, яъни $U_0 = E_0 = C_2 n \Phi$. Айланиш частотаси ўзгармас бўлганда генераторнинг кучланиши фақат магнит оқимиға, яъни қўзғатиш токи I_k қийматига боғлиқ бўлади. Шунинг учун салт ишлаш характеристикаси магнитланиш характеристикаси $\Phi = f(I_k)$ га ўхшаш бўлади. Тажириба ўтказиш вақтида қўзғатиш токини 0 дан бошлаб $+I_k$ гача кўпайтириб борилади. Ток қиймати $+I_k$ бўлганда генераторнинг кучланиши $U_0 \approx 1,15 U_n$ га тенг бўлади. Токнинг бир неча оралиқ қиймати учун кучланиш қиймати ёзиб олинади. Олинган маълумотлар асосида салт ишлаш характеристикаси қурилади (249-расм, б, 1-эгри чизиқ). Сўнгра I_k ток нолгача камайтирилади (2-эгри чизиқ). Сўнгра қўзғатиш токининг йўналиши ўзгартирилади ва қиймати 0 дан $-I_k$ гача оширилади; олинган маълумотлар асосида 2-эгри чизиқнинг давоми қурилади. $-I_k$ ток нолгача камайтирилади ва 3-эгри чизиқ қурилади. Натижада гистерезис сиртмоғининг эгри чизигини оламиз. 2 ва 3-эгри чизиқлар орасидан ўтган 4-эгри чизиқ ҳисоблашларда ишлатиладиган салт ишлаш характеристикаси бўлади. Характеристиканинг тўғри чизиқли қисмида машинанинг магнит системаси тўйинмаган бўлади. Қўзғатиш токи катгароқ бўлганда магнит системаси тўйина бошлайди; характеристика эса эгила бошлайди. Салт ишлаш характеристикаси нолдан бошланмайди, чунки қўзғатиш токи $I_k = 0$ бўлганда магнит системасининг қолдиқ магнетизми якорь чулғамида қолдиқ ЭЮК $E_{\text{қол}}$ (ёки $U_{\text{қол}}$) ни ҳосил қилади. $E_{\text{қол}}$ нинг қиймати генераторнинг номинал кучланиши U_n нинг 2...4% ини ташкил қилади. Салт ишлаш характеристикасида генераторнинг номинал кучланиши U_n унинг эгилган қисмиға тўғри келади.

Нагрузканиш характеристикаси: $U = f(I_k)$ бунда $I_n = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим. Характеристикани олиш учун генератор юргизилади, қўзғатиш токи берилади ва нагрузка токи маълум қийматға, масалан, номинал қиймат $I_a = I_n$ га етказилади. Сўнгра I_k ток секин-аста камайтириб борилади; бунда нагрузка токи ҳам ўзгаради. Нагрузка токи ўзгармаслиги учун I_k ва U нинг ҳар бир қийматида нагрузка қаршилиги ўзгартирилиши керак. Нагрузкаланган генераторнинг кучланиши якорь занжирида кучланиш пасайиши $I_a \sum R$ ва якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири натижасида салт ишлаш кучланишидан кичкина бўлади. Шунинг учун генераторнинг нагрузканиш характеристикаси (250-расм, 1-эгри чизиқ) салт ишлаш

характеристикаси (2-эгри чизиқ) дан пастроқда бўлади. Нагрузка токи қанча катта бўлса, характеристика шунча пастда бўлади. Нагрузкаланиш характеристикасидаги c нуқта қўзғатиш токи ва нагрузка токи номинал қийматига тенг бўлганда генераторнинг кучланиши ҳам U_n га тенг бўлишини кўрсатади. Агар нагрузка токи $I = 0$ бўлса, шу қўзғатиш токида кучланиш U_0 гача ортади. Бунда kc чизиқ нагрузкаланган генераторда кучланиш пасайишини характерлайди. Берилган нагрузка токида генераторнинг ЭЮК: $E = U + I_2 \sum R$ бўлади. Бу ерда: $E >$



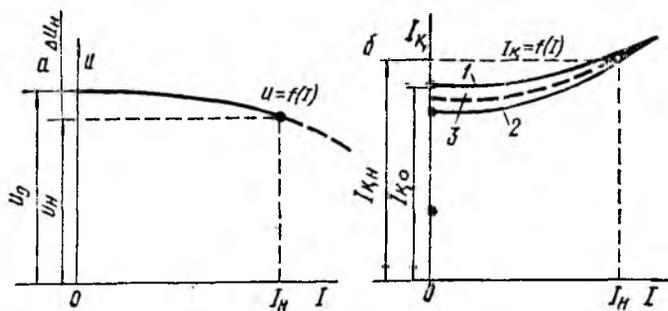
250- расм.

$> U$. Энди bc чизиқ якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири натижасида кучланиш пасайишини характерлайди. E_n ЭЮК га $I''_{кн}$ қўзғатиш токи тўғри келади

Агар якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири бўлмаганда ва қўзғатиш токи $I'_{кн}$ бўлганда номинал нагрузкада генераторнинг кучланиши U_n га тенг бўларди. Якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини компенсациялаш учун қўзғатиш чулғамининг токи $I_{кн}$ га тенг бўлиши керак, бунда: $I_{кн} > I'_{кн}$. Қўзғатиш тоklarининг айирмаси, яъни $ab = I_{кн} - I'_{кн}$ чизиғи якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири; bc чизиғи $I_n R_a$ якорь қаршилигида кучланиш пасайишини характерлайди. Олинган abc учбурчаги характеристик ёки реактив учбурчак дейилади.

Пастдаги иккинчи реактив учбурчак $a'b'c'$ қўзғатиш токининг бошқа қиймати учун қурилган. Бунда учбурчакнинг $b'c'$ томони ўзгармайди ($b'c' = bc$). Бу нагрузка токи қийматининг ўзгармаслигини ифодалайди. Лекин учбурчакнинг ab томони кичкина бўлади ($a'b' < ab$). Чунки қўзғатиш токи камайганда магнит занжирининг тўйиниш даражаси камаяди. бинобарин, якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири ҳам камаяди.

Ташқи характеристикаси, яъни $U = f(I)$, бунда $I_k = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим. Бу характеристикани олиш учун генератор номинал тезликда айлантирилади. Қўзғатиш токи номинал қийматигача оширилади. Бунда генераторнинг салт ишлаш кучланиши U_0 бўлади. Сўнгра нагрузка уланади ва нагрузка токи секин-аста ошириб борилади. Нагрузка токининг бир неча қийматлари учун ўлчаш приборларининг кўрсатиши ёзиб олинади. Тажриба утказиш вақтида қўзғатиш занжирининг қаршилиги ва демак, қўзғатиш токи бир хилда қолади. 251-расм, а да генераторнинг ташқи характеристикаси келтирилган. Бу характеристикада нагрузка токи I нинг ортиб бориши билан генераторнинг кучланиши камай боради. Генератор кучланиши, якорь реакция-



251- расм.

сининг магнитсизловчи таъсири ҳамда якорь занжирида кучланиш пасайиши натижасида камаё боради. Ташқи характеристиканинг абсцисса ўқи томон эгилиш даражаси, яъни ташқи характеристика қаттиқлиги нагрузка бирланига нолгача камайганда генератор кучланишининг номинал ўзгариши билан характерланади. Кучланишнинг номинал ўзгариши қуйидагича аниқланади:

$$\Delta u \% = \frac{U_0 - U_n}{U_n} 100\%. \quad (5-22)$$

Мустақил қўзғатишли генераторларда кучланишнинг номинал ўзгариши $\Delta u \% = 5 \dots 10\%$ бўлади.

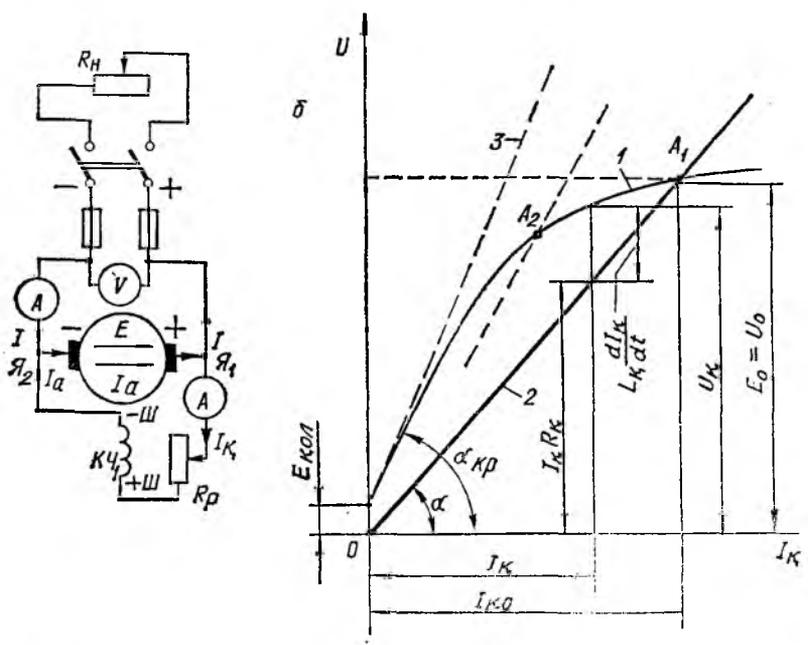
Агар генератор занжири қисқа туташиб қолса, кучланиш нолгача камаёди, яъни $U = 0$ бўлади; лекин қисқа туташиш токи $I_{кн}$ номинал қийматдан анча ортиб кетади. Бу генератор учун жуда хавфлидир.

Ростлаш характеристикаси $-I_k = f(I)$, бунда $U = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим. Бунда ҳам 259-расм, а даги схемадан фойдаланилади. Нагрузка токи $I = 0$ бўлганда қўзғатиш токини ошириб генератор клеммаларида $U = U_n$ кучланиш ҳосил қилинади. Бунда қўзғатиш токи $I_{к0}$ га тенг бўлади. Сўнгра нагрузка уланади ва унинг токи секин аста номинал қиймат I_n гача ошириб борилади. Генераторнинг кучланиши ўзгармай қолиши учун қўзғатиш занжиридаги реостат қаршилигини камайтириб, қўзғатиш токи ошириб борилади (251-расм, б; 1-эгри чизиқ). Сўнгра нагрузка токи нолгача камайтириб борилади. Бунда ҳам кучланиш қиймаги ўзгармай қолиши учун қўзғатиш токи секин-аста камайтириб борилади (2-эгри чизиқ). Нагрузка токи ва айни бир вақтда қўзғатиш токи ортиб бориши билан машина магнит занжирида қолдиқ магнетизм кўпайганлиги учун 2-эгри чизиқ 1-чизиқнинг тагида бўлади. Бу эгри чизиқлар ўртасидан ўтган 3-эгри чизиқ генераторнинг амалий ростлаш характеристикаси дейилади.

Мустақил қўзғатишли генераторнинг ишлаши учун алоҳида ток манбаининг талаб қилиниши генераторнинг камчилиги бўлса, кучланишини катта диапазонда ўзгартириш мумкинлиги, шунингдек, таъқиқ характеристикасининг нисбатан қаттиқлиги унинг афзаллиги ҳисобланади. Катта қувватли генераторлар, одатда, мустақил қўзғатишли генератор бўлади; қўзғатишнинг бу усули паст кучланишли ва кичик қувватли генераторларда ҳам қўлланилади. Якорь чулғамининг кучланиши қанча бўлишидан қатъи назар уларда қўзғатиш чулғамининг кучланиши 110 В ёки 220 В бўлади, бу ростлаш аппаратларини соддалаштиради.

115. Параллел қўзғатишли генератор

Ўз-ўзидан қўзғалиш шarti. Параллел қўзғатишли генераторнинг схемаси 252-расм, а да тасвирланган. Машина ишлаганда ўз-ўзидан қўзғалиши, яъни унда тўла магнит оқимининг ҳосил бўлиши учун унда озгина қолдиқ магнетизм оқими $\Phi_{\text{қол}}$ (оқимнинг номинал қийматидан 2...3%) бўлиши керак. Генераторнинг якори айланганда унинг чулғамиди қолдиқ магнит оқими $\Phi_{\text{қол}}$ қолдиқ ЭЮК $E_{\text{қол}} = (2...3\%) E_n$ ни ҳосил қилади. Бу $E_{\text{қол}}$ қўзғатиш чулғамиди кичкина қўзғатиш тоқини ҳосил қилади. Бу ток, қутбларнинг магнит оқими ва қолдиқ оқим бир хил йўналган бўлса, қутблар оқимини кучайтиради, мос ҳолда якорь



252- расм.

чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК ни оширади. ЭЮК нинг катталашуви қўзғатиш токини оширади; демак, бунда асосий қутбларнинг магнит оқими катталашади ва шунга ўхшаш. Машинада қўзғатиш токи узлуксиз ошиб боргани учун қўзғатиш занжири қисмаларида, якорь занжири кучланишига тенг бўлган U_k кучланиш ҳосил бўлади. Қўзғатиш занжирида ўзиндукция ЭЮК — $L_k \frac{dI_k}{dt}$ ҳосил бўлади. Бундан ташқари, қўзғатиш чулғами қаршилигида кучланиш пасайиши $I_k R_k$ ҳосил бўлади. Қўзғатиш занжири учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$U_k - L_k \left(\frac{dI_k}{dt} \right) = I_k R_k \quad \text{ёки} \quad U_k = I_k R_k + L_k \frac{dI_k}{dt}, \quad (5-23)$$

бу ерда: L_k — қўзғатиш занжирининг индуктивлиги.

Одатда, ўз-ўзидан қўзғалиш процесси салт ишлаш шароитида ва $R_k = \text{const}$ бўлганда ўтади. Демак, $U_k = f(I_k)$ боғланиш салт ишлаш эгри чизиғи билан тасвирланади (252-расм, б, 1-эгри чизиқ). $I_k R_k = f(I_k)$ боғланиш тўғри чизиқ 2 билан тасвирланади:

$L_k \left(\frac{dI_k}{dt} \right)$ эса 1-эгри чизиқ ва 2-тўғри чизиқ ординаталари айирмаси билан аниқланади. A_1 нуқтада, яъни 1 ва 2-чизиқлар кесишган нуқтада $L_k \left(\frac{dI_k}{dt} \right) = 0$ бўлади. L_k маълум қийматга эга бўл-

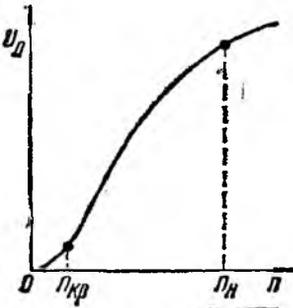
гани учун, бунда $\frac{dI_k}{dt} = 0$ бўлади. Демак, $I_k = \text{const}$. Шундай қилиб, A_1 нуқтада ўз-ўзидан қўзғалиш процесси тамом бўлади. A_1 нуқтани аниқлаш учун координата бошидан α бурчак катталигида тўғри чизиқ ўтказилади. α бурчакнинг тангенсини, маълум масштабда, қўзғатиш занжирининг йиғинди қаршилиги қийматига пропорционал бўлади: $\text{tg} \alpha = \frac{AB}{OB} = \frac{U_0}{I_k} = R_k$. Бу ерда R_k — қўзғатиш чулғами ва ростловчи реостагнинг қаршилиги. Агар R_k қаршилик оширилса, яъни α бурчак катталашса, A_1 нуқта салт ишлаш характеристикаси бўйича O нуқта томон сурилади. Агар R_k янада оширилса ва 2-чизиқ салт ишлаш характеристикасининг тўғри чизиқли қисмига уринма бўлса (3-чизиқ), генератор ўз-ўзидан қўзғалмайди. Қўзғатиш занжирининг генератор ўз-ўзидан қўзғалмайдиган қаршилиги критик қаршилик $R_{k, \text{кр}}$ ва бу қаршиликка тўғри келадиган α бурчак критик бурчак дейилади.

Демак, параллел қўзғатишли генераторнинг ўз-ўзидан қўзғалиши қуйидаги шартлар бажарилгандагина мумкин: а) машинанинг магнит системасида қолдиқ магнетизм бўлиши керак; б) қўзғатиш чулғами ҳосил қиладиган магнит оқими ва қолдиқ магнетизм оқимининг йўналиши бир хил бўлиши лозим; в) қўзғатиш занжирининг қаршилиги критик қаршиликдан кичкина бўлиши лозим, яъни $R_k < R_{k, \text{кр}}$.

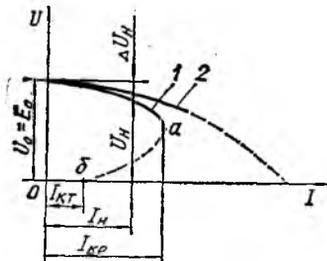
Генератор ўз-ўзидан қўзғалиши учун унинг айланиш тезлиги қандайдир критик тезлик $n_{кр}$ дан катта бўлиши керак. $U_0=f(n)$ ўз-ўзидан қўзғалиш характеристикаси дейилади. Бу боғланиш $R_k = \text{const}$ бўлганда олинади. Агар айланиш тезлиги кичкина ($n < n_{кр}$) бўлса, генератор ўз-ўзидан қўзғалмайди (253-расм). Чунки, бунда U қолдиқ магнетизм ҳисобига ҳосил бўлади ва жуда секин ўсади $n > n_{кр}$ бўлганда ўз ўзидан қўзғалиш процесси бошланади; айланиш тезлиги ортгани сари кучланиш тез орта боради. Лекин кучланиш қиймати номинал қийматга яқинлашганда, магнит ўтказгичнинг тўйиниши сабабли, унинг ўсиши секинлашади. Параллел қўзғатишли генераторда қўзғатиш токи фақат бир томонга йўналганда у ўз-ўзидан қўзғалади. Шунинг учун салт ишлаш характеристикаси координата ўқларининг фақат бир квадрантида чизилади. Бундай генераторнинг нагрукаланиш ва ростлаш характеристикалари муस्ताқил қўзғатишли генераторнинг шундай характеристикаларидан фарқ қилмайди.

Ташқи характеристикаси $U=f(I)$, бунда $R_k = \text{const}$ ($I_k = \text{const}$) ва $n = \text{const}$ бўлиши лозим.

Муस्ताқил қўзғатишли генераторда қўзғатиш токи доимо бир хилда қоларди. Параллел қўзғатишли генераторда нагрукка токининг ўзгариши билан қўзғатиш токи ҳам ўзгаради. Шунинг учун параллел қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси (254-расм, 1-эгри чизиқ) муस्ताқил қўзғатишли генераторнинг шундай характеристикасидан пастроқда бўлади; яъни юмшоқроқ бўлади. Чунки бунда кучланишнинг камайишига олдинги икки сабабдан (якорь занжирида кучланиш пасайиши ва якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсиридан) ташқари қўзғатиш токининг камайиши ҳам таъсир қилади; чунки қўзғатиш токи $I_k = \frac{U}{\sum R_k}$ бўлгани учун, у генератор кучланиши U ва нагрукка токи I га боғлиқдир. Агар нагрукка қаршилиги R_n секиң камай-



253 расм.



254-расм. Параллел қўзғатишли (1) ва муस्ताқил қўзғатишли (2) генераторларнинг ташқи характеристикаси.

тириб борилса, I ток фақат ўзининг критик қийматигача ($I_{кр}$) ошиб боради; нагрузка қаршилиги яна камайтирилса, нагрузка токи камая боради. Нагрузка занжири қисқа туташганда, қисқа туташуш токи $I_{кт} < I_{кр}$ бўлади. Чунки I ток катталашганда якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири ортади ва қўзғатиш токи камаяди. Бу шароитда машинанинг магнит системаси тўйинмаган ҳолатга ўтади. Бунда нагрузка қаршилигининг жуда оз камайиши ҳам машина ЭЮК ини анча камайтириб юборади. Маълумки, нагрузка токнинг қиймати $I_n = \frac{U}{R_n}$ билан аниқлана-

ди. Нагрузка токи $I < I_{кр}$ бўлганда, яъни генераторнинг кучланиши нагрузка қаршилигининг камайишига қараганда секинроқ камайганда, нагрузка токи катталашиб боради. $I = I_{кр}$ бўлгандан сўнг R_n нинг янада камайиши натижасида нагрузка токи камая боради. Чунки бунда генераторнинг кучланиши нагрузка қаршилиги R_n га қараганда тезроқ камаяди.

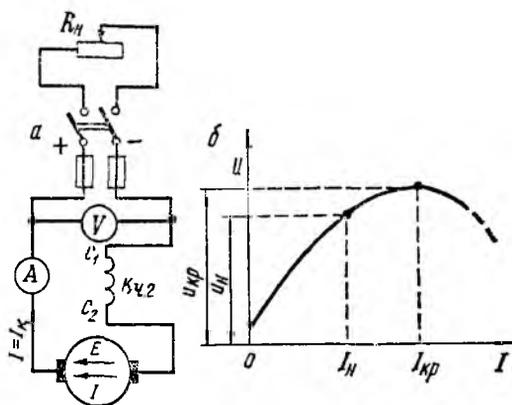
Шундай қилиб, параллел қўзғатишли генератор учун нагрузка қаршилигининг секин-аста камайиб бориши натижасида занжирнинг қисқа туташуви хавfli эмас; лекин тўсатдан бўладиган қисқа туташушда генераторнинг магнит системаси тез магнитсизлана олмайди ва қисқа туташуш токи $I_{кт} = (8 \dots 12) \cdot I_n$ гача кўпайиб кетади. Бу генератор учун хавfliдир. Қисқа туташуш натижасида токнинг бирданига катталашиб кетиши сабабли генератор вадида жуда кучли тормозловчи момент ҳосил бўлади, коллектордан кучли учқун чиқади ва бу учқун айлана оловга айланади. Шунинг учун генератор ўта нагрузкаланишдан ва қисқа туташуш билан риб кетадиган сақлагичлар ёки реле сақлагичлар билан жиҳозланиб сақланиши лозим. Параллел қўзғатишли генераторлар, ташқи ток манбаи талаб қилмагани учун амалда кенг қўлланилади. Параллел қўзғатишли генераторларда кучланишнинг номинал ўзгариши 10 ... 30% дан ошмайди.

Демак, параллел қўзғатишли генератор занжири қисқа туташганда кучланиш нолга тенг; бунда қўзғатиш токи ҳам нолга тенг. Бу шароитда қисқа туташуш токини машинанинг қолдиқ ЭЮК ҳосил қилади ва номинал токнинг (0,4 ... 0,8) I_n қисмини ташкил қилади. Ташқи характеристиканинг *аб* қисмида генератор турғун ишлаш олмайди, бу ҳолда генератор *б* нуқтадаги ишлаш режимига, яъни қисқа туташуш режимига ўтади.

116. Кетма-кет қўзғатишли генератор

Кетма-кет қўзғатишли генераторда (255-расм, *а* даги схема) қўзғатиш токи, якорь токи ва нагрузка токлари бир-бирига тенг, яъни $I_k = I = I_n$. Шунинг учун бундай генераторнинг хусусияти фақат унинг ташқи характеристикаси билан аниқланади. Қўзғатиш чулғамини ташқи ток манбаига улаб генераторнинг бошқи характеристикалари текширилади. Генераторнинг ташқи характеристикасига (255-расм, *б*) асосан нагрузка токи нолдан номинал қийматгача катталашиб борганда, олдин генераторнинг куч-

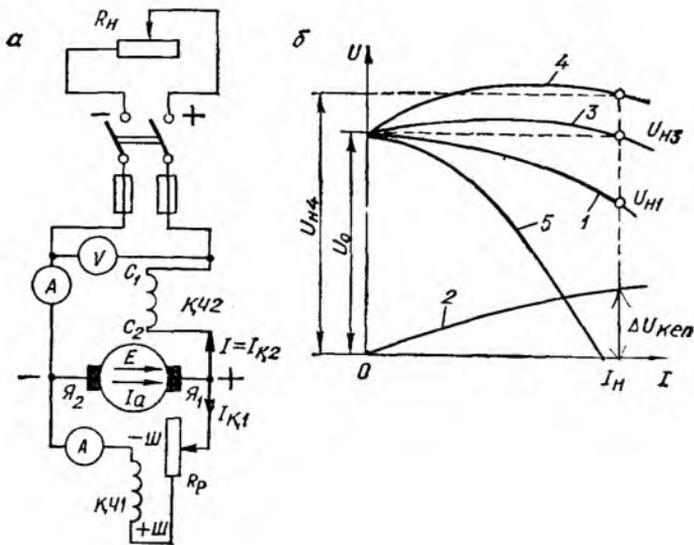
линиши нагрузка токига пропорционал ўсиб борали, ($U_{кр}$ гача), чунки бунда машинанинг магнит системаси ҳали тўйинмаган бўлади. Сўнгра кучланишнинг ўсиши тўхтади ва критик нуқтадан кейин камая бошлайди. Чунки якорь токи бир вақтда қўзғатиш токи ҳамдир, нагрузка ортиши билан машинанинг пўлат ўзаги тўйина бошлайди. Лекин якорь токи ортиши билан якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири ва якорь занжири қаршилигида кучланиш пасайиши ортади; бу эса генератор кучланишининг камайишига сабаб бўлади. Пўлат тўла тўйинганда магнит оқимининг ўсиши тўхтади, демак, ЭЮК нинг ўсиши ҳам тўхтади. Якорь реакциясининг таъсири ва кучланиш пасайишининг ўсиши давом этади. Генератор занжири қисқа туташганда унинг кучланиши нолга тенг, қисқа туташиш токи эса машинанинг номинал токидан кўп марта катта бўлади. Генераторнинг кучланиши нагрузка қийматига боғлиқ бўлгани учун кетма-кет қўзғатишти генераторлар амалда кам ишлатилади.



255- расм.

117. Аралаш қўзғатишли генератор

Бундай генераторларда иккита қўзғатиш чулғами бўлади: бири (асосийси) якорь чулғами билан параллел; иккинчиси—кетма-кет уланади (256 расм, а). Машинанинг магнит оқимини, асосан, параллел қўзғатиш чулғами ҳосил қилади. Аралаш қўзғатишли генераторда иккала қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучлари қўшиладиган қилиб, яъни тўғри улашиб нагрузка қиймати кенг диапазонда ўзгарганда ҳам у қиймати деярли ўзгармайдиган кучланиш олишга имкон беради. Генераторнинг ташқи характеристикасини иккала қўзғатиш чулғами ташқи характеристикаларининг йиғиндиси сифатида олиш мумкин. Агар фақат параллел қўзғатиш чулғами $KЧ_1$ уланса, ундан $I_{к1}$ қўзғатиш токи ўтади. Нагрузка токи I_n ортиши билан генераторнинг кучланиши U секин-аста камайиб боради (256-расм, б, 1-эгри чизиқ). Агар фақат кетма-кет уланадиган қўзғатиш чулғами ($KЧ_2$) уланса, ундан $I_{к2} = I_n$ қўзғатиш токи ўтади. Бунда генераторнинг кучланиши нагрузка токи ортиши билан катталашади (2-эгри чизиқ) Кетма-кет уланадиган қўзғатиш чулғами урамлар сонини, генераторнинг номинал нагрузкасида у ҳосил қиладиган



256- расм.

$\Delta U_{\text{кет}}$ кучланишни, машина фақат параллел уланадиган қўзғатиш чулғами билан ишлаганда, унда бўладиган йиғинди кучланиш пасайишни (ΔU) компенсациялайдиган қилиб танланса, нагрузка токи нолидан I_n гача ўзгарганда, генераторнинг кучланиши U_0 деярли ўзгармас бўлишига эришиш мумкин (3-эгри чизик). Амалда, кучланиш 2... 3% гина ўзгаради. Кетма-кет уланадиган қўзғатиш чулғамининг ўрамлар сонини кўпайтириб генератордан $U_n > U_c$ бўлган кучланиш оладиган характеристикани ҳам олиш мумкин (4-эгри чизик). Бундай характеристика генераторнинг фақат ички йиғинди қаршилиги $\sum R$ да эмас, балки истеъмолчи (нагрузка) уланадиган линиядаги кучланиш пасайишни ҳам компенсациялайди. Агар кетма-кет уланадиган қўзғатиш чулғамининг ўрамлар сони катта ва параллел уланадиган қўзғатиш чулғами билан тескари уланса, генераторнинг ташқи характеристикаси 5- эгри чизик кўринишида бўлади. Кетма-кет қўзғатиш чулғамини тескари улаш асосан қисқа туташин токин чегаралашни талаб қилнадиган генераторда, масалан, пайвандлаш генераторларида ва бошқа махсус машиналарда қўлланилади.

XXIV БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛЛАРИ

118. Ўзгармас ток двигателнинг ишлаши

Ўзгармас ток двигателлари айланиш частотасини кенг диапазонда ростлашни талаб қиладиган саноат, транспорт ва бошқа қурилмаларда кенг ишлагилади. Ўзгармас ток машинаси генератор сифатида ҳам, двигатель сифатида ҳам ишлатилиши мумкин.

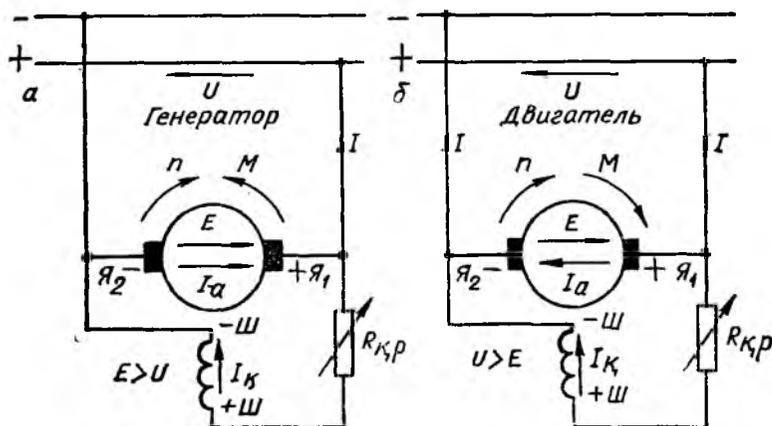
Ўзгармас ток машинаси двигатель сифатида ишлаши учун унинг қўзғатиш чулғами ва якорь чулғами ўзгармас ток манбаига уланади. Қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи машинанинг асосий магнит оқимини ҳосил қилади. Машинанинг якорь чулғамида якорь токи I ҳосил бўлади. Двигателнинг ишлаш принципи, магнит қутбларида қўзғатиш чулғами ҳосил қилган асосий магнит оқими билан якорь токи I_a нинг ўзаро таъсирига асосланган. Бундай ўзаро таъсир натижасида якорь чулғамининг симларига ва улар орқали якорь пўлат ўзагининг пазлари тишига механик кучлар таъсир қилади; бу кучлар электромагнит момент ҳосил қилади (257-рasm, б). Двигателда бу момент айлантирувчи момент бўлади ва машинанинг якори айлантирувчи момент йўналишида айлана бошлайди. Машина генератор сифатида ишлаганда ҳосил бўладиган электромагнит момент тормозловчи момент бўлади (257-рasm, а).

Шундай қилиб, двигатель ишлаганда тармоқдан электр энергияси олиб уни механик энергияга айлантириб беради. Двигатель ишлаганда якорь чулғами магнит майдонида айланади. Демак, якорь чулғамида йўналиши „ўнг қўл“ қондаси билан аниқландиган ЭЮК ҳосил бўлади. Бу ЭЮК ўзгармас ток генераторининг якори чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК дан фарқ қилмайди. Ўзгармас ток двигателида бу ЭЮК якорь токи I_a га тескари йўналида ва уни тескари ЭЮК дейилади.

Ўзгармас тезлик билан ишлаб турган ўзгармас ток двигатели учун ЭЮК тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$U = E_{\text{тес}} + I_a \sum R. \quad (5-24)$$

Демак, мустақил ва параллел қўзғатишли генераторнинг ЭЮК E тармоқ кучланиши U дан кичик бўлса, машина двигатель бўлиб ишлай бошлайди; шунингдек, агар двигательнинг ЭЮК E



257- рasm.

тармоқ кучланиши U дан катта бўлса, у автоматик равишда генератор бўлиб ишлай бошлайди.

Ўзгармас ток машинаси двигатель бўлиб ишлаганда унинг якорь чулғамида ҳосил бўладиган ЭЮК $E_{\text{тес}}$ ва унинг электромагнит (айлантирувчи) моменти M (5-6) ифодалар билан аниқланади.

Юқорида келтирилган двигатель ЭЮК ининг тенгламасида двигательга тармоқдан бериладиган кучланиш U якорь чулғамида ҳосил бўлган ЭЮК $E_{\text{тес}}$ ва якорь занжири қаршилиқларидаги кучланиш пасайиши $I_a \sum R$ билан мувозанатлашади. ЭЮК тенгламасидан якорь токи қуйидагича аниқланади:

$$I_a = \frac{U - E_{\text{тес}}}{\sum R}$$

Энди (5-24) тенгламанинг иккала томонини I_a га кўпайтириб, қувваг тенгламасини оламиз:

$$UI_a = E_{\text{тес}} I_a + I_a^2 \sum R, \quad (5-25)$$

бу ерда; UI_a — якорь чулғами занжирининг қуввати; $I_a^2 \sum R$ — якорь занжиридаги қувват исрофи; $E_{\text{тес}} I_a$ — двигательнинг электромагнит қуввати.

$E_{\text{тес}} I_a$ ни ўзгармас ток машинасининг ЭЮК формуласидан аниқлаймиз:

$$E_{\text{тес}} I_a = \frac{pN}{60a} \cdot \Phi n I_a = \frac{pN}{60a} \cdot \Phi \frac{60\omega}{2\pi} I_a$$

ёки

$$E_{\text{тес}} I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a \omega, \quad (5-26)$$

бу ерда: $\frac{pN}{2\pi a} \cdot \Phi I_a = M$ — машинанинг айлантирувчи моменти.

Унда:

$$E_{\text{тес}} I_a = M\omega = P_{\text{эм}}, \quad (5-27)$$

бу ерда: $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ — якорьнинг айланма бурчак тезлиги; $P_{\text{эм}}$ — двигательнинг электромагнит қуввати

Демак, двигательнинг электромагнит қуввати унинг электр тармоғидан оладиган қувватининг механик қувватга айланадиган қисмидир. Энди (5-25) ифодасини қуйидагича ёзамиз:

$$UI_a = M\omega + I_a^2 \sum R. \quad (5-28)$$

Демак, двигательнинг нарузкаси ортганда, яъни унинг электромагнит қуввати ортганда, якорь занжирининг қуввати UI_a ҳам ортади; бунда двигательнинг тармоқдан оладиган қуввати ҳам ортади. Тармоқ кучланиши ўзгармас бўлгани учун ($U = \text{const}$) нарузка ортганда якорь токи I_a ҳам ортади.

Ўзгармас ток двигателлари ҳам қўзғатиш чулгамининг таъминланиш усулига қараб параллел қўзғатишли, мустақил қўзғатишли, кетма-кет қўзғатишли ва аралаш қўзғатишли двигателларга бўлинади. Ўзгармас ток двигателларининг уланиш схемаларида, албатта, махсус юргизиш реостати бўлиши керак.

119. Ўзгармас ток двигателининг моментлари тенгламаси

Двигатель ишлаганда ҳосил бўладиган электромагнит моменти M унинг якорини айлантиради; айланиш вал орқали иш бажарувчи механизмга узатилади. Двигателнинг иши давомида унинг валига айлангирувчи момент M , салт ишлаш моменти M_0 , фойдали момент M_2 ва динамик момент M_d таъсир қилади. Салт ишлаш моменти M_0 двигателнинг турли иш шароитларида доимо мавжуд бўлади ва подшипникларнинг ишқаланиши, чўткаларнинг коллекторда ишқаланиши ва умуман, механик, вентиляция ва магнит исрофлар сабабли ҳосил бўлади. M_0 нинг қиймати двигатель нагрузкасига боғлиқ бўлмайди ва унинг қиймати айлангирувчи номинал момент (M_n) нинг 2... 6% ни ташкил қилади.

Двигателнинг фойдали моменти M_2 механизмнинг хусусияти ва ишлаб чиқариш процесси характери билан аниқланади. Бу момент механизмнинг тормозловчи моментидир. Динамик момент M_d двигатель ва у ҳаракатга келтираётган механизмнинг айланувчи қисмлари тезлигининг ўзгариши натижасида ҳосил бўлади ва қуйидагича аниқланади:

$$M_d = \pm J \frac{d\omega}{dt}, \quad (5-29)$$

бу ерда: J —агрегатнинг айланувчи қисмларининг инерция моменти; ω —якорь айланишининг бурчак тезлиги.

M_0 ва M_2 моментларнинг йиғиндиси статик момент дейилади:

$$M_{ст} = M_0 + M_2.$$

Умуман, ўзгармас ток двигатели моментларининг тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$M = M_0 + M_2 \pm M_d. \quad (5-30)$$

Двигателда M_d мусбат ёки манфий бўлиши мумкин. Агар двигателнинг айланиш тезлиги кўпайса $+M_d$; агар унинг айланиш тезлиги камайса ($-M_d$) бўлади. Двигателнинг айлангирувчи моменти M статик момент $M_{ст}$ га тенг бўлса, яъни моментлар мувозанатлашса, двигателнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлади. Агар двигателнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлса $\frac{d\omega}{dt} = 0$ бўлади, бунда динамик момент $M_d = 0$ бўлади.

Демак, двигателнинг айлангирувчи моменти унинг валидаги статик моментга тенг бўлса ($M = M_{ст}$), двигатель ўзгармас тезлик билан турғун ишлар экан.

Двигателнинг айлантурувчи моменти унинг электромагнит қувватига пропорционал:

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega} = \frac{P_{эм}}{2\pi n/60} = \frac{60P_{эм}}{2\pi n} = 9,55 \frac{P_{эм}}{n}. \quad (\text{Нм}) \quad (5-31)$$

Фойдали момент M_2 двигателнинг фойдали қуввати P_2 га пропорционал:

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n}. \quad (\text{Нм}) \quad (5-32)$$

Ўзгармас ток двигателининг айланиш йўналишини ўзгартириш учун ё қўзғатиш чулғамида ток йўналишини ёки якорь токининг йўналишини ўзгартириш керак. Двигателни тармоққа улайдиган симлар ўрни алмаштирилса, иккала чулғамда ҳам токнинг йўналиши ўзгаради, лекин двигателнинг айланиш йўналиши ўзгармайди.

120. Ўзгармас ток двигателининг турғун ишлаши

Ўзгармас ток двигатели айланиш частотасининг айлантурувчи моментга боғланиши, яъни $n = f(M)$ двигателнинг механик характеристикаси дейилади. Двигателнинг механик характеристикаси $U = \text{const}$ ва $R_{кр} = \text{const}$ бўлганда текширилади.

Двигатель ЭЮК ининг асосий тенгламаси:

$$U = E_{тес} + I_a \sum R,$$

бу ерда: $E_{тес} = C_e n \Phi$ — двигателнинг тескари ЭЮК. Асосий тенгламага E_r нинг ифодасини қўйиб, двигателнинг айланиш частотасини аниқлаймиз:

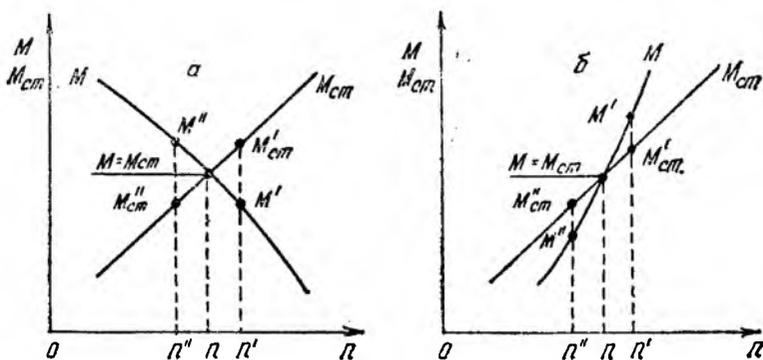
$$n = \frac{U - I_a \sum R}{C_e \Phi} \quad \text{ёки} \quad n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{I_a \sum R}{C_e \Phi}. \quad (5-33)$$

Бу формулага $I_a = \frac{M}{C_m \Phi}$ ни қўйиб:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{\sum R}{C_e C_m \Phi^2} \cdot M. \quad (5-34)$$

Демак, двигателнинг механик характеристикаси магнит оқимага, яъни қўзғатиш токига боғлиқ экан.

Олдин айтиб ўтилганидек, двигателнинг айлантурувчи моменти статик моментга тенг ($M = M_{ст}$) бўлганда, у турғун ва ўзгармас тезлик билан ишлайди. Двигателда айлантурувчи момент ва тормозловчи (статик) моментлар ўзаро мувозанатлашиш қонуни билан боғлангандир, двигателнинг турли иш шароитида бу моментлар ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналган бўлади. Двигателнинг турғун ишлаш шароитини яхши тушуниш учун двигателнинг $M = f(n)$ ва механизмнинг $M_{ст} = f(n)$ механик характеристикаларини чизамиз (258-расм, а). Механик характери-



258- расм.

каларнинг кесишган нуқтаси двигателнинг турғун ишлаш шароитини аниқлайди, чунки бу нуқтада $M = M_{ст}$. Агар двигателнинг айланиш частотаси n дан n' гача ошса, моментлар мувозанати бузилади. Бу шароитда статик момент $M'_{ст}$ двигателнинг айлантурувчи M' моментидан катта бўлади. Бу ортиқча тормозловчи момент таъсирида двигателнинг айланиш частотаси n гача камаяди ва моментлар ўз-ўзидан мувозанатлашади ($M = M_{ст}$). Агар двигателнинг тезлиги бирор сабаб натижасида n дан n'' гача камайса, айлантурувчи момент M'' нағрузка momenti $M''_{ст}$ дан катта бўлади ва двигатель якорининг тезланиши ортади, натижада айланиш частотаси яна n гача кўпаяди ва яна моментлар тенглашади. Демак, бу шароитда двигателнинг нормал ишлашига бирор куч таъсир этса, у турғун ишлайверади.

Агар $M = f(n)$ ва $M_{ст} = f(n)$ характеристикалари 258-расм, б да келтирилган эгри чизиқлар кўринишида бўлса, двигатель турғун ишлай олмайди. Агар двигателнинг айланиш частотаси n дан n' гача кўпайса, ортиқча айлантурувчи момент M' таъсирида двигателнинг тезлиги яна ҳам кўпаяди. Агар двигатель тезлиги n дан n'' гача камайса, $M'_{ст} > M''$ бўлади ва ортиқча нағрузка momenti $M''_{ст}$ таъсирида двигателнинг айланиш частотаси яна ҳам камаяди. Бу шароитда двигатель турғун ишлай олмайди.

Умуман, двигатель турғун ишлаши учун унинг айланиш частотаси ошганда айлантурувчи моментнинг ортиши нағрузка моментининг ортишидан кичикроқ бўлиши лозим, яъни:

$$\frac{dM}{dn} < \frac{dM_{ст}}{dn}. \quad (5-35)$$

Бунинг акси бўлса, двигатель турғун ишламайди. Демак, двигатель турғун ишлаши учун айланиш частотаси ошганда айлантурувчи момент камайиши лозим.

121. Ўзгармас ток двигателини юргизиш

Ўзгармас ток двигателининг якорь токи I_a ЭЮК формуласидан аниқланади:

$$I_a = \frac{U - E_{\text{тес}}}{\sum R}$$

Двигателни юргизишнинг бошланғич пайтида якорь токи ўзининг энг катта қийматига эришади. Чунки, юргизишнинг бошида якорь айланмайди ($n = 0$). Якорь чулғамида тескари ЭЮК ҳосил бўлмайди.

Агар ўзгармас ток двигатели электр тармоғига тўғридан-тўғри уланса, якорь чулғамидан жуда катта юргизиш токи ўта бошлайди. Юргизиш токи қуйидагича аниқланади:

$$I_{ю} = \frac{U}{\sum R}. \quad (5-36)$$

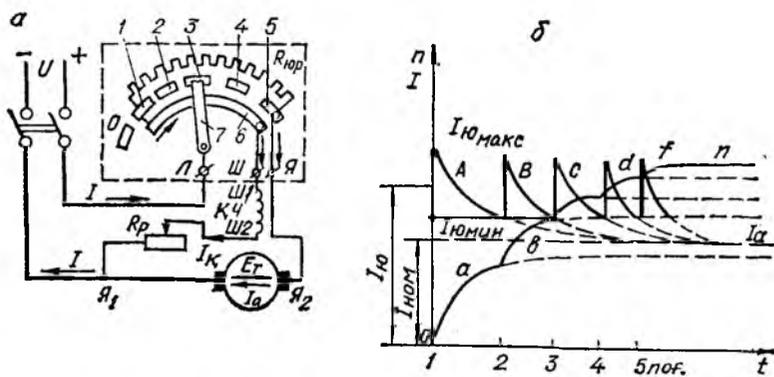
Якорнинг йиғинди қаршилиги $\sum R$ кичкина бўлгани учун юргизиш токи двигателнинг номинал токидан 10... 20 марта катта бўлади. Бу ток двигатель учун анча хавфли, унинг коллекторида айлана олов ҳосил қилади ва айлантирувчи момент катта бўлганлиги сабабли машина ишдан чиқиши мумкин. Бундай катта ток таъсирида электр тармоғи кучланишининг пасайиши ишлаб турган бошқа машиналарга ҳам ёмон таъсир қилади. Шунинг учун фақат кичик қувватли ўзгармас ток двигателлари (0,5 кВт гача) тўғридан-тўғри тармоққа улаб юргизилади. Чунки, бундай двигателларда якорь чулғамининг қаршилиги анча катта ҳамда айланувчи массаси анча кичик бўлгани учун юргизиш токи номинал токка нисбатан 3... 5 марта катта бўлади. Бундай ток двигатель учун унча хавфли эмас.

Катта қувватли двигателларнинг юргизиш токини камайтириш мақсадида якорь чулғамига кетма-кет махсус юргизиш реостати уланади (259-расм, а). Двигателни юргизишдан олдин юргизиш реостатининг тўла қаршилиги ($R_{\text{юр. макс}}$) якорь чулғамига уланиши керак.

Бунда юргизиш токи қуйидагича аниқланади:

$$I_{ю} = \frac{U}{\sum R + R_{\text{юр. макс}}}. \quad (5-37)$$

Двигатель юргизилгандан сўнг унинг тезлиги ортгани сари якорь чулғамида тескари ЭЮК катталашади, якорь токи эса камая боради. Юргизиш реостатининг қаршилиги секин-аста камайтириб борилади ва охирида у бутунлай якорь занжиридан узилиши керак. Бунда $R_{\text{юр}} = 0$ бўлади. Агар юргизиш реостатининг қаршилиги занжирда қолдирилса, бу қаршиликда энергия, ҳароф бўлиб двигателнинг фойдали қувватини анча камайтиради. Одатда, юргизиш реостатининг қаршилиги двигателнинг юр-



259-расм. Якорь занжирига юргизиш реостатининг уланиши (а) ва юргизиш процессида якорь токининг ва айланиш частотасининг вақт бирлигида ўзгариши, яъни $I_a = f(t)$ ва $n = f(t)$ боғланишлар (б):

1—5—иш контактлар, 6—мис пластинка, 7—ричаг.

гизиш токи унинг номинал токидан 2 ... 3 мартадан ошмайдиган қилиб танланади.

259-расм, а даги юргизиш реостати 6 босқичли; унда 1, 2, 3, 4 ва 5 контактлар—иш контактлардир; 0 контактда реостат уланмайди. Юргизиш реостати клеммалари Л, Ш ва Я билан белгиланади. Л қисма линияга; Ш қисма қўзғатиш чулғамига; Я қисма якорь чулғами клеммасига уланади. Реостат сургичи қўзғалмас контактларда ва контакт ёйи 6 да сурилади. Контакт ёйи орқали қўзғатиш чулғами тармоқ кучланишига уланади. Юргизишнинг дастлабки пайтида реостатнинг тўла қаршилиги якорь чулғамига уланган бўлади. Юргизиш реостати бўлаклари шундай ҳисобланадики, бунда юргизиш токи $I_{ю. мин}$ дан $I_{ю. макс}$ гача ўзгаради. 259-расм, б да двигатель юргизиш реостати ёрдамида юргизилганда унинг токи I_a ва айланиш частотаси n нинг ўзгариш графиги кўрсатилган. Бу графикда $I_{ю} = 0,5(I_{ю. мин} + I_{ю. макс})$ га тенг. Двигателнинг айланиш частотаси ошган сари юргизиш токи $I_{ю. мин}$ гача камайганда, реостат сургичи 2 контактга сурилади: бунда реостатнинг бир бўлаги занжирдан чиқарилади. Юргизиш токи ана $I_{ю. макс}$ гача катталашади; айланиш частотаси ν эгри чизиги бўйича ошиб боради; бунда ток В эгри чизиги бўйича камаяди. Шу усулда юргизиш реостатининг бўлаклари схемадан чиқарилади; охирида двигатель турғун ток I_a ва айланиш частотаси n билан ишлай бошлайди. Двигателни тўхтатишдан олдин юргизиш реостатининг сурмаси 0 контактга суриб қўйилади ва двигательни тармоққа уловчи рубильник узилади.

Двигателнинг айлантурувчи моменти магнит оқимига тўғри пропорционал, шунинг учун параллел ва аралаш қўзғатишди двигательларни юргизишда қўзғатиш занжирдаги реостат қаршилиги нолгача камайтирилиши зарур. Бунда машинанинг маг-

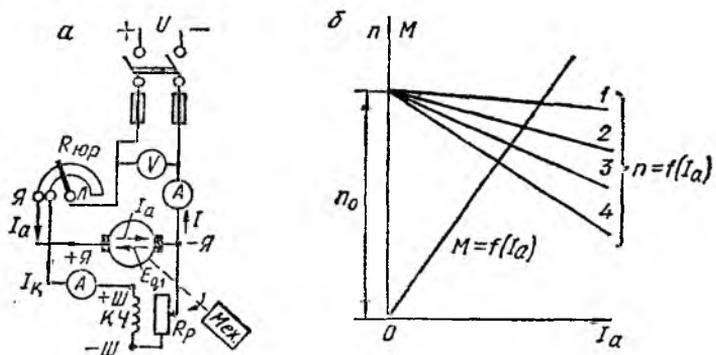
нит оқими энг катта қийматга эришади ва якорь токи кам бўлса ҳам двигатель зарур моментни ҳосил қила олади. Катта қувватли двигательларни юргизадиган юргизиш реостатлари қўпол ва тежамсиз. Шунинг учун катта қувватли двигательлар кучланишни пасайтириш усули билан юргизилади.

Катта қувватли двигательлар таъминловчи кучланишни секин-аста ошириб бориш йўли билан юргизилади. Бунинг учун кучланиш ростланадиган алоҳида ўзгармас ток манбаи бўлиши керак. Бу мақсадда ўзгармас ток генератори ёки бошқариладиган тўғрилагичлардан фойдаланилади. Бундай ўзгармас ток манбалари ўзгармас ток двигателининг айланиш тезлигини ростлашда ҳам ишлатилади.

122. Параллел қўзғатишли двигатель

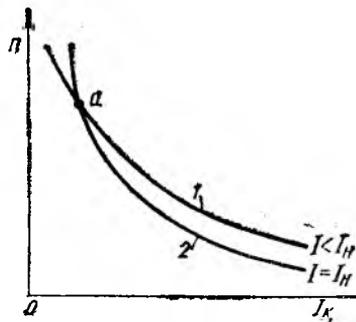
Параллел қўзғатишли двигательларнинг якорь ва қўзғатиш чулғамлари ўзаро параллел уланиб, кучланиш U бўлган электр тармоғига уланади. Юргизиш реостати якорь чулғамига кетма-кет уланади (260-расм, а). Юргизиш реостати сифатида 2,4 ва 6 босқичли реостатлар ишлатилади. Қўзғатиш токини ростлаш учун, қўзғатиш чулғамига кетма-кет ростловчи реостат R_p уланади. Параллел қўзғатишли двигательларда қўзғатиш токи I_k якорь токига боғлиқ бўлмайди. Агар якорь реакцияси эътиборга олинмаса, двигательнинг магнит оқими унинг нагрузкасига боғлиқ бўлмайди дейиш мумкин. Демак, $M = C_m \Phi I_a$ ва $n = \frac{U - I_a \sum R}{C_e \Phi}$ ифодалари асосида двигательнинг момент характеристикаси $M = f(I_a)$ ва тезлик характеристикаси $n = f(I_a)$ тўғри чиқиқли бўлади (260-расм, б).

Қўзғатиш занжиридаги реостат ёрдамида двигатель тезлигини ўзгартириш ҳам мумкин (5-33 ифода асосида). Қўзғатиш токи кўпайса, машинанинг магнит оқими ҳам кўпаяди, айланиш частотаси эса камаяди. Айланиш частотасининг қўзғатиш токига



260-расм. Параллел қўзғатишли двигатель схемаси (а) ва $M = f(I_a)$, $n = f(I_a)$ характеристикалари (б).

боғланиши двигателнинг ростлаш характеристикаси дейилади (261-расм). Бу характеристика $I = \text{const}$ ва $U = \text{const}$ бўлганда текширилади. Расмда якорь токининг икки қиймати учун ростлаш характеристикаси келтирилган. 2-эгри чизиқ 1-эгри чизиқнинг тагида жойлашган; чунки $I = I_n$ бўлганда двигатель айланиш частотасига якорь занжирида кучланиш пасайиши, якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирига қараганда кучлироқ таъсир қилади. Лекин кичик қўзғатиш токида бу эгри чизиқлар олдин кесишади (a нуқта), сўнгра 2-чизиқ 1-чизиқдан юқорида бўлади. Қўзғатиш токи кичкина бўлганда ва нагрзука токи $I = I_n$ бўлганда двигатель айланиш частотасига якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири якорь занжирида кучланиш пасайишидан кучлироқ таъсир қилади. Двигателда қўзғатиш токи кичик бўлса ёки қўзғатиш занжири узилиб қолса ($I_k = 0$), двигатель тезлиги ҳаддан ташқари ошиб кетади ва агрегатнинг механик мустақамлиги бузилади. Шунинг учун амалда қўзғатиш занжирига рубильник ва сақлагич қўйилмайди.



261-расм.

Двигателнинг сифатли ишлаши унинг иш характеристикалари билан аниқланади. Иш характеристикалари n , I_a , M , η двигателдан олинadиган фойдали қувват P_2 га боғланиши двигателнинг иш характеристикалари дейилади. Иш характеристикалари $U = \text{const}$ ва $I_k = \text{const}$ бўлганда текширилади.

Двигатель тезлигини фойдали қувватга (ёки якорь токига I_a) боғланиши $n = f(P_2)$ (5-32) формуладан аниқланади. Агар U ва I_k ўзгармас бўлса, двигатель айланиш частотасига якорь реакцияси ва якорь қаршилигида кучланиш пасайиши оз бўлса ҳам таъсир қилади. Нагрзука токи ошганда кучланиш пасайиши ортади, айланиш частотаси пасаяди. Бир вақтда якорь реакцияси магнит системасини магнитсизлантиради, яъни асосий қутблар магнит оқимининг камайишига олиб келади, демак, якорь реакцияси двигателнинг айланиш частотасини оширишга интилади. Шундай қилиб, юқорида келтирилган икки фактор якорьнинг айланиш частотасига қарама-қарши таъсир қилади. Қайси таъсир каттароқ бўлса, шу фактор устун келади. Натижада двигателнинг тезлиги фойдали қувват ортиши билан ё кўпайди ёки камайди (262-расмда, n' ва n чизиқлар). Параллел қўзғатишли двигателнинг ишлашда турғунлигини ошириш учун асосий қутбларга якорь чулғами билан кетма-кет уланадиган махсус стабилловчи чулғам ўрнатилади. Бунда нагрзука токи катталашганда стабилловчи чулғамнинг магнитловчи кучи якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини компенсациялайди. Натижада $n = f(P_2)$

боғланиш абсцисса ўқиға бир оз эгилган тўғри чизиққа яқин чизиқ кўринишида бўлади.

Номинал нагрукадан салт ишлашга ўтгунча айланиш частотасининг ўзгариши двигатель айланиш частотасининг номинал ўзгариши дейилади ва қуйидагича аниқланади:

$$\Delta n_n = \frac{n_0 - n_n}{n_n} 100\%,$$

бу ерда: n_0 —салт ишлашда айланиш частотаси. Параллел қўзғатишли двигательларда $\Delta n \% = 2 \dots 8\%$ бўлади (n_n дан). Тезлик характеристикаси анча „қаттиқ“ дейилади.

Фойдали моментнинг қувватга боғланиши (5-32) дан аниқланади. $n = \text{const}$ бўлса, $M_2 = f(P_2)$ боғланиш деярли тўғри чизиқ бўлади. Лекин нагрукка ортиши билан двигательнинг айланиш частотаси камаяди; шунинг учун бу боғланиш момент ўқи томонга оғган эгри чизиқ кўринишида бўлади (262-расм). Моментлар тенгламасига биноан, двигатель нагрукка билан турғун ишлаганда:

$$M = M_0 + M_2 = M_{\text{ст}} = C_m I_a \Phi.$$

Салт ишлаганда эса: $M = M_0 = C_m I_a \Phi$. Якорь токи ошганда магнит оқими якорь реакцияси таъсирида бир оз камаяди. Шунинг учун $M = f(P_2)$ характеристикаси ҳам моментлар ўқиға эгилган чизиқ кўринишида бўлади. Агар $\Phi = \text{const}$ бўлса, $M = C_m I_a \Phi$ асосида $I = I_a = f(P_2)$ эгри чизиқ $M = f(P_2)$ чизиқ билан устма-уст тушади.

Двигательнинг ФИК $\eta = f(P_2)$ боғланиш якорь токи $I = I_0$ дан $I = 0,25 \cdot I_n$ гача ошганда тез ўсади ва $I = 0,8 \cdot I_n$ бўлганда энг катта қийматга эришади; $I \approx 0,8 \cdot I_n$ дан $I = I_n$ гача деярли бир хил қолади. Двигательнинг ФИК катта бўлиши учун уни мумкин қадар тўла нагрукка билан ишлатиш керак. 262-расмда бундай

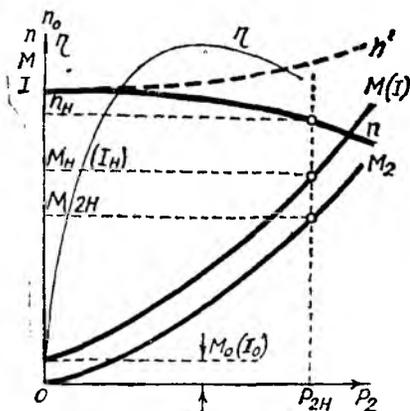
двигательнинг иш характеристикалари келтирилган.

Двигательнинг механик характеристикаси (5-34) формуладан аниқланади. Агар якорь занжирига қўшимча, масалан, юргизиш реостатининг қаршилиги $R_{\text{юр}}$ уланган бўлса:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{I_a (\sum R + R_{\text{юр}})}{C_e \Phi} = n_0 - \Delta n,$$

бу ерда: $n_0 = U / C_e \Phi$ —двигатель салт ишлагандаги айланиш частотаси;

$$\Delta n = \frac{I_a (\sum R + R_{\text{юр}})}{C_e \Phi}$$



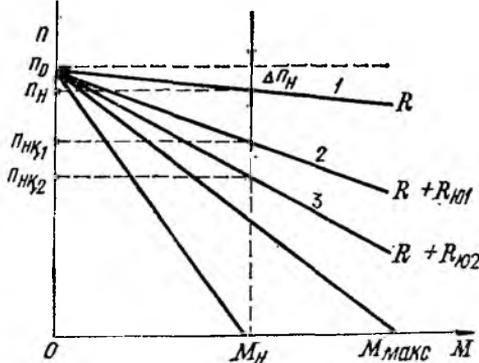
262- расм.

якорь занжиридаги ҳамма қаршиликларда кучланиш пасайиши натижасида тезликнинг камайиши.

Тезлик $n=f(I_a)$ ва механик $n=f(M)$ характеристикаларнинг абсцисса ўқи томон қанчалик оғишини ($\sum R + R_{юр}$) қаршиликлар йиғиндиси, яъни Δn қиймат аниқлайди. Агар якорь занжирида қўшимча қаршилик бўлмаса, бу характеристикалар „қаттиқ“ (табiiй) характеристикалар бўлади (260-расм, б ва 263-расм, 1-чизиқ). Чунки номинал нагрузкада якорь чулгамида кучланиш пасайиши ($I \sum R$) двигателнинг номинал кучланиши U_n нинг 3... 5% ини ташкил қилади. Якорь занжирига қўшимча юргизиш реостатининг қаршилиги киритилса, характеристикаларнинг абсцисса ўқи томон оғиш бурчаги катталашади ва шу асосда турли қаршиликларда 2, 3, 4 реостатли характеристикалар олинади; бунда қўшимча қаршилик $R_{ю1}$, $R_{ю2}$, $R_{ю3}$ бўлади. Қўшимча қаршилик қанча катта бўлса, двигателнинг характеристикаси шунча „юмшоқ“ бўлади (263-расм).

(5-33) формула асосида параллел қўзғатишли двигателнинг айланиш частотасининг қандай ўзгартирилишини кўриб чиқамиз; бунда айланиш частотаси: а) тармоқ кучланиши қийматини ўзгартириш; б) якорь занжири қаршиликларида кучланиш пасайиши $I_a(\sum R + R_{юр})$ ни ўзгартириш; в) магнит оқимини, яъни қўзғатиш токи I_k ни ўзгартириш йўли билан ўзгартирилиши мумкин.

Айланиш частотасини ўзгартиришнинг биринчи усули тармоқ кучланишини ўзгартиришга имкон берадиган махсус қурилмалар ёрдамида бажарилади. Айланиш частотаси U га тўғри пропорционал бўлади. Двигателнинг айланиш частотасини магнит оқимини (қўзғатиш токини) ўзгартириш йўли билан қандай ўзгартириши ҳақида олдин айтиб ўтганмиз (261-расм). Якорь занжирига қўшимча қаршилик киритилса, якорь токи камаяди бунда айлангирувчи момент ҳам айланиш частотаси ҳам камаяди. Бу двигатель тескари ЭЮК ининг камайишига сабаб бўлади; бунда ток ва момент яна катталашади. Айланиш частотасининг камайиши ва моментнинг катталашуви двигателнинг айлангирувчи моменти M статик момент $M_{ст}$ билан тенглашгунча давом этади. Агар нагрузка моменти ўзгармас бўлса, ($M_1 = M_2 = M_{ст}$) янги иш шароитида якорь токи олдингидек ($I_2 = I_1$) қолади (264-расм). Лекин ян-



263- расм.



264-расм. Якорь занжирига қўшимча қаршилик киритиб двигателнинг айланиш частотасини ростлаш процесси. Бунда: $R_{ю2} > R_{ю1}$; $n_2 < n_1$; $M_2 = M_1$; $I_2 = I_1$.

оқимининг қиймати нағрузка токига боғлиқ. Бундай двигателда $I = I_n$. Нағрузка токи кичкина бўлганда, яъни машинанинг магнит системаси ҳали тўйинмаганда:

$$\Phi = K \cdot I_a,$$

бу ерда: K —пропорционаллик коэффициенти. Якорь токи янада катталашганда магнит оқим Φ якорь токига қараганда секинроқ ўсади. Нағрузка токи $I > I_n$ бўлганда магнит оқими деярли $\Phi = \text{const}$ бўлади. Двигателнинг электромагнит momenti

$$M = C_m \Phi I_a = C'_m K I_a \cdot I_a = C'_m I_a^2.$$

Демак, двигателнинг айлантурувчи momenti нағрузка токининг квадратига тўғри пропорционал экан. Юргизишнинг бошланғич пайтида айлантурувчи момент қиймати катта бўлади. Шунинг учун ҳам бундай двигателлар катта нағрузка билан юргизишни мумкин. Кетма-кет қўзғатишли двигателлар транспортда, кўтарма кранларда ва умуман, юргизиш шароити оғир бўлган механизмларда кенг қўлланилади. Бундай двигатель ҳам юргизиш реостати ёрдамида юргизилади. Унинг айланиш частотаси қуйидагича аниқланади:

$$n = \frac{U - I_a (\sum R + R_{ю})}{C_e \cdot K I_a}.$$

Демак, двигателнинг айланиш частотаси нағрузка токига текари пропорционал экан. Нағрузка ортган сари магнит оқими ҳам ортади; айланиш частотаси эса камаяди. Двигатель кам нағрузка билан ишласа, унинг тезлиги катта бўлади. Шунинг учун кетма-кет қўзғатишли двигателларни номинал нағрузкага нисбатан 25% дан кам нағрузка билан юргизиш ва уларда тасмалли узатма ишлатиш асло мумкин эмас. Чунки тасма узилса, двигателнинг айланиш частотаси ҳаддан ташқари катталашиб кетади. Бундай двигателлар иш механизмларига муфта ёки тишли гилдираклар ёрдамида уланади. Двигателнинг нағрузкаси катталашганда унинг магнит системаси тўйинган бўлади. Бу шароитда

ги режимда $n_2 < n_1$ бўлади. Шунинг учун двигателнинг электар тармоғидан олаётган қуввати олдингидек бўлса ҳам, ундан олинган механик қувват камаяди. Бу қувватлар фарқи реостатда исроф бўлади, шунинг учун бу усул тежамсиздир.

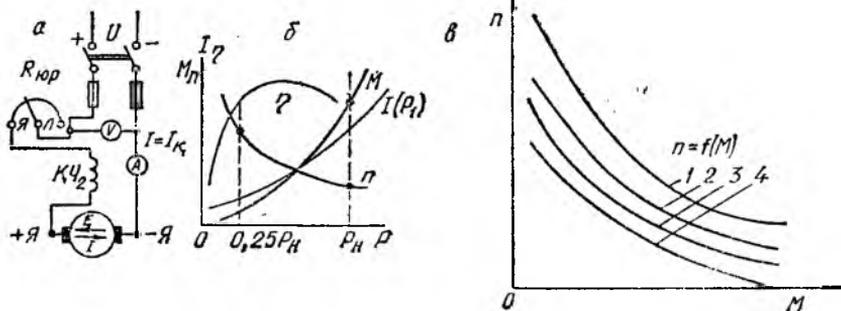
123. Кетма-кет қўзғатишли двигатель

Кетма-кет қўзғатишли двигателда қўзғатиш чулғами ($KЧ_2$) якорь чулғами билан кетма-кет уланади (265-расм. а); магнит

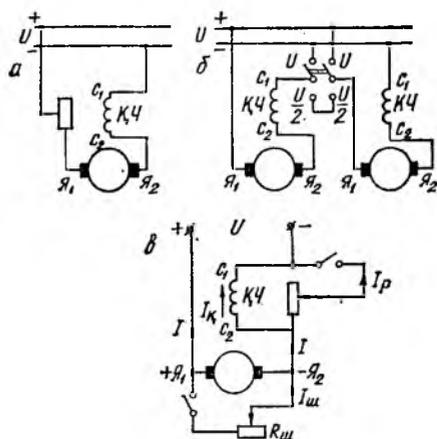
Магнит оқими нағрузка орғиши билан деярли ўзгармайди. Шунинг учун двигателнинг характеристикалари катта нағрузкада тўғри чизиқли бўлади. Тезлик характеристикаси нағрузка қийматига боғлиқ, яъни анча „юмшоқ“ бўлади. Двигателнинг айланиш частотаси айлантирувчи момент қийматига боғлиқ. Шунинг учун нағрузка моменти анча кенг диапазонда ўзгарганда двигателнинг фойдали қуввати P_2 ва демак, P_1 ва I ток параллел қўзғатишли двигателларга қараганда кичик чегарада ўзгаради. Кетма-кет қўзғатишли двигателлар ўта нағрузка билан ишлашга анча чидамли бўлади. Масалан, момент бўйича ўта нағрузкаланиш $\frac{M}{M_n} = K_m$ бўлса, параллел қўзғатишли двигателнинг токи K_m марта ортади; кетма-кет қўзғатишли двигателда ток фақат $\sqrt{K_m}$ марта ортади. Шу сабабдан, кетма-кет қўзғатишли двигателнинг юргизиш моменти катта бўлади. Чунки, агар $I_{ю}/I_n = K_i$ бўлса, кетма-кет қўзғатишли двигателнинг юргизиш моменти $M_{ю} = K_i^2 M_n$ бўлади, параллел қўзғатишли двигателда эса $M_{ю} = K_i M_n$ бўлади.

265-расм, б да двигателнинг иш характеристикаларидан $m = f(P_2)$ ва $n = f(P_2)$ боғланишлар келтирилган. Бундай двигателларда нағрузка орғиши билан фойдали қувват, айланиш частотасининг анчагина камайиши натижасида, айлантирувчи моментга қараганда камроқ ортади. Иш характеристикаси $\eta = f(I)$ боғланиш параллел қўзғатишли двигателники каби ўзгаради (265-расм, б). Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг механик характеристикалари (табiiй ва реостатли) анча „юмшоқ“ бўлиб, гиперболик характерга эга (265-расм, в). $I_a > I_n$ бўлганда двигателнинг механик характеристикаси деярли тўғри чизиқ бўлади. Якорь занжирига юргизиш реостатининг $R_{ю1}$, $R_{ю2}$ ва $R_{ю3}$ қаршиликларини киритиб, 1-табiiй характеристикадан ташқари, 2, 3 ва 4 реостатли характеристикаларни олиш мумкин; бунда $R_{ю}$ қаршилик қанча катта бўлса, характеристика шунча пастда бўлади.

Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг айланиш частотаси икки: а) кучланишни ўзгартириш; б) магнит оқимини ўзгартириш усули билан ўзгартирилиши мумкин.



265 -расм.



266- расм. Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг айғаниш частотасини рoстлаш усуллари.

Биринчи усулда якорь занжирига ростловчи реостат R_p кетма-кет уланади (266- расм, а). Реостатнинг қаршилиги катталашиши билан двигателга берилаетган кучланиш камаяди. Бунда унинг тезлиги камаяди. Бу усул кичик қувватли двигателларда қўлланилади; катта қувватли двигателларда ростловчи реостатда қувват исрофи кўп бўлгани учун тежамсиздир. Бир хил кетма-кет қўзғатишли двигателлар биргаликда ишлаганда уларнинг тезлиги, уларнинг бир-бирига нисбатан улаиши схемаларини ўзгартириб ростланади (266- расм, б). Улар параллел уланганда кучланишлари тармоқ кучланишига

тенг; кетма-кет уланганда эса тармоқ кучланишининг ярмига тенг бўлади. Тезликни бундай усулда ростлаш, масалан, электровозларда қўлланилади.

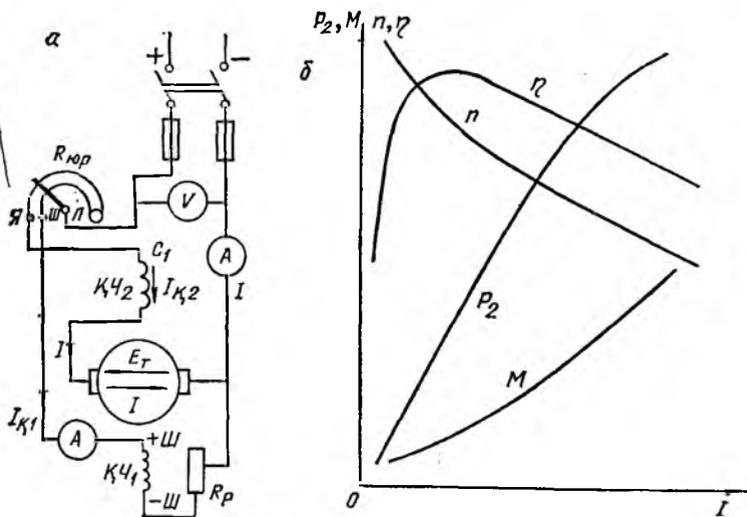
Двигатель тезлигини магнит оқимини ўзгартириш йўли билан ростлашда ростловчи реостат қўзғатиш чулғамига параллел уланади. (266- расм, в). Реостат қаршилиги R_p камайганда қўзғатиш токи камаяди, яъни $I_k = I - I_p$ бўлади; бунда двигатель тезлиги ортади. Ростлашнинг бу усулини баҳолашда ростлаш коэффициентини тушунчаси киритилади:

$$K_p = \frac{I_p}{I} 100 \%$$

Одатда, ростлаш реостатининг қаршилиги $K_p \geq 50 \%$ бўладиган қилиб танланади. Тезликни ростлаш учун якорь чулғамига ҳам ростловчи реостат $R_{ш}$ ни параллел улаш мумкин (266- расм, в). Бунда қўзғатиш токи камаяди, яъни $I_k = I + I_{ш}$ бўлади ва двигателнинг тезлиги камаяди. Бу усул ҳам тежамсиздир.

124. Аралаш қўзғатишли двигатель

Аралаш қўзғатишли двигателда иккита қўзғатиш чулғами бўлиб, биринчиси (ҚЧ₁) якорь чулғамига параллел; иккинчиси (ҚЧ₂) якорь чулғамига кетма-кет уланади (267- расм, а). Қўзғатиш чулғамларининг магнитловчи кучлари ҳар хил бўлиб, параллел уланганидан қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи катта бўлади; бу чулғам асосий қўзғатиш чулғами дейилади. Машинанинг магнит оқими иккала чулғам магнитловчи кучи томонидан ҳосил қилинади. Аралаш қўзғатишли двигателлар параллел ва кетма-кет



267- расм. Аралаш қўзғатишли двигателнинг схемаси (а) ва унинг иш характеристикалари (б).

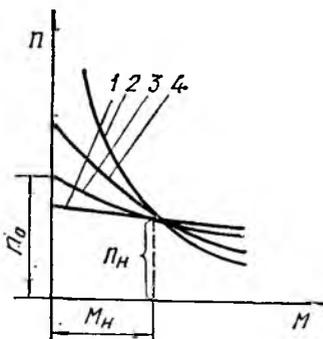
қўзғатишли двигателларнинг хусусиятларига эга. Бундай двигателнинг айланиш частотаси анча катта диапазонда ростланиши мумкин; двигатель анча катта айлантурувчи моментга эга бўлади. Аралаш қўзғатишли двигателнинг айланиш частотаси қуйидагича аниқланади:

$$n = \frac{U - I(R_a + R_k)}{C_e(\Phi_1 \pm \Phi_2)}, \quad (5-38)$$

бу ерда: Φ_1 ва Φ_2 — параллел ва кетма-кет қўзғатиш чулғамларининг магнит оқимлари; „+“ ишора чулғамларнинг тўғри кетма-кет уланишини; „-“ эса уларни тескари кетма-кет уланишини кўрсатади.

Чулғамлар тўғри кетма-кет уланганда уларнинг магнитловчи кучлари қўшилади. Бунда нагрузка орғиши билан магнит оқими катталашади (Φ_2 ҳисобига), бу двигатель айланиш частотасининг камайишига сабаб бўлади.

Агар қўзғатиш чулғамлари тескари кетма-кет уланса, Φ_2 магнит оқими нагрузка қиймати ортганда машина магнит системасини магнитсизлайди, бунда двигателнинг айланиш частотаси катталашади. Магнит оқими камайганда унинг айлантурувчи моменти ҳам камаяди. Чулғамлар тескари уланганда двигателни юргизиш-



268- расм.

да кетма-кет чулғамнинг магнит оқими Φ_2 йиғинди оқимни камайтириши сабабли юргизиш процесси мураккаблашади. Бундай ҳол бўлмаслиги учун юргизиш вақтида кетма-кет уландилган қўзғатиш чулғами қисқа туташтириб қўйилади. Аралаш қўзғатишчи двигателнинг иш характеристикалари параллел ва кетма-кет қўзғатишли двигателларнинг иш характеристикаларига яқин бўлади. Чулғамлар тўғри уланданда олинган иш характеристикалари 267-рasm, б да келтирилган. Бундай двигатель салт ишлай олади, параллел чулғамининг магнит оқими Φ_1 двигателнинг айланиш частотасининг ошиб кетишига йўл қўймайди. Двигателнинг айланиш частотаси параллел қўзғатиш чулғами занжирдаги рeостат R_p ёрдамида ўзгартирилади. Двигателнинг механик характеристикаси (268-рasm, 3 ва 4-эгри чизиқлар) параллел қўзғатишли (1-чизиқ) ва кетма-кет қўзғатишли (2-эгри чизиқ) двигателларнинг характеристикалари орасида жойлашади. Бундай двигателлар анча кагта айлантйрувчи момент талаб қиладиган ва нагрузка ўзгарганда айланиш частотасининг анча ўзгаришига йўл қўядиган механизмларда, масалан, компрессорлар, турли станоклар, кўтарма кранлар ва электртранспортларда кенг қўлланилади.

125. Ўзгармас ток машинасида қувват исрофи ва унинг фойдали иш коэффициентини

Электр машинаси генератор ёки двигатель сифатида ишлаганда унинг ўзида энергиянинг бир қисми исроф бўлади. Машинада электр исрофи, магнит исрофи ва механик исроф бўлади. Магнит ва механик исроф машинанинг нагрузкасига боғлиқ бўлмайди, улар доимий исрофни ташкил қилади.

Магнит исрофи. Машина магнит занжирининг қайта магнитланиши сабабли вужудга келадиган магнит исрофи гистерезис ва уярма токлар таъсирида сарфланадиган қувватдан (ёки энергиядан) иборат бўлади:

$$\Delta p_{\text{маг}} = \Delta p_{\text{гис}} + \Delta p_{\text{уюр}}.$$

Магнит исрофи қиймати магнит индукциясига ва пўлат ўзакнинг қайта магнитланиш частотасига боғлиқ. Қайта магнитланиш частотаси $f = n\omega/60$ билан аниқланади; у машинанинг нагрузкасига боғлиқ бўлмайди, лекин $n = \text{const}$ бўлганда уни ўзгармас деб ҳисоблаш мумкин. Гистерезис ҳодисасида бўладиган қувват исрофи:

$$\Delta p_{\text{гис}} = \sigma_r f B^2 \cdot 100.$$

билан аниқланади. Уярма токларда сарфланадиган қувват исрофи:

$$\Delta p_{\text{уюр}} = \sigma_y (f \cdot B/100)^2$$

билан аниқланади. Машинанинг пўлат қисмларидаги умумий қувват исрофи:

$$\Delta p_{\text{пўл}} = \Delta p_{\text{маг}} = \Delta p_{\text{гис}} + \Delta p_{\text{уюр}}.$$

Механик исроф. Подшипникларнинг ишқаланиши, чўткаларнинг коллекторда ишқаланиши, якорнинг ҳавога ишқаланиши, вентиляцияга ва бошқаларга ҳам қувват исроф бўлади. Механик исроф қиймати якорнинг айланиш частотасига боғлиқ. Қуввати 100 кВт гача бўлган ўзгармас ток машиналарида механик исроф номинал қувватнинг 2 ... 4 % ини ташкил қилади. Магнит ва механик исроф йиғиндиси машинанинг салт ишлаш қувватига тенг:

$$P_0 = \Delta p_{\text{пўл}} + \Delta p_{\text{мех}}$$

Двигатель салт ишлаганда унинг тармоқдан оладиган умумий қуввати: $P_{\text{салт}} = P_0 + U_{\text{к}} I_{\text{к}}$ билан аниқланади. Бунда: $U_{\text{к}}$ — қўзғатиш чулғамининг кучланиши; $I_{\text{к}}$ — қўзғатиш токи. Машина салт ишлаганда сарфланадиган қувват (қўзғатиш занжиридан ташқари) тажриба ўтказиш йўли билан аниқланади:

$$P_0 = P_{\text{салт}} - U_{\text{к}} I_{\text{к}}$$

Электр исрофи. Якорь ва қўзғатиш чулғамларидан ток ўтганда қувватнинг бир қисми иссиқликка айланади. Машинада якорь токи қўзғатиш токига қараганда анча катта. Якорь токи нагрузка ўзгаришига қараб ўзгариб туради. Машина хилига қараб электр исрофи турлича аниқланади:

а) параллел қўзғатишли машина учун:

$$\Delta p_{\text{элп}} = I_a^2 R_a + I_{\text{к}}^2 R_{\text{к}}$$

б) кетма-кет қўзғатишли машина учун: $\Delta p_{\text{элк}} = I_a^2 (R_a + R_{\text{к}})$,

в) аралаш қўзғатишли машина учун: $\Delta p_{\text{элар}} = I_a^2 (R_a + R_{\text{к}}) + I_{\text{к}} U$.

Чулғамлар қаршилиги температурага боғлиқ бўлади. Шунинг учун ГОСТ 2532—72 асосида чулғамларда электр исрофи чулғам изоляцияси ҳисобланадиган температурада аниқланади. Масалан, изоляциянинг А класси учун -75°C ; Е ва В класси учун 115°C ; ва Н класси учун 130°C . Агар чулғам қаршилиги совуқ ҳолда ўлчанган бўлса, уларнинг қаршилиги 75°C иш температураси қаршилигига қуйидагича келтирилади:

$$R_{75^\circ} = R_{\theta} [1 + \alpha(75^\circ - \theta)],$$

бу ерда: R_{75} — 75°C да чулғам қаршилиги; R_{θ} — θ° да чулғам қаршилиги; α — қаршилиқнинг температура коэффициенти (мис учун = 0,004 1/град); θ° — чулғам қаршилиги ўлчанган пайтдаги температура.

Машина ишлаганда чўтка контактида ҳам қувват исроф бўлади. Турли қутбли иккита чўтка учун қувват исрофи:

$$\Delta p_{\text{ч}} = U_{\text{ч}} \cdot I_{\text{а}}$$

бу ерда: $\Delta U_{\text{ч}}$ — чўткаларда ўткинчи кучланиш пасайиши; бу кучланиш пасайиши чўтка хилига боғлиқ бўлиб, кўмир ва графит чўткалар учун 2 В; металлграфит чўткалар учун 0,6 В га тенг.

Қўшимча исрофлар. Қўшимча исрофларни аниқ ҳисоблаш анча қийин. Пулат ўзакда магнит индукциясининг нотўғри тақсимланиши, якорь ўзаги тишларида магнит оқимининг пульсланиши, якорь айланганда қутб бошмоқлари учида ва бошқаларда қувват исроф бўлади. Қўшимча исрофлар компенсацион чулғамсиз машиналарда фойдали қувватнинг 1% га; компенсацион чулғамли машиналарда 0,5% га тенг қилиб олинади.

Машинанинг фойдали иш коэффициенти. Ўзгармас ток генераторининг якори қандайдир бирламчи двигатель ёрдамида айлантирилади ва у бирламчи двигательдан $P_1 = M\omega$ механик қувват олади. Бу қувватнинг бир қисми исроф бўлаган қувват сифатида сарфланади. Қолган қисми, яъни фойдали қувват $P_2 = U_n I_n$ истеъмолчиларга узатилади.

Машина двигатель сифатида ишлаганда у тармоқдан $P_1 = U_n I_n$ қувват олади, бу қувватнинг бир қисми исроф бўлади. Қолган қисми фойдали қувват сифатида $P_2 = M\omega$ механизмга узатилади.

Машина фойдали қуввати P_2 нинг унга бериладиган қувват P_1 га нисбати фойдали иш коэффициенти дейилади:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Машинада йиғинди қувват исрофи қуйидагича аниқланади:

$$\sum \Delta p = \Delta p_{\text{пул}} + \Delta p_{\text{эл}} + \Delta p_{\text{ч}} + \Delta p_{\text{кўз}} + \Delta p_{\text{мех}} + \Delta p_{\text{қўш}}$$

Унда генераторнинг фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI}{UI + \sum \Delta p} \quad (5-39)$$

Двигателнинг фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI - \sum \Delta p}{UI} \quad (5-40)$$

Машинанинг фойдали иш коэффициенти йиғинди исроф қувват қийматига, бу эса нагрузка қийматига боғлиқ. Салт ишлаганда $\eta = 0$. Нагрузка қиймати ошиб борганда η тез ортиб боради ва қиймати ўзгармас қувват исрофи қиймати ўзгарувчан қувват исрофига тенг бўлиб, машинанинг қуввати $0,8 \cdot P_n$ бўлганда энг катта қийматга эришади. Машина ўта нагрузка билан ишлаганда якорь занжирида қувват исрофи кўпайиши сабабли η камаяди (269-расм).

Қуввати 10 кВт гача бўлган машиналарда ФИК $\eta = 0,83 \dots 0,87$; 100 кВт гача бўлган машиналарда $\eta = 0,88 \dots 0,93$; 1000 кВт гача бўлган машиналарда $\eta = 0,92 \dots 0,96$. Кичик қувватли (10 Вт) микромашиналарнинг ФИК $0,3 \dots 0,4$ бўлади.

Мамлакатимизда ўзгармас ток машиналари II ягона серияда ишлаб чиқарилади, булар халқ хўжалигининг турли соҳаларида қўлланилади. Бундан ташқари, ўзгармас ток машиналарини махсус соҳалар: транспорт, кўтарма кранлар, автомобиллар, кемалар,

самолётлар, автоматик ростлаш системаларида ишлатиш учун махсус сериядаги машиналар ишлаб чиқарилади. Умум саноат соҳаларида қўлланиладиган генераторлар параллел ёки аралаш қўзғатишли генераторлар бўлади. Уларнинг ташқи характеристикаси қаттиқ.

Пягона сериясида ишлаб чиқариладиган машиналар уч гурпуга бўлинади:

қувватлари 0,3 дан 200 кВт гача бўлган машиналар (1 ... 11 габаритлар);

қувватлари 200 дан 1400 кВт гача бўлган машиналар (12 ... 17 габаритлар);

қувватлари 1400 кВт дан катта бўлган машиналар (18 ... 26 габаритлар).

Машинанинг габарит номери якори диаметрининг ўлчамини ифодалайди. Ҳар бир габаритла якори ўзагининг узунлиги икки хил бўлади. Масалан, машина П81 бўлса — П сериядаги, 8 габаритли, якори ўзагининг узунлиги қисқароқ машина; охириги рақам 2 бўлса, якори узунроқ машина бўлади.

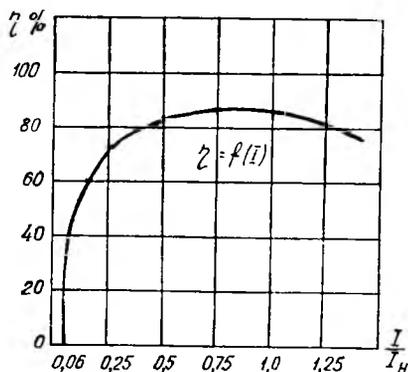
Ўзгармас ток двигателининг кучланиши 110 ёки 220 В; генераторларининг кучланиши 115 ёки 230 В бўлади. Аккумуляторларни зарядлайдиган генераторларнинг номинал кучланиши 135 ва 270 В. Уларда кучланиш 110 ... 160 В ва 220 ... 320 В чегарада ростланиши мумкин. Генераторларнинг айланиш частотаси 1450 ва 2850 айл/мин; двигателларнинг номинал айланиш частотаси 600, 750, 1000, 1500 ва 3000 айл/мин.

12 ... 17 габаритли двигателларнинг кучланиши 220, 330, 440 ва 660 В, айланиш частотаси 300, 400 ва 500 айл/мин. Генераторларнинг номинал кучланиши 230, 330, 460 ва 660 В, айланиш частотаси 1000 айл/мин бўлади.

XXV БОБ. МАХСУС ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИ

126. Электр машина — кучайтиргич

Генератор сифатида ишлайдиган ва электр сигналларини кучайтирувчи машиналар электр машина кучайтиргичлари дейилади. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори энг оддий электр машина кучайтиргичи (ЭМК) дир. Бундай генератордан олинладиган кучланиш қиймати қўзғатиш токи қиймати-га боғлиқ, демак, кам қувватли қўзғатиш занжирининг токини ўзгартириб катта қувватли якори занжирининг қуввати бошқарилади. Бундай кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициентини кичик бўлгани учун амалда кам ишлатилади.



269- расм.

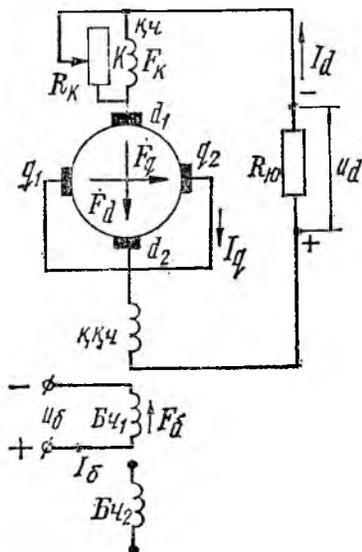
Кучайтиргичнинг чиқишидан олинadиган қувватнинг унинг киришига берилadиган қувватга нисбати кучайтириш коэффициенти дейилади. Автоматика қурилмаларида кўндаланг магнит майдонини кучайтирувчи электр машина кучайтиргичлари кенг ишлатилади. Бундай кучайтиргичнинг асосий магнит оқими якори токи оқими — якори реакциясининг кўндаланг ўқ бўйича йўналган оқими ҳисобланади. ЭМК коллекторида икки жуфт чўтка ўрнатилади: биринчи q_1, q_2 (270-расм) жуфт чўткалар асосий қўтбларга нисбатан кўндаланг, яъни геометрик нейтралда; иккинчи d_1, d_2 жуфти эса асосий қўтблар ўқи бўйича ўтадиган чизикда ўрнатилади. q_1, q_2 чўткалар қисқа туташтирилган, d_1, d_2 чўткаларга ЭМК нинг иш занжири уланади. Кучайтиргичда якори чулғамидан ташқари бир ёки бир нечта бошқариш чулғамлари (b_1, b_2), компенсациялаш чулғами K ва қўшимча қўтблар чулғами K_1, K_2 бўлади. Кучайтиргичнинг якори электр двигатель ёрдамида айлантирилади.

Агар кучайтиргичнинг бошқариш чулғамларидан бирига U_6 кучланиш берилса, шу чулғамда бошқариш токи i_6 ҳосил бўлади. Бу ток бошқариш чулғамининг магнитловчи кучи $F_6 = i_6 \psi_6$ ни, бу магнитловчи куч эса Φ_6 магнит оқимини ҳосил қилади. Φ_6 магнит оқими q_1, q_2 чўткалар занжирида E_q ЭЮК ни ҳосил қилади. E_q ЭЮК нинг қиймати кичкина бўлса ҳам, чўткалар қисқа туташгани учун бу занжирда анча катта I_q ток ҳосил бўлади. I_q ток якори чулғамида F_q магнитловчи кучни, F_q эса асосий магнит қўтблари ўқига нисбатан кўндаланг йўналган, фазода қўзғалмас Φ_q магнит оқимини ҳосил қилади. Қўзғалмас магнит оқими Φ_q майдонда айланаётган якори чулғамида E_d ЭЮК ҳосил бўлади.

E_d ЭЮК бўйлама чўткалар d_1, d_2 дан олинади. Агар ЭМК чиқиш занжирига нагрузка қаршилиги R_n уланса, E_d ЭЮК d_1, d_2 чўткалар занжирида I_d иш токни ҳосил қилади.

Шундай қилиб, бошқариш занжирининг кичик қуввати аввал „бошқариш занжири — кўндаланг занжир“ сўнгра „кўндаланг занжир — бўйлама (иш) занжир“ босқичларида кучайтирилади. Ҳар бир босқичда қувватнинг қанча кучайтирилганлиги кучайтириш коэффициенти билан характерланади. „Бошқариш занжири — кўндаланг занжир“ босқичида кучайтириш коэффициенти кўндаланг занжир қуввати $P_q = E_q I_q$ нинг бошқариш занжири қувватига $P_6 = U_6 I_6$ нисбати билан аниқланади:

$$K_{к1} = \frac{P_q}{P_6}$$



270-расм.

Шунингдек, „кўндаланг занжир — иш занжири“ босқичида кучайтириш коэффициенти:

$$K_{k2} = \frac{P_d}{P_q}$$

билан аниқланади. Бу ерда: $P_d = U_d I_d$ — иш занжири, яъни чўткалар занжирининг қуввати.

Кучайтиргичнинг умумий кучайтириш коэффициенти:

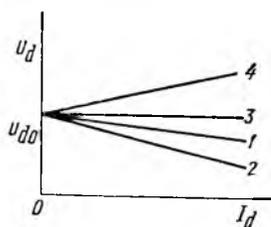
$$K_k = K_{k1} \cdot K_{k2} = \frac{P_d}{P_6} \quad (5.46)$$

ЭМК ларнинг кучайтириш коэффициенти 2000 ... 20000 гача бўлиши мумкин.

Кучайтиргичдан олинадиган қувват (P_d) бирламчи двигателнинг ўзгартирилган механик қувватидир. 20 кВт ва ундан катта бўлган қувват бошқариш занжирининг 0,1 ... 1 Вт га тенг қуввати билан бошқарилади. Кучайтиргичда бир нечта бошқариш чулғамининг бўлиши ундан олинаётган қувватни бир вақтнинг ўзида бир неча сигналлар билан бошқариш имконини беради: бунда тўғри ва тескари алоқалардан фойдаланилади.

Қўшимча қўтблар чулғами бўйлама чўткаларда коммутацияни яхшилаш учун хизмат қилади. Компенсацион чулғам бўйлама ўқ бўйича якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини йўқотлади. Гап шундаки, ЭМК нинг иш занжиридаги нагрузка токи I_d якорнинг бўйлама ўқи бўйича йўналган ва бошқариш чулғами магнитловчи кучи F_6 га қарши йўналган магнитловчи куч F_d ни ҳосил қилади. Бошқариш чулғамининг магнитловчи кучи F_6 анча кичик. Шунинг учун, ҳатто нагрузка унча катта бўлмаганда ҳам кўндаланг ўқ бўйича йўналган якорь реакциясининг магнитсизлаш таъсири анча катта бўлади. Нагижада кучайтиргич магнитсизланади ва унинг чиқиш клеммаларида кучланиш нолгача пасайиб кетади. Бундай ҳодиса рўй бермаслиги учун якорь занжирга компенсацион чулғам кетма-кет уланади. Иш занжирида I_d ток ҳосил бўлиши билан компенсацион чулғамда F_k магнитловчи куч ҳосил бўлади. F_k магнитловчи куч бўйлама ўқ бўйича якорь реакцияси магнитловчи кучи F_d га қарши йўналган. Шундай қилиб, бўйлама ўқ бўйича якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири йўқотилади. Магнитсизловчи таъсирни тўла йўқотиш учун F_k ва F_d магнитловчи кучлар тенг бўлиши лозим. Улар тенг бўлмаса: яъни $F_k > F_d$ ёки $F_k < F_d$ бўлса, бошқариш чулғами магнит оқими Φ_6 га ва демак, ЭМК ишига катта таъсир қилади. Компенсацион чулғамни аниқ ҳисоблаш анча қийин. Шунинг учун ЭМК созланаётганда F_k магнитловчи кучнинг қиймати компенсацион чулғамга параллел уланган R_k реостат ёрдамида аниқ ростланади.

Автоматик бошқариш ва ростлаш схемаларида ЭМУ серияли ЭМК лар кўп ишлатилади. Бундай кучайтиргичлар бирламчи двигатель билан бир корпусда ёки алоҳида машина сифатида ишлаб чиқарилади. Кучайтиргичнинг якори калава чулғамли оддий ўз-



271- расм.

гармас ток машинасининг якори кабилдир. ЭМУ-12П маркали кучайтиргичда параллел қўзғатишли ўзгармас ток двигатели; ЭМУ-12А маркали кучайтиргичда уч фазали асинхрон двигатель қўлланилади.

ЭМК нинг сифати унинг ташқи характеристикаси билан, яъни $U_d = f(I_d)$ боғланиш билан аниқланади. Текширилганда $n = \text{const}$ ва $i_6 = \text{const}$ бўлиши лозим. Кучайтиргичдан олинadиган кучланиш нагрузка токи билан қуйидагича боғланган:

$$U_d = E_d - I_d \sum R,$$

бу ерда: $\sum R$ — якорь чулғами қаршилиги (R_a), қўшимча қутб чулғами қаршилиги (R_k), компенсацион чулғам (R_k) чўтка контакти қаршиликлари (R_q) йиғиндисидан иборат якорь бўйлама занжирининг қаршилиги. Магнит занжири тўйинмаган ҳолда ишлагани учун кучайтиргичнинг ташқи характеристикаси тўғри чизиқ кўринишида бўлади (271- расм). Ташқи характеристиканинг абсцисса ўқи томон оғиши (қаттиқлиги) якорь реакциясининг қанчалик компенсацияланишига боғлиқ. Тўла компенсацияланганда характеристика анча қаттиқ бўлади (1- эгри чизиқ). Бунда I_d ток ортиши билан якорь занжирида кучланиш пасайиши $I_d \sum R$ нинг ортиши натижасида кучланиш бир оз камаяди. Агар $F_k < F_d$ бўлса, ташқи характеристика катталиги камаяди (2- чизиқ). Бунда I_d ток ортиши билан F_d магнитловчи куч кўпаяди ва бошқариш чулғами магнит оқимини анча камайтиради. Натижада кучланиш кўпроқ камаяди.

Агар F_k магнитловчи куч F_d дан озгина катта бўлса, унда F_k магнитловчи куч фақат кўндаланг ўқ бўйича йўналган якорь реакциясини эмас, балки кучланиш пасайиши $I_d \sum R$ ни ҳам компенсациялайди; бунда характеристика абсолют қаттиқ бўлади (3- эгри чизиқ). Бунда ЭМК нинг чиқиш клеммаларидан олинadиган кучланиш нагрузка ўзгаришининг бутун диапазонида бир хилда қолади.

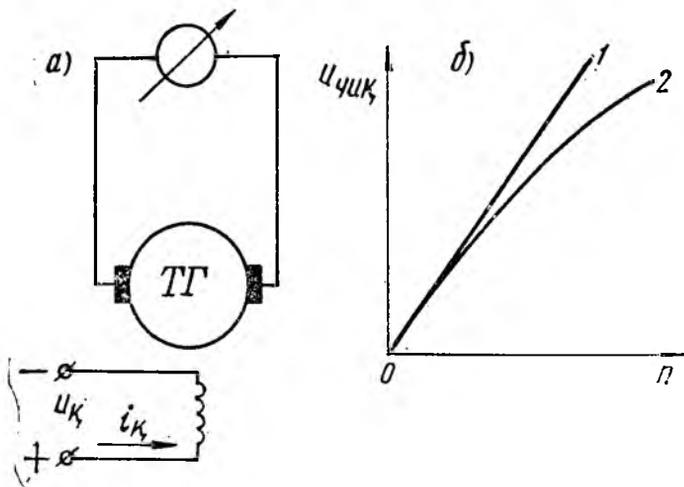
Агар F_k янада каттарoқ бўлса, у F_d ни тўла компенсациялайди ва бўйлама йўналган қўшимча оқим ҳосил қилади. Қўшимча оқим бошқариш чулғам оқими билан қўшилиб E_d ЭЮК ни оширади ва ташқи характеристика 4-чизиқ кўринишида бўлади. Ута компенсацияланган шароитда кучайтиргич турғун ишлай олмайди; бунда ЭМК да ўз-ўзидан қўзғалиш хавфи туғилади. Кучланишнинг ортиши нагрузка токининг ортишига, бу эса кучланишнинг янада ортишига олиб келади.

Одатда, кучайтиргичнинг токи номинал қийматдан нолгача камайганда унинг кучланиши 12 ... 20 % ортадиган қилиб созилади. ЭМК нинг бошқариш чулғами кучланишнинг ҳар қандай ўзгаришини сезиш хусусиятига эга; унинг инерционлиги кичик. Электр занжирида ўткинчи процессларни характерлайдиган вақт

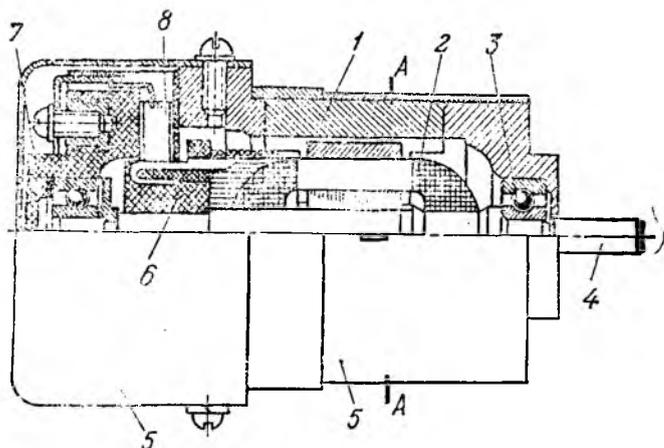
доимийси τ шу занжирнинг индуктивлиги L га тўғри пропорционал, актив қаршилигига эса тескари пропорционал яъни, $\tau = \frac{L}{R}$. ЭМК нинг тез ишга тушишига эришиш учун бошқариш чулғами қисман бифилляр (қўш сим) усулида ўралади. Бунда чулғамнинг индуктивлиги камайиб, актив қаршилиги кўпаяди.

127. Ўзгармас ток тахогенератори

Тахогенератор механизмнинг айланиш тезлигини, шу тезликка пропорционал бўлган электр сигналига айлантирувчи генератор бўлиб ишлайдиган микромашинадир. Автоматика қурилмаларида тахогенератор айланиш тезлигини ўлчаш учун хизмат қилади. Амалла мустақил кўзгатишли (272-расм, а) ва доимий магнитли тахогенераторлар кенг ишлатилади. Агар $I_k = \text{const}$ бўлса, машининг магнит оқими Φ унинг нагруккасига боғлиқ бўлмайди, доимий магнитли тахогенератордан олиннадиган ЭЮК E_t айланиш частотасига тўғри пропорционал бўлади: $E_t = C_e \Phi n$. Агар $C_e' = C_e \Phi = \text{const}$ бўлса, $E_t = C_e' n$ бўлади. Тезликни ўлчашда тахогенератор вали механизм вали билан бирлаштирилади. Тахогенератор клеммаларига шкаласи айланиш частотаси ўлчов бирлигида даражаланган ўлчов прибори уланади. Тахогенератор ёрдамида ўлчанадиган энг катта тезлик тахминан 10 000 айл/мин гача бо ради. Тахогенераторнинг ишлашдаги аниқлиги унинг чиқиш характеристикаси, яъни $U = f(n)$ боғланиш билан аниқланади (272-расм, б). Характеристиканинг тўғри чизиқли қисмида тахогенератор аниқ ишлайди (1-чизиқ). Кўпинча бу характеристика тахогенераторда эгри чизиқ кўринишида бўлади (2-чизиқ). Бунинг сабаби якорь реакцияси ва чўтка контактларида кучланиш пасайи-



272-расм.



273-расм. ТГП-2 маркали тахогенераторнинг тузилиши:

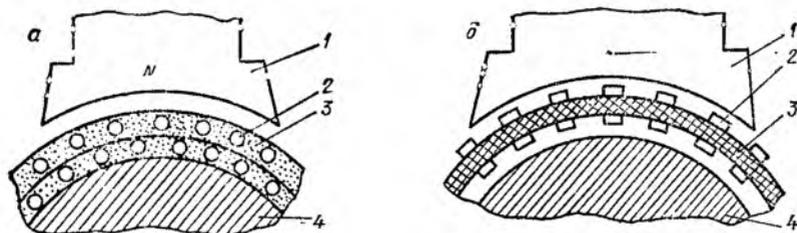
1—корпус қутблари билан, 2—якорь, 3—подшипник, 4—вал, 5—кожух, 6—коллектор, 7—подшипник ычати, 8—чутка.

шининг таъсирidir. Ички қаршилиги катга бўлган ўлчов приборидан фойдаланиб характеристиканинг эгрилиги камайтиради. Характеристикани текширишда нагрузка қиймати ўзгармас бўлиши керак. Ҳозирги вақтда тахогенераторлар СЛ, ТД, ТГ серияларда: доимий магнитлилари ТГП серияда ишлаб чиқарилмоқда. 273-расмда ТГП-2 маркали тахогенераторнинг тузилиши кўрсатилган.

128. Пазсиз якорли ўзгармас ток машинаси

Бундай машиналарда якорь чулғами якорь танасининг текис сиртига жойлаштирилади (274-расм, а). Якорь чулғами бир ёки икки қаватли қилиб тайёрланади ва устидан ферромагнит тўлдиргичли эпексид смоласи қуйилади. Чулғамнинг ҳар бир қавати ойна-ленга билан тортиб маҳкамланади. Якорда пазларнинг бўлмаслиги ҳаво оралиғида магнит индукциясини оширади, чулғамнинг индуктивлигини камайтиради, коммутацияланаётган бўлакда реактив ЭЮК ни камайтиради; асосий магнит оқимининг пульсланиши йўқолади. Машинанинг магнит занжирида магнитмас қисмининг нисбаган катга бўлиши якорь реакциясининг таъсирини камайтиради. Текис якорли двигателларнинг характеристикаси тўғри чиқиқли ва турғун бўлади. Двигателнинг инерция моменти кичик. Бундай двигателларда моментнинг якорь токига боғланиши ҳатто машина ўта нагрузка билан ишлаганда ҳам тўғри чиқиқли бўлади.

Якорь чулғамининг ўзак сиртига чиқарилиши магнитмас оралиқни катгалаштиради. Бу оралиқда лозим бўлган магнит индукциясини ҳосил қилиш учун қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи катга бўлиши лозим. Бунда қўзғатиш чулғами кўп жойни



274-расм. Пазсиз якорли двигателнинг тузилиши (а) ва босма якорли двигател (б):

1—магнит кутби, 2—якорь чулғами симлари, 3—изоляция материали, 4—якорь пўлат ўзаги

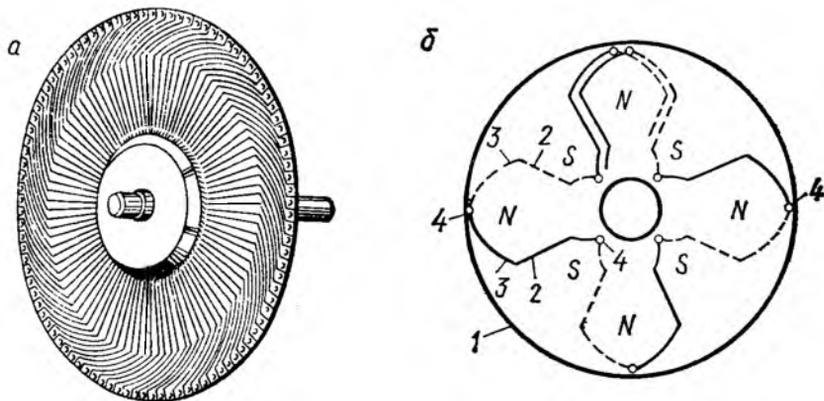
олади ва машинанинг оғирлиги ошади. Ҳозир бундай двигателларнинг қуввати бир неча кВт гача боради.

Умуман, автоматик бошқариш ва ростлаш системаларида электр сигналларини механик ҳаракатга айлантирувчи двигателлар ижро двигателлари дейилади. Босма якорли ижро двигателларида якорнинг магнит ўтказгичи 2 қўзғалмас, ротори изоляция материалдан тайёрланган ичи бўш цилиндр 3 кўринишида: цилиндрининг ички ва ташқи сиртларига якорь чулғамининг симлари 1 ётқизилган (274-расм, б). Бундай двигателнинг тезлиги катта хусусиятлари сирти текис якорли двигателликига ўхшаш.

Босма якорли двигателларда якорь чулғамининг симлари полиграфия саноатида қўлланиладиган фотохимиявий усулда тайёрланади. Коллекторнинг тузилиши оддий двигателлардаги каби. Савитиш шароити яхши бўлгани учун якорь симларида ток зичлиги 30 ... 40 А/мм² гача бориши мумкин.

Диск шаклидаги босма якорли двигателларда дисkning иккала томонига якорь чулғами босиш усулида босилади (275-расм). Бундай двигателнинг ишлаш принципи цилиндрик якорли двигателнинг ишлаш принципи кабилар. Двигател тармоққа уланганда якорь чулғами токининг доимий магнитлар майдони билан ўзаро таъсири натижасида якорга айлантирувчи момент таъсир қилади. Доимий кутблар бошмоғи якорнинг пластмасса дискининг бир томонига қаратилган. Дисkning бошқа томонида ферромагнит материалдан ҳалқа жойлашган; бу ҳалқа якорь ўзаги вазифасини бажаради. Якорь чулғами дисkning икки томонига мис фольгани кислота билан ишлаб ҳосил қилинади. Актив томонлар дискдаги тешик орқали бир-бири билан уланади; чулғам бўлаклари бир ўрамли. Баъзан кўп дискали роторлар ҳам қўлланилади. Босма якорли двигателда коммутация вақтида учқун чиқмайди, чунки чулғам бўлақларининг индуктивлиги кичик; уларда реактив ЭЮК ҳам кичик бўлади. Магнитмас оралиқнинг катта бўлиши сабабли бундай двигателларнинг ФИК кичик. Бундан ташқари, чўткалар мис фольга симларида сирпанади, улар тез ейилади, натижада машинанинг ишлаш муддати қисқаради.

Босма якорли двигателларда якорь чулғами магнитмас мате-



275- расм. Диск кўринишидаги босма чулғамли якорь (а) ва 8 қутбли машина учун чулғамнинг принципиал схемаси (б):

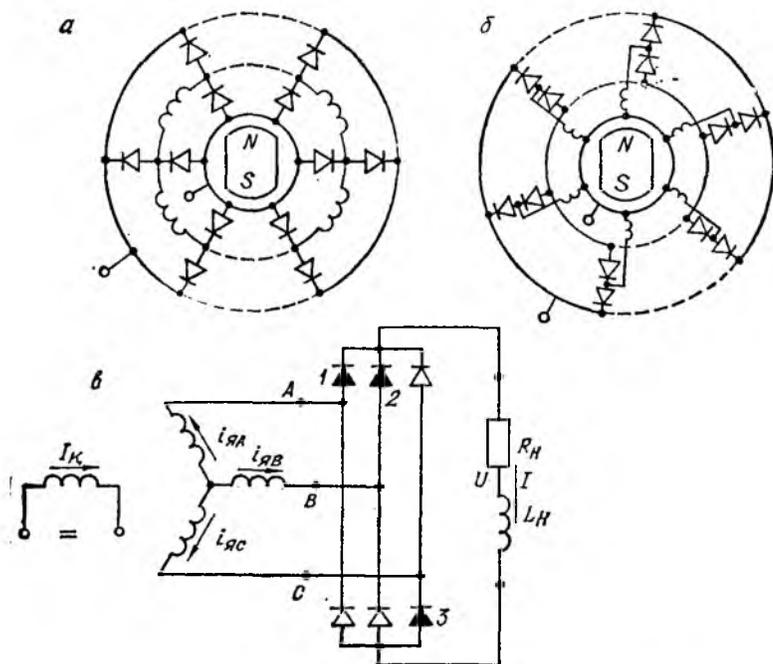
1—диск, 2—чулғамнинг актив томонлари, 3—чулғамнинг ташқи томонлари, 4—гальваник уланешлар.

риалда жойлашганлиги учун (бу материалда магнит индукциясининг амплитудаси $2T$ гача боради) уларда катта уярма тоқлар ҳосил бўлади. Уларни камайтириш учун махсус чоралар кўрилиши керак.

129. Вентилли (контактсиз) ўзгармас ток машинаси

Вентилли ўзгармас ток машиналари контактсиз синхрон машина билан ярим ўтказгичли коммутатордан тузилган. Вентилли машина генератор режимида ишлаганда бошқарилмайдиган коммутаторлардан, яъни кўп фазали тўғрилагичлардан фойдаланилади. Машина двигател режимида ишлаганда унга ротор қутбларининг бурилиш бурчаги ҳолати датчиги ёрдамида бошқарилмайдиган коммутаторлар — инверторлар уланади. Одатда, ярим ўтказгичли қурилма машина корпуси ичига жойлаштирилади.

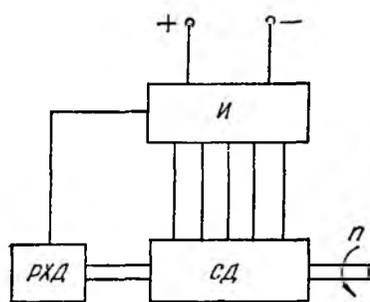
Генератор режими. Вентилли ўзгармас ток генераторлари ички ёки ташқи томондан берк магнит ўтказгичли ва якорь чулғами кўп фазали синхрон генератор асосида ишланган. Қуввати унча катта бўлмаган генератор унинг роторига ўрнатилган доимий магнитлар ёки электромагнитлар ёрдамида қўзғатилиши мумкин. Катта қувватли генераторда ротор аён қутбли бўлиб, контактсиз қўзғатиш генератор валидаги қўзғатгич ва индукторнинг айланувчи тўғрилагичлари ёрдамида амалга оширилади. Бундай генераторнинг якорь чулғамлари берк (ёпиқ) (а) ёки очик (б) схемага эга бўлиши мумкин (276-расм). Якорь чулғамининг тўзилиши ўзгармас ток машинасининг якорь чулғамига ўхшаш. Генераторда коммутация шароити анча яхши бўлгани учун машинанинг айланиш частотаси ва кучланиш диапазоли катта. Очик схемали чулғамда айрим фазалар (ёки бўлақлар) ва вентиллар



276- расм. Ўзгармас ток вентилли генератор (кўп фазали кўприк усулида уланган тўғрилагичлар билан) нинг якорь чулгами берк (а), якорь чулгами очик (б) ва уч фазали (в) схемалари.

кўп қиррали юлдуз усулида уланади. 276-расм, в да вентилли генераторнинг уч фазали принципал схемаси келтирилган. Бундай генераторнинг ишлаш принципи схемада кўрсатилган. Кўприк схемасида уланган ҳар бир вентиладан ток даврининг $1/3$ қисмига тенг вақт давомида ўтади. Анод группасининг ҳар бир вентили, генератор чулгамининг бошқа иккита фазасига уланган катод группасининг иккита вентили билан навбатма-навбат ишлайди. Фазаларда ЭЮК ва токнинг баробар тақсимланиши учун қутблар тагида магнит майдони тўғри тўртбурчак шаклида тарқалган бўлиши лозим. Чулғам одими диаметрал одим бўлади.

Двигатель режими. Вентилли ўзгармас ток двигатели синхрон машина асосида ишланган бўлиб, бундай двигатель асосий конструктив схема асосида тайёрланади. Двигатель доимий магнитлар ёрдамида ёки ички ёхуд ташқи томондан берк магнит ўтказгичли электромагнитлар ёрдамида кўзғатилиши мумкин. Якорь чулғамида фазалар сони катта бўлмайди ($m \leq 4$). Фазалар сонининг ортиши двигателнинг юргизиш шароитини, роторнинг секин-аста айланиб кетишини яхшилаиди, лекин коммутатор схемасини мураккаблаштиради. Якорь чулғамлари берк ёки очик схемали бўлади. Чулғам очик схемали бўлса, у маълум афзалликка эга. Бунда коммутаторнинг ҳар бир ярим ўтказгич асбоби



277-расм Вентилли ўзгармас ток двигателининг структура схемаси:

И—инвертор, РХД — ротор ҳолати датчиги.

(транзистор ёки тиристор) учун юргизиш токининг қиймати m марта кичиклашади. Инвертор транзистор ёки тиристорлардан йиғилади. Транзисторлар ёки тиристорлар фазалар ўқиға нисбатан роторнинг бурилиш ҳолати датчигидан бошқарилади. Бошқариш ротор ҳолати датчиги сигналларини тўғри бурчақли импульсларға ўзгартирувчи, ёрдамчи ярим ўтказгичлар — кучайтиргичлар воситасида бажарилади. Вентилли ўзгармас ток двигателининг структура схемаси 277-расмда берилган. Бундай двигателда бўладиган процесслар яқори қўзғалмас ва қутблари айланадиган ўзгармас ток дви-

гателининг иш процессларига ўхшашдир.

Инверторнинг кириш қисмаларига ўзгармас кучланиш берилса, ротор бурилиш бурчағи ҳолати датчиги коммутатор элементларининг контактсиз уланишини таъминлайди. Коммутатор элементлари шундай уланадики, бунда берилган магнит қутби зонасида якорь чулғами бўлақларида токнинг йўналиши ўзгармайди. Кўп фазали вентилли ўзгармас ток двигателининг асосий характеристикалари ўзгармас ток коллекторли двигателининг характеристикаларига ўхшаш. Двигателнинг айланиш частотасини ўзгармас ток двигателига тегишли усуллар билан ўзгартириш мумкин. Ростловчи орган ва коммутаторнинг функцияларини бирлаштириш энг рационал ҳисобланади. Бунда импульс усулидан фойдаланилади, яъни якорь занжирини таъминлаш вақти ўзгартирилади. Транзистор ва тиристорли коммутаторларнинг уланиш схемалари ва уларнинг қўлланилиши ҳамда ротор ҳолати датчигининг тузилиши ҳақидаги материалларни вентилли ўзгармас ток двигателларига оид махсус адабиётлардан топиш мумкин.

АДАБИЁТ РЎИХАТИ

- Костенко М. П., Электрические машины, «Энергия», М., 1964.
- Костенко М. П. ва Пиотровский Л. М., Электрические машины, 1 ва 2 қисмлар, «Энергия», Л., 1972 й.
- Петров Г. М., Электрические машины, 1, 2, 3 қисмлар. Госэнергоиздат, М., 1968.
- Вольдек А. И., Электрические машины, «Энергия», Л., 1974 г.
- Пиотровский Л. М., Электрические машины, «Энергия» Л., 1975.
- Иванов-Смоленский А. В., Электрические машины, «Энергия», М., 1980.
- Кулик Ю. А., Электрические машины, «Высшая школа», М., 1971.
- Брускин Д. Э., ва бошқалар. Электрические машины и микромашины, «Высшая школа», М., 1981.
- Китаев В. Е. ва бошқалар. Электрические машины, «Высшая школа», М., 1978.
- Специальные электрические машины, под ред. Бертинова А. И. «Энергоиздат», М., 1982.
- Кацман М. М. Электрические машины и трансформаторы, «Высшая школа», К., 1964.
- Лотоцкий К. В. Электрические машины и основы электропривода, «Колос», Киев, 1964.
- Рахимов Г. Р. «Электротехника, «Ўқитувчи», Т., 1966.
- Андреев В. П. ва Сабинин Ю. Основы электропривода, Госэнергоиздат, М., 1963.
- Чиликин М. Г. Общий курс электропривода, «Энергия», М., 1965.
- Хомидхонов М. З. ва Мажидов С. М. Электрик юритма ва уни бошқариш асослари, «Ўқитувчи», Т., 1970.
- Мажидов С. М. Электрик машиналар ва электрик юритмалар, «Ўқитувчи», 1979.
- Торопцев Н. Д. Применение трехфазного асинхронного двигателя в схеме однофазного включения с конденсатором, Госэнергоиздат, М., 1963.
- Хализев Г. П. Электропривод и основы управления, Госэнергоиздат, 1963.
- Проектирование электрических машин, под ред. Копылова И. П. Энергия, 1980.
- Иброҳимов У. Электр машиналари, «Ўқитувчи», Т., 1972.

МУНДАРИЖА

Суз боши	3
Кириш	4
I БУЛИМ. ТРАНСФОРМАТОРЛАР	6
I боб. Трансформаторларнинг ишлатилиши, тузилиши ва ишлаш принципи	6
1. Трансформаторларнинг ишлатилиши	6
2. Бир фазали ва уч фазали трансформаторларнинг тузилиши	9
3. Трансформаторларнинг ишлаш принципи	19
II боб. Трансформаторларнинг ишлаш қонуниятлари ва вектор диаграммалари	21
4. Трансформатор чулғамларида ҳосил бўладиган асосий электр юритувчи кучлар	21
5. Трансформаторнинг салт ишлаши	23
6. Трансформаторнинг нагрузка билан (нормал шароитда) ишлаши	27
7. Трансформаторнинг қисқа тутатиш шароитида ишлаши	29
8. Магнитловчи кучлар тенгламаси	31
9. Трансформаторнинг келтирилган токи, кучланиши ва параметрлари	34
10. Трансформаторнинг эквивалент электр схемаси	37
11. Нагрузка билан ишлаётган трансформаторнинг вектор диаграммаси	39
12. Уч фазали трансформатор	42
13. Чулғамларнинг уланиш усуллари	47
14. Трансформаторнинг ферромагнит ўзаги магнитланаётганда содир бўладиган ҳодисалар	48
III боб. Трансформатор параметрларини тажриба ўтказиш йўли билан аниқлаш	52
15. Трансформаторни салт ишлатиб тажриба ўтказиш	53
16. Қисқа тутатиш тажрибасини ўтказиш	56
17. Нагрузка билан ишлаётган трансформаторнинг содда эквивалент схемаси ва вектор диаграммаси	62
18. Иккиламчи чулғамда кучланиш қийматини ўзгартириш ва трансформаторнинг ташқи характеристикаси	64
19. Трансформаторда қувват исрофи ва унинг фойдали иш коэффициентлари	66
IV боб. Трансформаторларнинг параллел ишлаши	71
20. Умумий тушунчалар	71
21. Трансформатор чулғамларининг уланиш группалари	72
22. Трансформаторларни параллел улаш шартлари	77
23. Уч чулғамли трансформаторлар	79
24. Пайвандлаш трансформаторлари	83
25. Улчов трансформаторлари	85

26. Частотани ўзгартирувчи трансформатор схемалари	89
27. Қучланиши текис ростланадиган трансформатор	91
28. Тўғрилагич схемаларида ишлатиладиган трансформаторлар	92
II БЎЛИМ. ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ	97
V б о б. Ўзгарувчан ток электр машиналарига тегишли умумий масалалар	97
29. Ўзгарувчан ток электр машиналарининг асосий турлари	97
30. Ўзгарувчан ток электр машиналари чулғамларининг тузилиши	98
31. Ўзгарувчан ток электр машиналари чулғамларининг схемалари	103
32. Ўзгарувчан ток машиналари чулғамларининг ЭЮК	108
33. Статор фаза чулғамининг ЭЮК	111
34. Ўзгарувчан ток машиналари чулғамларининг магнит юритувчи кучи	115
35. Бир, икки ва уч фазали чулғамларининг магнит юритувчи кучлари	120
III БЎЛИМ. АСИНХРОН МАШИНАЛАР	125
VI б о б. Асинхрон машинанинг тузилиши ва ишлаш принципи	125
36. Умумий тушунчалар	125
37. Уч фазали асинхрон двигателнинг тузилиши	125
38. Асинхрон двигателнинг ишлаш принципи	131
39. Асинхрон машинанинг ишлаш шароитлари	136
VII б о б. Асинхрон машинанинг двигатель сифатида ишлаши	137
40. Асинхрон двигатель чулғамларининг электр юритувчи кучлари	137
41. Асинхрон двигатель электр юритувчи кучининг тенгلامаси	141
42. Асинхрон двигатель магнит юритувчи кучлари ва тоқларининг тенг- ламаси	141
43. Ротор параметрларини статор чулғами ўрамлари сонига келтириш	143
44. Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси	144
45. Асинхрон двигателнинг эквивалент электр схемаси	146
VIII б о б. Асинхрон двигателнинг электромагнит momenti ва иш ха- рактеристикалари	149
46. Асинхрон двигателда қувват исрофи. Двигателнинг фойдали иш коэффициенти	149
47. Асинхрон двигателнинг электромагнит momenti	151
48. Асинхрон двигателнинг механик характеристикалари	153
49. Тармоқ кучланиши ва ротор чулғами актив қаршилигининг меха- ник характеристикага таъсири	159
50. Асинхрон двигателнинг иш характеристикалари	161
IX б о б. Асинхрон двигателнинг айлана диаграммаси.	165
51. Умумий тушунчалар	165
52. Асинхрон двигателнинг айлана диаграммасини қуриш	169
X б о б. Асинхрон двигателни юргизиш ва айланиш частотасини ўзгартириш	172
53. Асинхрон двигателни юргизиш	172
54. Фаза роторли асинхрон двигателни юргизиш	177
55. Юргизиш momenti катталаштирилган қисқа туташтирилган роторли двигателлар	179
56. Асинхрон двигателнинг айланиш частотасини ўзгартириш (ростлаш) усуллари	182
57. Асинхрон двигателларнинг конструкцияси ва асосий турлари	188
XI б о б. Бир фазали асинхрон двигателлар	191
58. Бир фазали асинхрон двигателларнинг тузилиши, ишлаш принципи ва ишлатилиши	191
59. Бир фазаали конденсаторли асинхрон двигатель	194

60. Уч фазали асинхрон двигателни бир фазали двигатель сифатида ишлаши	195
61. Аён қутбли асинхрон двигатель	196
XII б о б. Асинхрон машиналарнинг махсус хиллари	198
62. Уч фазали регулятор	198
63. Фазарегулятор	199
64. Ичи бўш цилиндр роторли асинхрон двигатель	200
65. Асинхрон частота ўзгартиргич	201
66. Синхрон узатма системасида асинхрон машинанинг ишлатилиши	202
I Ч Ё Ў Л И М. СИНХРОН МАШИНАЛАР	205
XIII б о б. Синхрон машинанинг ишлаш принципи, тузилиши ва ишлатилиши	206
67. Синхрон машинанинг ишлаш принципи	206
68. Синхрон машинанинг тузилиши	208
69. Синхрон генераторларнинг турлари	211
70. Синхрон машиналарни қўзғатиш усуллари	214
71. Синхрон генераторнинг салт ишлаши	217
XIV б о б. Синхрон генераторнинг нагрузка билан ишлаши	218
72. Синхрон машинада якорь реакцияси	218
73. Синхрон генераторнинг ЭЮК лари тенгламаси	223
74. Синхрон генераторнинг вектор диаграммаси	225
75. Синхрон генераторнинг асосий характеристикалари	228
76. Синхрон генератор ЭЮК ининг амалий диаграммаси	234
77. Синхрон машиналарда қувват исрофи. Машинанинг фойдали иш коэффициенти	237
XV б о б. Синхрон генераторларнинг параллел ишлаши	239
78. Синхрон генераторларни параллел улашда бажариладиган шартлар	239
79. Синхрон генераторларни параллел улаш усуллари	240
80. Параллел уланган синхрон генераторнинг нагрузка билан ишлаши	245
81. Синхрон машинанинг электромагнит қуввати ва бурчак характеристикаси	248
82. Синхронловчи қувват ва момент	253
83. Электр тармоғига параллел уланган синхрон генераторнинг ишлаш режимлари	254
XVI б о б. Синхрон двигателлар	258
84. Синхрон двигателнинг ишлаш принципи	258
85. Синхрон двигателнинг V симон характеристикалари	262
86. Синхрон двигателнинг иш характеристикалари	264
87. Синхрон двигателни юргизиш	265
88. Синхрон компенсатор	267
89. Бир фазали синхрон машина	269
XVII б о б. Синхрон машиналарнинг махсус хиллари	270
90. Реактив синхрон двигатель	270
91. Гистерезисли синхрон двигатель	273
92. Доимий магнитли синхрон машиналар	274
93. Одимли синхрон двигатель	277
94. Юқори частотали индукторли генератор	278
V Ё Ў Л И М. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЧАРИ	281
XVIII б о б. Ўзгармас ток машиналарининг ишлаши ва тузилиши	281
95. Ўзгармас ток машиналарининг ишлаши	281
96. Ўзгармас ток машинасининг тузилиши	283

XIX б о б. Үзгармас ток машинасининг якорь чулғамлари	289
97. Умумий тушунчалар	289
98. Оддий калава чулғам	290
99. Оддий тўлқинсимон чулғам	294
100. Якорнинг мураккаб чулғамлари	295
XX б о б. Үзгармас ток машиналарининг ЭЮК ва электромагнит моменти	299
101. Үзгармас ток машиналарининг ЭЮК	299
102. Машина ЭЮК ига чулғам одими ва чўткалар ўрнининг таъсири	300
103. Үзгармас ток машинасининг электромагнит моменти	303
XXI б о б. Үзгармас ток машинасининг магнит системаси	304
104. Үзгармас ток машинасининг занжири ва уни ҳисоблаш	304
105. Үзгармас ток машинасининг магнитлашиш характеристикаси	307
106. Үзгармас ток машинасида якорь реакцияси	308
107. Якорь реакциясининг таъсирини камайтириш йўллари	312
XXII б о б. Үзгармас ток машинасида ток коммутацияси	313
108. Чўткалардан учқун чиқиш сабаби	313
109. Коммутация ва унинг машина ишига таъсири	314
110. Ток коммутациясини яхшилаш усуллари	319
111. Коллектор сиртида айлана олов	323
112. Коммутацияни текшириш ва созлаш	324
XXIII б о б. Үзгармас ток генераторлари	326
113. Умумий тушунчалар	326
114. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори	328
115. Параллел қўзғатишли генератор	333
116. Кетма-кет қўзғатишли генератор	326
117. Аралаш қўзғатишли генератор	337
XXIV б о б. Үзгармас ток двигателлари	338
118. Үзгармас ток двигателининг ишлаши	338
119. Үзгармас ток двигателининг тенгламаси	341
120. Үзгармас ток двигателининг турғун ишлаши	342
121. Үзгармас ток двигателини юргизиш	344
122. Параллел қўзғатишли двигатель	346
123. Кетма-кет қўзғатишли двигатель	350
124. Аралаш қўзғатишли двигатель	352
125. Үзгармас ток машинаси қувват исрофи ва унинг фойдали иш коэффициенти	354
XXV б о б. Махсус ўзгармас ток машиналари	357
126. Электр машина — кучайтиргич	357
127. Үзгармас ток тахогенератори	361
128. Пазсиз якорли ўзгармас ток машинаси	362
129. Вентилли (контактсиз) ўзгармас ток машинаси	364

У. ИБРОҲИМОВ

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ

