

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ

Қўлёзма ҳуқуқида
УДК 621.34.07

РАХМОНОВ РАВШАНБЕК РАХИМОВИЧ

Пиллани буғлаш жараёнидаги частотавий ростланадиган
ресурс ва энергия тежовчи асинхрон электр юритмани тадқиқ этиш

5A5311001 – Технологик жараёнлар
ва ишлаб чиқаришни автоматлаштириш

Магистр
академик даражасини олиш учун ёзилган
диссертация

Илмий раҳбар:
т.ф.д., проф. Арипов Н.М.

Тошкент-2014

МУНДАРИЖА

	Кириш	3
I боб	Муаммонинг бугунги кундаги ҳолати ва масаланинг қўйилиши	7
1.1.	1.1. Пиллани буғлаш жараёнининг технологик машиналари ва уларнинг юритмаларига қўйиладиган талаблар.....	7
1.2.	Муаммонинг бугунги кундаги ҳолати ва мавжуд аналоглар тўғрисида маълумотлар ва вазифанинг қўйилиши.....	9
1.3.	Частота ўзгарткичини ишлаб чиқиш учун асосий техник маълумотлар	15
	I-боб бўйича хулоса.....	17
II боб	Электр юритманинг бошқариш усулини ва тузилмасини аниқлаш	18
2.1.	Асинхрон двигателларнинг бошқариш схемалари ва бошқаришнинг асосий усуллари.....	18
2.2.	Электр юритма тизимининг микропроцессорли бошқариш схемасига қўядиган асосий талаблари.....	27
2.3.	Частота ўзгарткичларни бошқариш усуллари ва тузилмалари.....	32
	II боб бўйича хулоса.....	38
III боб	”ЧЎ-АД” тизимида двигателнинг статор токини модули бўйича бошқариш усулини тадқиқот қилиш	39
3.1.	Асинхрон двигателнинг статор токини модули бўйича бошқариш усули.....	39
3.2.	Двигател статор токининг модули бўйича бошқариладиган ЭЮ лардаги электромагнит жараёнларини тадқиқот этиш.....	42
3.3.	Ростланувчан асинхрон электр юритмали насослардан фойдаланишда энергияни тежаш имкониятлари.....	51
	III боб бўйича хулоса	56
	Умумий хулоса	58
	Фойдаланилган адабиётлар	60
	Илова	65

КИРИШ

Диссертация мавзусининг асосланиши ва унинг долзарблиги

Бугунги кунда ишлаб чиқарилаётган электр энергиясининг 60% дан кўпроғини электр юритма тизимлари сарфлайди. Истеъмол этилаётган электр энергиясининг асосий улуши (50% гача) кенг тарқалган оддий, ростланмайдиган қисқа туташган роторли асинхрон двигател (АД) лар асосида тузилган электр юритмага тўғри келади. Кўп ҳолларда АД ли электр юритмалар ўрнатилган саноат қурилмаларида юклама моменти вақт бўйича ўзгариб туради. Бу эса электр энергиясини исрофларига сабаб бўлиб, тармоқдаги қувват коэффициентини пасайтиради. Аниқ бир ҳолат учун сезиларли бўлмаган энергиянинг исрофи республика миқёсида катта ҳажмга эгадир. Бундан ташқари, ўта юкланиш пайтидаги АД нинг юргизиш ва химоялаш муаммолари мавжуд [1,2,8,10,12].

Технологик қурилмаларнинг турли-туманлиги, улардаги тезликни рост-лаш талаб қилмаслиги, энергетик жихатдан унча юқори бўлмаган талабларни қўйувчи ўтиш жараёнлари, уларда химоя ва носозликларнинг диагностикаси-ни таъминлаш имкониятига эга бўлмаган, лекин арзон бўлган асинхрон электр юритмаларини ишлатилишни тақозо этади. Бундай қурилмаларнинг ишончлилигини паст даражада бўлиши оқибатида юритма-даги АД ларнинг тез ишдан чиқишига сабаб бўлади.

Юқорида айтиб ўтилган масалаларни ечимини таъминлаб берувчи жихоз – частота ўзгартгич билан жихозланган АД ли умумсаноат юритма-сидир. Кейинги ўн йиллар ичида кучли токли электроника ва микропроцессорли техниканинг ривожланиши ҳамда уларнинг нархини кескин пасайиши, ҳозирда кенг тарқалган электр юритмаларда частота ўзгарткичларни қўллашниши иқтисодий жихатдан мақсадга мувофиқ бўлмоқда. Лекин частота ўзгарткичлардан фойдаланиш жараёни чекланганлиги, яъни уларни технологик қурилмалардаги давомли ёки қисқа-такрорланувчан

режимларда рационал ишлаши ва тезликни раво ва катта диапазонда ростланиши талаб қилиниши билан боғлиқдир [3,4,17, 19].

Шунинг учун, ишончли ва арзон частота ўзгарткичларни яратиш, уларни қўлланиш соҳаларини кенгайтиради ва шу билан бирга, эскирган қурилмаларни модернизациялаш имкониятини амалга оширади. Ўзгарткичларни қўллаш, минимал сарф-харажатлар орқали ишлаб чиқарилаётган маҳсулот сифатини ва технологик муаммоларини ечилишини таъминлайди. Лекин частота ўзгарткичларни ишлатиш ёрдамчи электромеханик датчикларни ўрнатилишини талаб қилиб, АД нинг юргизиш жадаллигини чеклайди. Бу эса технология талаблари бўйича хар доим хам тўғри келмайди. “Частота ўзгарткич-асинхрон двигател” тизими асосида қурилган датчиксиз электр юритмаларни ишлаб чиқиш бундай чеклашларни бартараф қилиш имкониятини беради.

Тадқиқот объекти ва предметининг белгиланиши. Замонавий ярим ўтказгичли ва микропроцессорли техникани ишлатиш орқали яратилган частота ўзгарткичларнинг янги тузилмаси диссертациянинг тадқиқот объектидир. Ишда тадқиқот предмети сифатида саноат корхоналаридаги мураккаб технологик жараёнларни автоматлаштиришни амалга оширувчи микропроцессорли бошқариладиган “частота ўзгарткич-асинхрон двигател” тизими бўйича ростланадиган асинхрон электр юритма қабул қилинган.

Тадқиқот мақсади ва вазифалари. Диссертациянинг мақсади частота ўзгарткичларнинг янги тузилмасини ҳамда бошқариш схемасини яратишда замонавий ярим ўтказгичли ва микропроцессорли техникани ишлатиш масалалари кўриб чиқиш, бундай юритманинг характеристикалари ва хоссаларини ўрганишни амалга ошириш, олинган натижаларни энергия ва ресурсларни тежовчи технологик қурилмалар ҳамда жараёнларни автоматлаштиришга тадбиқ этиш бўйича тавсияларни ишлаб чиқишдир. Мақсадга кўра, ишда қуйидаги тадқиқот вазифалари ечилган: муаммонинг бугунги кундаги ҳолати ва масаланинг қўйилиши ҳамда частота ўзгарт-

кичини ишлаб чиқиш учун асосий техник маълумотларни аниқлаш; асинхрон двигателларнинг бошқариш схемалари ва бошқаришнинг асосий усуллари кўриб чиқиш; ”частота ўзгарткич – асинхрон двигател” тизимида двигателнинг статор токини модули бўйича бошқариш усули тадқиқот қилиш; электр юритмани микропроцессорли бошқариш тизимининг оптимал архитектураси ва дастурий таъминотини яратиш масалалари кўриб чиқиш; олинган натижаларни тадбиқ этиш бўйича тавсияларни бериш.

Тадқиқотнинг асосий масалалари ва фаразлари. Тадқиқотнинг асосий масалалари – муаммонинг бугунги кундаги ҳолати ва масаланинг қўйилишини ўрганиш, частота ўзгарткичларнинг янги тузилмасини ҳамда бошқариш схемасини яратиш, “частота ўзгарткич-асинхрон двигател” тизими бўйича ростланадиган асинхрон электр юритманинг характеристикалари ва хоссаларини ўрганишдир. Тадқиқотнинг фаразлари – текстил корхоналаридаги мураккаб технологик жараёнларни автоматлаштиришни амалга оширувчи микропроцессорли бошқариладиган электр юритмани яратиш.

Мавзу бўйича қисқача адабиётлар таҳлили. Ишда замонавий автоматик, электр юритма ва кучли токли ўзгарткич техникаси назарияси, микропроцессорли технологик жараёнларни автоматлаштириш тизимлари частотавий ростланадиган асинхрон электр юритма ва унинг рақамли бошқариш схемалари, уларнинг дастурий таъминоти масалаларига бағишланган меъёрий, илмий, ўқув адабиётлари ҳамда илмий-техник ва илмий-услубий даврий нашрлар, шунингдек Интернет материалларидан фойдаланилди.

Тадқиқотда қўлланилган услубларнинг қисқача тавсифи. Частотавий ростланадиган асинхрон электр юритма ва кучли токли ўзгарткич ва микропроцессор техникасининг замонавий бошқариш тизимлари ҳамда автоматик бошқариш назариясининг услубияти ва усуллари, фазовий ҳолатлар усули ва матрицали таҳлил.

Тадқиқот натижаларининг назарий ва амалий ахамияти.

Асинхрон двигателнинг статор токини модули бўйича бошқариш янги патентланган усули тадқиқ этилди; усул асосида ростланадиган электр юритманинг микропроцессорли бошқариш тизимининг оптимал архитектураси ва дастурий таъминотини яратиш масалалари кўриб чиқилди. Диссертацияда олинган натижаларни текстил корхоналаридаги технологик жараёнларни автоматлаштирувчи электр юритмаларда қўллаш тавсия этилади, шунингдек ушбу материалларни ихтисослик фанларида ҳам қўлланма сифатида ишлатилиши мумкин.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги: Ишда биринчи мартаба, частота ўзгарткичли асинхрон электр юритманининг янги тузилмаси яратиш учун унинг бошқариш схемасида ЎЗР да патентланган статор токининг модули бўйича бошқариш усулидан фойдаланилган.

Диссертация таркибининг қисқача тавсифи. Магистрлик диссертацияси кириш, учта боб, хулосалар, фойдаланилган ва ўрганилган адабиётлар рўйхати ҳамда иловалардан ташкил топган. Ишнинг умумий ҳажми ___та бет, ___-расм ва ___-жадваллардан иборат. Фойдаланилган ва ўрганилган адабиётлар рўйхатида ___ та адабиёт, ___ та интернет сайтлар келтирилган.

I БОБ. МУАММОНИНГ БУГУНГИ КУНДАГИ ХОЛАТИ ВА МАСАЛАНИНГ ҚЎЙИЛИШИ

1.1. Пиллани буғлаш жараёнининг технологик машиналари ва уларнинг юритмаларига қўйиладиган талаблар

Пилладан хом ипак ипини ажратиш олиш – пиллани чувиш технологик жараёнида қуйидаги операциялар гуруҳларини кўрсатиш мумкин: бирламчи қайта ишлаш, тайёрлаш, чувиш ва назорат-якуний операциялар.

Пиллани чувишга тайёрлаш операциясини бажарилиши натижасида пиллани буғлаш, яъни елим (серицин) ни эриши сабабли ипни ажралиш кучини камайтириш ва сув билан тўлдириш орқали ипни ажратишга қаршилиқ таъминланади. Ушбу операцияларни тўғри бажарилиши пилла қобиғини чувиллишини, меҳнат ва қурилмани унумдорлигини, хом ипак ипини чиқишини ва сифатини юқори қийматларини, шунингдек ипак чиқиндиларини чиқишини қамайтиришни таъминлайди [7].

Хозирда пиллани буғлаш учун КЗ-2, КЗ-4М туридаги конвейерли пилла буғловчи машина қўлланилади. Машина пиллаларни ташиш учун кассета-лар конвейери, пиллаларни кассеталарга жойлаштирувчи механизм (дозатор), конвейер электр юритмаси ва унинг бошқариш пультадан иборат.

1.1-жадвалда буғловчи машиналарнинг техникавий тавсифлари келтирилган.

1.1-жадвал

Буғловчи машиналарнинг техникавий тавсифлари		
Кўрсаткичлар	КЗ-2	КЗ-4М
1	2	3
Двигателлар сони	1	5
Двигател қуввати, квт бош юритма барабан ва дозаторнинг юритмалари, лентали конвейер ва механизмлар	1,5 -	1,1 по 0,25
Валнинг айланиш частотаси электр двигател, айл·мин ⁻¹	930	1420
Занжирнинг тезлиги, м·мин ⁻¹ кассетали люлькали	1,1...2,3 -	0,9...2,0 4,0...9,5
Кассетанинг айланиш частотаси, айл·мин ⁻¹	10,0...20,0	9,0...20,0

1	2	3
Харакатни узатиш кўриниши	коноидли шкив	ременли вариатор
Машинанинг унумдорлиги, кг·ч ⁻¹ қуруқ пиллалар	90	52...90

Кўришиб турибдики, машиналарнинг электр юритмалари конвейернинг керакли айланиш тезлигини таъминлайди.

Аммо, конвейер айланиш тезлигини ўзгартириш шкивларни ўзгартириш ёки вариатор орқали амалга оширилади, яъни электр юритма тезкор росланадиган бўлмайди. Бу, буғлаш машинасини тезлик бўйича режимини мақбул эмаслигига олиб келади. Бу, машинадаги тезликни ростлашнинг такомил бўлмаган механик усулини, ростлашнинг электрик усулига амаллаштиришни талаб қилади.

Конвейер харакат тезлигини керакли қийматини аниқлаш учун, машинадаги технологик суюқликдаги серицин концентрациясидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Серицин миқдорини узлуксиз назорати – серицин концентрациясини улчагичи ёрдамида амалга оширилади. Серицинни бунда, пилланинг хоссаларига кўра қуйидаги уч гуруҳга бўлинган холда – 1) кам эрувчан, 2) нормал эрувчан ва 3) ортирилган эрувчанликка эга серицинли пиллаларга мос холда киритилади.

Юқоридагиларни ҳисобга олган холда, бўғлаш машинасининг электр юритмасига қуйидаги талабларни қўяди:

- автоматлаштирилган юритма 3:1 дан кам бўлмаган диапазонда тезликни ростлаш,
- электр двигател қуввати 2,2 кВт дан кам эмас,
- юритма иш режими ўзгармас юкламада давомий ва нореверсив;
- $\pm 10,0$ В и $\pm 5,0$ мА ли аналог сигнал билан бошқариладиган ишга тушириш ва максимал тезликдан тўхтатиш;
- масофадан ва марказлаштирилган бошқариш;
- юритма асосан технологик қурилма тузулмасига киритилган;

- фойдаланиш шарт-шароитлари: атроф мухит харорати $-10,0... +40,0^{\circ}\text{C}$, нисбий намлик 85% дан юкори эмас.

1.2. Муаммонинг бугунги кундаги холати ва мавжуд аналоглар тўғрисида маълумотлар, вазифанинг қўйилиши

Хозирда саноат корхоналари кўтариш-транспорт ҳамда тоғ-кон қурилмалари учун бир қатор, қуввати 50 кВт ортиқ бўлган частота ўзгарткичларни ишлаб чиқармоқда. Кенг тарқалган электр юритмалар учун частота ўзгарткичларни ишлаб чиқариш кичик хажмларда бажарил-моқда. Ушбу ўзгарткичлар ўзининг нархи бўйича хорижий частота ўзгарткичларнинг нархларига мос бўлсада, техник-иқтисодий ҳамда эксплуатацион характеристикалар бўйича фарқларга эгадир. Ўзгарткичларнинг кучли токли қисми паст сифатли ярим ўтказгичлар асосида бажарилиб, бошқариш тизими эса рақамли-аналог дискрет компонентлардан тузилган [8,20]. Шу сабабдан, қуйида намуна сифатида хорижий частота ўзгарткичларни тахлили олиб борилган.

Ростланадиган юритмалар учун частота ўзгарткичларни ишлаб чиқувчи машхур фирмалардан: ABB, SEWEURODRIVE, BOSCH, TOSHIBA, SIEMENS, кабилар хозирда мухим ўрин эгаллаган [9,17,24,32,51]. Фирмалар тавсия этаётган ўзгарткичлар ўзининг функционал хусусиятлари, нархи бўйича бир-бирига яқин бўлиб, ростланадиган электр юритмаларнинг ривожлан-тириш стратегиясида янги турдаги ярим ўтказгичли компонентлар қўлла-ниланган. Хар йили, ташқи бозорда электр юритмалар учун турли фирмалар ишлаб чиққан янги тузилишдаги ўзгарткичлар пайдо бўлмоқда. Қуйида ABB Drives фирмаси яратган SAMI турдаги частота ўзгарткичларининг тузилиши ва имкониятлари кўриб чиқилган [46].

SAMI турдаги ўзгарткичлар қисқа туташув роторли АД нинг тезлигини ровон ростлаш учун қўлланилади ва қуйидаги частота ўзгарткичлар турини ўз ичига олади: SAMI MS, SAMI GS, SAMI STAR, SAMI MEGASTAR. Бу ўзгарткичлар микропроцессорли бошқарув ва диагностикага эгадир. Бундан ташқари, улар клавиатура ва саккиз тилдаги

маълумотни узатиб берувчи суюқ кристалли алфавит-рақамли дисплейга ҳам эга.

Ушбу ўзгарткичларнинг кучли токли занжирида бошқарилмайдиган тўғрилагич ва импульс кенглиги бўйича модуляция ШИМ ли кучланиш инвертори ишлатилади. Бунда, тўғрилагич ҳамда кучланиш инвертори ўзаро кучли токли LC -фильтри орқали уланиб, силтаниш массаларининг энергияси шу филтёрда тарқалади. Номинал ишчи режимда, ўзгармас ток бўғинидаги кучланиш ўзгармайди ва у SAMI нинг чиқишидаги частотасига боғлиқ бўлмайди. Кучли токли занжирнинг уланишига кўра, ўзгарткичнинг қувват коэффиценти 0,98...0,99 га тенг бўлган холда сақланиб турилади.

Частота ўзгарткичларнинг кучланиш инверторларида МОП-транзисторлар ва биполяр транзисторлар қўлланилган. Транзисторларнинг бошқарилиши махсус (ASIC) интеграл схемалар ёрдамида бажарилиб, у хавфсиз иш зонасида коммутацияни бажарилишига имкон беради. Импульс кенглиги бўйича ростланадиган модуляциянинг йўналтирувчи частотаси 3,0 дан 12,0 кГц гача бўлиб, двигателнинг 100% ли фойдали юкланишини ҳамда двигателни танлашда қувват бўйича минимал захирага келтиради.

SAMI MS турдаги ўзгарткичлар, қуввати 0,75 дан 3,0 кВт гача бўлган АД лар учун мосланган бўлиб, $U/f = \text{const}$ бошқариш қонунини таъминлайди. Чиқишдаги частотанинг ростлаш диапазони 0,5...400,0 Гц га тенг. SAMI GS турдаги ўзгарткичлар қуввати 2,2 дан 315,0 кВт гача бўлган АД ларнинг тезлигини ростлашда ишлатилади. Чиқишдаги частотанинг ростланиш диапазони бунда 0 дан 120 Гц га тенгдир.

Контроллернинг хотирасида бир қатор амалий макродастурлар мавжуд бўлиб, бунда кириш ва чиқиш сигналлари белгиланиб, ҳар қайси амалий масала учун кўрсаткичнинг бошланғич қиймати берилган. Масалан, макродастур ПИ-ростлашнинг ўзгармас момент режимида амалга оширишни таъминловчи операцияларини кетма-кет бошқаради. Ўзгарткичларнинг конструктив тузилиши қуйидагилардан иборат: P21 (истеъмолчи

курулмага киритилаётган махсус модул) ва IPOO (куввати 37,0 кВт дан ортиқ бўлганлар истеъмолчилар учун шкаф). Бу турдаги ўзгарткичлар кенг тарқалган датчиксиз ЭЮ ларда ишлатилади ва қўлланишда бир қатор чегараларга эга. Булар, юклама моментининг юргизиш жадаллиги ва динамикаси бўйича чегаралар ҳамда ўзгарткичнинг фақат ўзгармас ёки квадрат даржадаги юклама момент учун ишлатиш мумкинлигидир.

Хозирда АВВ фирмасидан ташқари SEW-EURODRIVE фирмаси ҳам ўз махсулотини тавсия этмоқда, хусусан, ушбу фирма АД ларнинг тезлигини ростлаш учун MOVITRAC турдаги ўзгарткичларни ишлаб чиқмоқда.

SEW-EURODRIVE фирмаси MOVITRAC 4000 турдаги ўзгарткични куввати 22, 30, 45 ва 55 кВт тенг бўлган АД лар учун ишлаб чиқармоқда. Бундай ўзгарткичлар микропроцессорли бошқарувига асосланган. Кучланиш инверторида IGBT транзистори қўлланилган. MOVITRAC 4000 турдаги ўзгарткич ўзининг тузилиши, сервис функциялари ва кўрсаткичлари бўйича АВВ Drives фирмаси чиқарган SAMI GS сериясига ўхшашдир. Бугунги кунда MOVITRAC 3000 ва MOVITRAC 31В деб номланган янги сериялар ишлаб чиқилиб, улар SIEMENS фирмаси тайёрлаган янги 80 С166 микроконтроллер ёрдамида бошқарилади.

Кўриниб турибдики, юқори кучланишли МОП ёки биполяр транзисторлари ўзгарткичларнинг янги серияларда ишлатилмайди. Буларда юқори кучланишли IGBT транзисторларидан фойдаланилган. Биполяр транзисторларга кўра ўзининг тезкорлиги, ишончилиги, иқтисодий тежамлилиги ва схематик соддалиги IGBT транзисторларнинг кенг тарқалишига олиб бўлган. IGBT асосида бошқарилаётган кучли токли транзисторли қалитларда стандарт сигнални процессор орқали бошқариш қулайдир.

Электр юритмаларда кенг ишлатилиши мумкин бўлган ўзгарткичларнинг функционал схемаси ва элемент базасининг тахлили қуйидаги хулосаларни беради:

1. АД ли электр юритмаларларнинг бошқариш схемаси асосан оддий қонун: $U/f = \text{const}$ бўйича олиб борилади. Бундай бошқаришнинг қўлла-

ниши, микроконтроллерларнинг қуввати етишмаслиги билан боғлиқдир (бошқариш алгоритми, назорат, диагностика ва бирданига бир неча мураккаб бошқариш усуллари қўллашга қувватни етишмаслиги).

Электромеханик тескари боғланишларни мавжудлиги, векторли бошқарувни амалга ошириш имкониятини беради. Мисол учун, SAMI STAR ва MOVIDYN, тизимлари бундай бошқарувни таъминлай олади. Лекин, бугунги кунда электр юритма тизимларининг микропроцессорли бошқарилишида сигналларни рақамли қайта ишловчи процессор DSP лар кенг ривож топган. ANALOG DEVICES ва MOTOROLA, фирмалари электр юритмаларни бошқарадиган махсус DSP лар ишлаб чиқаргани тўғрисида эълон қилган. Бундай процессорларнинг самарадорлиги бир даража юқори бўлиб, уларни ростлаш имкониятлари сифатли ва кенгдир.

Шундай қилиб, хорижий фирмалар ишлаб чиққан частота ўзгарткичлар умумсаноат электр юритма тизимларида ишлатилиб, нисбатан содда бошқариш алгоритми ёрдамида фақат статик ёки вентилятор юкламаси остида двигател тезлигини ростлаш имконини беради. Бундай юритмаларни эксплуатация қилиш мураккаблиги эса, уларга бўлган сарф-харажатларнинг ошишини тақозо этади.

2. Йиғма биполяр транзисторлар янги частота ўзгарткичларда ишлатилмаган. Ўзгарткичларнинг кучли токли занжирларида фақат MOSFET ва IGBT транзисторлари ўрнатилиб, уларни бошқариш махсус (ASIC) интеграл схемалар ёрдамида бажарилган. Кичик қувватли тизимларда SMART-MOSFET модуллари қўлланилиб, уларда 1, 2 ёки 6 та MOSFET транзисторлар битта корпусда ўрнатилган. Республика саноат корхоналари бундай ярим ўтказгичларни ишлаб чиқармайди. Шу сабабдан, яратилаётган ўзгарткичлар TOSHIBA, INTERNATINAL, RECTIFAIR, SIEMENES каби фирмаларининг ярим ўтказгичларидан фойдаланган ҳолда бажарилиши зарур.

3. Ўзгарткичларнинг ҳар бир тури, маълум бир электр машина турига мосланган. Баъзида, ўзгарткичлар электр машиналар билан бирга яхлит

комплект кўринишида истеъмолчига етказилади. Республика истеъмолчилари учун бундай холат тўғри келмайди, чунки, хозирда фойдаланилаётган электр машиналари хорижий фирмаларнинг электр машиналаридан арзон бўлиб, ўз характеристикаларига кўра уларнинг даражасидадир.

Кўйилаётган вазифа, ўзгарувчан ток электр юритмаси тизимларини ҳосил қилувчи универсал частота ўзгарткичини ва унинг бошқариш схемаси ишлаб чиқишни ўз ичига олган. Лойихалаштирилаётган частота ўзгарткич функционал жихатдан мукамал бўлиб, қуйидаги талабларга жавоб бериши зарур:

- кенг тарқалган электр юритмаларда қўлланиши;
- юқори эксплуатацион характеристика (ишончлилик, ривожланган диагностика, хизмат кўрсатиш, ишлатилишдаги қулайлик ва бошқалар) ларга эгаллиги;
- умумсаноат турдаги синхрон (ДВУ, ДВМ ва бошқалар) ва асинхрон (4 А, АИР, 5А ва бошқа) машиналар бирикмасида ишлаш имконияти;
- сифатли электр юритмалар тизимини қуришдаги юқори техник кўрсаткичларига эгаллиги;
- хорижий аналогларга рақобатбардошлиги.

Электр юритмаларнинг техник характеристикалари ва унинг кучли токли занжирларидаги электромагнит жараёнлар, нафақат электр машинанинг тури, унинг валидаги юкламага боғлиқ бўлиб, балки частота ўзгарткичнинг схемаси ҳамда бошқарув тизимининг алгоритми ва бошқариш қонунларига ҳам боғлиқ бўлади. Шу сабабдан, электр юритмани лойихалаштиришдан олдин, дастлаб, электр машинанинг турига кўра, унинг юкламаси тахлил қилинади.

Бошқариш қонуни белгиланиб, ахборотли боғланишларнинг тузилиши ҳам аниқланади. Олинган тахлилий натижалар асосида, частота ўзгарткичнинг схемаси ҳамда бошқариш алгоритми аниқланиб, электр юритмаларнинг талаб қилинаётган характеристикалари қурилади.

Ушбу ишда эса тескари масалани ечиш олиб борилади. Бунда мавжуд частота ўзгарткичнинг универсал схемасига кўра, электр юритмаларни тузиш амалга оширилади. Масаланинг бундай қўйилиши, нисбатан мураккаб ва қиммат турадиган қурилмани яратишни талаб қилади. Лекин, электромеханик ва энергетик жихатдан афзалроқ характеристикаларга эга бўлган ҳамда содда кўринишдаги частота ўзгарткичларнинг ишлатилиши датчиксиз электр юритмаларни яратишга ва уларнинг харидорлари сонини ошишига олиб келади. Қўйилган масаланинг ечими қуйидаги тахлил ва ишламаларга асосланади:

1) Юритмалар тизимида юқори энергетик характеристикаларни таъминловчи ва ярим ўтказгичли элементлар базасининг хусусиятини ҳисобга олувчи ўзгарткичнинг кучли токли қисмини оптимал тузилиши, схематик жихатдан ишончлилиги, диагностикасининг содда ва қулайлиги;

2) Саноат электр тармоғи билан осон бириктириш имконини берувчи электр юритманинг юқори ростлаш ва энергетик характеристикаларни таъминловчи частота ўзгарткичнинг бошқариш алгоритми;

3) АД лар асосида ва электромеханик датчикларсиз қурилган электр юритмаларни талаб қилинадиган мехмик ва энергетик характеристикаларни амалга оширувчи частота-токли бошқариш усули;

4) Юқори ишончлилик ва маълумотлилики таъминловчи системанинг диагностикаси ва ҳимоясининг тузилиши ва ишлаш алгоритми;

5) Контроллернинг оптимал архитектураси ва дастурий таъминланиши.

Амалий жихатдан бунда қуйидагиларни бажариш лозим:

1) Чиқишдаги қуввати 1 дан 10 кВт гача бўлган электр юритмалар учун кучли токли ўзгарткичларни ишлаб чиқиш;

2) Ўзгарткичнинг макет нусхасини тайёрлаш ва уни АД билан биргаликда хар томонлама тажриба синовидан ўтказиш.

1.3. Частота ўзгарткичини ишлаб чиқиш учун асосий техник маълумотлар

Частота ўзгарткичларнинг хорижий аналоглари бўлган MOVITRAC 31B, MOVITRAC-3000 ва SAMI GS ларнинг характеристикаларидан келиб чиққан ҳолда рақобатбардош электр юритма тизимини ишлаб чиқиш учун куйидаги талабларни белгилаш мумкин:

1. Таъминлаш тармогининг характеристикалари:

- 380 В + 10% ли 3 фазали кучланиш;
- 48 – 63 Гц ли частота;
- >0,95 дан катта қувват коэффиценти.

2. Ўзгарткичнинг чиқиш характеристикалари:

- 0 дан тармоқ кучланишигача ростланадиган 3 фазали кучланиш;
- 0 дан 400 Гц гача частота;
- 0,01 Гц ли частотанинг ўрнатиш дискрети;
- 20 А ли узоқ муддатли юклама токи ($I_{ном}$);
- такрорланувчи-қисқа ишчи режимдаги хар 10 минутдаги 1 минут давомида 30 А ли максимал юклама токи;
- 3 кГц ли импульс кенглиги бўйича ўзгарткични коммутация частотаси.

3. Бошқариш сигналларининг тизими:

- кириш ва чиқишнинг кетма-кет интерфейси;
- кириш ва чиқишдаги дастурланадиган аналог интерфейс;
- электромеханик қисм датчиклари билан боғловчи параллел интерфейс.

4. Ҳимоялар:

- токи $3,75 I_{ном}$ бўлган ҳимоянинг ишлаш чегараси;
- кучли токли манбанинг 1,3 номинал кучланига тенг ўта кучланиш бўйича ишга тушиш вақти;
- кучли токли манбанинг кучланиши номинал қийматга нисбатан 0,65 га камайишидаги ишга тушиш чегараси;

- кучли токли элементларнинг радиаторларини 20⁰С дан кичик ва 75⁰С дан юкориоқ бўлганда қизиш бўйича химоясини ишга тушиш чегараси;

- двигателнинг қизиш бўйича химоясини ишга тушиш чегараси - дастурланувчи;

- двигател фазасининг узилишидан химоя.

5. Ишлатиш шароитлари:

- 10⁰ С дан +45⁰С гача бўлган атроф мухит харорати;

- совутиш усули – ўрнатилган ўзини-ўзи вентиляциялаш қурилмаси;

- 95% дан кам бўлган нисбий намлик.

Яратилаётган ўзгарткичларнинг йирик истеъмолчилари бўлиб текстил, енгил ва озиқ-овқат корхоналари, шунингдек, қишлоқ хўжалик, айниқса, қишлоқ хўжалиги махсулотларини қайта ишловчи кўп тармоқли корхоналар ҳисобланади. Қишлоқ хўжалиги махсулотларини қайта ишлаш узлуксиз технологик жараёнда олиб борилади. Шу сабабдан, ягона автоматлаштирилган оқимли линияларни ростландиган автоматлаштирилган электр юритмалар асосида тузиш қўйидаги имкониятларни яратиб беради:

- машина ва агрегатларда хом ашёни қайта ишлашнинг тезлик бўйича режимини оптималлаштириш ҳисобига тайёр махсулотнинг сифатини 1,7 ...2,0 % гача ошириш билан бир вақтнинг ўзида махсулотнинг таннархини 1,5...1,8 % гача пасайтириш;

- операцияларро узилишларни йўқотиш ва тўхташларни камайиши ҳисобига махсулот сифатини пасайтирмасдан машиналарнинг самарадорлигини 2,0... 2,5 % гача ошириш, бунда назорат ҳамда транспорт операцияларига бўладиган вақт сарфларини смена давомийлигининг 5,5...8,0 % гача камай-тириш имконияти ҳам яратилади;

- технологик жараённинг кечишини масофадан бошқариш ва диспечерли назоратини амалга ошириш, бунда, қурилмаларни оптимал иш режимини танлаш операцияларини бошқарувчи ЭХМ ёрдамида амалга ошириш.

1-боб бўйича хулосалар

1. Муаммонинг бугунги кундаги ҳолати ва мавжуд аналоглар тўғрисидаги маълумотлар ўрганилди ва қуйидагилар аниқланди:

- Хорижий фирмалар ишлаб чиққан частота ўзгарткичлар умум-саноат юритмаларда ишлатилиб, нисбатан содда бошқариш алгоритми ёрдамида фақат статик ёки вентилятор юкламаси остида двигател тезлигини ростлаш имконини беради. Бундай юритмаларни ишлатиш мураккаблиги эса, уларга бўлган сарф-харажатларнинг ошишини тақозо этади

- Йиғма биполяр транзисторлар янги частота ўзгарткичларда ишлатилмаган. Ўзгарткичларнинг кучли токли занжирларида фақат MOSFET ва IGBT транзисторлари ўрнатилиб, уларни бошқариш махсус (ASIC) интеграл схемалар ёрдамида бажарилган. Республика саноат корхоналари бундай ярим ўтказгичларни ишлаб чиқармайди. Шу сабабдан, яратилаётган ўзгарткичлар TOSHIBA, INTERNATINAL, RECTIFAIR, SIEMENES каби фирмаларининг ярим ўтказгичларидан фойдаланган ҳолда бажарилиши зарур.

- Ўзгарткичларнинг ҳар бир тури, маълум бир электр машина турига мосланган. Баъзида, ўзгарткичлар электр машиналар билан бирга яхлит комплект кўринишида истеъмолчига етказилади. Республика истеъмолчилари учун бундай ҳолат тўғри келмайди, чунки, ҳозирда фойдаланилаётган электр машиналари хорижий фирмаларнинг электр машиналаридан арзон бўлиб, ўз характеристикаларига кўра уларнинг даражасидадир.

2. Ишда қўйилаётган вазифа, ўзгарувчан ток электр юритмаси тизимларини ҳосил қилувчи универсал частота ўзгарткичини ва унинг бошқариш схемаси ишлаб чиқишни ўз ичига олган.

3. Частота ўзгарткичларнинг хорижий аналогларининг характеристикаларидан келиб чиққан ҳолда рақобатбардош электр юритма тизимини ишлаб чиқиш учун таъминлаш тармоғининг характеристикалари; ўзгарткичнинг чиқиш характеристикалари; бошқариш сигналларининг тизими; химоялар; ишлатиш шароитлари бўйича талаблар белгиланган.

II БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ БОШҚАРИШ УСУЛИНИ ВА ТУЗИЛМАСИНИ АНИҚЛАШ

2.1. Асинхрон двигателларнинг бошқариш схемалари ва бошқаришнинг асосий усуллари

Электр машиналар (ЭМ) ҳамда автоном кучланиш инверторларни (АКИ) турли усуллар билан бошқаришни таъминлаш, электр ва магнит қийматларнинг натижавий (умумлаштирувчи) вектор усули асосида амалга оширилади [31,35].

Умумлашган электр машиналарнинг электромагнит жараёнлари, натижавий векторлар орқали Горев-Парк тенгламалар тизими билан ифодаланади [21]

$$\begin{aligned}\bar{u}_s &= R_s \bar{i}_s + d\bar{\Psi}_s / dt + j\omega\bar{\Psi}_s; \\ \bar{u}_r &= R_r \bar{i}_r + d\bar{\Psi}_r / dt + j(\omega_k - \omega)\bar{\Psi}_r; \\ \bar{\Psi}_s &= L_s \bar{i}_s + L_m \bar{i}_r; \\ \bar{\Psi}_r &= L_m \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r\end{aligned}\tag{2.1}$$

бунда $\bar{u}_s, \bar{u}_r, \bar{i}_s, \bar{i}_r, \bar{\Psi}_s, \bar{\Psi}_r$ – кучланиш, ток, статор ва роторнинг оқим илашишларини натижавий векторлари; R_s, R_r, L_r, L_s, L_m – ЭМ нинг параметрлари бўлиб, паспорт қийматлари ёки тажрибавий йўл орқали аниқланади; ω_k – координаталар тизимини айланиш тезлиги, ω – роторнинг айланиш тезлиги.

(2.1) тенгламаларда статор ва роторлардаги электромагнит жараёнлар ω_k тезлик билан айланадиган ягона координаталар тизимида ёзилган. Натижада ЭМ нинг параметрлари ўзгармас қийматлар бўлиб, турғун режимда ток ва оқим илашишларининг натижавий векторлари бир-бирига нисбатан қўзғалмас бўлади.

Агар, (2.1) тенгламаларга ҳаво бўшлиғининг натижавий оқим илашиши Ψ_k киритилса, унда бу ифоданинг кўриниши қуйидагича ўзгаради:

$$\begin{aligned}
\bar{u}_s &= R_s \bar{i}_s + L_s \bar{i}_s / dt + d\bar{\Psi}_m / dt + j\omega_k \bar{\Psi}_m; \\
\bar{u}_r &= R_r \bar{i}_r + L_r \bar{i}_r / dt + d\bar{\Psi}_m / dt + j(\omega_k - \omega) \bar{\Psi}_m; \\
\bar{\Psi}_m &= L_m (\bar{i}_s + \bar{i}_r),
\end{aligned}
\tag{2.2}$$

бунда $L_s = L_s - L_m$ и $L_r = L_r - L_m$ – мос равишда, статор ва роторнинг тарқатма индуктивлиги.

Асинхрон машиналарнинг тахлили олиб борилаётганда, таянч векторга эга бўлаган x - y координата тизими ишлатилади. Тизимни танлаш лойихалаштирилаётган бошқариш тизимини тузилмасини белгилайди. Синхрон тезлик билан айланаётган ($\omega_k = \omega_1$) кучланиш вектори \bar{u}_s бўйича x - y координаталар системаси ўрнатилганда, қисқа туташув роторли АД лар учун (2.1) тенглама қуйидагича кўринишга эга бўлади

$$\begin{aligned}
\bar{u}_s &= R_s \bar{i}_s + d\bar{\Psi}_s / dt + j\omega_1 \bar{\Psi}_s; \\
0 &= R_r \bar{i}_r + d\bar{\Psi}_r / dt + js\omega_1 \bar{\Psi}_r; \\
\bar{\Psi}_s &= L_s \bar{i}_s + L_m \bar{i}_r; \\
\bar{\Psi}_r &= L_m \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r
\end{aligned}
\tag{2.3}$$

бунда $s = (\omega_1 - \omega) / \omega_1$ – сирпаниш.

Уч фазали АД нинг электромагнит моменти оқим ишланиши ва статор токининг векторли кўпайтмаси орқали аниқланади:

$$\begin{aligned}
\bar{M} &= \frac{3}{2} \bar{\Psi}_s \bar{i}_s; \\
M &= \frac{3}{2} p_{\Pi} \text{Im} (\bar{\Psi}_s^*, \bar{I}_s),
\end{aligned}
\tag{2.4}$$

бунда p_{Π} – АД нинг жуфт кутблар сони.

АД ни тўла ифодаланиши учун, чиқиш валидаги моментларнинг мувоза-нат тенгламасини қўшиш керак бўлади

$$\bar{M} - \bar{M}_n = J \frac{d\bar{\omega}}{dt},
\tag{2.5}$$

бунда \bar{M}_n , J – мос равишда юклама ва инерция моментлари.

Шундай қилиб, умумлаштирилган ЭМ нинг математик идентификацияси комплекс коэффициентли нозичикли дифференциал тенгламалар (2.3) (2.4) ва (2.5) кўринишига эга бўлиб, унинг ечими ўзига ҳос хусусиятга эгадир. Лекин, кўпчилик амалий ҳолатларда, АД ва “ЧЎ-АД” тизимидаги электромагнит жараёнларни таҳлил қилиш учун квазитурғун ($d\omega/dt = 0$) ёки турғун ($d\omega/dt = 0$) ва ($di/dt = 0$) жараёнларни кўриб чиқиш етарли бўлади. АД нинг турғун режимда ишлашида (2.3) ва (2.4) тенгламалар системаси тизикли бўлиб, $\omega_k = \omega_1$ ҳолат учун қуйидагича кўринишга эга:

$$\begin{aligned} \bar{U}_s &= R_s \bar{I}_s + j\omega_1 \bar{\Psi}_s; \\ 0 &= \bar{R}_2 \bar{I}_2 + j\beta \bar{\Psi}_r; \\ \bar{\Psi}_s &= L_s \bar{I}_s + L_m \bar{I}_r; \\ \bar{\Psi}_r &= L_m \bar{I}_s + L_r \bar{I}_r \\ \bar{M} &= \frac{3}{2} \text{Im}(\bar{\Psi}_s^*, \bar{I}_s), \end{aligned} \tag{2.6}$$

бунда $\beta = (\omega_1 - \omega)$ – ротор токи частотасини белгиловчи абсолют сирпаниш.

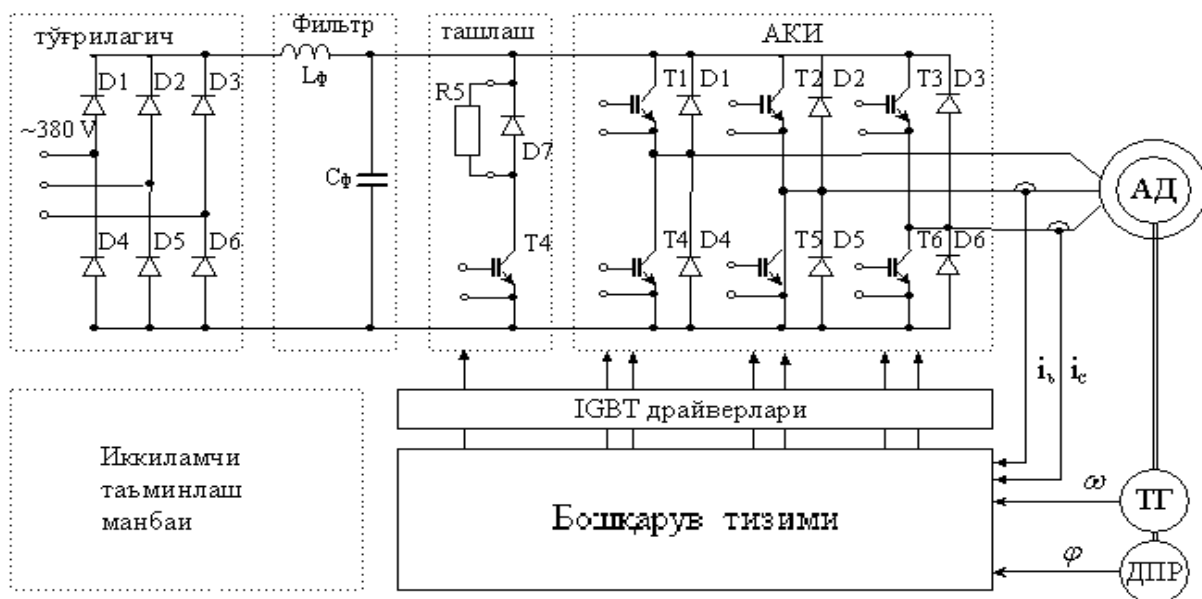
Ушбу тенгламаларнинг ҳар бир ташкил қилувчиси, аниқ физикавий маънога эга ва ундаги қандайдир коэффициентларни ёки ўзгарувчиларни ўзгариши двигателининг электромагнит ва электромеханик харақтарикаларига таъсир қилади. Бунга АД нинг тезлигини диссипатив ва частотавий ростлаш асосланган. Одатда, параметрик бошқариладиган электр юритмалар частотавий бошқариш усулларига асосланган тизимларига нисбатан паст кўрсаткичли энергетик ва ростлаш харақтарикаларига эгадир.

Умумлашган электр юритмаларнинг частотавий бошқаришнинг асосий қонунлари қуйидагилардир: $U_s/\omega_1 = \text{const}$, $\Psi_o = \text{const}$, $\Psi_r = \text{const}$, $U_r/\beta = \text{const}$ [44]. Ушбу қонунлар шуни ўрнатадики, двигателнинг тезлиги (моменти) ни частотавий ростланганда таъминловчи кучланишнинг

амплитудаси ва частотасининг нисбати ўзгармас ҳолатда ушлаб турилиши ёки оқим ила-шиши барқарорлашган бўлиши зарур.

Кўрсатилган ифодаларни амалга оширилиши ЭМ нинг тури ва конструктив бажарилишига боғлиқ. $U_r/\beta = \text{const}$ нисбати фақат фаза роторли машиналарга тўғри бўлиб, улар ҳозирда юқори қувватли, аммо параметрик бошқариладиган электр юритмаларда кенг қўлланилади.

2.1-расмда замонавий ўзгарувчан ток электр юритмаларининг таркибига кирувчи асосий функционал блоklar келтирилган. Кучли токли ўзгарткич, бошқарилмайдиган тўғрилагич $D1...D6$ дан, филът $L_\phi - C_\phi$ дан, балласт резистори R_6 га рекуператив энергияни қабул қилувчи занжирдан ва уч фазали автоном кучланиш инвертори АКИ дан иборат. Ўзгарткичнинг кучли токли каскадлари бошқариш тизими билан драйвер орқали боғланган бўлиб, у транзисторларнинг хафсиз коммутациясини ҳамда ўта юкланишдан сақловчи алгоритмни таъминлайди.



2.1- расм. Частота ўзгарткичлари янги элемент базаси асосида тузилган асинхрон электр юритманинг функционал схемаси

Ўзгарткичнинг мазкур схемаси универсал бўлиб, қисқа туташув роторли АД га эга бўлган электр юритмаларни юқорида кўрсатилган частотавий бошқариш қонунлари асосида амалга ошириш имкониятини беради. ЭМ нинг тури, унинг частотавий бошқариш усули ва бунинг учун

керакли бўлган тескари алоқаларнинг тузилиши бошқариш тизимининг функционал жихатдан қурилишини аниқлайди. Электр юритманинг датчиксиз бошқарув тизимини тузишда, тахогенератор ТГ ёки роторнинг ўрин жойи датчиги ЎЖД ни мавжудлиги шарт бўлмайди. Ўзгарувчан ток электр юритмасининг умумий тузиш принциплари ва бошқариш тизимининг асосий функционал блок-ларини кўриб чиқамиз.

Ростланадиган электр юритмаларни қуришдаги муҳим масалалардан бири – АКИ нинг кучли токли калитларини коммутациялаш алгоритмини танлашдир. Чунки, ушбу танлаш оқибатида, қўлланиладиган кучли токли элемент базаси белгиланиб, ўзгарткичнинг ростлаш ва энергетик характеристикалари аниқланади.

Кўриб чиқиладиган транзисторли кучли токли ўзгарткичда импульс кенглиги бўйича модуляциялаш ШИМ алгоритми мавжуд бўлиб, у чиқишдаги кучланишни модули ва фазаси бўйича кенг диапазонда ростланишни таъминлайди. Бу эса, электр юритма тизимини тезлик бўйича кенг диапазонда ростланганда зарур бўлади. Шунингдек, симметрик импульс кенглиги бўйича модуляция ШИМ ўзгарткичнинг чиқишидаги токини пульсациясини камайишига, яъни юкларнинг қувват йўқотишларини ҳамда электромагнит халақитларини пасайишига олиб келади. Шу сабабдан, бошқариш тизимининг чиқиш блоклари симметрик ШИМ билан жихозланади.

Хар қандай ўзгарувчан ток электр юритмаларининг бошқариш тизимида координата ўзгарткич КЎ лар мавжуд бўлиб, у ростланувчи ўзгарувчилар ўртасидаги турли координаталар тизими бўйича боғланишларни ўрнатади. Юқорида кўрсатилганидек, ЭМ нинг математик ифодаси ҳамда бошқариш тизимидаги ростлагичларнинг синтези, таянч векторлари билан боғлиқ бўлган айланадиган координата тизими орқали амалга оширилади. Лекин, АКИ ёрдамида АД ни бошқариш ва фазалардаги токни ўлчаш, уч фазали қўзғалмас координаталар тизими $a-b-c$ да бажарилади ва статор чўлғамлари билан боғлиқ бўлади.

Шу сабабдан, умумий ҳолатда координата ростлагич КР ларининг сигналлари тўғри ва тескари трансляциясини, айланадиган x - y (ёки d - q) ҳамда айланмайдиган икки фазали a - b ва уч фазали a - b - c координаталар тизим-ларида Кларк тенгламасига кўра амалга оширилади:

$$\begin{aligned}
 & \text{- бошқаришнинг тўғри канали} & \text{- ток бўйича тескари алоқа канали} \\
 u_{s\alpha} &= u_{sx} \cos\omega t = u_{sy} \sin\omega t, & i_{s\alpha} &= i_{sa}, \\
 u_{s\beta} &= u_{sx} \sin\omega t + u_{sy} \cos\omega t, & i_{s\beta} &= -(i_{sb} + i_{sc}) / 0.86, \\
 u_{sa} &= u_{sa}, & i_{sx} &= i_{s\alpha} \cos\omega t + u_{s\beta} \sin\omega t, \\
 u_{sb} &= 0.5u_{s\alpha} - 0.86u_{s\beta}, & i_{sy} &= -i_{s\alpha} \sin\omega t + u_{s\beta} \cos\omega t \quad (2.7) \\
 u_{sc} &= -0.5u_{s\alpha} - 0.86u_{s\beta}.
 \end{aligned}$$

Ушбу тенгламаларда ток ва кучланиш векторларининг проекцияси координата тизимига мос ҳолдаги индекслар билан белгиланади (x, y – индекслари d, q – индексларига мос ҳолда).

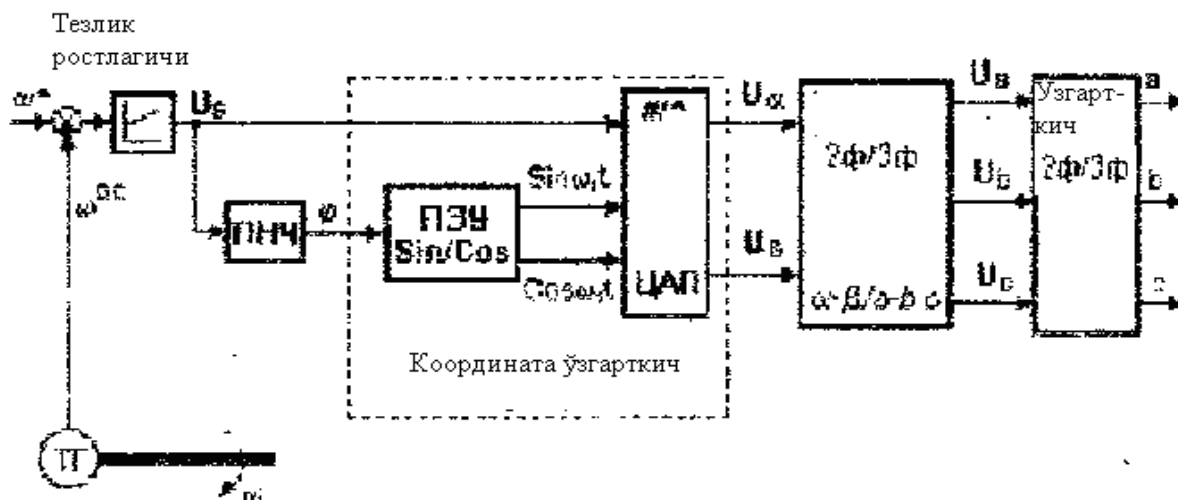
Рақамли-аналог бошқариш схемаларда бу тенгламаларни амалга ошириш мураккабдир, чунки у кўп сонли микросхемалар тўпламини ҳамда аналог кўпайтиргичларни талаб қилади. Бошқариш тизимида микроконтроллерларни қўллаш, координата ўзгарткичларини қуриш масаласини осонлаштиради, лекин кўпайтириш операцияларни катта сони, ростлаш циклининг частотасини камайтиради, бу эса баъзи талабларга жавоб бермайди.

Электр юритманинг анаънавий бошқариш тизими, ўзгарувчиларни бўйсундирилган ҳолда ростланиш принцигига кўра қурилади. Бунда, токнинг ички контури тезликни ростлаш контури ва керак бўлганда эса ўрин жойи контури билан ҳам қамраб олинади. Ток контурини қўзғалмас координаталар a - b - c тизимида тузиш, координата ўзгарувчилари сонини камайтиради, бу ўз навбатида бошқариш тизимини соддалаштиради.

Маълумки, қисқа туташув роторли АД, унинг атрофидаги “сирпана-диган” статор майдони ёрдамида қўзғалади. Двигателни бошқариш жараёнида, ротор майдони ўзгармас бўлиши зарур. Натижада, магнит тизимини

тўйиниши камайиб, АД нинг механик характеристикаси чизиқли бўлиб қолади ва электр юритмаларнинг динамик параметрлари яхшиланади. Ушбу масаланинг ечими анча мураккабдир. Шу сабабдан, АД ни бошқариш қонуни ва услубини танлаш электр юритмага қўйилган талаблардан келиб чиқади.

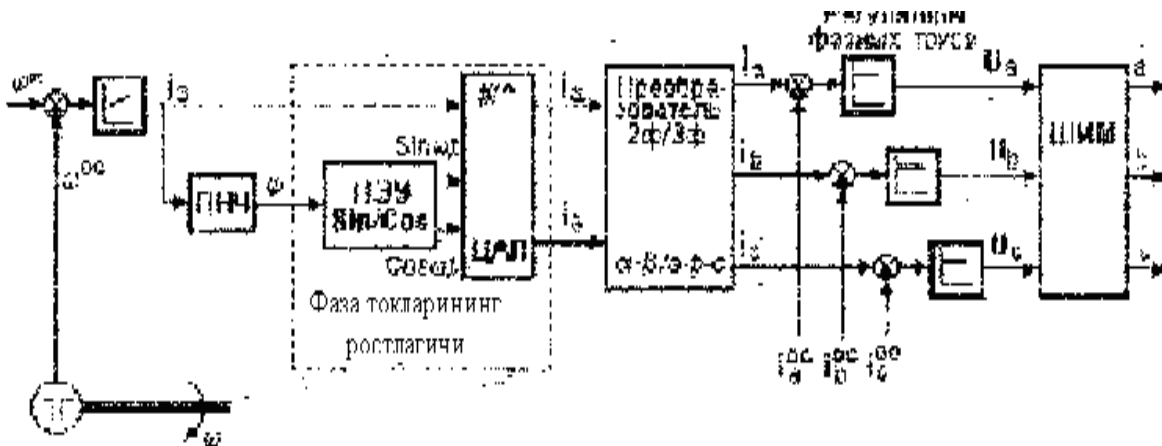
АД учун $U_s/\omega_1 = \text{const}$ бошқариш қонунини амалга оширилиши 2.2-расмда келтирилган функционал схема бўйича олиб борилади. Бунда “кучланиш- частота” ўзгарткичи (КЧЎ) ёрдамида манбаловчи кучланиш амплитудаси ва инвертор коммутациясининг асосий частотасини нисбати ўзгармас ушлаб турилади [14]. Координата ўзгарткич (КЎ) Sin ва Cos функциялари жадваллари ҳамда рақамли-аналог ўзгарткичлар асосида бажарилган. Бундай частотавий бошқариш кенг тарқалган бўлиб, бунда юритманинг тезлигини ростлаш диапазони кичик ва тизимга динамик жараёнлар бўйича юқори талаблар қўйилмаган.



2.2- расм. $U_s/\omega_1 = \text{const}$ бошқариш қонунига мос ЭЮ нинг функционал схемаси

Токни ростлаш контурнинг мавжудлиги ток амплитудасини частотага бўлган нисбатини ўзгармас қилиб ушлаб туришга имконият яратади. Натижада механик характеристикани қаттиқлиги ортади, лекин электр юритмаларни асосий характеристикалари яхшиланмайди. Ушбу АД нинг тезлигини ростлаш принципи частотали-токли бошқариш усулига таълуқлидир.

АД ни частотали-токли принципи бўйича бошқаришнинг бошқа усули абсолют сирпаниш бўйича ростлаш деб аталади ва у $\Psi_m = \text{const}$ ҳамда $\Psi_r = \text{const}$ қонунларини амалга оширади. Бунда, $\Psi_r = \text{const}$ қонуни анча афзалроқдир чунки бир хил амалга оширилганда, электр юритмаларнинг характеристикаларини яхшироқ қийматларини таъминлайди.,



2.3- расм. Скаляр бошқарув усули амалга оширувчи ЭЮ ни функционал схемаси

Абсолют сирпаниш бўйича тузилган электр юритмаларни бошқаришда $\Psi_r = \text{const}$ қонунини таъминлайдиган учта асосий усулни кўрсатиш мумкин, булар: скаляр, поляр ва векторли усуллар. Ушбу усуллар қуйидаги тенгла-маларни бажаришга асосланган:

вектор кўринишида

$$I_s = \Psi_r (1 + j\beta L_r / R_r) / L_m, \quad (2.8)$$

поляр кўринишида

$$I_s = \Psi_r / L_m \cdot \sqrt{1 + (\beta L_r / R_r)^2}, \quad \delta = \arctg(j\beta L_r / R_r) \quad (2.9)$$

бунда δ – роторнинг оқим илашиши Ψ_r ва статор токи i_s векторлари орасидаги бурчак, β – абсолют сирпаниш.

Ростланишни *скаляр усули* ток i_s нинг модулини Ψ_r га боғлиқ ўзгариши бўйича (2.8) тенглама асосида бажарилади. Ушбу усул 2.3. расмда келтирилган функционал схема орқали амалга оширилади бунда токни

АД нинг статикада ишлаши нуктаи назаридан, абсолют сирпаниш бўйича бошқарув усуллари бир-бирига тенг бўлиб, барча ҳолатларда механик характеристикалар тўғри чизик кўринишда бўлади (ЎТД характеристикаларига ўхшаш). Динамик режимларда ва тезлик диапазони кенг бўлганда эса векторли бошқарув афзалдир.

ЭМ ни бошқариш усули ҳамда қонунини танлашда нафақат ижро этувчи двигателни тури, балки электр юритманинг характеристикасига бўлган талабларни ҳисобга олиш зарур. Масалан, АД асосида қурилган тезкор, кенг диапазонда ростланадиган электр юритма импульс кенглиги бўйича модуляция ШИМ билан жихозланган инвертор асосида ҳамда абсолют сирпаниш бўйича вектор бошқарувига кўра тузилади. АД асосида қурилган оддийроқ электр юритмаларнинг тизимларида эса скаляр ва поляр бошқарув қўлланилади.

Шундай қилиб, юқорида кўриб чиқилган электр юритмаларни яратишда, тезлик бўйича диапазони, тезликни ростлашни аниқлиги, инверторнинг манбаловчи кучланиш, максимал момент каби кўрсаткичларга мос миқдорда танланади, натижада оптимал энергетик характеристикалар олиниши кўзда тутилади.

2.2. Электр юритма тизимининг микропроцессорли бошқариш схемасига қўядиган асосий талаблари

У ёки бу двигателни бошқариш тизимини тузилиши ҳамда ишлатиш алгоритми ҳар бир аниқ ҳолатда электр машинанинг тури, бошқариш усули ва қонуни, электр юритмаларни ишлатиш бўйича қўйиладиган талаблардан келиб чиқади. Электр юритмаларнинг универсал бошқариш тизимига қайта тузилиш хусусияти киритилиб, унинг ички архитектураси конкрет двигател турига ҳамда бошқариш усулига мос бўлиши керак. Тизимнинг динамик хусусиятларига юқори талаблар қўйилганда ҳамда айланадиган координаталар тизимидаги ростлаш талаб қилинса, тизимнинг

аппаратли қисми анча мураккаблашади. Агар қисқа туташув роторли АД ли электр юритмаларнинг бошқаруви частотавий усул билан амалга оширилса, тизимнинг мураккаблашиши қўшимча чизикли ва ночизикли бўғинларни кириши хисобига ошади. электр юритмаларни универсал бошқариш тизимининг тузилиши ва параметрлари ростлашнинг энг мураккаб қонунларини таъминлаши зарур [20,36,39].

Шу сабабдан, универсал бошқариш тизимиинг асосий бўғини сифатида микропроцессорни қўллаш мақсадга мувофиқдир. Унга қатор функцияларни бажаришни амалга оширувчи дастурларни киритиш мумкин. Одатда, бундай масалани амалга ошириш, мураккаб аппаратура орқали (масалан, аналог кўпайтиргичлар, аналог бўлувчилар ва хоказолар) амалга оширилади. Ускунанинг умумий интеграциясини ошириш билан бир қаторда микропроцессорни қўлланиши, бошқарув тизимини турли двигателлар ҳамда бошқарув усулларига мосланиш жараёнини енгиллаштиради, чунки дастурларни ўзгартиришларни амалга ошириш, аппаратларнинг қайта тузишдан анча осондир. Бошқариш қонунинг рақамли таъминланиши, тизим аниқлигини анча оширади, чунки, аналог бошқарув схемаси учун сигналларнинг ҳар бир босқичда ишлов бериш, унинг табиатига мос келади. Алгоритмик рақамли ишлов бериш бундай камчиликдан холидир.

Замонавий микропроцессорларни тезкорлиги схеманинг динамик хусусиятларини амалга оширишда яхши омил бўлади. Микропроцессорлар асосий ростлаш функциялардан ташқари, химоя, диагностика ва электр юритма-ларнинг мониторингини амалга оширади. Бундан ташқари, бир неча электр юритма глобал кўп қатламли тизимга бирлаштирилиши мумкин бўлиб, марказлашган ҳамда тақсимланган бошқарувни амалга ошириш имконини беради.

Бундай электр юритмаларнинг турлари ҳозирда SEW – EURODRIVE фирмаси томонидан ишлаб чиқилмоқда. Лекин электр юритмаларларни универсал бошқариш тизимларининг аниқлик бўйича ва динамик параметрлари ҳамда тузилишининг мураккаблиги микропроцессор-лар элемент

базасининг техникавий характеристикаларига юқори талаблар кўяди. Бундай характеристикалардан асосийлари – микропроцессорнинг тезлиги, хисоблар разряди ҳамда асосий хисоблаш ядросининг турли ташқи қурилмалари билан бўлган интеграцияси ва тизимнинг қолган қисмини амалга оширувчи интерфейси бўлади. Бу характеристикаларни таъминлаш микропроцессорнинг элемент базасини танлашда ва таҳлил қилишда тизимли кўриб чиқишни талаб қилади.

Векторли бошқарувига эга бўлган тизимлар кўп каналли бўлиб, айланадиган координаталар тизимида ўзгарувчиларнинг ростлаш контури-ни ўз ичига олади. Бундай схемани тузилиши ПИ ва ПИД – ростлагичларни токни ростлаш контурида қўлланишини таъминлайди. Бундай контурлар ўтказувчанлик қобилияти бўйича қўзғалмас координаталар тизимидаги контурларга нисбатан юқори кўрсаткичларга эга.

Келтирилган функционал схемаларга кўра шундай хулосаларни қилиш мумкин: электр юритмани бошқариш тизимининг микропроцессорли қисми қуйидаги функцияларни бажариши керак; тесқари боғланиш датчикларидан аналог сигналларини киритиш ва уларни синхрон тарзда аналог-рақамли ўзгартириш; электр юритмаларнинг белгиланган режимининг параметрлари-ни киритиш; талаб қилинаётган двигател тури ва унинг бошқарувига кўра тизимни қайта тузиш; тизим ростлагичлари ва бошқарув қонунни алгоритмик амалга ошириш; частота ўзгарткичига импульс кенлиги бўйича модуллаштирилган сигналларни чиқариш тизимнинг жорий ҳолатини тезкор қайд қилиш; тизимни диагностикаси ва химоялаш функцияларини амалга ошириш; юқори қатламдаги ЭХМ билан боғланиш.

Одатда, электр юритмаларнинг юқори аниқликка эга бўлган тизимларида ҳолатни ростлаш контури 30 Гц ли бўлган ўтказиш оралиғи мавжуд. Тезликни ростлаш контурининг ўтказиш оралиғи – 300 Гц ҳамда ток контуриники эса 3...5 кГц. Бунда импульс кенлиги бўйича модуляциянинг ташувчи частотаси 6...12 кГц ни ташкил этади. Шундай қилиб, микропроцессор бошқариш тизимининг ростлаш вақти 80...170 мкс

га тенгдир. Юқори аниқликка эга бўлган ростлаш тизимини қўллашда, статик аниқлик -1` ни таъминлаш учун микропроцессор бошқарув тизими аниқ хисобларда 16 та разрядли чиқишдаги ўзгарувчилар кодида берилиши зарур. Бундай аниқлик тезликлар бўйича ростлаш диапазонини 1:10000 ораликда таъминлайди.

Бугунги кунда, корхоналари томонидан юқорида келтирилган микропроцессор бошқарув тизимлари ишлаб чиқилмайди. ABB SEW EURO-DRIVE, TOSHIBA, SIEMENS фирмалари томонидан бир қатор микропроцессорли электр юритмалар ишлаб чиқарилмоқда. Асосий бўғин сифатида микропроцессорлар таркибида SIEMENS фирмасининг SAB 80C166 турдаги ANALOG DEVICES фирмасининг ADSP – 21XX турдаги ва бошқалар қўлланилмоқда. Бир хил фирмалар бозор талабига кўра, элементлар базасини ташқи микросхема кўринишида ишлаб чиқиб, электр юритмаларни махсус бошқариш масаласини хал қилади. Мисол учун ANALOG DEVICES фирмаси чиқарган векторли AD2S100, ADMC200 сопроцессорларни келтириш мумкин. Булар синхрон ва асинхрон машиналарни векторли бошқарувини амалга оширади [46,51]

Электр юритмаларни бошқариш хусусияти *микромиконтроллернинг* келтирилишига мос келади. Микромиконтроллерлар микропроцессорлар билан таққосланганда, улар катта қувватли хисоблаш ядросидан ташқари периферия қурилмасидан иборат бўлиб, кириш – чиқиш порти, таймер, счётчиги, аналог-рақамли ўзгарткичлар, импульс кенглиги бўйича модуляторлар, кетма-кет портлар ва шунга ўхшашлар микромиконтроллернинг ички қисмини интеграциялашга имкон беради.

Лекин микромиконтроллернинг хисоблаш ядроси тезлиги чекланган ва сигналларнинг реал вақт режимида адаптивлаш имконини ҳамда уларни тез ишлаб кетувчи бошқариш тизимларда қўллашга рухсат бермайди. Масалан, бир каналли рекуррент ПИД – ростлагичнинг дастурлаш алгоритми микромиконтроллерда жойлашган бўлиб, у INTEL фирмаси томонидан MCS96 тури сифатида ишлаб чиқилган. Хисоблаш аниқлигига мос холда

30-50 микросекунд вақтида ўтказувчанлик интервалини таъминлайди ва уч контурли икки каналли ростлаш тизимида бу интервал 10 Гц га тенг.

Замонавий тез ишлаб кетувчи микроконтроллерлар ўз таркибида периферия қурилмаларидан ташкил топади. Бугунги кунда тавсия этилаётган микроконтроллерлар ишлаб кетиш тезлиги, разряди ва ичида ўрнатилган периферия қурилмаси бўйича бир неча тури тезкорлик хусусиятига эга, масалан, SAB SIEMENS фирмаси чиқарган 80C166 микроконтроллери NATIONAL SEMICONDUCTOR – фирмаси чиқарган HPC46100 контроллери. SIEMENS фирмаси чиқарган SAB 80C167 микроконтроллери бир каналли рекуррент ПИД – ростлагичдан иборат бўлиб, алгоритмни амалга оширилиши 5 микросекунд давомида бажарилади.

Периферия қурилмаси таркибида ўрнатилган ва тез ишлаб кетувчи микроконтроллерларнинг турларини бозорда камлиги, электр юритмаларни тез ишлаб кетувчи турини яратувчи лойихачилар бундай тизимларда сигнал ишловини *рақамли процессор* ёрдамида олиб борувчи мосламани қўллаш-моқда. Бундай микросхемалар мураккаб ҳисоблаш алгоритми орқали реал вақт режимида сигналларни ишловини олиб боради. Уларнинг ички тузилиши ва ташқи интерфейси жуда кичик вақт интервалида тесқари боғланишли датчиклардан олинган кириш сигналларга ишлов беришини амалга оширади. Бундан ташқари, тизимнинг чиқишдаги бошқарув сигналларни ишлаб чиқиб, жуда мураккаб бўлган бошқарув қонуни алгоритминини амалга оширади.

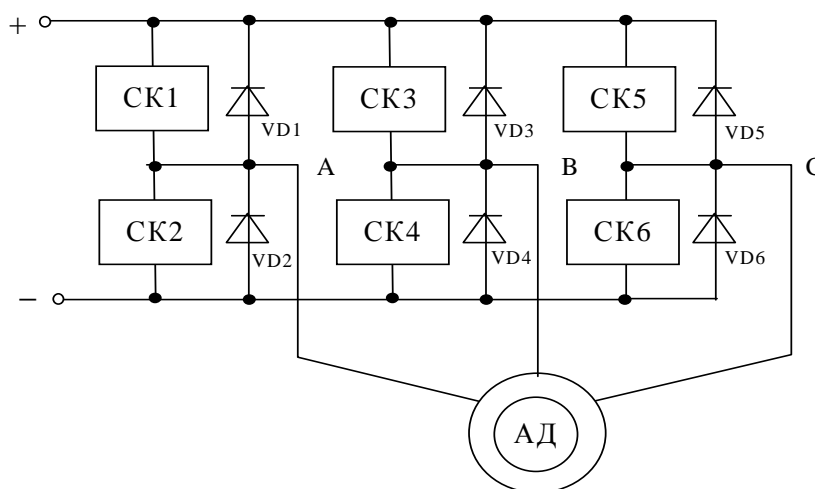
Сигналларга рақамли ишлов бериш, процессорининг махсус периферия микросхемалари билан қўлланилиши тизимни керакли даражада интеграцияланишига олиб келади ва ишлаб кетиш жихатдан тезлашишни таъминлайди. Бундай тезлигни кўпайиши нисбатан тизимнинг нархини сезиларсиз ортиши ҳисобига олинмиши мумкин. Ишлаб кетиш тезлиги бўйича катта имкониятли электр юритмаларнинг химояси, диагностикаси ва мониторинги сигналларни рақамли ишлов бериш процессорига юклатилади. Бундай процессорлар турли кўринишдаги периферия қурил-

малари билан жихозланиб, ўзининг тузилиши бўйича микроконтроллерларга яқинлашади ва уларни электр юритмаларнинг бошқарув тизимига киритилиши енгиллашади.

2.3. Частота ўзгарткичларни бошқариш усуллари ва тузилмалари

Частота ўзгарткичларнинг асосий вазифаси – двигателни электро-механик параметрларини ростлашдир. Асинхрон электр юритмаларда буни амалга ошириш учун кучланиш ёки ток ҳамда ўзгарткич чиқишидаги частота ростланади[13,23,24].

2.5-расмда келтирилган АКИ нинг функционал схемаси, уч фазали АД ни частотавий бошқариш учун қўлланади. Ушбу схема олти калит (СК1-СК6) дан иборат бўлиб, у тескари диодлар билан (VD1-VD6) жихозланган ва бу диодлар АКИ нинг реверсив энергетик хоссага эга бўлишини таъминлайди.



2.5-расм. Уч фазали кўприкли инверторнинг функционал схемаси

Двигател АКИ дан манбаланганда, унинг статор чўлғамлари юлдузча ёки учбурчакка уланади. Бу икки турдаги уланишлар хар бир фаза жуфт-лиги учун кучли токли калитларнинг қайта уланиш кучланишини двигател чўлғамларида ўзгариб кетишига сабабчи бўлади. Инверторни бошқариш кучли токли занжир орқали ёки калит СК ларни қайта улаш алгоритми ёрдамида амалга оширилади.

АД ни частотавий бошқаришда чўлғамларнинг кучланиши, яъни ‘ЧЎ-АД’ тизимидаги электромагнит жараёнлар АКИ нинг бошқариш усулига боғлиқ бўлади (бунда калит СК ларнинг қайта уланиш алгоритми ва инверторнинг манба кучланишини шакллантириш принципи назарда тутилади). Инверторларни бошқариш усуллари ва улар асосида қурилган турли схемаларни қиёсий баҳолаш олдидан. уларни гурухларга ажратиш лозим. Бундай гурухланиш электр машина билан манба ораларидаги энергетик боғланиши ҳамда кучланиш ва токнинг инвертор чиқишидаги натижавий векторларини параметрлари асосий мезонлар бўлиб қолади (2.1-жадвал). Инверторлар энергетик боғланиш хусусиятларига кўра икки синфга ажралади:

- Икки томонлама энергетик боғланишли инверторлар. Бунда схемалардаги бошқарув сигналлари учта кучли токли калитга ҳар доим узатилган ва бу билан кучли токли қисмнинг тузилишини ўзгармаслиги таъминланади ;

- Бир томонлама энергетик боғланишли инверторлар. Бунда схемалардаги бошқарув сигналлари узатиладиган калитлар сони маълум вақт интервалида уч донадан кам бўлиши мумкин.

Энергетик боғланишнинг хусусияти инверторнинг тузилишини ифодалайди. Икки томонлама энергетик боғланишда тузилиш ўзгармайди (ўзгармас тузилишли инверторлар), бир томонлама энергетик боғланишли тузилишида эса, унинг шакли ўзгаради (ўзгарувчан тузилишли инверторлар). Ростланадиган параметрни – натижавий векторни ўзгариши нуқтаи назаридан биринчи синф инверторларини бошқариш усуллари ва схемалари тўртта гурухга ажратилиши мумкин (2.1-жадвалда кўрсатилгандек):

1. $\Theta = 180^\circ$ қайта улаш қонуни бўйича натижавий векторни қийматини ростлаш инверторлари.

2. Натижавий векторни ўртача қийматини ростлаш инверторлари. Бундай гурухга импульс кенглиги бўйича ростлаш ШИР ли схемалар оид бўлиб, улар асосий ва ташувчи частота орқали ростланади.

3. Натижавий векторни ўртача фазасини ва қийматини ростлаш инверторлари. Бундай гуруҳларга инвертор киришидаги кучланиши ростланадиган схемалар оид бўлиб, улар махсус бошқаришни талаб қилади (махсус бошқариш чиқиш кучланишини гармоник таркибини яхшилайти).

4. Ўртача модул ва натижавий векторнинг ўртача фазаси ростланган инверторлар. Бундай схемалар ШИМ билан жихозланиб, синусоидал, трапециадал, учбурчак ва бошқа қонунлар бўйича чиқишдани кучланиш таркибини гармоник ташкил этувчиларини яхшилаш имконини беради.

2.1-жадвал

Уч фазали автоном кучланиш инверторларни тузилиши ва бошқариш усуллари

Манбаа ва юк-ламанинг энергетик боғланишини хусусиятлари	Натижавий векторнинг ҳаракати			
	ростланувчи инверторлар			
	1.Натижавий векторнинг (модулнинг қиймати)	2. Натижавий векторнинг ўртача қиймати	3.Натижавий векторнинг қиймати ва ўртача фазаси	4.Натижавий векторнинг ўртача фиймати ва ўртача фазаси
I. Икки томонлама энергетик боғланишли АКИ(куч занжири ўзгармас тузилишли АКИ)	1.1 Ўзгармас ток бўғинида кучланишни ростловчи схема ва $\Theta = 180^\circ$	1.2. Импульсда ва паузада ШИР схемаси учта СКлар уланса	1.3 Ўзгармас ток бўғинида кучланиши ростланадиган схемалар ва импульсда ва паузада ШИР таркибида учта СК уланса	1.4 Импульсда ва паузада учта калитли ростланадиган ШИР схемалари
II. Бир томонлама энергетик бо-ланишли АКИ (куч занжири шщгарувчан АКИ)	2.1.Ўзгармас ток бўғинида кучланишни ростлаш схемаси $\Theta = 120^\circ$ ва $\Theta = 150^\circ$	2.2. Пауза пайтидаги бир ё иккита калитни ШИР билан узиш схемаси	2.3. Пауза пайтидаги бир ёки иккита калитни 1.3 да кўрсатилагн сингари узиш	2.4. Пауза пайтидаги бир ёки иккита калитни 1,4 да кўрсатилган сингари узиш.

Бошқариладиган тўғрилагичга эга бўлган схема инверторнинг кучланишини ростлайди, унинг таркибида тўғриланган кучланишни пульсацияларини силлиқловчи филтър мавжуд бўлади. Бошқариладиган тўғрилагич манба-дан саноат частотаси билан таъминланганда, филтърнинг ўлчамлари ва вазни жуда кичик бўлиб, электр машинанинг бошқариш занжирида тебранувчи бўғин сифатида номоён бўлади. Бу эса автоматик ростланиш тизимида кераксиз бўлади.

Бундан ташқари, бошқариладиган ўзгартичнинг камчилиги – ўзгарувчан ток занжирида актив ва реактив қувватларни қониқарсиз балансидир.

Кенг ростланадиган электр юритмалар учун АКИ нинг чиқишдаги векторни ростлаш модулига эга бўлган схема қулай бўлиб, ташувчи частотада ишловчи импульс кенглиги бўйича ростлагич ШИР ни ёрдамида калитларининг юқори частота билан қайта уланиши оқибатида, бундай ЧЎ ўзгармас ток занжирида филтросиз ишлаши мумкин].

Ушбу тизимнинг камчилиги – АД истеъмол этаётган тўлиқ қувват кенг ростланадиган ростлагич ва АКИ орқали ўтади. Бундай электромагнит энергиянинг икки поғонали ўзгартирилиши, ф.и.к. нинг пасайишига олиб келиб, юритманинг габритларини катталаштиради. Бундан ташқари, электр юритма ижро двигтелини генератор режимига ўтказилиши, махсус чораларни ташкил этишни талаб қилади (бундай чоралар манба ва АКИ ни икки томонлама энергетик боғланиши орқали таъминланади).

Чиқишдаги кучланишнинг ростлаш диапазонида юқори талаблар қўйилмаса, ўзгармас ток бўғиндаги ШИР ни қўллаш қулай бўлиб, у инверторнинг тиристорли схемасида коммутация тугунларини қўлламасликка сабаб бўлади. АКИ даги асосий ва йўналтирувчи частотага асосланган ШИР мавжуд ҳамда у ШИМ камчиликлардан холи бўлса, битта инверторнинг ўзида инверторлаштириш ва кучланишни импульс кенглиги орқали бошқариш функциялари бирлаштирилади.

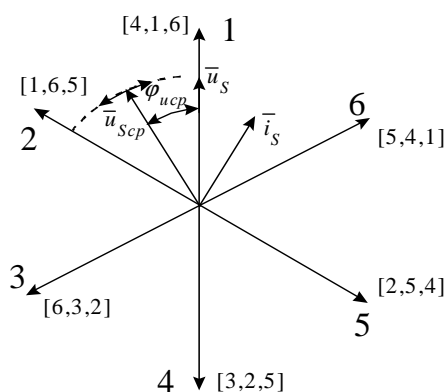
АКИ чиқишдаги кучланишнинг эгри чизиғини импульс кенглиги усули бўйича шакллантириб, уни ростлаш учун қайта улаш алгоритми киритилиб, 180° – режими бўйича амалга оширилади. Уч фазали АКИ нинг чиқишдаги кучланишни ШИР ёрдамида қайта улаш учун турли алгоритмлар мавжуд бўлиб, уларни танлашда кучли токли схемасининг тузилиши маълум интервалларда ўзгармасдан ушлаб туриш амалга оширилади ҳамда бунда кучланишг эгри чизиғининг шакли юкламанинг қиймати ва хусусиятига боғлиқ бўлмайди.

Алгоритмларнинг турли-туманлиги чиқишдаги кучланишни гармоник таркибини яхшилаб, электр юритмани турли бошқариш схемаларини таъминлайди. Шундай қилиб, электр юритмаларни электромагнит ва энергетик характеристикаларини АКИ ни бошқариш усули аниқлаб беради ва булар ҳисоб ва таҳлилларда инобатга олиниши зарур. Бунинг учун АКИ нинг ишчи жараёни батафсил кўриб чиқилиб, қўйидаги ўзгарувчилар аниқланиши зарур. Кучланишнинг натижавий векторини ўртача модули қўйидагича аниқланади:

$$|\bar{u}_s|_{cp} = \gamma \bar{U}_s \quad (2.10)$$

бунда $\gamma = t_1 / T_0$ - АКИ нинг уланиш ҳолатини нисбий давомийлиги бўлиб, бунда двигателнинг статори чўлғами манбага уланган; $1-\gamma = t_2 / T_0$ - узил ҳолатнинг нисбий давомийлиги бўлиб, бунда кучли токли калитини анод ёки катод гуруҳлари чўлғам орқали туташтирилган бўлади; t_1, t_2 - импульс ва паузанинг нисбий давомийлиги; T_0 - йўналтирувчи частотанинг даври.

Натижавий векторларнинг нисбий ҳолатига (2.6-расм) кўра, ШИМ рост-ланадиган бўлганда, АКИ даги электромагнит жараёнларини таҳлил қилиш мумкин. (2.6-расм) да квадрат қовуслар ичида очиқ берувчи сигнал узатилган кучли токли калитларнинг номери берилган.



2.6-расм. Инвертор чиқишидаги натижавий векторлар

Хар қайси натижавий векторнинг аниқ ҳолати 1-6 рақамлар билан белгиланади. Ростланадиган ШИМ учун вектор \bar{u}_s кўп маротаба иккита ёндош ҳолатлар орасида ҳаракатланади (1-2, 2-3, ..., 4-1).

Буни амалга ошириш кучли токли калитининг фаза гурухи орқали бажарилади, масалан, СК1 ва СК2 (2.6-расм). T_0 вақт давомида кучланишнинг натижавий векторини ўртача фаза қиймати ўрнатилиб, у қуйидаги тенглама орқали аниқланиши мумкин

$$\varphi_{u-p} = \arctg \frac{\sqrt{3} t_{n+1}}{2t_n + t_{n+1}} + \frac{\pi}{3} (n-1) \cong \frac{\omega_0}{k} t, \quad (2.11)$$

бунда $n = 1 \dots 6$ – асосий ҳолатини номери; t_n – n ҳолатидаги вектор \bar{u}_s нинг вақт давомийлиги; t_{n+1} – $n+1$ ҳолатидаги вектор \bar{u}_s нинг вақт давомийлиги; $k = \omega_0 / \omega_1$ частота ўзгарткичини йўналтирувчи частотасини чиқишдаги частота-га нисбати.

\bar{u}_s векторнинг модулини ўзгариши 1-ў интервалида калитнинг анод ёки катод гурухини бирданга очилиши ҳисобига амалга ошади. Инверторнинг чиқишидаги калитларда амалга ошираётган қайта улашлар оқибатида кучланишнинг ўртача натижавий вектори ҳосил бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$\bar{U}_s = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \bar{u}_s dt = \gamma U_s e^{j\varphi_{ucp}} \quad (2.12)$$

Агар АКИ нинг чиқишдаги зажирларида вақт бўйича доимийси катта бўлган актив индуктив юкламага уланса ва ШИМ нинг йўналтирувчи частотасининг даври T_0 дан каттароқ бўлса, юклама фазаларидаги ток ШИМ ни таркибида бўлиб, унинг узликсиз фойдали ташкил этувчиси айланади.

Шундай қилиб, инверторнинг бошқариш схемаси, ”ЧЎ – АД” нинг талаблари орқали амалга оширилади: биринчи ва олий гармоникаларнинг майдони таъсирида АД да йўқотишлари ва моментнинг пульсациялари минимал бўлади; ўзгарткичнинг элементларида ҳам минимал йўқотишлар бўлади. Бундай талаблар ўзаро мос тушмаслиги мумкин. Иккала талабни кондириш учун, ”ЧЎ-АД” тизимини электромагнит жараёнлари таҳлил қилиниб, керакли тадбир қабул қилиниши зарур.

II боб бўйича хулосалар

1. Асинхрон двигателларнинг бошқариш схемалари ва бошқаришнинг асосий усуллари аниқлаш, электр ва магнит қийматларнинг натижавий (умумлаштирувчи) вектор усули асосида амалга оширилади. Умумлашган ЭЮ ларнинг частотавий бошқаришнинг асосий қонунлари қуйидагилардир: $U_s/\omega_1 = \text{const}$, $\Psi_o = \text{const}$, $\Psi_r = \text{const}$, $U_r/\beta = \text{const}$. Ушбу қонунлар шуни ўрнатадики, двигателнинг тезлиги (моменти) ни частотавий ростланганда таъминловчи кучланишнинг амплитудаси ва частотасининг нисбати ўзгармас ҳолатда ушлаб турилиши ёки оқим илашиши барқарорлашган бўлиши зарур.

2. Абсолют сирпаниш бўйича тузилган ЭЮ ларни бошқаришда $\Psi_r = \text{const}$ қонунини таъминлайдиган скаляр, поляр ва векторли усуллар таҳлил қилинган. АД асосида қурилган тезкор, кенг диапазонда ростланадиган ЭЮ импульс кенглиги бўйича модуляция ШИМ билан жихозланган инвертор асосида ҳамда абсолют сирпаниш бўйича вектор бошқарувиға кўра тузилади. АД асосида қурилган оддийроқ электр юритмаларнинг тизимларида эса скаляр ва поляр бошқарув қўлланилади.

3. ЭЮ тизимининг микропроцессорли бошқариш схемасига қўядиган асосий талаблари белгиланган: тескари боғланиш датчикларидан аналог сигналларини киритиш ва уларни синхрон тарзда аналог-рақамли ўзгартириш; ЭЮ ларнинг белгиланган режимининг параметрларини киритиш; талаб қилинаётган двигател тури ва унинг бошқарувиға кўра тизимни қайта тузиш; тизим ростлагичлари ва бошқарув қонунни алгоритмик амалга ошириш; частота ўзгарткичига импульс кенглиги бўйича модуллаштирилган сигналларни чиқариш тизимнинг жорий ҳолатини тезкор қайд қилиш; тизимни диагностикаси ва химоялаш функцияларини амалга ошириш; юқори қатламдаги ЭХМ билан боғланиш.

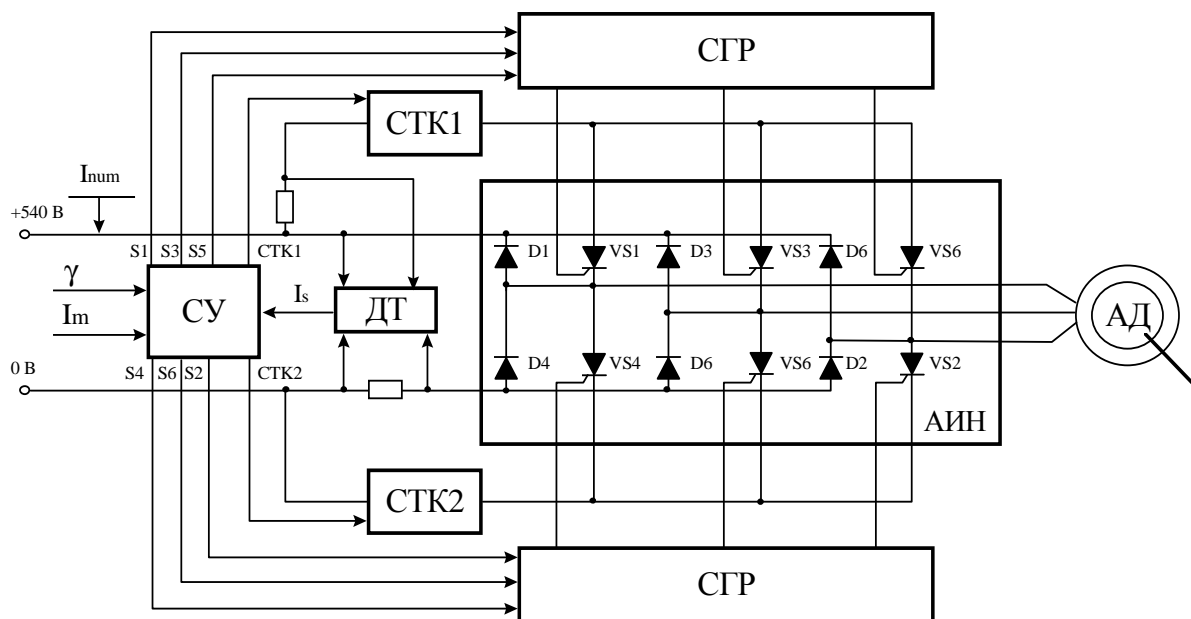
4. ЭЮ ларни электромагнит ва энергетик характеристикаларини АКИ ни бошқариш усули аниқлаб беради ҳамда булар ҳисоб ва таҳлилларда инобатга олиниши зарур.

III БОБ. "ЧЎ-АД" ТИЗИМИДА ДВИГАТЕЛНИНГ СТАТОР ТОКИНИ МОДУЛИ БЎЙИЧА БОШҚАРИШ УСУЛИНИ ТАДҚИҚОТ ҚИЛИШ

3.1. Асинхрон двигателнинг статор токини модул бўйича бошқариш усули

Статор токининг модули бўйича бошқариш усулининг мазмуни шундаки, бунда ШИР чиқишидаги кучланиш, ростлангангаётган АКИ коммутацияси $\Theta=180^0$ қонуни бўйича компаратордан олинаётган сигналга кўра амалга оширилади ҳамда у статорнинг токи модулини белгиланган қийматига эришиш моментларини белгилайди [2,5,40]. Ушбу бошқарув усулида, АКИ чиқишидаги кучланиш частотаси, тизимдаги электромагнит жараён-лар билан аниқланади ва ШИР чиқишидаги белгиланган кучланишида статор токининг модули чекланади.

"ЧУ – АД" тизими асосида статор токининг модули бўйича бошқариладиган электр юритмани схемаси 3.1 – расмда келтирилган.

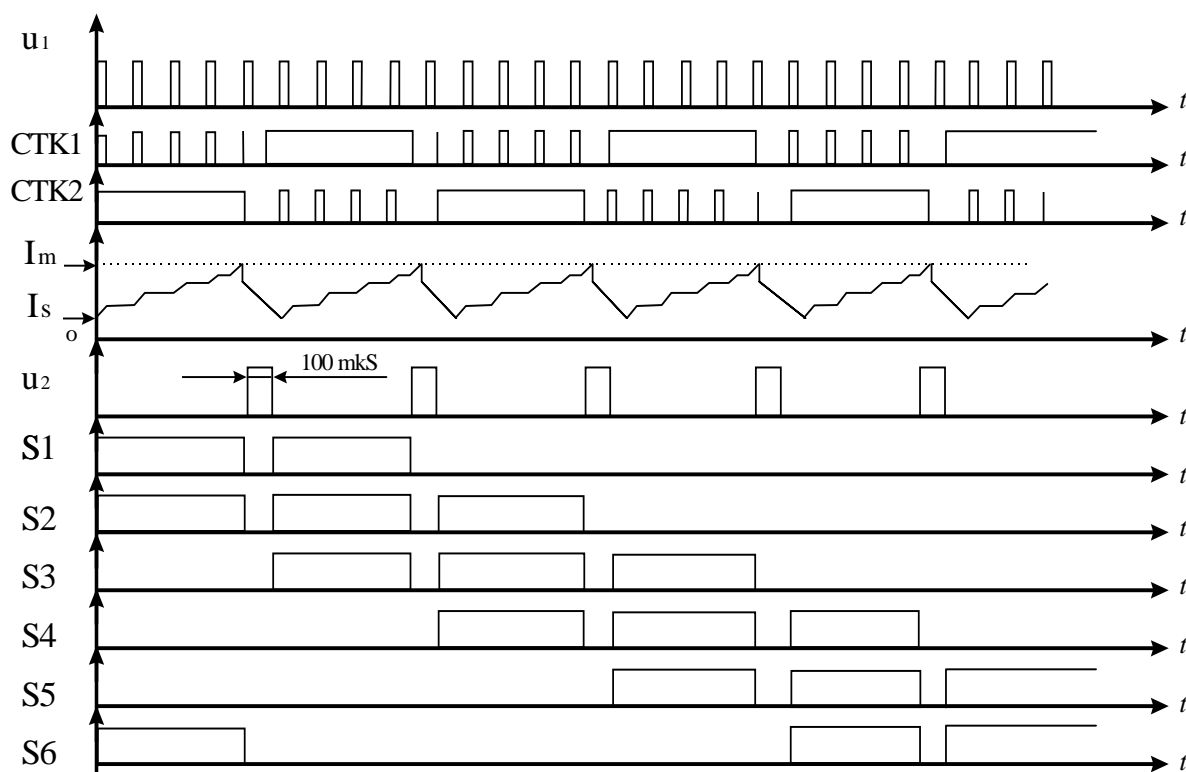


3.1-расм. Тезлик бўйича датчиксиз асинхрон ЭЮ нинг функционал схемаси

АКИ уч фазали кўприкли схема бўйича бажарилиб, тиристорларини коммутацияси $\Theta=180^0$ ли қайта улаш алгоритмига асосланган. ТК1 ва ТК2 ёрдамида ўзгармас ток бўғинида йўналтирувчи частота асосида ШИР амалга оширилади. ТК ларнинг коммутация кетма-кетлиги ҳамда S1...S6 тирис-

торларини қайта улаш алгоритми бошқариш схемаси томонидан шакллантирилиб, 3.2-расмда кўрсатилган диаграммаларга мос ҳолда бажарилади.

Бошқариш схемасининг асосий функционал тугунлари 3.3-расмда келтирилган. Бошқариш сигнали γ жаддалик топшириқгичи ЖТ дан келиб, бунда вазиятга кўра, АД нинг тезланиш ва тўхтатиш вақтлари 0 дан 30 сек. гача ўрнатиб белгиланиши мумкин. ЖТ чиқишдаги сигнал ШИР га берилади. Ушбу ростлагич компаратор К ҳамда арра тишисимон кучланиш генераторидан иборат бўлади.



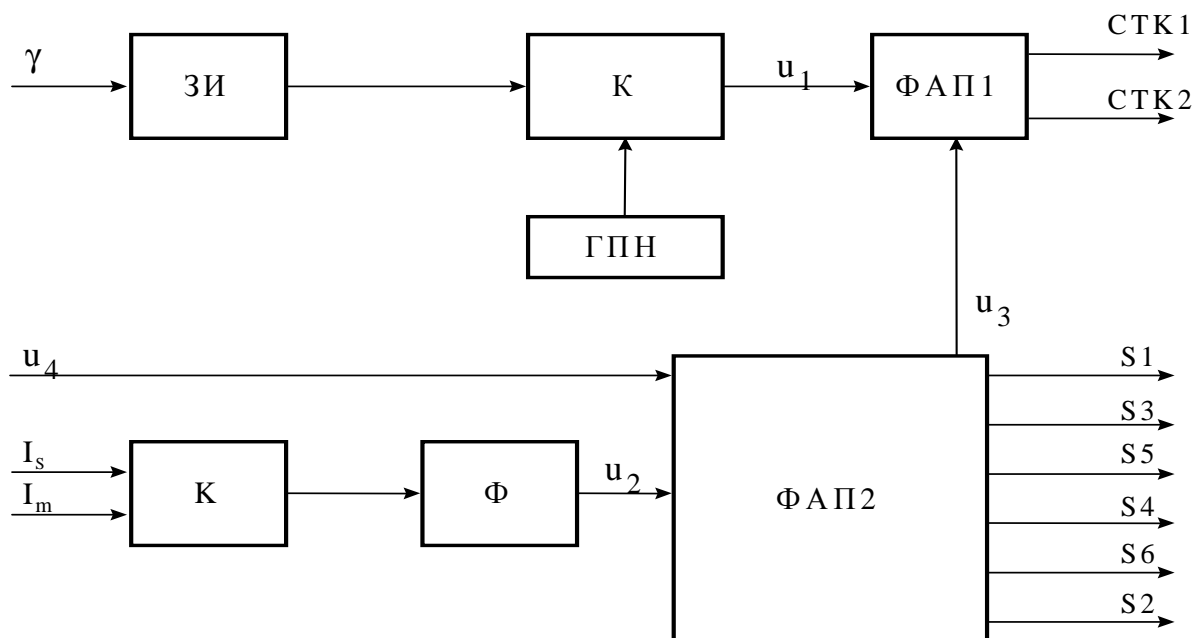
3.2- расм. Чў нинг бошқариш тизими ишини тушунтирувчи сигналлар диаграммаси

ТК1 ва ТК2 нинг коммутация кетма-кетлиги 3.2-расмда берилган K чиқишида U_1 сигнали асосида транзисторларни қайта улаш алгоритмини шакллантиргич КУАШ1 нинг схемаси ҳамда тиристорларни қайта улаш алгоритмини белгиловчи КУАШ2 нинг схемаси чиқишидаги U_3 сигнали томонидан ўрнатилади. Бунда импульс кенглиги бўйича ростлаш битта транзисторнинг коммутацияси орқали бажарилади, бунда иккинчиси эса

доимо узилган ҳолатда бўлади. Ишлашнинг бундай алгоритми ТК ларни коммутацияси пайтида динамик йўқотишларни камайтиради.

КУАШ2 схемаси тиристорларни ҳолатини улаш кетма-кетлигини қуйидагича шакллантиради: : S1-S2-S3, S2-S3-S4, S3-S4-S5, S4-S5-S6, S5-S6-S1, S6-S1-S2 ва х.

S1...S6 сигналлари КУАШ2 схемаси чиқишидан галваник жихатдан узиш ГЖУ схемасига ўтиб (3.1-расм), тегишли тиристорларнинг бошқарув электроддига келади. Тиристорларни тўғри ёки тескари улаш кетма-кетлигини аниқлаш айланиш йўналишини белгилловчи U_4 сигнал билан белгиланади.



3.3 - расм. Датчиксиз асинхрон ЭЮ частота ўзгарткичининг бошқариш тизимини функционал схемаси

Киришдаги сигнал I_m ток бўйича уставкасини белгилайди ва у ўзгарткич чиқишидаги максимал токни аниқлайди. Ток датчиги ТД да олинган сигнал ва компаратор К нинг ток бўйича I_s уставкаси ҳамда вибратор В ёрдамида U_2 сигнали шакллантирилиб, улар тиристорларни қайта улаш учун берилади. U_2 сигнали ўтаётган вақтда иккала ТК узилади ва тиристор-лардан бошқариш кучланиши олинади АД нинг тезлигини ростлаш γ сигнали билан белгиланади ва бунда АКИ нинг чиқишдаги

кучланишининг ўртача модули ўрнатилади. Коммутация частотаси автоматик равишда ўрнатилиб, у АД валидаги юкламага ва I_m сигналига боғлиқ бўлади.

3.2. Двигател статор токининг модули бўйича бошқариладиган ЭЮ лардаги электромагнит жараёнларини тадқиқот этиш

“ЧЎ-АД” тизимидаги электромагнит жараёнларнинг тахлили, АКИ ва АД нинг бошқариш усуллари асосланган. Шу сабабдан, АКИ ни асосий ва йўналтирувчи частота асосида импульс кенглиги бўйича ростлаш пайтида бошқарилганда силжимас координаталар тизимидаги статорнинг натижавий кучланиш вектори олтига аниқ холатни олади (2.6-расм).

АКИ нинг чиқишидаги кучланишни ўртача натижавий вектори (3.3) тенглама орқали аниқланади:

$$\bar{u}_s = \gamma U_s \cdot e^{k\pi/3}, \quad (3.1)$$

бунда $k = 0, 1, 2, \dots, 5$.

Бундай холат учун, масаланинг ечими АКИ ни ўзгармас тузилиши бўлган $\pi/3$ интервалида олиб борилиб, электромагнит ўзгарувчиларнинг оний қийматини аниқлаш мумкин. электр юритмаларнинг квазитурғун режимининг тенгламали ифодаси (2.3), (2.4) тенгламалар орқали чиқарилади [21] ва бунда $\omega_k = 0$:

$$\begin{aligned} \bar{u}_s &= R_s \bar{i}_s + d\bar{\Psi}_s / dt, \\ 0 &= R_r \bar{i}_r + d\bar{\Psi}_r / dt - j\omega \bar{\Psi}_r, \\ \bar{\Psi}_s &= L_s \bar{i}_s + L_m \bar{i}_r, \\ \bar{\Psi}_r &= L_m \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r, \\ \bar{M} &= \frac{3}{2} \bar{\Psi}_s \bar{i}_s. \end{aligned} \quad (3.2)$$

бунда $\bar{u}_s, \bar{i}_s, \bar{i}_r, \bar{\Psi}_s, \bar{\Psi}_r$ – статор ва ротор ўзгарувчиларини ўртача натижавий векторлари.

Алгебраик хисобларни осонлаштириш учун нисбий бирликлар киритилади. АД нинг параметрлари нисбий бирликда берилиб, улар кичик ораликда ўзгаради, бундай хисобларнинг натижалари кўпчилик амалий ҳолатларда қўлланиши мумкин. Қуйидаги асосий параметрлар базавий сифатида қабул қилинади: $I_{\dot{z}} = \sqrt{2} I_{ном}$ - номинал фаза токининг максимал қиймати; $U_{\dot{z}} = \sqrt{2/3} U_{ном}$ - номинал фаза кучланишининг максимал қиймати (номинал берилганларда чизиқли кучланиш кўрсатилади); $Z_{\dot{z}} = U_{\dot{z}} / I_{\dot{z}}$ - қаршилик; $\Psi_{\dot{z}} = U_{\dot{z}} / \omega_{ном}$ - оқим илашиши ($\omega_{ном}$ - манбаловчи тармоғнинг номинал айланма частотаси); $P_{\dot{z}} = 3U_{\dot{z}}I_{\dot{z}} / 2$ - қувват; $M_{\dot{z}} = p_{\Pi} P_{\dot{z}} / \omega_{ном}$ - момент.

Тенгламалар нисбий бирликда ёзилганда, ҳақиқий қийматлар билан кўрсатилгандаги белгилар ишлатилади, $\alpha = \omega_1 / \omega_{\dot{z}}, \nu = p_{\Pi} \omega / \omega_{\dot{z}}$ лардан ташқари.

Бундан ташқари, сирпанишнинг нисбий бирлигидаги қиймати ўзгармайди, чунки абсолют сирпаниш β нисбий бирлигида қуйидагича аниқланади:

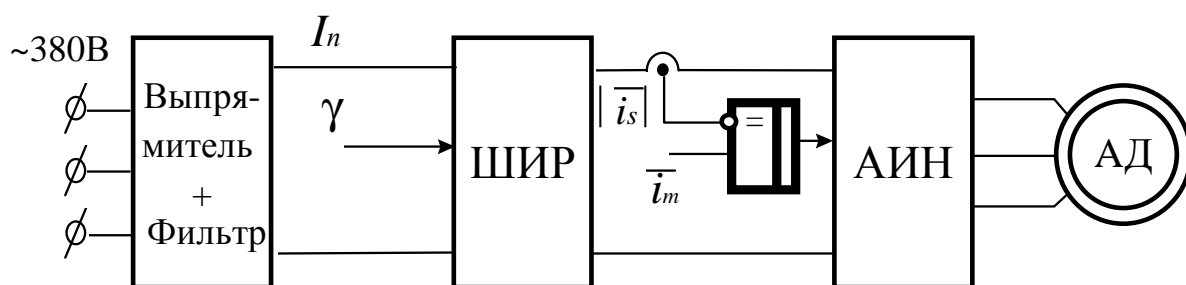
$$\beta = (\omega_1 - \omega) / \omega_{\dot{z}} = \alpha - \nu, \quad \text{бунда сирпаниш эса } s = \beta / \alpha \quad (3.3)$$

Вақт ва дифференциялаш оператор белгилари ўзгармасдан қолади ва $t_{\dot{z}} = 1 / \omega_{\dot{z}}$ бўлганда $p^{\odot} = p / \omega_{\dot{z}}$ қабул қилинади. (3.2) тенгламалар тизимини нисбий бирликларда қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\begin{aligned} \bar{U}_s &= R_s \bar{i}_s + p \bar{\Psi}_s, \\ 0 &= R_r \bar{i}_r + (p - j\alpha) \bar{\Psi}_r, \\ \bar{\Psi}_s &= X_s \bar{i}_s + X_m \bar{i}_r, \\ \bar{\Psi}_r &= X_m \bar{i}_s + X_r \bar{i}_r, \\ \bar{M} &= \bar{\Psi}_s \bar{i}_s. \end{aligned} \quad (3.4)$$

бунда: p – дифференциялаш оператори. $d / dt; X = \omega_{\dot{z}} L / Z_{\dot{z}}$.

3.4-расмда АД ли универсал ЭЮ нинг функционал схемаси келтирилган бўлиб, бунда бошқариш статор токининг модули бўйича амалга оширилади. Ушбу тизимдаги электромагнит жараёнларини тахлили анча мураккаб АКИ нинг қайта улаш ҳолатида моментларни ноаниқлиги сабабли, такрорланиш интервали чегарасини бошланғич шартларини аниқлаш мумкин бўлмайди. Лекин масалани ечиш учун (2.1) ва (2.5) тенгламалар асосида бошланғич нул қийматларни аниқлаш мумкин.



3.4-расм. АД статор токи бўйича бошқариладиган ЭЮ нинг функционал схемаси

АКИ нинг ўзгармас тузилишида электр юритмаларни квазитурғун ишчи режимида (2.1) тенгламалари нисбий birlikларда қуйидаги кўринишга келтирилиб, бунда квазитурғун режим учун $\omega_k=0$ бўлганда қуйидаги кўринишни олади.

$$\begin{aligned}
 \bar{U}_s &= R_s \bar{i}_s + p \bar{\Psi}_s, \\
 0 &= R_r \bar{i}_r + (p - j\alpha) \bar{\Psi}_r, \\
 \bar{\Psi}_s &= X_s \bar{i}_s + X_m \bar{i}_r, \\
 \bar{\Psi}_r &= X_m \bar{i}_s + X_r \bar{i}_r, \\
 \bar{M} &= \bar{\Psi}_s \bar{i}_s.
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

бунда p – дифференциялаш оператори. d/dt ; $X = \omega_{\dot{z}} L / Z_{\dot{z}}$.

Натижавий векторни ҳақиқий ва мавҳум силжимас ўқлар бўйича комплекс юзасида тақсимлаб, (3.8) тенгламани фазовий ҳолатлар шаклида келтирамиз. Бундай ҳолатларнинг ўзгарувчилари сифатида оқим илашиш-

ларни проекцияси ёки хақиқий ва мавхум ўқларига токнинг проекцияси орқали танланиши мумкин. (3.5) тенгламалар тизимига кўра:

$$p\mathbf{i} = \mathbf{A}\mathbf{i} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \quad (3.6)$$

бунда \mathbf{A} – ўлчами $[4 \times 4]$ бўлган холатларнинг квадратик матрицаси, \mathbf{B} – ўлчами $[4 \times 2]$ бўлган бошқариш матрицаси, \mathbf{i} – ўлчами $[4 \times 1]$ бўлган холатнинг ўзгарувчи вектори, \mathbf{u} – ўлчами $[2 \times 1]$ бўлган бошқариладиган таъсирлар вектори.

Матрицанинг элементлари қуйидаги нисбатлар билан белгиланган

$$\mathbf{A} = \frac{1}{\sigma} \begin{bmatrix} -R_s / X_s & vK & K_s R_r / X_r & vK_s \\ -vK & -R_s / X_s & -vK_s & K_s R_r / X_r \\ K_r R_s / X_s & -vK_r & -R_r / X_r & -v \\ vK_r & K_r R_s / X_s & v & -R_r / X_r \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{\sigma X_s} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -K_r & 0 \\ 0 & -K_r \end{bmatrix}, \quad \mathbf{i} = \begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \\ i_{\alpha r} \\ i_{\beta r} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_{\alpha s} \\ u_{\beta s} \end{bmatrix},$$

бунда $\sigma = 1 - L_m^2 / (L_s L_r)$ – тарқалишнинг натижавий коэффиценти, $K = L_m^2 / (L_s L_r)$ – боғланишнинг натижавий коэффиценти, $K_s = L_m / L_s$; $K_r = L_m / L_r$ – статор ва роторнинг боғланиш коэффиценти.

(3.6) холат тенгламаларининг ечими қуйидагича ифодаланади:

$$\mathbf{i}(t) = e^{\mathbf{A}t} \mathbf{i}(0) + (e^{\mathbf{A}t} - 1) \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}\mathbf{u} \quad (3.8)$$

Нисбий бирликда (2.5) тенгламасини ечими қуйидагича бўлади:

$$v(t) = v(0) + (M - M_c)t / H. \quad (3.9)$$

бунда $H = J\omega_- \omega_{\dot{\varphi}} / M_{\dot{\varphi}}, \omega_c$ – синхрон тезлик.

ШИР нинг йўналтирувчи частотаси даврида электромагнит жараёнлари кўриб чиқилса, бунда, уларни тахлилини олиб бориш, ўзгарувчи параметрли тенгламалар тизимини рекуррент ечими асосида бажарилади:

$$\begin{aligned}
\mathbf{i}(m+1) &= e^{\mathbf{A}(v(m))T_0} \mathbf{i}(m) + [e^{\mathbf{A}(v(m))T_0} - 1] \mathbf{A}^{-1}(v(m)) \mathbf{B} \mathbf{u}(k), \\
v(m+1) &= v(m) + T_0 [M(\mathbf{i}(m)) - M_H] / H, \\
\mathbf{u}(k+1) &= \mathbf{T} \mathbf{u}(k)
\end{aligned}
\tag{3.10}$$

бунда $t = mT_0$, T – симметрия матрицаси

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0,5 & -0,86 \\ 0,86 & 0,5 \end{bmatrix}
\tag{3.11}$$

Бошланғич шартлари

$$i(0) = 0, v(0) = 0, u(0) = [\gamma U_\epsilon, 0].
\tag{3.12}$$

A матрицаси ва M моментнинг ўзгарувчан элементларини рекуррент процедураси хар қайси қадамида ўзгармас бўлади ва кейинги қадамга ўтганда ўзгаради. Бунда статор токини модули хам ҳисобланади:

$$|\bar{i}_s| = \sqrt{i_{s\alpha}^2 + i_{s\beta}^2}
\tag{3.13}$$

ва агар олинган натижа I_m уставкаси билан тенг бўлса, k бўйича рекуррент процедура $k+1$ қадамга ўтади. Юқорида келтирилган ҳисоблар кетма – кетлиги реал электр юритмадаги электромагнит жараёнларини моделлаштириш имконини беради.

Бунда ҳисобнинг куйидаги алгоритми қўлланилади. Дастлабки қийматлар сифатида АД нинг параметрлари хамда (3.12) бошланғич шартлар қабул қилинади. Бундан кейин γ ва I_m бошқариш таъсири қийматлари киритилиб, юклама моменти M_H хам киритилади. (3.9), (3.12) тенгламалар орқали ҳисобларни рекуррент цикллари олиб борилади ва электромагнит хамда электромеханик жараёнларининг графиги чиқарилади.

АКИ нинг турғун режимидаги коммутацияси асосий частотасининг даврида циклдан чиқиш мумкин. Ишлаб чиқилган дастур ёрдамида ЭЮ нинг ўтиш ва турғун ишчи режимларида электромагнит жараёнларини аниқлаш турли бошқарувчи ва тўлқинлантирувчи таъсирларида бажарилган. Ҳисоблар натижалари 3.5 ва 3.6 – расмларда келтирилган ва бунда куйидагилар ифодаланган:

a – статор \vec{i}_s токининг вектори модули ва унинг координаталар ўқиға проекцияси кучланиш вектори билан мослаштирилган. Бунда токнинг актив ташкил этувчиси - \vec{i}_{sx} , \vec{i}_{sy} – эса реактив ташкил этувчиси (\vec{i}_{sx} проекцияси АКИ нинг манба занжиридаги ток), b – ток векторини годографи \vec{i}_s ва роторнинг оқим илашиши - $\vec{\Psi}_r$, v – роторнинг айланиш тезлиги ω ва электромагнит моменти M .

$\gamma=0,04$, $M_n=1\text{Нм}$, $I_m=4\text{А}$ бўлгандаги турғун режимнинг хисобларини натижалари (бу тезликлар бўйича ростлашнинг пастки диапазоли) кўрсатишича тезликлар бўйича пульсациялар 20 % ни, моментлар бўйича пульсациялари эса 100% ни ташкил этади. Лекин роторнинг оқим илашиши ўзгармас бўлиб қолади. ШИР нинг чиқишидаги кучланишнинг ортирилиши ва токнинг модули 2,5 барабар ортиб кетиши (3.5-расм).

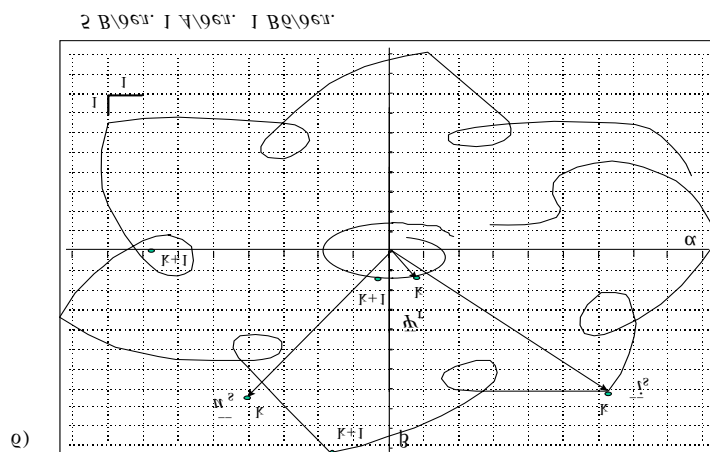
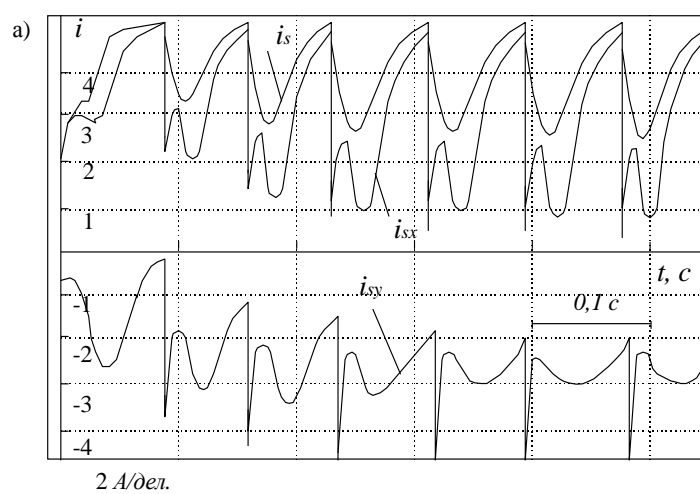
Тезликнинг ўртача қиймати ва моменти ўзгармас бўлиб қолади ($\gamma=0,1$; $I_m=10\text{ А}$), лекин роторнинг оқим илашиши ортиб боради. Агар фақат кучланиш ортирилса, ($\omega_{cp}= 6,0\text{ с}^{-1}$; $M_{cp}=1\text{ Нм}$) Ψ_r қиймати ўзгармасдан қолади, лекин, тезликнинг ўртача қиймати ортади. Бунда ток проекциясининг эпюрасига эътибор бериш зарур. чунки улар АКИ нинг манбалаш занжиридаги энергиянинг қайтиш хусусиятини белгилайди. АД нинг бундай ишчи режими салт режимига яқин бўлади.

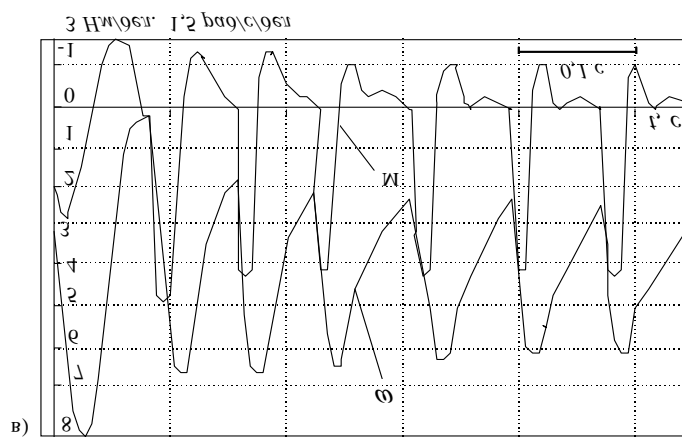
Юкламани моменти номинал қийматга нисбатан орттирилганда ($\gamma=0,45$, $M_n=10\text{Нм}$, $I_m=10\text{А}$), роторнинг ўртача айланиш тезлиги ва АКИ коммута-циясининг асосий частотаси 10% га камаяди, роторнинг оқим илашиши эса ўзгармайди. Юқоридагиларни хисобга олиб, қуйидаги хулосага келиш мумкин: электр юритмаларни бундай бошқариш усулида абсолют сирпаниш ва оқим илашиши ўзгармас қилиб ушлаб турилади ва уларнинг қиймати статор токининг модули билан аниқланади.

Электр юритмаларнинг турли ишчи режимлари учун келтирилган ток эпюралари, электромагнит юкламаларини аниқлашида ёрдам беради, Чў нинг ярим ўтказгичли элементларини тўғри танлашда иштирок этади.

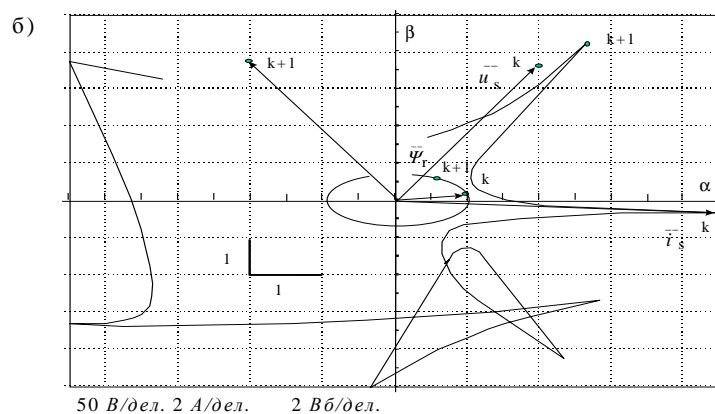
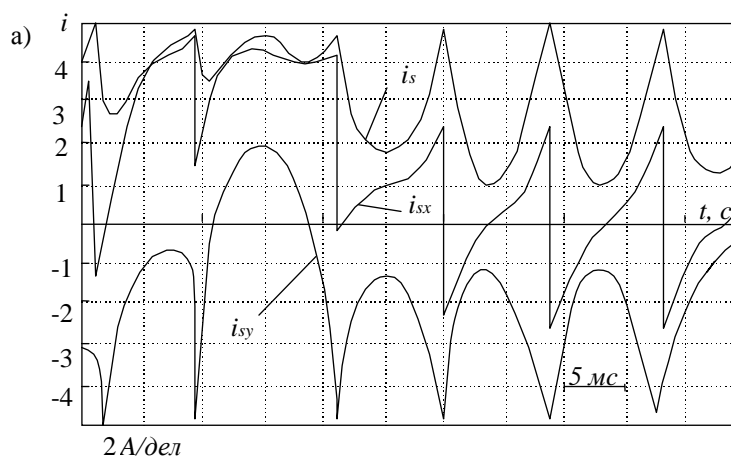
Шундай қилиб, универсал датчиксиз тезлик бўйича ростланадиган электр юритмаларни ишлаб чиқишда, ярим ўтказгичли элементларни танлашда статорнинг максимал токини таъминлаш ҳисобга олинди.

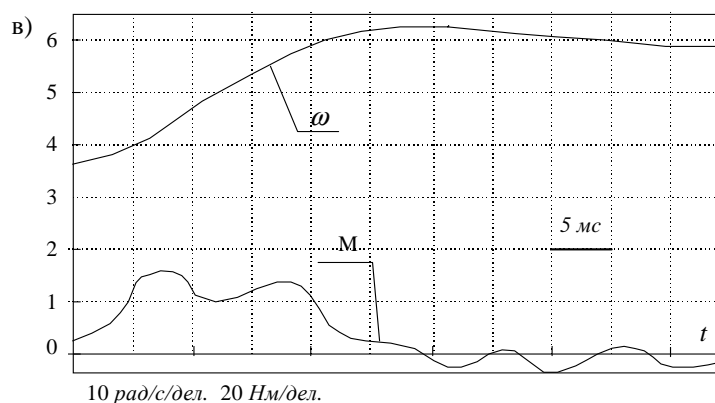
Кўриб чиқилган тизимда юқоридагилар статор токининг максимал модули билан характерланади. 3.7-расмда АД нинг, статор токининг модули бўйича ростланадиган электр юритмаларнинг ҳисоби асосида чиқарилган, механик характеристикалари келтирилган.





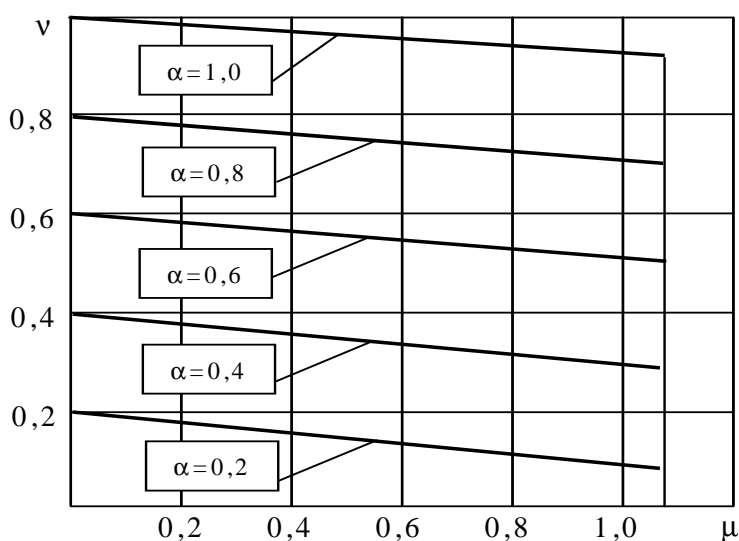
3.5- расм. (3.6) тенгламалар бүйича олиб борилган ҳисоблар натижаси, бунда $\gamma=0,1$; $I_m=10$ А, $M_H=1$ Нм





3.6-расм. (3.6) тенгламалар бўйича олиб борилган ҳисоблар натижаси, бунда $\gamma=0,45$; $I_m=10$ А, $M_n=1$ Нм

Номинал момент ($M_n=16,7$ Нм) га яқин бўлганда, механик характери-стикасини оғиши, двигателнинг статор токининг моду-ли $I_m = 10$ А билан чекланади.

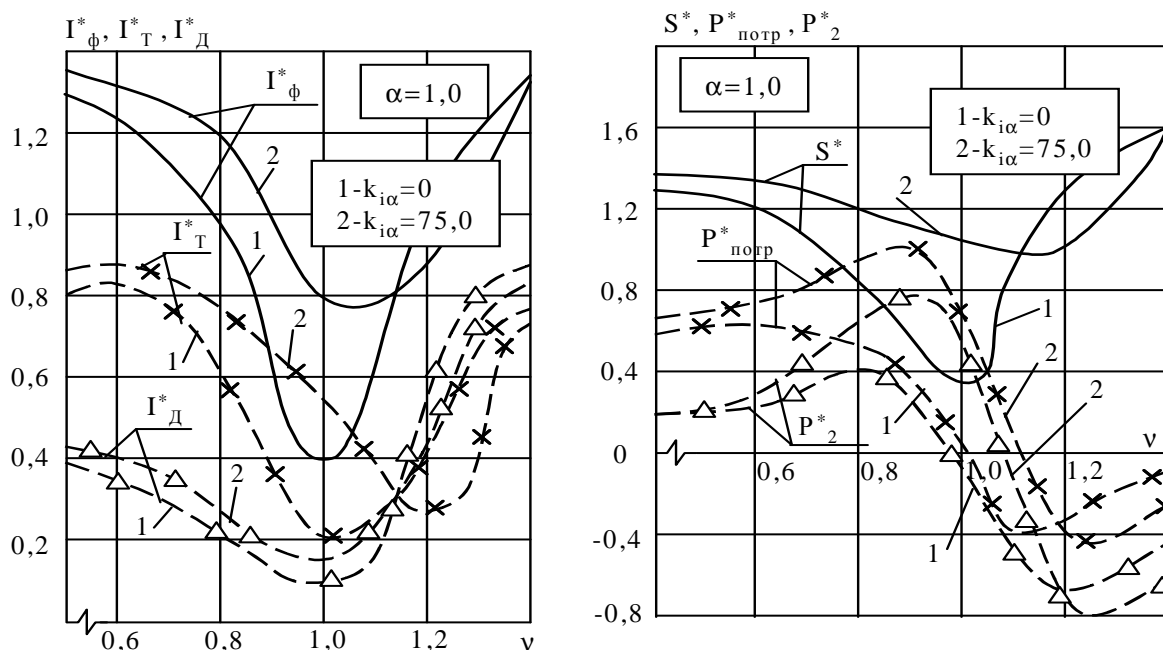


3.7-расм. Двигателнинг статор токи бўйича бошқариладиган ЭЮ нинг механик характеристикалари

Отсечка зонасида двигателнинг моменти ўзгармайди, чунки кўриб чиқиладиган усулга кўра икки параметр ($\Psi_r = \text{const}$) ва ($\beta = \text{const}$) барқарорлашган бўлиб, уларнинг қийматлари статор токининг модули I_m билан аниқланади. $\beta = \text{const}$ бўлганда момент статор токининг квадрати-га про-

порционалдир. β ни барқарорлаштириш даражаси асосан иш режими ва электр юритмаларнинг тузилишига боғлиқ.

ЭХМ да ҳисобланган электр юритмаларнинг электромагнит характеристикалари 3.8 – расмда келтирилган. Ушбу характеристикаларга кўра, юклама токнинг минимуми ва кучли токли транзисторининг минимум токи ишлаб чиқилган усулда АД нинг генератор режимида ҳосил бўлади.



3.8-расм. Статор токи модули бўйича бошқариладиган ЭЮ нинг электр магнит характеристикалари

3.3. Ростланувчан асинхрон электр юритмали насослардан фойдаланишда энергияни тежаш имкониятлари

Замонавий электроника жиҳозларининг куч токли қисмининг тараққиётининг замонавий даражаси микропроцессорли бошқариладиган ва назорат қилинадиган асинхрон электр юритмаларни қўлланиш соҳасига янгича назар билан қараш кераклигини кўрсатмоқда. Жумладан, ҳозирда саноатда сифатли, ишончли ва нисбатан арзон бўлган, ярим ўтказгичли частота ўзгартгичларни яратилиши, улардан фойдаланиб энергия ва ресурсларни тежаш имко-ниятларини оширмоқда [12,20].

Кўп тадқиқотчилар томонидан [26,45,47,48,50] бажарилган назарий ва амалий ишлар асинхрон электр юритмалардаги энергия истеъмолини камайтириш-нинг асосий йўналишларини кўрсатиб берди.

Биринчи йўналиш маълум бир юкланиш режими ва берилган тахограмма бўйича, технологик операцияни бажаришда, электр юритмадаги қувват исрофини камайтириш билан боғлиқдир. Мисол қилиб, юргизиш - тўхтатиш режимида ишловчи электр юритмалар (кранлар ва лифтлар), ёки юкламаси аста-секин ўзгарадиган узлуксиз режимда ишловчи электр юритмаларни (вентилятор, насос, компрессор, транспортер ва бошқалар) олиш мумкин.

Бундай электр юритмалардаги ўтиш жараёнларида, ҳамда ўрнатилган режимларида исрофларни камайтириш ҳисобига, катта миқдордаги электр энергиясини тежаш имконияти яратилади. Бундан ташқари кинематик боғланган электр юритмалардаги двигателлар ўртасидаги юкламани тенг тақсимлаш орқали (рольганлар, кўп двигателли аравача юритмалари), улардаги исрофларни камайтириш мумкин [3].

Иккинчи йўналиш технологик жараённи ўзгартириш билан боғлиқ бўлиб, электр юритмаларни ва технологик жараён катталикларини бошқаришда, янада такомиллашган усулга асосланади.

Бунда электр юритмаларда электр энергиясини тежаш самараси чегараланмайди; асосан, ресурсларни (сув, қаттиқ, ёки суюқ ёнилғилар каби) тежаш имкони яратилади.

Юқорида кўрсатилган иккала йўналиш учун ҳам айнан электр юритмадаги энергия истеъмоли камайиши характерли ҳисобланади: биринчи ҳолда, юритмадаги исрофларни камайтириш орқали, иккинчи ҳолда эса, бошқариладиган технологик жараён давомида электр юритма томонидан камроқ энергия сарфлаш ҳисобига амалга оширилади.

Аниқ лойиҳаларни бажаришда бир эмас, балки энергия тежаш мумкин бўлган бир неча ҳолатлар аниқланади. Шунинг учун, электр

юритмаларда энергия тежаш вазифасини ҳал қилишга ҳар томонлама ёндашилганда, юқори самара олиш мумкин.

Маълумки, марказдан қочма насослар таркибига кирувчи, сув ва бошқа суюқликларни узатиш учун хизмат қиладиган турбомеханизмлар, вентиляторлар, газ тортиш қурилмалари, турбокомпрессорлар ва бошқалар, ялпи ишлаб чиқарилган электр энергиясини 20...25 % ни истеъмол қилади.

Бундай тизимларнинг иш жараёни ҳафта, кун ва ой давомида иссиқлик энергияси, ҳаво ва сув истеъмолини нотекис тақсимланганлиги билан фарқланади. Насослар одатда тармоққа тескари бўлган босимда ишлаб, статик босими паст бўлган тармоқ унинг фаолияти учун қулайдир. Одатда насослар ростланмайдиган электр юритмалар билан жиҳозланган бўлади. Биргина ростлаш усули, сув босими йўналтирилган томонини дросселлаш усули бўлиб, бу усул жуда оз самара беради. Иссиқ ва совуқ сув таъминоти станциялари, саноат ва турар жойларни иситиш тизими бунга мисол бўла олади. Юқори унумдорликдан келиб чиқиб танланган бундай механизмлар, кун давомида истеъмолнинг ўзгариши ҳисобига, баъзан паст унумдорликда ишлаши талаб қилинади.

Маълумотларга қараганда, совуқ сув таъминоти насосларининг ўртача сутка давомидаги юкланганлиги, максимал юкломанинг 50...55% ни ташкил этади ҳолос. Мавжуд ростланмайдиган электр юритмали сув таъминот тизими, эҳтиёж камайиши билан, истеъмол қувватини камайтиришни таъминлай олмайди, бунинг натижасида, тизимдаги босимни ортиши ва сувни тарновдан оқиб кетиши кузатилади, натижада сув таъминоти тизимида ва технологик қурилмаларда, хизмат кўрсатиш ишлари мураккаблашади.

Турбомеханизмлар ичида вентиляторлар насослардан кейинги иккинчи ўринда туради. Бошқа турдаги турбомеханизмлардан фарқли ўлароқ, вентиляторларнинг ишлашига тармоқдаги тескари босим мавжуд бўлмаганлиги сезиларли таъсир кўрсатади. Бунинг натижасида, юритма

двигателининг валидаги статик қаршилик моментининг айланиш частотасига боғланиши квадрат характерга эга бўлади. Вентиляторларга берилаётган қувват, подшипниклардаги ишқаланиш орқали қувват исрофларини ҳисобга олмаган ҳолда, тезликнинг учинчи даражасига пропорционал бўлади.

Турли трубомеханизмлар электр юритмалари устида олиб борилган назарий ва амалий текширувларни кўрсатишича, частота орқали бошқариш қуйидагиларни таъминлайди: электр энергиясини тежаш (50% гача); ишлаб чиқариш билан боғлиқ бўлмаган харажатларини камайтириш ҳисобига узатилаётган маҳсулотни тежаш (25% гача); зарур бўлган минимал босимни сақлаган ҳолда, тармоқнинг гидравлик ёки пневматик ҳалокатларини камайтириш; оҳиста ишга тушириш имконияти ҳисобига агрегатни ўзида ҳалокатни юз бериши эҳтимоллигини камайтириш; ишга тушириш тоқларини камайтириш ҳисобига, электр қурилмаларидаги бузилишларни камайтириш ва ишончилигини ошириш; қурилмалардаги шовқинни камайтириш; автоматлаштириш тизимларини қулайлаштириш;

Маълумки, насоснинг истеъмол қилаётган қуввати қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$P = \frac{QHgp}{\eta},$$

бу ерда: P – қувват, кВт; Q – узатилаётган суюқлик миқдори, м³/с; H – сув босимининг кучи, м; p – суюқликнинг зичлиги, кг/дм³; η – насоснинг ф.и.к.

3.9-расмда келтирилган боғлиқликни таҳлили насос двигатели истеъмол қилаётган қувватни камайтириш имкониятларини кўрсатади.

Двигател номинал айланиш тезлигида, насоснинг Q - H характеристикаси (1-эгри чизиқ) ва магистрал характеристика 3 га тўғри келувчи A нуқтада номинал сарф ва босимда ишлайди. Ростланмайдиган электр юритмаларда сарфларнинг камайиши билан, дросселли ростлаш ҳисобига (расмда мисол учун $0,6Q_n$ ташкил қилувчи сарфлар кўрсатилган), магис-

тралнинг қаршилигини ўзгариши юз беради (4-эгри чизиқ). Насос биринчи эгри чизиқ нинг В нуқтасида ишлайди, бу эса босим номинал қийматдан ортишига олиб келади. Расмда кўрсатилганидек, насос истеъмол қилаётган қувват, ODBF тўғри тўртбурчак юзасига тўғри пропорционал бўлади.

Ростланувчан электр юритмаларни қўллаганда эса, насосларнинг тезлиги камайиши ҳисобига, магистрал характеристикаси ўзгармаган ҳолда (3-эгри чизиқ) сарфларни камайиш нуқтаси бошқа $Q-H$ характеристикасига мос (2- эгри чизиқ) келади. Бунда электр юритма истеъмол қилаётган қувват OECF тўғри тўртбурчак юзасига пропорционал бўлади. Бу насосларда ростланадиган электр юритмалар қўлланилганда, электр истеъмолини камайтириш имконияти мавжудлигини кўрсатади.

ПЧ-АД тизими орқали насослар тезлигини ростланганда кўпроқ иқтисодий самара бериши мумкин.

3.1- жадвал

$H_{c*} = 0,5$					
Q^*	1	0,8	0,6	0,4	0,2
w^*	1	0,69	0,79	0,715	0,68
$P(w=const)$	1	0,86	0,72	0,58	0,44
$P^*(w=var)$	1	0,66	0,41	0,25	0,15
$P_{\Delta^*} = P - P^*$	0	0,2	0,31	0,33	0,29
P_{Δ^*}/P^*	0	0,26	0,43	0,57	0,66
$H_{c*} = 0,8$					
Q^*	1	0,8	0,6	0,4	0,2
w^*	1	0,94	0,89	0,85	0,82
$P(w=const)$	1	0,86	0,72	0,58	0,44
$P^*(w=var)$	1	0,74	0,54	0,39	0,26
$P_{\Delta^*} = P - P^*$	0	0,12	0,18	0,19	0,18
P_{Δ^*}/P^*	0	0,14	0,25	0,33	0,41

Насосларнинг тезлиги ўзгармас ва ростланувчан иш режимларини тахлили кўрсатишича, тезлиги ўзгармаган ҳолда, сезиларли даражада

ортиқча энергия сарфи кузатилади. Мисол сифатида, қуйидаги катталикларга эга бўлган тармоққа тескари босим H_c билан ишлаётган насосларнинг $H_{x*}=1,2$ ва $P_{x*}=0,3$ қийматларидаги иш режимларини ҳисобланган натижаларини келтириш мумкин.

Жадвалда келтирилган қийматларнинг кўрсатишича, ростланадиган электр юритмаларда, электр энергияси истеъмоли сарфини катта миқдорда тежаш имконини беради, биринчи ҳолда 66% гача, иккинчи ҳолда эса 41% гача, амалиётда турли сабабларга кўра (задвижкаларни носозлиги, ёки йўқли-ги) бундан ҳам кўпроқ натижа олиш мумкин. Чунки задвижкаларни ростланмаганлиги электр энергия сарфини ортишига, натижада, - гидравлик тармоқда ортиқча босим ҳосил бўлишига олиб келади.

III боб бўйича хулосалар

1. ЭЮ лар учун двигател статор токининг модули бўйича бошқариш усули "Т-ШИР-АКИ-АД" структурасига мос ишлаб чиқилган. Бунда импульс ростлагич чиқишидаги кучланиш ростланганда инверторнинг коммутацияси статор токининг модули белгиланган қийматига I_m етганда амалга ошади, яъни кучланиш инверторининг чиқишидаги кучланиш частотаси импульс ростлагич ШИР чиқишидаги белгиланган кучланишлар ҳамда статор токининг маълум модулида кечаётган тизимдаги электр магнит жараёнлар билан белгиланади

2. Асинхрон ЭЮ лардаги электромагнит жараёнларининг тахлили натижавий вектор усули асосида бажарилиб, тизимли ёндашув қўлланган. Бунда ЭЮ нинг математик идентификацияси, ҳар бир ихтиёрий ҳолат учун АД кўрсаткичлари ва характеристикаларини инобатга олинган. Бундан ташқари, ЭЮ ва ЧЎ нинг бошқариш усуллари ҳисобга олинган.

3. Статор токининг модули бўйича бошқариладиган ЭЮ да кечадиган электромагнит ва электромеханик жараёнларнинг тахлили ҳамда услуги яратилган. Натижада қуйидагилар аниқланган: абсолют сирпаниш β ва роторнинг оқим илашиши ψ_r ўзгармас ушлаб турилиб, статор токининг

модули билан I_m модули билан белгиланиши ҳамда ўзгармас бошқарувчи таъсир остида (ШИР чиқишидаги кучланиш $\gamma = \text{const}$) АКИ нинг комутациясининг асосий частотаси АД валидаги юклама моменти (M_H) билан аниқланади; поғонали бошқарувчи (γ) ва таъсир қилувчиларда (M_H) тизимнинг турғунлиги кўрсатилган.

Умумий хулоса

Ушбу ишда частотали ўзгарткичнинг универсал тузилишини ишлаб чиқиш масаласи кўриб чиқилган. Унинг бошқариш схемаси ва диагностикаси турли ўзгарувчан ток электр юритмаларда қўлланиши назарда тутилган. Лойihalаштирилган частотали ўзгарткич функционал қурилма бўлиб, куйидаги талабларга жавоб беради: энергия ва ресурсларни тежаш нуқтаи назаридан рoстлнадиган электр юритмаларда ишлатилишга мосланган; юқори эксплуатацион характеристикаларга эга; умумсаноат серияли асинхрон ва синхрон машиналар бирикмасида ишлаш имкони яратилган, юқори техник кўрсаткичларга эга; сифатли электр юритмалар тизимини қуриш мумкинлиги, хорижий мамлакатларда ишлаб чиқилган аналогларга рақобатбардошлиги.

Муаммони замонавий ҳолатини ўрганиб чиқиш ва мавжуд бўлган аналог-ларни таҳлил қилиш асосида масалани кўйиш ва асосий техник талабларни белгилаш амалга оширилган. электр юритмаларнинг рақамли бошқарувида оптимал алгоритмни тузиш учун электр юритмаларни бошқариш усуллари ва схемалари кўриб чиқилиб, асосий талаблар белгиланган ва микропроцессор-ли бошқарув тизими вазифаси аниқланган. электр юритмалар учун двигател статор токининг модули бўйича бошқариш усули "Т-ШИР-АКИ-АД" структурасига кўра ишлаб чиқилган. Бунда импульс рoстлагич чиқишидаги кучланиш рoстланганда инверторнинг коммутацияси статор токининг модули белгиланган қийматига I_m етганда амалга ошади, яъни кучланиш инверторининг чиқишидаги кучланиш частотаси импульс рoстлагич ШИР чиқишидаги белгиланган кучланишлар ҳамда статор токининг маълум модулида кечаётган тизимдаги электромагнит жараёнлар билан белгиланади.

Асинхрон электр юритмалардаги электромагнит жараёнларининг таҳлили натижа-вий вектор усули асосида бажарилиб, тизимли ёндашув қўлланган. Бунда электр юритмаларнинг математик идентификацияси, хар

бир ихтиёрий ҳолат учун АД кўрсаткичлари ва характеристикаларини инобатга олинган. Бундан ташқари, электр юритмалар ва частотали ўзгарткичнинг бошқариш усуллари ҳисобга олинган. Статор токининг модули бўйича бошқариладиган электр юритмаларда кечадиган электромагнит ва электромеханик жараён-ларнинг таҳлили ҳамда услуби яратилган. Натижада қуйидагилар аниқлан-ган: абсолют сирпаниш ва роторнинг оқим илашишини ўзгармас ушлаб турилиб, статор токининг модули билан I_m модули билан белгиланиши ҳамда ўзгармас бошқарувчи таъсир остида (импульс ростлагич ШИР чиқишидаги кучланиш ўзгармас) инверторининг коммутациясининг асосий частотаси АД валидаги юклама моменти (M_H) билан аниқланади; погонали бошқарувчи ва таъсир қилувчиларда (M_H) тизимнинг тургунлиги кўрсатилган.

Асинхрон электр юритмаларнинг кучли токли частота ўзгарткичи макет кўринишида ва технологик жараёни автоматлаштириш учун микро-про-цессорлик бошқаруви бажарилган. Тезлик бўйича датчиксиз бошқариладиган асинхрон электр юритмалар статор токи модули бошқаруви усули асосида ишлаб чиқилган. Ўзгарткич тузилиши транзистор-тиристорли бажарилиб, бу ўзгарткичнинг куч токли қисмининг нархини пасайишига олиб келган. Бунда янги турдаги ярим ўтказгичли элементлар қўлланган. АД нинг тезли-гини ростлаш АКИ ни чиқишидаги ўртача модул билан белгиланган сигнал бўйича аниқланади. Коммутациянинг частотаси автоматик равишда ўрнати-либ, двигател валидаги юклама ва киришдаги сигналнинг ток бўйича берил-ган уставкасига кўра бажарилган. Чиқишдаги қувват 10 кВт, чиқишдаги кучланиш диапазони ва тезлик-ни ростлаш диапазони 20:1 га тенгдир.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Аксенов В.Е.и др. IGBT модули производства ОАО "Электро-выпрямитель" / Электротехника. 2001. №12. с.12-16.
2. Арипов Н.М. Способ управления асинхронным электроприводом и устройство для его осуществления / Патент IAP 2002 0797, кл. 7Н 02 Р 532. опубл. 25.11.2004 г.
3. Арипов Н.М. Разработка функциональных схем систем управления частотно-регулируемых асинхронных электроприводов /Научно-техн. журнал ФерПИ. 2005. №3.
4. Арипов Н.М. Факторы определяющий выбор типа полупроводникового преобразователя и структуры силовых цепей перспективных систем электроприводов / НТЖ ФерПИ. Фергана. 1997. N1. с. 63-68.
5. Арипов Н.М. Анализ и реализации способа управления по модулю тока статора двигателя в асинхронном электроприводе/Проблемы информатики и энергетики. 2000.№6.с. 26.
6. Арипов Н.М. Анализ электромагнитных процессов в асинхронном электроприводе питающегося от преобразователя широтно-импульсным регулированием в инверторе/Научно-технический журнал ФерПИ. Фергана. 1998. N1.
7. Арипов Н.М. Выбор законов частотного регулирования скорости двигателя и способов их реализации для асинхронных электроприводов шелкомотания /Научно-технический журнал ФерПИ. Фергана. 1998. N1. с.74-79
8. Асинхронный электропривод малой мощности с частотным управлением. / сост. Брейтер Б.З. Аналит. справка. Информэлектро. М. 1990.
9. Асинхронные электроприводы массовых серий за рубежом /сост. Д.Б. Белодедова. Аналит. справка. Информэлектро. М. 1991.

10. Барский В.А. и др. Создание серии IGBT преобразователей частоты для регулируемых асинхронных электроприводов /Электротехника.1999.№7.с.38-41.
11. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Л. 1982. 392с.
12. Брейтер Б.З., Размаш Я.Б. Некоторые тенденции развития зарубежных электроприводов / Электротехника. 1993. №6. с.42-44.
13. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.1966. 296
14. Глазенко Т.А., Герман-Галкин С.Г и др. Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы для станков с ЧПУ. / ЛДНТП, Л. 1988. 28. с.
15. Глух Е.М., Зеленов В.Е. Защита полупроводниковых преобразователей. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1982. - 152 с.
16. Герман-Галкин С.Г. и др. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями. Л. Энергаториздат. 1986.248с.
17. Дацковский Л.Х., Роговой В.И. и др. Современное состояние и тенденции в асинхронного частотно-регулируемого электропривода /Электротехника, 1996. №10.с.18-28.
18. Забродин Ю. С. Автономные тиристорные инверторы с широтно-импульсным регулированием. М. 1977.
19. Иванов-Смоленский А.В. и др. Перспективы развития электро-механики в XX веке // Электротехника. 2000. №8.
20. Кочетков В.Д. и др. Системы регулирования электропривода переменного тока с микропроцессорным управлением/Электротехн. промышленность. Сер. 08. Электропривод: Обзор. информ. 1989. Вып. 26. 80с.
21. Ковач К.П., Рац Н. Переходные процессы в машинах переменного тока. Перев. с нем. М. Госэнергоиздат. 1963. 344с.
22. В.В.Корнеев А.В.Киселев Современные микропроцессоры - М.: 2000. 320 с.

23. Леохард В. Регулируемые электроприводы переменного тока //ТИИЭР т.76. №4. 1988.
24. Лоренц Л. Состояния и направления дальнейшего развития в сфере разработки, производства и применения силовых полупроводниковых приборов /Электротехника. 2001. №12. с.2-12.
25. Макмарри У. Технология схем энергетической электроники // ТИИЭР т.76. №4.1988.
26. Мищенко А.В., Масленникова И.С., Лобада В.Д., Фадеев А.Ф. Преобразователь частоты для энергосберегающих электроприводов массового применения /Электротехника, 1996. №12. с.39-40.
27. Новиков В.А., Рассудов Л.И. Тенденция развития электроприводов, систем автоматизации промышленных установок и технических комплексов /Электротехника.1996. №7.
28. Осипов О.И., Усынин Ю.С. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. - М.: Энергоатомиздат, 1991.
29. Пелли Б.Р. IGBT-биполярные транзисторы с изолированным затвором / Электротехника. 1993. №6. с.42-44.
30. Разанов Ю.К., Флоренцев С.И. Электропривод и силовая электроника /Электротехника. 1997. № 11. с.7-12.
31. Рудаков В.В., Столяров Н.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. Л. 1987.
32. Силовые транзисторы в преобразовательной технике за рубежом /Аналит. справка. Информэлектро. М. 1990.
33. Силовые полупроводниковые модули (состояние и тенденции развития за рубежом) /Аналит. справка. Информэлектро. М. 1990.
34. Сандлер А. С., Сарбатов Р. С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М. 1974.
35. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями. /О. В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, И. С. Кузнецов и др. М. 1983.

36. Терехов В.М. Современные способы управления и их применение в электроприводе /Электротехника. 2000. №2. с.25-28.
37. Техническое обеспечение цифровой обработки сигналов. /Куприянов М.С., Матюшин Б.Д., Иванова В.Е. - СПб. Форт, 2000. - 752 с.
38. Флоренцов С.Н., Ковалев Ф.И. Современная элементная база силовой электроники /Электротехника. 1994. №4. с.2-7.
39. Файнштейн В.Г., Файнштейн Э.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами. - М.: Энергоиздат, 1986.
40. Хашимов А.А., Арипов Н.М. Исследование частотно – регулируемого асинхронного электропривода с реализацией способа управления по модулю тока статора двигателя / Электротехника. 2002., №1. с.14-19.
41. Шахнов В.А., Власов А.И., Кузнецов А.С., Поляков Ю.А. Нейрокомпьютеры – архитектура и схемотехника. - М.: Машиностроение. 2000. - 64 с. (Библиотечка журнала информационные технологии №9).
42. Шахнов В.А., Власов А.И., Кузнецов А.С., Поляков Ю.А. Нейрокомпьютеры – архитектура и реализация// ChipNews. №6. 2000. - С.24-31.
43. Шрейнер Р. Т., Дмитриенко Ю. А. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами. Кишинев. Штиница. 1982. 224с.
44. Эпштейн И. И. Автоматизированный электропривод переменного тока. М. Энерго-издат. 1982. 192с.
45. Юньков М.Г., Изосимов Д.Б., Москаленко В.В и др. Состояние и перспективы развития регулируемых электроприводов /Электротехника. 1994. №7.
46. ADSP-2100 Family User's Manual. Third Edition.
47. Gabriel R. Mikrorechnergeregelte Asynchronmaschine, ein Antrieb f?r hohe dynamische Anforderungen // Regelungstechnik 32, 1984. Н. 1. S. 18.
48. Holtz J. And Stadtfeld S. A predictive controller for the stator current vector of AC machines fed from a switched voltage source // Proc. Int. Power Electr. Conf. - Tokyo. 1983. P. 1665.

49. Letas H. H. and Leonhard W. Dual axis servo drive in cylindrical coordinates using permanent magnet synchronous motors with microprocessor control // Proc. Conumel 83. - Toulouse. 1983. P. 11-23.

50. Leonhard W. Adjustable - Speed AC Drives / IEEE Trans. Ind. Electron. V. 76. 1988. N 76. N 4. C. 171-183.

51. Siemens installierte Antriebe in nur 18 Tagen Stahlmarkt 2004 ,54, № 4, 56.

52. Lessmeier R., Schumacher W., Leonhard W. Microprocessor controlled acservo drives with synchronous or induction motors: with or preferable? // IEEE, 1985.

53. Schumacher W. Microrechnergesteuerter Drehstrom - Stellantrieb mit Asynchronmotor. Diss. - TU Braunschweig, 1985.

54. Yochida Y., Ueda R., Sonoda T. A new inverterfed induction motor drive with a function of correcting rotor circuit time constant // Proc. Int. Power Electr. Conf. - Tokyo. 1983. P. 672.

55. www.gaw.ru

56. <http://ebus.mot-sps.com/ProdCat/sg/0,1251,M959617836292,00.html>

57. www.cec-mc.ru

58. <http://cdl.iu4.bmstu.ru>

И л о в а