

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

И.Т. Алдибеков

ЭНЕРГИЯНЫҢ ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІ

Оқу құралы

Алматы
АЭЖБУ
2016

ӘОЖ 621.31(075.8)

А 40

Пікір берушілер:

техника ғылымдарының кандидаты, ҚазҰТЗУ-нің «Электр энергетикасы және технологиялық кешендерді автоматтандыру» кафедрасының меңгерушісі, ассисент-профессор

Е. Хидолда,

техника ғылымдарының кандидаты, ҚазҰТЗУ-нің «Электр энергетикасы және технологиялық кешендерді автоматтандыру» кафедрасының ассоциацияланған профессоры

Д.Б. Ақпанбетов,

техника ғылымдарының кандидаты, АЭЖБУ доценті

О.М. Матаев

Алматы энергетика және байланыс университетінің Ғылыми кеңесі басуға ұсынады (11.10.2016 ж. №2 хаттама). АЭЖБУ 2016 ж. ведомостік әдебиеттер басылымдарын шығарудың тақырыптық жоспары бойынша басылады, реті 11.

Алдибеков И.Т.

А40 Энергияның электрмеханикалық түрлендіргіштері: Оқу құралы (жоғары оқу орындарының «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету» мамандығы студенттеріне арналған)/И.Т. Алдибеков. – Алматы: АЭЖБУ, 2016. – 100 б.: кесте – 3, ил. – 87, әдеб. көрсеткіші – 10 атау.

ISBN 978-601-7889-16-6

Оқу құралында электрлік жетектерге қатысты негізгі ұғымдар, олардың даму тарихы мен қызметі, механикалық сипаттамалары, айналу жиілігін реттеу тәсілдері мен жүргізіп жіберу және тежеу режимдері, энергетикалық көрсеткіштері, қозғалтқыштардың қуатын таңдау қарастырылған.

Оқу құралы «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету» мамандығы бойынша білім алатын студенттерге арналған.

ӘОЖ 621.31(075.8)

ISBN 978-601-7889-16-6

@ АЭЖБУ, 2016
Алдибеков И.Т.

АННОТАЦИЯ

В данном учебном пособии изложены основы теории электромеханических преобразователей. Рассмотрены назначение и функции электроприводов постоянного и переменного тока, их схемы, характеристики, режимы работы, регулировочные свойства, особенности пуска и торможении электродвигателей. Изложены вопросы энергетики работы электропривода и расчета его мощности.

Мазмұны

Кіріспе.....	5
1 Электрлік жетектер туралы жалпы мағлұматтар.....	6
1.1 Электрлік жетектің даму тарихы.....	6
1.2 Электрлік жетектерге қойылатын жалпы талаптар.....	10
1.3 Электрлік жетектің құрамы және артықшылықтары.....	12
1.4 Электрлік жетектерді топтастыру.....	13
2 Электрлік жетектердің механикасының негіздері.....	17
2.1 Жұмыстық машиналардың механикалық сипаттамалары.....	17
2.2 Электрлік қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары.....	19
2.3 Электрлік жетектің тұрақталған қозғалысы және оның орнықтылығы.....	22
2.4 Электрлік жетектің динамикалық режимі және оның қозғалысының теңдеуі.....	24
3 Тұрақты ток қозғалтқыштарын қолданатын электрлік жетектердің механикалық сипаттамалары.....	29
3.1 Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштары туралы жалпы мағлұматтар.....	29
3.2 Тұрақты ток қозғалтқыштарының механикалық және электромеханикалық сипаттамаларының теңдеулері.....	30
3.3 Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларын каталогтық (күжаттық) деректер бойынша тұрғызу.....	32
3.4 Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының тежеу режимдері кезіндегі механикалық сипаттамалары	34
3.5 Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштардың жүргізіп жібергіш кедергілерін есептеу.....	38
3.6 Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштардың тежегіш кедергілерін есептеу.....	41
3.7 Бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының сипаттамаларының теңдеулері.....	42
3.8 Бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының жүргізіп жібергіш кедергілерін есептеу.....	46
3.9 Бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының жылдамдығын реттеу және оларды тежеу тәсілдері.....	47
3.10 Аралас қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының қасиеттері мен сипаттамалары.....	51
4 Үшфазалы және бірфазалы асинхронды қозғалтқыштарды қолданатын жетектердің механикалық сипаттамалары.....	53
4.1 Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының теңдеуі.....	54
4.2 Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын қоректендіруші кернеудің мәнін өзгерту арқылы реттеу.....	59

4.3	Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту арқылы реттеу.....	62
4.4	Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын полюстер жұптарының санын өзгерту арқылы реттеу.....	63
4.5	Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын реостатық және импульстік реттеу.....	66
4.6	Асинхронды қозғалтқыштардың тежеу режимдері.....	72
4.7	Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары.....	79
4.8	Үшфазалық асинхронды қозғалтқыштың бірфазалық режимде жұмыс істеуі.....	83
5	Электрлік жетектің энергетикасы.....	86
5.1	Электрлік жетектердің тұрақталған және өтпелі режимдері кезіндегі энергия шығындары және оларды азайту тәсілдері.....	86
5.2	Электрлік жетектердің пайдалы әсер коэффициенті және қуат коэффициенті.....	89
6	Электрлік жетектің қозғалтқышының қуатын анықтау.....	91
6.1	Электрлік қозғалтқыштың қызуы және суыуы.....	91
6.2	Электрлік жетектердің жұмыстық режимдері.....	94
6.3	Қуатты есептеу және электрлік жетектің қозғалтқышын таңдау....	96
	Әдебиеттер тізімі.....	99

Кіріспе

Өнеркәсіптегі, ауыл шаруашылығындағы, транспорттағы, құрылыстағы және тұрмыстағы технологиялық үрдістерді жүзеге асыру үшін мыңдаған әртүрлі жұмыстық машиналар мен өндірістік механизмдер қолданылады. Оларды қозғалысқа келтіру көп жағдайда электрлік жетектердің көмегімен жүзеге асырылады.

Электрлік жетек – электрлік қозғалтқыштан, түрлендіргіш құрылғыдан, берілістік құрылғыдан және басқарушы құрылғыдан тұратын, жұмыстық машиналардың орындаушы органдарын қозғалтуға және осы қозғалысты басқаруға арналған электрмеханикалық жүйе.

Электрлік жетектің теориясының және оны қолданудың негізгі мәселелерімен «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету» мамандығы бойынша оқитын бакалаврлар «Энергияның электрмеханикалық түрлендіргіштері» пәні және басқадай арнаулы пәндерді оқу арқылы танысып, біле алады. Осы орайда студенттерді қазақша жазылған оқу құралдарымен қамтамасыз ету өзекті мәселелердің бірі саналады.

Ұсынылып отырған оқу құралы пәннің оқу бағдарламасына сәйкес дайындалған. Бұл еңбекте электрлік жетектердің даму тарихына шолу жасалып, оларға қойылатын жалпы талаптар тұжырымдалған. Электрлік жетектердің классификациясына және құрылымдық сұлбаларына түсініктеме берілген. Жұмыстық машиналар мен электрлік қозғалтқыштардың сипаттамаларының түрлері мен олардың ерекшеліктері қарастырылған. Электрлік жетектің қозғалысының теңдеуіне және ондағы әрекет ететін моменттерге түсініктеме берілген.

Үшінші тарауда тұрақты ток қозғалтқыштарының түрлері мен олардың механикалық және электромеханикалық сипаттамалар қарастырылып, жүргізіп жіберу және тежеу режимдері сипатталған және оларды жүзеге асыруға қажет кедергілерді есептеу әдістемелері келтірілген. Сонымен қатар, тұрақты ток қозғалтқыштарының айналу жиілігін реттеудің әртүрлі тәсілдері қарастырылып, оларды жүзеге асыру кезіндегі жасанды механикалық сипаттамаларға түсініктеме берілген.

Төртінші тарауда үшфазалы асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары, олардың айналу жиілігін реттеу тәсілдері, жүргізіп жіберу және тежеу режимдері сипатталған. Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштардың құрылысы, жұмыс істеу принципі, механикалық сипаттамалары, оларды іске қосу сұлбалары қарастырылған.

Соңғы екі тарауда электрлік жетектің энергетикалық көрсеткіштері мен оларды жақсарту жолдары қарастырылған. Электрлік қозғалтқыштардың қызу мен суу үрдістері және жұмыс режимдері сипатталған. Сонымен қатар, электрлік жетекке қажетті қуатты есептеу және ол бойынша қозғалтқыш таңдау әдістемелері баяндалған.

Оқу құралында кездесетін кемшіліктер мен оны жетілдіру туралы ой-пікірлеріңізді, ұсыныстарыңызды автор ризашылықпен қабылдайды.

1 Электрлік жетектер туралы жалпы мағлұматтар

1.1 Электрлік жетектің даму тарихы

Электрлік жетектің даму тарихы оның құрамына кіретін, өзара байланысқан электрлік машиналардың, күштік түрлендіргіштер мен басқару құрылғыларының даму тарихымен тығыз байланысты. Сонымен қатар, электрлік жетек энергияны басқарылатын электромеханикалық түрлендіруді жүзеге асыратын жүйе болғандықтан оның өзіне тән тарихы бар. 1799 жылы италиян ғалымы А.Вольта электрохимиялық генератор ойлап табуы, онан кейінгі жылдарда В.В.Петров, Ж.Био және Ф. Савар, Х.Эрстед, А. Ампер П.Барлоу, Г. Ом, М. Фарадей және Э. Ленц сияқты ғалымдардың электрлік және магниттік құбылыстар, олардың бірі-біріне және электр энергиясының механикалық энергия түрленуі туралы ғылыми-тәжірибелік еңбектерінің жарық көруі 1834 жылы петербург академигі Б.С.Якоби білігі айналатын тұрақты ток қозғалтқышын ойлап шығаруына негіз болды. Осындай қозғалтқыштардың 40 данасын біріктіріп, оны 1838 жылы 12 адамдық қайықтың есу дөңгелегіне жетек ретінде орнатып, Нева өзенінің ағысына қарсы жүзуді іске асырды. Сондықтан 1838 жыл алғашқы электрлік жетектің жасалған және іс жүзінде қолданылған жылы болып есептелінеді. Бұдан кейінгі жылдары электрлік жетектерді тігін машинасында, артиллериялық қондырғыда қолдануға талпыныстар жасалды. Бірақ электрохимиялық энергия көздері қуатты қозғалтқыштарды ұзақ уақыт бойы энергиямен қамтамасыз ете алмайтындығын көрсетті. Сондықтан электрлік жетек кейінгі 35...40 жыл бойы кең қолданыс таппады, ал жылулық жетек негізгі жетек болып қала берді. Бұл басқаша энергия көздерін жасауды қажет етті.

Өздігінен қозатын генераторларды алғашқы нұсқаларын С.Хиорти (1854), А.Иедлик (1856), В.Сименс (1867) ойлап шығарды. 1870 жылы неміс ғалымы З.Грамм сақиналы орамасы бар якорлы, өздігінен қозатын генератор жасаса, 1873 жылы Ф.Гефнер-Альтенек және В.Сименс барабанды якоры бар тұрақты ток машинасын жасады. Бұл машинада қазіргі заманғы тұрақты ток машинасына тән барлық негізгі элементтер болды.

Іске жарамды тұрақты ток қозғалтқыштары негізінде жасалған алғашқы жетектер Ф.А. Пироцкийдің алғашқы электрлік трамвайында (1880 ж.), В.Н. Чиколевтың электрлік тігін машинасында (1882 ж.) және желдеткішінде (1886 ж.), орыс кемелерінің артиллериялық механизмдерінде (1887 ж.), электрлік жүк көтергіштері мен рульдік механизмдерінде, америкалық зауыттардың металлургиялық қондырғыларында (1890-1892 жж.) қолданды.

Тұрақты ток машинасын жасау және қолдану саласындағы бұл жетістіктер өнеркәсіпте электрлік жетектерді қолдануда түбегейлі өзгерістер жасай алмады.

1889 жылы орыс электротехнигі М.О.Доливо-Добровольский айнымалы токтың үш фазалы жүйесін ұсынып, сол жылы алғашқы үш фазалы қысқаша тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқышты және

трансформаторды ойлап шығарды. Кейінірек үшфазалы роторлы асинхронды қозғалтқышты, синхронды генераторды және үш фазалы трансформаторды ойлап құрастырды. 1881 жылы М.Депре электр энергиясын қашықтыққа беру мүмкіндігін негіздеп, 1882 жылы электр желісі арқылы 57 км қашықтыққа 3 кВт қуатты (кернеу 1500-2000 В) жеткізуді жүзеге асырды.

XIX ғасырдың 90 жылдарының басынан бастап айнымалы токтардың үш фазалы жүйесі энергетика саласына берік түрде енді.

1899 жылы алғаш рет бу турбинасы қуаты 1 МВт электрлік турбогенератормен жалғастырылып, электр энергиясын өндіре бастады. Осы кезден электр энергиясын көптеп өндіру, оны өндірістің бар саласына жаппай қолдану, сонымен қатар, тұрақты ток жетектерінің және құрылысы қарапайым, жұмыс істеу сенімділігі жоғары, бағасы арзан үш фазалы асинхронды қозғалтқыштар негізінде жасалған айнымалы ток жетектерінің қарқынды дамуы және өнеркәсіпте оларды кеңінен қолдану кезеңі басталады.

Алғашқы кезде электрлік қозғалтқыштар жеке орналасқан, қуаты үлкен машиналар мен станоктардың жетек ретінде қолданылды. Кейіннен цехтардағы ортақ жетек қызметін атқаратын бу машиналарын электрлік қозғалтқышпен айырбастай бастады. Осылайша трансмиссиясы көп трансмиссиялық электрлік жетек пайда болды, яғни цех ішіндегі барлық технологиялық қондырғыларға қозғалыс бір қуатты (орталық) электрлік қозғалтқыштан берілді. Кейіннен цехтағы барлық трансмиссия бірнеше топтарға бөліп, ол топтардың әрқайсысына жеке электрлік қозғалтқыш қарастырылды, яғни топтық электрлік жетектер қолдануға көшті. Бұл станоктарды басқарудың икемділік деңгейін және жұмыс істеу сенімділігін арттырды.

Жетілдірілген өнеркәсіптік электрлік қозғалтқыштар пайда болған кезеңде жұмыстық машиналарда жалғызданған немесе дербес электрлік жетектер қолдану тиімді болды. Жұмыстық машинаның бір ғана атқарушы органымен байланысқан мұндай жетек машинадағы трансмиссия санын, бос жүрісті, энергия шығынын азайтады және машинаның ең тиімді жылдамдықпен жұмыс жасауын қамтамасыз етеді.

Электрлік жетектің даму тарихының келесі кезеңі айналу жылдамдығы өзгерілетін (реттелетін) жетектерді жасаумен тығыз байланысты. Реттелетін электрлік жетекке деген қажеттілік технологиялық үрдістердің дәл және сапалы орындалуына, энергия шығынын азайтуға, жетектің тиімділігін арттыруға қатысты қатаң талаптардан туындады. Алғашқы реттелетін қуатты жетекте Вард-Леонарда ұсынған, бірнеше машиналардан құралған «генератор-қозғалтқыш (Г-Қ)» жүйесі қолданылды. Мұндай электрлік-машиналық түрлендіргіш құрылысы күрделі болуына қарамастан жылдамдықты реттеу қызметін жақсы атқарды.

Қуатты электрлік-вакуумдық аспаптар жасау өндірісі дамыған кезде 1935 жылы В. Иосифьян титратрондық статикалық түрлендіргіш қолданылған реттелетін жетектің алғашқы нұсқасын ұсынды.

1949 жылдан бастап сынаптық түзеткіштер қолданылған тұрақты токтық жетектер өндіріске кеңінен ендіріле бастады. Сонымен қатар, 50 жылдары реттелетін жетектерде магниттік күшейткіштер қолданыс тапты.

Осылайша, жартылай өткізгіштік техникаға дейінгі кезеңде асинхронды және синхронды жетектер (үлкен қуаттар үшін) реттелмейтін жетектер қатарында болды, ал электрлік-машиналық немесе статикалық (тиратрондық немесе сынаптық түзеткіштер, магниттік күшейткіштер) түрлендіргіштер қолданылған тұрақты токтық жетектер реттелетін жетектер болып саналды.

Соғыстан кейінгі жылдары күштік электроникада техниканың көптеген саласын, оның ішінде электрлік жетекті түбегейлі өзгерістерге түсірген ірі ғылыми жетістіктерге қол жетті. 1948 жылы Дж. Бардин және В. Браттейн (АҚШ) алғашқы транзисторларды жасады. 50 жылдардың соңымен 60 жылдардың басында шағын қуатты қозғалтқыштарды және көп қуатты қозғалтқыштардың қоздыру тізбегін қоректендіруге арналған басқарылатын электрондық кілттер мен олардың негізінде жасалған құрылғылар пайда болды.

Әсіресе, электрлік жетектің техникалық жағынан ерекше дамуына 1955 жылы Дж. Молла, М. Танненбаум, Дж. Голдей және Н. Голоньяктың (АҚШ) жасаған тиристоры-жартылай басқарылатын кілті үлкен әсерін тигізді. Мындаған вольттық кернеу мен үлкен токтарға арналған тиристорлардың пайда болуы тұрақты токтық жетектердің қоздыру тізбегінде де, күштік тізбегінде де қолдануға болатын және басқарылатын тиристорлық жасауға және оларды рабайсыз, жұмыс істеу сенімділігі және үнемділігі төмен сынап түзеткіштер мен тиратрондардың орнына пайдалануға жол ашты.

60 жылдардың ортасынан бастап «тиристорлық түзеткіш – тұрақты ток қозғалтқышы (ТТ–ТТҚ)» жүйесі шағын және орташа қуатты реттелетін жетектің негізгі жүйесі ретінде саналып, «генератор – қозғалтқыш (Г–Қ)» жүйесінің орнына қолдана бастады. Оған «Г–Қ» жүйесімен салыстырғанда «ТТ–ТТҚ» жүйесінің құрылымының шағындығы, әрекет ету шапшаңдығы және ПӘК мен жұмыс істеу сенімділігі жоғары болуы себеп болды.

70 жылдары «ТТ–ТТҚ» жүйесіне конкурент ретінде біраз өндірісте (кабель өндірісінде, кейбір технологиялық желілерде, жүктік қондырғаларда және т.с.) Москва энергетика институты (МЭИ) ұсынған «ток көзі – тұрақты ток қозғалтқышы (ТК–ТТҚ)» жүйесі ендіріле бастады.

Қысқаша тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштардың тұрақты токтың коллекторлы қозғалтқыштарына қарағанда бағасы бірнеше есе арзан, құрылысы қарапайым, салмағы жеңілірек, жұмыс істеу сенімділігі жоғары, үлкен жылдамдықпен жұмыс жасай алады және кең тараған айнымалы ток желісіне қосылады. Бірақ олардың жылдамдығын реттеу күрделірек болғандықтан реттелетін жетектерде соңғы кезге дейін тек тұрақты ток қозғалтқыштары қолданылды.

Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын реттеуді қоректендіруші кернеудің (токтың) жиілігін өзгерту арқылы жүзеге асыруға бағытталған ғылыми зерттеулер (А.А. Булгаков, М.П. Костенко) Совет Одағында 1940

жылдары басталып, 1970 жылдары тиристорларға негізделген жиіліктік түрлендіргішті қолданатын айнымалы тоқтық жетектер жасаумен, оларды автоматты басқару принциптерін зерттеуге арналған жұмыстармен (А.С. Сандлер) ұласты. Бұл жетектер жылдамдықтың өзгеру диапазонының кеңдігі, динамикалық сипаттамалары мен үнемділігі жағынан тұрақты тоқтық жетектермен салыстырғанда жоғары көрсеткіштерге ие болды.

60-70 жылдары реттелетін жетектердің жаңа типтерін (сызықты, адымдық) ойлап құрастыру, зерттеу жұмыстары (М.Г. Чиликин, Б.А. Ивоботенко, П. Лауренсон және т.б.) қарқынды жүргізіліп, кейіннен металлургиялық, станоктар жасау өндірістерінде кеңінен ендіріле бастады. Жетектерде белгілі бір қозғалыс түріне арналған бұл қозғалтқыштарды қолдану олардың шапшаңдығын, дәлдігін және тиімділігін арттырады, кейбір жағдайларда механикалық беріліс құрылғыларын мүлдем қажет етпейді.

Электрлік жетектің одан әрі жаңа сапалық деңгейде дамуына автоматты басқару теориясы мен күштік жартылай өткізгіштік техника, микроэлектроника саласындағы ірі жетістіктер және микропроцессорлық техниканың пайда болуы үлкен әсерін тигізді. Үлкен токтар мен кернеулерге арналған қуатты транзисторлар (ток - 600 А дейін, кернеу – 1200 В дейін) пайда болды. Тиристорлардың орнына қуатты транзисторлар, кейіннен IGBT модулдер қолданыла бастады.

Электрлік жетектерді басқару жүйесінде түйіспелі (контактный) және түйіспесіз (бесконтактный) құралдардың (релелердің) орнына бағдарланатын логикалық контроллер (БЛК) қолдану қарқынды жүргізілді. БЛК икемділігі және жұмыс істеу сенімділігі өте жоғары, шағын, жетекті басқару жүйесін құруды арзандатады және баптауды, эксплуатациялауды жеңілдетеді.

Заманауи автоматтандырылған электрлік жетек көп жағдайда қысқаша түйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштан, скалярлық немесе векторлық принцип бойынша басқарылатын, тұрақты тоқтық буыны бар жиіліктік түрлендіргіштен және басқарушы контроллерден тұрады.

Қазіргі кезде электрлік жетектерді дамытудың негізгі бағыттары:

- жетілдірілген заманауи түрлендіргіштер мен микропроцессорлық басқару жүйелерін қолданатын кешендік (комплектілік) электрлік жетектерді ойлап құрастыру және жасап шығару;
- электрлік жетектердің энергетикалық көрсеткіштерін, жұмыс істеу сенімділігін және унификациялауды жақсарту;
- асинхронды және синхронды қозғалтқыштарды қолданатын реттелетін электрлік жетектерді пайдаланатын өндірістік салалар санын көбейту;
- электрлік қозғалтқыштардың жаңа типтерін (сызықты, адымдық, вентильдік) қолданатын жетектерді пайдалану;
- технологиялық үрдістердің, электрлік жетектерді жобалаудың компьютерлік құралдарының математикалық модельдері мен алгоритмдерін жасауға қатысты ғылыми зерттеу жұмыстарды дамыту;
- заманауи жетектерді жобалауға, ойлап құрастыруға және эксплуатациялауға қабілетті инженерлік техникалық кадрларды дайындау.

1.2 Электрлік жетектерге қойылатын жалпы талаптар

Электрлік жетекті қолданудың негізгі мақсаты – жұмыстық машинаның технологиялық үрдісті берілген тапсырмалық өнімділікке, сапалық көрсеткішке сәйкес жоғары экономикалық және энергетикалық тиімділікпен орындауын қамтамасыз ету.

Электрлік жетек берілген функцияларды келісілген шартпен анықталған уақыт аралығында орындау қажет. Егер ол орындалмаса, онда оның барлық басқа сапасы қажетсіз болады, сондықтан *сенімділік* талабын бірінші қарастырамыз.

Екінші жалпы көрсеткіш *дәлдік* деп аталады. Ол қозғалысты басқару сапасын сипаттайды, сондықтан электр жетегінің негізгі функциясы болып саналады. Жетек қандайда бір қозғалыстың көрсеткішінің берілген мәннен өзгеше болмауын және берілген мәннен аспауын қажетті дәлдікпен орындауы керек. Мысалы, лифт кабинасын тоқтатудың дәлсіздігі ± 1 мм аспауы керек. Электр жетегі сымның немесе жіптің оралуы кезіндегі тартылу күшіне тәуелсіз жағдайда транспортер лентасының қозғалысын берілген жылдамдық деңгейінде ұстап тұру қажет, сонымен қатар жылдамдықтың ауытқуы рұқсат етілген ауытқудан аспауы керек.

Үшінші көрсеткіш әртүрлі сыртқы әсерлердің әрекетіне байланысты электрлік жетек жүйесінің *қимылдау (әрекет ету) шапшаңдығы*, бұл көрсеткіш екінші көрсеткішпен тығыз байланысты. Мысалы, радиотелескоп антенасының электрлік жетегі желдің әсерінен белгіленген орынжағдайдан ауытқуды өте тез түзетуі керек.

Шапшаңдық пен дәлдіктің арасындағы байланысты мына мысалмен көрсетуге болады: егер белгілі бір параметр өте тез өзгерсе, онда жетек оның өзгерісін тез қабылдап, өңдеп, тиісті әрекетті тез жасауы керек, әйтпесе берілгенмен мән мен нақты мән арасындағы айырмашылық көбейіп кетеді және рұқсат етілген аумақтан шығады.

Шапшаң әрекет ететін жүйеде динамикалық үрдістер уақыт тәуелді түрде өтетін өзгерістермен байланысты. Бұл байланыс төртінші көрсеткіштің – *динамикалық үрдістердің сапасын* анықтайды. Бұл көрсеткіш динамикалық үрдістердің уақыт бойынша өтуін сипаттайтын заңдылықпен өрнектеледі. Мысалы, лифтіде жақсы жұмыс жасайтын жетек болғанда қозғалыстың үдеуі мен тоқтауы сезілмейді, егер нашар жұмыс жасайтын жетек болса, онда динамикалық үрдістер кезінде қолайсыз жағдайлар орын алады.

Қазіргі уақытта ең маңызды саналатын бесінші көрсеткіш *энергетикалық тиімділік* деп аталады. Энергияны беру және түрлендірудің кез келген үрдістері кезінде шығындар болатындықтан, осы шығындардың басым бөлігі қандай екендігін білу қажет. Электр жетектері үшін бұл көрсеткіш электр энергиясының шығынымен анықталады. Мысалы, станоктың электр жетегінің энергетикалық тиімділік анықтау үшін 1 тонналық дайын өнімдер үшін қанша электр энергия шығындалатындығын білу қажет.

Энергетикалық тиімділікті ПӘК бағалайды. ПӘК пайдалы шығындалған

энергияның үрдісті орындауға берілген энергияның толық шығынына қатынасы арқылы анықталады. Үлкен шығындар дегеніміз - электрлік ресурстар мен адамдардың еңбектерінің босқа шығындалуы және қоршаған ортаға зиян тигізу.

Алтыншы көрсеткіш – электрлік жетектің электрмен қамтамасыз ету жүйесімен және өте жоғары деңгейлі ақпараттық жүйемен *сәйкестігі*. *Сәйкестік* мәселесі соңғы кездері электр жетегінің құрамына қоректендіру желісіне және электронды басқару құрылғысына кері әсерін тигізетін жоғары гармоникаларды түзететін жартылай өткізгішті түрлендіргіштердің енуіне байланысты қарастырыла бастады.

Жетінші көрсеткіш *жұмсалған ресурс мөлшері (ресурстық сыйымдылық)* деп аталады. Оған өнім шығару үшін жұмсалған материал мен энергия мөлшері, сонымен қатар дайындау, монтаждау, тасымалдау және жөндеу үшін жұмсалған еңбек мөлшері жатады. Бұл көрсеткіш өте күрделі және ауқымды, қолданылған технологияның деңгейімен, экономикалық жағдайлармен және көптеген басқа факторлармен байланысты.

Мысалы, электр жетегінің негізгі элементі болып саналатын, қуаты 1-10 кВт қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштардың салмағының өзгеруін қарастырайық. Табиғи ресурстары аз, бірақ технологиялық деңгейі жоғары Жапонияда 1950 жылдан 1986 жылға дейінгі аралықта қолданылатын материалдарының қасиеттерінің жақсаруы мен оларды өңдеу сапасының жоғарлауы, тиімді конструкциялық шешімдерді қолдану нәтижесінде мұндай қозғалтқыштардың салмағы орташа есеппен 2,5 есе төмендеді.

Қазіргі кезде энергияның бағасы жоғарлағандықтан және материалдың бағасы көтерілгендіктен энергияны үнемдейтін қозғалтқыштарының өндірісі қарқын алды, сондықтан олардың үлесі 40-50% дейін көтерілді.

Қойылатын талаптарды толық қанағаттандыратын электрлік жетекті ойлап құрастыру, жобалау кезінде электрлік қозғалтқыш пен басқару құрылғысының қасиеттері мен мүмкіндіктері жұмыстық машинаның жетектік сипаттамаларымен өзара сәйкестендірілуі қажет. Жетектік сипаттамалар деп өндірістік үрдістің және машинаның жұмыс режимдерін барлық ерекшеліктерін қамтитын сипаттамалар тобын айтады. Оларға технологиялық, кинематикалық, энергетикалық, механикалық, жүктемелік және инерциялық сипаттамалар жатады.

Электрлік жетектердің міндеттері қатарына жұмыстық машиналардың атқарушы органдарын қажетті қозғалыс түрімен (айналмалы, ілгерлемелі, кері-ілгерлемелі) қамтамасыз ету, оның жылдамдығын және үдеуін реттеу (тұрақтандыру), сонымен қатар, технологиялық үрдістерді орындауға қатысатын құрылғылардың жұмыстық режимдерін (жүргізіп жіберу, реверстеу, тежеу, жылдамдықты реттеу, апаттық жағдайлардан қорғау және блокировка) автоматтандыруды қамтамасыз ету жатады.

Электрлік жетектерінің өзіндік ерекшеліктерін атап өтейік:

1) Электр қозғалтқыштарын әртүрлі қуатқа және жылдамдыққа арнап жасау мүмкіндігі. Қазіргі кезде электрлік жетектердің қуаттарының диапазоны

ваттың жүздеген бөлігінен ондаған мың киловатқа дейінгі аралықта, ал айналу жылдамдығының диапазоны өте кең ауқымды қамтиды.

2) Әртүрлі жағдайда жұмыс істей алатын электрлік жетек жасау мүмкіндігі: агрессивті сұйық пен газы бар ортада, космостық кеңістік жағдайында, төменгі және жоғарғы температураларда және т.б.

3) Қарапайым әдістердің көмегімен жұмыстық машиналардың орындаушы мүшелерінде әртүрлі және күрделі қозғалыс түрлерін іске асыру, сондай-ақ қозғалыс бағытын және жылдамдықты, үдеуді өзгерту мүмкіндігі.

4) Өндірістік және технологиялық үрдістерді автоматтандырудың жеңілдігі, электр жетегін өндірісті басқаратын автоматтандырылған ортақ жүйеге қосудың қарапайымдылығы.

5) Электрлік жетектің ПӘК жоғары болуы, жұмыс істеу сенімділігі, қолдануға қолайлы болуы, қоршаған ортаны ластамауы.

1.3 Электрлік жетектің құрамы және артықшылықтары

Электрлік жетек – электрлік қозғалтқыштан, түрлендіргіш құрылғыдан, берілістік құрылғыдан және басқарушы құрылғыдан тұратын, жұмыстық машиналардың орындаушы органдарын қозғалтуға және осы қозғалысты басқаруға арналған басқарылатын электромеханикалық жүйе (1.1 сурет).

Түрлендіргіш құрылғы қозғалтқыштың және машинаның жұмыстық режимдерін реттеу мақсатында электр желісінен келетін электр энергиясының ағынын басқаруға арналған. Ол жетекті басқару жүйесінің энергетикалық орындаушы бөлігі ретінде саналады. Ең қарапайым түрлендіргіш құрылғы – электрлік қозғалтқышқа энергия беруді және оны қашықтан басқаруды қамтамасыз ететін магниттік жүргізіп жібергіш (іске қосқыш), ал заманауи түрлендіргіштерге тиристорлық коммутаторлар, кернеу реттегіштер, кернеулік және жиіліктік түрлендіргіштер және т.б. жатады.

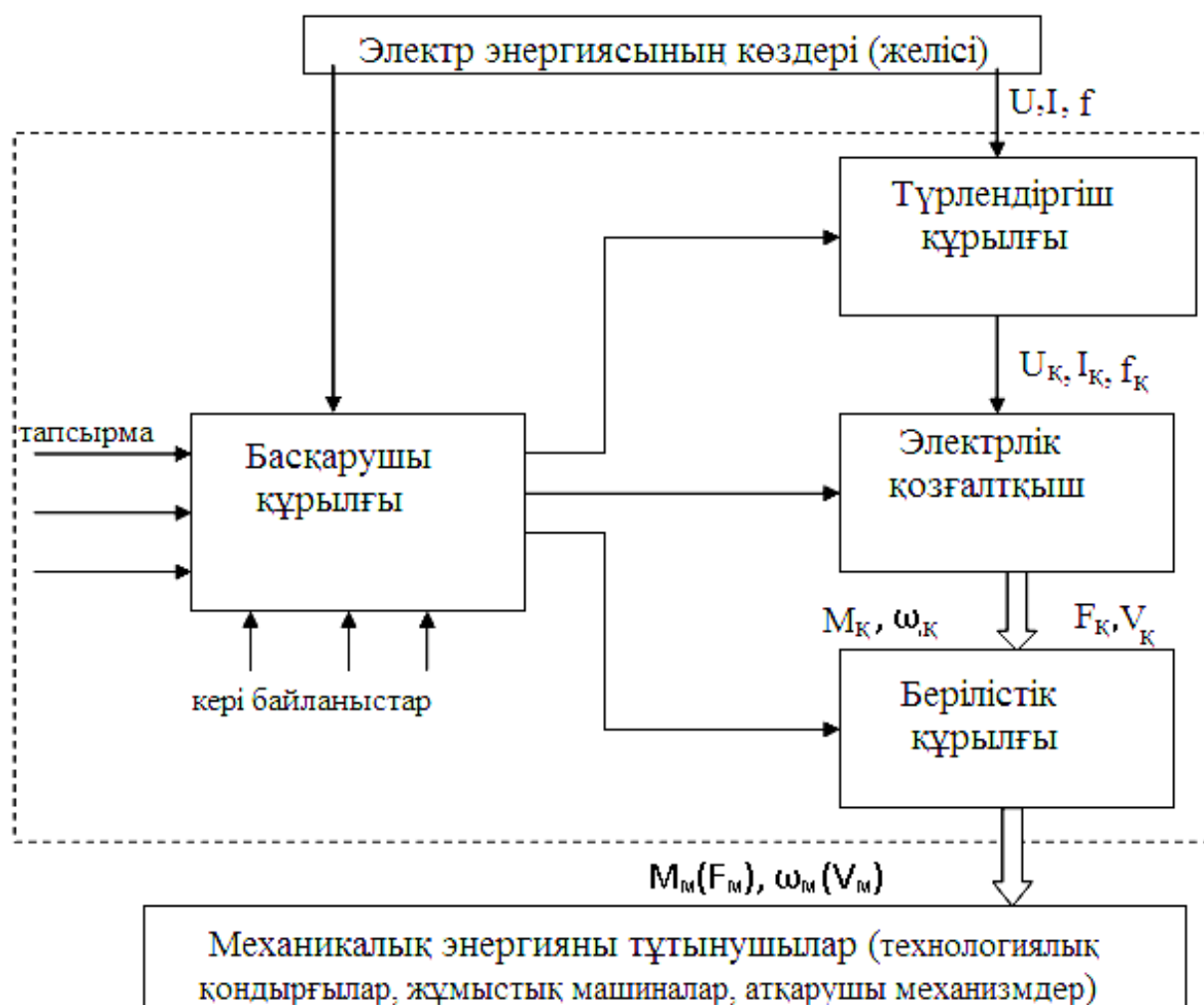
Берілістік құрылғы қозғалтқыштан алынатын механикалық энергияны атқарушы органға беруге қажет шкивтерден, белдіктерден, тісті дөңгелектерден, муфталардан және т.б. тұрады.

Басқарушы құрылғы (БК) басқару жүйесінің тапсырмалық әсерлер мен жүйенің жағдайы туралы ақпараттарды тіркеу мен өңдеуге және олардың талдау негізінде түрлендіргішті, электрқозғалтқышты және берілістік құрылғыны басқару сигналдарын өндіруге арналған ақпараттық бөлігі (басқару аспаптары, микропроцессорлық құралдар микроЭЕК және т.б.) болып табылады.

Қазіргі кезде заманауи өндірістерде электрлік жетектер (ЭЖ) кеңінен қолданады, олардың үлесіне тұтынылатын электр энергиясының жартысынан астамы тиеді.

Электрлік жетектердің мұндай кең таралуына олардың басқа жетектерге қарағанда мынадай артықшылықтары мен ерекшеліктері себеп болды: өндірілуі мен таратылуының қарапайымдылығымен және басқа энергияға түрлендірілуінің жеңілдігімен ерекшеленетін электр энергиясының

қолданылуы; жетек қозғалысының қуаты мен жылдамдығының диапазонының кеңдігі; конструкциялық жасалымының әртүрлігі; технологиялық үрдістерді автоматтандырудың қарапайымдылығы; жетектің ПӘК жоғары болуы, жұмыс істеу сенімділігі, экологиялық тазалығы.



1.1 сурет – Электрлік жетектің құрылымдық (структуралық) сұлбасы

1.4 Электрлік жетектерді топтастыру

Өндіріс саласында, оның ішіне ауыл шаруашылығында қолданылатын электрлік жетектерді оларға тән негізгі ерекше белгілерге байланысты бірнеше топтарға бөлуге болады (1.2 сурет).

Электрлік жетектер жылжу мүмкіндігіне байланысты стационарлық (қозғалмайтын) және жылжымалы жетектер болып бөлінеді.

Көптеген электрлік жетектер белгілі бір орынға орнатылған, қозғалмайтын жұмыстық машиналарға бекітілгендіктен *стационарлық жетек* қатарына жатады.



1.2 сурет – Электрлік жетектердің топтамасы

Егер технологиялық үрдісті орындау кезінде электрлік жетек жұмыстық машинамен бірге бір орыннан екінші орынға жылжып отыратын болса, онда оны *жылжымалы электрлік жетек* деп атайды. Мысал ретінде электрлік қол саймандардың, қозғалмалы крандардың және т.б. электрлік мобильді машиналардың электр жетектерін айтуға болады.

Автоматтандырылу деңгейіне байланысты электрлік жетектер автоматтандырылмаған (автоматты басқару жүйесі қарастырылмаған) және автоматтандырылған жетектер болып бөлінеді.

Электрлік жетектер *қолданылған қозғалтқыштың түріне, қозғалыс түріне, механикалық берілістік түрлендіргіш түріне байланысты* бірнеше топтарға бөлінеді (1.2 сурет).

Жылдамдықты және орынжағдайды реттеу принципіне байланысты электрлік жетектер мынадай топтарға бөлінеді:

- *реттелмейтін* (атқарушы органның қозғалу жылдамдығы реттелмейді);

- *реттелетін* (электрлік жетек атқарушы органның қозғалу жылдамдығын технологиялық үрдістің талабына сәйкес реттейді);

- *бағдарламалық басқаратын* (электрлік жетек атқарушы органның қозғалысын берілген бағдарлама сәйкес қамтамасыз етеді);

- *қадағалаушы* (электрлік жетек атқарушы органның қозғалысын еркін өзгеретін тапсырмалық сигналға сәйкес қамтамасыз етеді);

- *адаптивті* (электрлік жетек атқарушы органның жұмыс жағдайы өзгерген кезде оның қозғалысының оңтайластырылған режимін автоматты түрде қамтамасыз етеді);

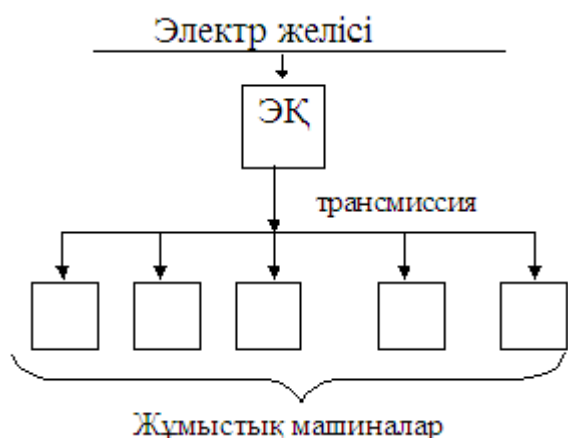
- *позициялық* (электрлік жетек атқарушы органның орынжағдайын реттеуді қамтамасыз етеді).

Атқарушы органға механикалық энергияны беру тәсіліне байланысты электрлік жетектер топтастырылған, жалғызданған және өзара байланысқан көп қозғалтқышты электрлік жетектер болып бөлінеді.

Егер бір электрлік қозғалтқыштан қозғалыс трансмиссия арқылы жұмыстық машинаның бірнеше атқарушы органдарына немесе жұмыстық машиналар тобына берілсе, онда мұнай жетек *топтастырылған жетек* деп аталады (1.3 сурет). Бұл жетекте кинематикалық тізбектің көп қолданылуы оны эксплуатациялауды және технологиялық үрдістерді автоматтадыруды қиындатады. Қазіргі кезде мұндай жетек өндірісте қолданылмайды.

Жалғызданған (дербес) жетекте әр электрлік қозғалтқыш жеке бір жұмыстық машинаны қозғалысқа келтіреді (1.4 сурет).

Қарапайым жалғызданған жетек - жалғызданған жетектің жасалуының жеке бір түрі. Мұндай жетекте қозғалтқыш жұмыстық машинадан бөлек орналасады немесе оған механикалық жолмен жалғастырылады. Сондықтан мұндай жетек жұмыстық машинаның кинематикасына және конструкциясына принципиалды өзгерістер ендіруді қажет етпейді. Бірақ бұл жетекте электрлік қозғалтқышты қолданудың артықшылықтары толық пайдаланылмады.



1.3 сурет – Топтастырылған жетек



1.4 сурет – Дербес жетек

Дербес электрлік жетек жұмыстық машинаға бейімделген және оның конструкциясының құрамына кіреді. Мысал ретінде вертикал-фрезерлік және қайрау станоктарының, электрлік дрельдер мен желдеткіштердің жетектерін айтуға болады.

Өзара байланысқан электрлік жетек деп күрделі жұмыстық машинаның бір немесе бірнеше атқарушы органын қозғалысқа келтіретін, екі немесе бірнеше өзара электрлік немесе механикалық байланыстағы дербес электрлік жетектер жиынтығын айтады. Егер мұндай жетектегі қозғалтқыштар өзара механикалық байланыста болып, бір ортақ білікке (кинематикалық сұлбаға) жұмыс жасайтын болса, онда бұл жетекті *көп қозғалтқышты жетек* деп, ал қозғалтқыштар өзара электрлік байланыста болса, онда мұндай жетекті *электрлік білік* деп атайды.

Қарапайым көп қозғалтқышты жетек күрделі жұмыстық машинаның кинематикалық сұлбасының жеке буындарын өз бетінше қозғалысқа келтіретін бірнеше жалғызданған жетектерден тұрады. Мұндай жетек жұмыстық машинаның конструкциясына принципіалды өзгерістер ендіруді қажет етпейді. Жөндеу шеберханаларындағы металл өңдеу станоктары, астық тазалау, тиеу және т.б. машиналар осындай жетектермен жарақтандырылған.

Дербес көп қозғалтқышты жетек деп күрделі жұмыстық машинаның жеке органдарымен байланысқан дербес электрлік жетектер жиынтығын айтады. Мұндай жетекте механикалық беріліс қарастырылмайды, сондықтан жұмыстық машинаның конструкциясына өзгерістер ендіруді қажет етеді. Олар ауыл шаруашылық өндірісінде кең тараған ағымдық технологиялық қондырғыларда (мысалы, астық тазалау-кептіру пунктерінде, құрама жем зауыттарында, құс фабрикаларында және т.б.) қолданылады.

Агрегатталған көп қозғалтқышты жетек деп белгілі бір өндірістегі технологиялық үрдістерді орындауға қатысатын барлық машиналардың жұмысын қамтамасыз ететін, автоматика көмегі арқылы өзара үйлесімді (келісімді) жұмыс жасайтын электрлік қозғалтқыштардың толық жүйесін айтады. Мысал ретінде витаминделген шөп ұнын дайындауға арналған АВМ-0,4 агрегатын келтіруге болады. Бұл агрегатта атқарушы механизмдерді жекелей қозғалысқа келтіру үшін 10 асинхронды қозғалтқыш қарастырылған.

2 Электрлік жетектердің механикасының негіздері

2.1 Жұмыстық машиналардың механикалық сипаттамалары

Электрлік жетектерді дұрыс жобалау және эксплуатациялау үшін электрлік қозғалтқыштар мен олар қозғалысқа келтіретін жұмыстық машиналардың *механикалық сипаттамаларын* жақсы білу қажет. Өйткені жетек пен машинаның жоғары технико-экономикалық көрсеткіштеріне бұл сипаттамалардың *өзара сәйкестігін* қамтамасыз еткен жағдайда ғана қол жеткізуге болады.

Жұмыстық машинаның немесе өндірістік механизмнің *механикалық сипаттамасы* деп оның атқарушы органының айналмалы (немесе ілгерлемелі) қозғалысының бұрыштық ω_{ao} (сызықтық v_{ao}) жылдамдығының оның статикалық кедергілерінің моментіне M_{ao} (күшіне F_{ao}) тәуелділігін айтады. Бұл сипаттамаларды қозғалтқыштың білігіне келтіру операциясын орындау нәтижесінде $\omega = f(M_k)$ түріндегі тәуелділік аламыз. Мұндағы ω - қозғалтқыштың білігіне келтірілген жылдамдық, ал M_k – қозғалтқыштың білігіне келтірілген механизмнің статикалық кедергілерінің (жүктеменің) моменті.

Машинаның (механизмнің) статикалық кедергілерінің моменті деп оның тұрақталған жұмыс режимі кезіндегі (яғни үдемелі қозғалыс болмаған кездегі) моментті айтады. Бұдан былай бұл моментті кедергілер моменті немесе жүктеме моменті деп атаймыз. Үдемелі қозғалыс болған кезде, статикалық моменттен басқа, динамикалық момент пайда болады.

Өндірістік механизмдердің механикалық сипаттамаларын математикалық жолмен өрнектеу үшін мына эмпирикалық формула қолданады:

$$M_k = M_0 + (M_{k,ном} - M_0)(\omega/\omega_{ном})^x, \quad (2.1)$$

мұндағы M_k – жылдамдық ω болған кездегі кедергілер моменті;

$M_{k,ном}$ – номиналдық жылдамдық $\omega_{ном}$ кезіндегі кедергілер моменті;

M_0 – механизмнің қозғалмалы бөліктеріндегі үйкеліс кедергісінің моменті;

x – жылдамдық өзгерген кезде кедергілер моментінің өзгеруін сипаттайтын көрсеткіштің дәрежесі.

Өндірістік механизмді қозғалысқа келтіруге қажетті қуаттың P_k жылдамдыққа тәуелділігін жуықтап (яғни M_0 есепке алынбаған жағдайда) сипаттау үшін келесі математикалық өрнек қолданылады:

$$P_k = M_k \omega = M_{k,ном} (\omega/\omega_{ном})^x \omega = M_{k,ном} \frac{\omega^{x+1}}{\omega_{ном}^x}. \quad (2.2)$$

Әртүрлі өндірістік механизмдердің механикалық сипаттамалары әртүрлі болып келеді. (2.1) формуланы қолдану арқылы анықталған механикалық сипаттамалардың ерекшеліктеріне байланысты өндірістік механизмдерді мынадай негізгі топтарға бөлуге болады:

1) Кедергілерінің моменті M_k жылдамдыққа тәуелді емес механизмдер (1 сурет, 1 сызық). (2.1) формула бойынша $x=0$ болғанда $M_k = M_{k,ном} = const$, яғни M_k жылдамдыққа ω тәуелді емес. Мұндай сипаттамалар жүк көтергіш крандар мен лебедкаларға, бір қалыпты жүктелген транспортерлер мен конвейерлерге, поршенді сорғыштарға және т.б. механизмдерге тән. Бұл топқа кедергісінің негізгі моменті үйкеліс моменті болатын механизмдерді де жуықтап жатқызуға болады.

Бұл жағдайда $x=0$ болғандықтан қуат $P_k = M_{k,ном} \omega$ өрнегі арқылы анықталады. Демек, бірінші топтың механизмдері үшін қажетті қуат жылдамдыққа тура пропорционал (2.1 сурет, 1 сызық).

2) Кедергілерінің моменті M_k жылдамдыққа тәуелді сызықты заңдылықпен өсетін механизмдер (1 сурет, 2 сызық). Бұл жағдайда $x=1$, ал M_k сызықты заңдылық бойынша өседі:

$$M_k = M_0 + \left(\frac{M_{k,ном} - M_0}{\omega_{ном}} \right) \omega = M_0 + k\omega. \quad (2.3)$$

Мұндай сипаттама сыртқы тұрақты жүктемеге жұмыс жасайтын, тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток генераторына тән.

Ал $x=1$ болғандықтан қажетті қуат:

$$P_k = (M_{k,ном} / \omega_{ном}) \omega^2. \quad (2.4)$$

Демек, екінші топтың механизмдеріне қажетті қуат жылдамдықтың квадратына тура пропорционал болады (2.2 сурет, 2 сызық).

3) Кедергілерінің моменті M_k жылдамдыққа тәуелді сызықты емес заңдылықпен өсетін механизмдер (1 сурет, 3 сызық). Бұл жағдайда $x>1$ және

$$M_k = M_0 + \left(\frac{M_{k,ном} - M_0}{\omega_{ном}^x} \right) \omega^x = M_0 + k' \omega^x. \quad (2.5)$$

Мұндай сипаттама желдеткіштерге, ортадан тепкіш сорғыштарға, сепараторларға және т.б. механизмдерге тән. Егер $x=2$ болса, онда сипаттама желдеткіштік деп аталады, өйткені желдеткіштің кедергісінің моменті M_k жылдамдықтың квадратына тәуелді.

$x=2$ болғандықтан:

$$P_k = (M_{к.ном} / \omega_{ном}^2) \omega^3. \quad (2.6)$$

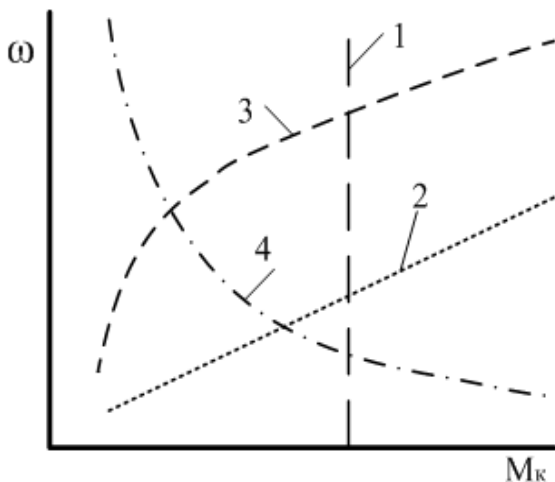
Үшінші топтың механизмдеріне қажетті қуат жылдамдықтың кубына пропорционал өзгертіндігін көреміз (2.2 сурет, 3 сызық) .

4) Кедергілерінің моменті M_k жылдамдыққа тәуелді сызықты емес заңдылықпен кемитін механизмдер (1 сурет, 4 сызық). Бұл жағдайда $x = -1$, сондықтан момент M_k жылдамдыққа ω кері пропорционалдық заңдылық бойынша өзгереді, ал қуат жылдамдыққа тәуелді өзгермейді (2.2 сурет, 4 сызық):

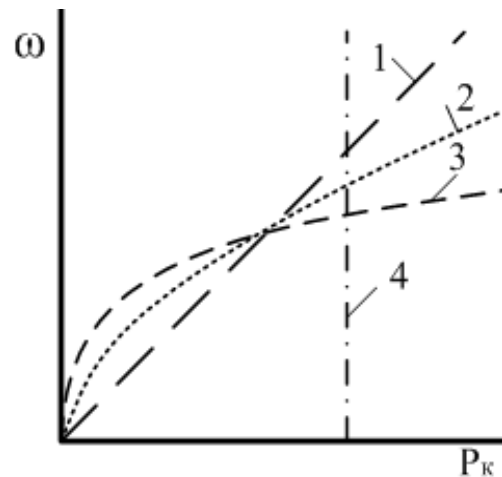
$$M_k = M_0 + \left(\frac{M_{к.ном} - M_0}{\omega_{ном}^{-1}} \right) \omega^{-1} = M_0 + \frac{k''}{\omega}; \quad (2.7)$$

$$P_k = M_{к.ном} \omega_{ном} = const. \quad (2.8)$$

Мұндай сипаттама кейбір токарлық, фрезерлік және басқадай металл кескіш станоктарға, астықтық норияға және т.б. механизмдерге тән.



2.1 сурет – Өндірістік механизмдердің әртүрлі топтарының механикалық сипаттамалары



2.2 сурет - Өндірістік механизмдердің әртүрлі топтарына қатысты қуаттың жылдамдыққа тәуелділігі

2.2 Электрлік қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары

Электрлік қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы деп оның бұрыштық жылдамдығының ω айналдырушы моментке M тәуелділігін айтады, яғни $\omega = f(M)$.

Электрлік жетек теориясында механикалық сипаттамамен қатар қозғалтқыштың жылдамдықтық немесе электрмеханикалық сипаттамасы қарастырылады. Ол жылдамдықтың токқа тәуелділігін сипаттайды, яғни $\omega = f(I)$.

Механикалық сипаттамаларды *табиғи және жасанды сипаттамалар* деп жіктейді.

Егер қоректендіруші желінің параметрлері номиналдық параметрлерге сәйкес келсе, ал қозғалтқыштың қосылу сұлбасы құжаттық сұлбаға сәйкес болса және оның тізбегінде ешқандай қосымша электротехникалық элементтер (кедергілер, реакторлар, конденсаторлар) болмаса, онда оның сипаттамасы *табиғи сипаттама* болады.

Егер қоректендіруші желінің параметрлері номиналдық мәндерден өзгеше болған немесе орамалардың қосылу сұлбасы өзгерген немесе тізбекке қосымша электротехникалық элементтер қосылған кездегі жұмыс режимдеріне сәйкес келетін сипаттамалар *жасанды сипаттамалар* деп аталады. Қозғалтқышта мұндай сипаттамалар сан жағынан шектеусіз көп болуы мүмкін. Жасанды сипаттамалар қозғалтқыштың координаттарын (токты, моментті, жылдамдықты, орынжағдайды) реттеу үшін арнайы түрде қолданылса, онда оларды кейде *реттеушілік сипаттамалар* деп атайды.

Электрлік қозғалтқыштардың көпшілігіне тән бір қасиет – білікке түсетін кедергілік момент өзгерген кезде олардың айналу жылдамдығы мен электромагниттік моменті автоматты түрде өзгере алады, сондықтан жетек басқадай жылдамдықпен және оған сәйкес моментпен тұрақты жағдайда жұмыс істей береді.

Бірақ әртүрлі қозғалтқыштың моментінің жылдамдыққа тәуелді өзгеру дәрежесі әртүрлі. Сондықтан оны сандық тұрғыдан сипаттау үшін *механикалық сипаттаманың қатаңдығы* деп аталатын коэффициент β қолданылады. Бұл коэффициент қозғалтқыштың электромагниттік моменттерінің айырымының оларға сәйкес келетін бұрыштық жылдамдықтардың айырымына қатынасы арқылы анықталады:

$$\beta = \frac{(M_2 - M_1)}{(\omega_2 - \omega_1)} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}. \quad (2.9)$$

2.3 суретте өндірістік механизмнің, мысалы, транспортердің бос жүріс кезіндегі сипаттамасы (1 сызық), жүктелген кездегі сипаттамасы (2 сызық) және оны қозғалысқа келтіретін, тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасы (3 сызық) көрсетілген. Бос жүріс кезінде ($M=M_1$) қозғалтқыштың айналу жылдамдығы ω_1 тең. Транспортерге жүк салған сәттен бастап жылдамдық $\omega = \omega_2$ болғанша азая бастайды, оған сәйкес қозғалтқыштың ЭҚК де азаяды. Бұл жағдай өз кезегінде якорь тогін және қозғалтқыш тудыратын моментті (M) жүктелген кездегі кедергілік моментпен (M_2) теңескенше ($M=M_2$) көбейтеді. Жылдамдық пен момент жаңа мәндерге ие болады, яғни электрлік жетек жаңа тұрақталған режимде одан әрі жұмыс жасайды.

Қатаңдық коэффициенті кең ауқымда өзгереді, мәні теріс таңбалы да, оң таңбалы да болуы мүмкін. Әдетте қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының жұмыстық учаскелерінде (бөліктерінде) қатаңдық теріс

таңбалы болады ($\beta < 0$). Сызықты механикалық сипаттамалардың қатаңдығы тұрақты болады ($\beta = \text{const}$). Механикалық сипаттамалар сызықты емес болған жағдайда қатаңдықтың мәні өзгеріп отырады, сондықтан сипаттаманың әртүрлі нүктесіне сәйкес келетін қатаңдықты моменттің бұрыштық жылдамдық бойынша туындысы ретінде анықтайды:

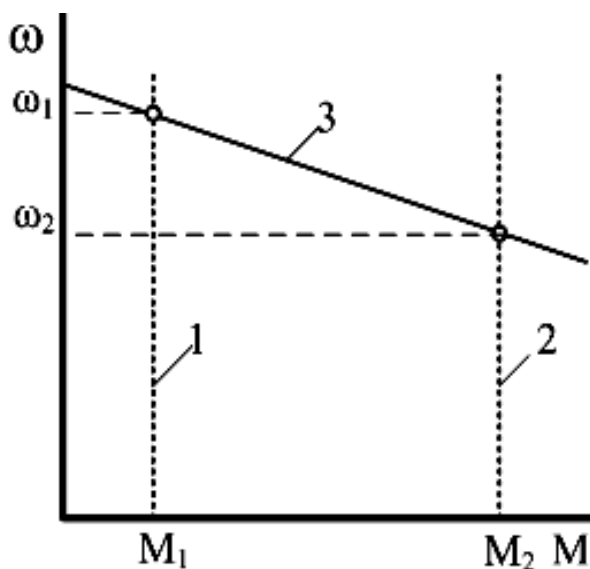
$$\beta = \frac{\partial M}{\partial \omega} \quad (2.10)$$

Қатаңдық ұғымын өндірістік механизмдердің механикалық сипаттамаларына да қатысты қолданылуға болады және оны (β_k) кедергінің моменттің бұрыштық жылдамдық бойынша туындысы ретінде анықтайды:

Қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларын қатаңдық коэффициентінің мәні бойынша негізінен төрт топқа бөлуге болады:

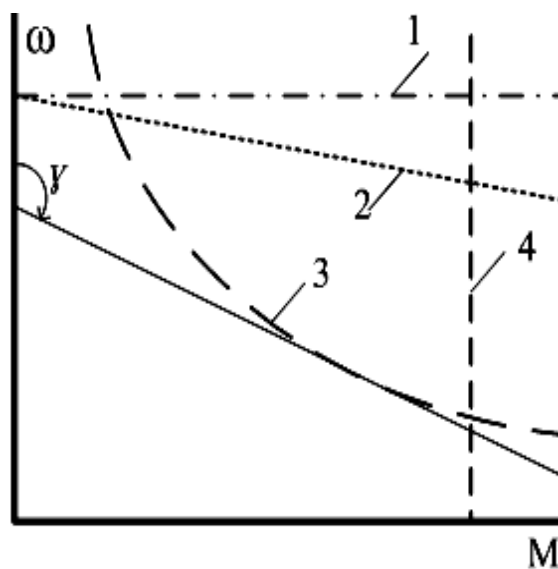
1) *Абсолютті қатаң механикалық сипаттама* ($\beta = \infty$) - момент өзгерген кезде айналу жылдамдығы өзгермей, тұрақты ($\omega = \text{const}$) болып қалуын бейнелейтін және синхронды қозғалтқыштарға тән сипаттама (2.4 сурет, 1 сызық).

2) *Қатаң механикалық сипаттама* моменттің айтарлықтай үлкен өзгерісі жылдамдықтың аз ғана өзгерісін тудыратынын бейнелейтін және тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштары мен асинхронды қозғалтқыштарға (сипаттаманың жұмыстық бөлігінде жұмыс жасағанда) тән сипаттама (2.4 сурет, 2 сызық). Бұл жағдайда $\beta = 40 \dots 10$.



1 - Өндірістік механизмнің (транспорттердің) бос жүріс кезіндегі сипаттамасы; 2 - Механизмнің жүктелген кездегі сипаттамасы; 3 - Тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасы.

2.3 сурет - Механикалық



1 - Абсолютті қатаң механикалық сипаттама, $\beta = \infty$; 2 - Қатаң механикалық сипаттама, $\beta = 40 \dots 10$; 3 - Жұмсақ механикалық сипаттама ($\beta \leq 10$); 4 - Абсолютті жұмсақ механикалық сипаттама, $\beta = 0$.

сипаттаманың қатаңдығын анықтау 2.4 сурет – Электрлік қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары

3) *Жұмсақ механикалық сипаттама* $\beta \leq 10$ моменттің өзгеруіне байланысты жылдамдықтың әжептеуір өзгерісін бейнелейтін және бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарына тән (әсіресе, сипаттаманың аз моментер бөлігінде) сипаттама Бұл қозғалтқыштар үшін қатаңдық сипаттама өн бойы бойынша өзгеріп отырады.

Егер аралас қоздырылатын қозғалтқышта бірізді қоздыру басымырақ болса, онды бұл қозғалтқышты осы топқа жатқызуға болады.

4) *Абсолютті жұмсақ механикалық сипаттама* ($\beta=0$) - жылдамдық өзгергенімен моменттің өзгермей, тұрақты ($M = const$) болып қалуын бейнелейтін сипаттама (2.4 сурет, 4 сызық). Мұндай сипаттама тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарын ток көзінен қоректендіргенде немесе ол тұйық электрлік жетекте якорь тогы тұрақтандырылған режимде жұмыс жасаған кезде орын алады.

Қатаңдықты сызбалық жолмен де анықтауға болады. Ол үшін механикалық сипаттаманың қарастырылатын нүктесіне жүргізілген жанаманың жылдамдықтық осьпен құрайтын бұрышының γ тангенсін табады (2.4 сурет):

$$\beta = \frac{m_M}{m_\omega} \cdot tg\gamma. \quad (2.11)$$

Бұрыш γ сағат тілінің жүрісінің бағыты бойынша жылдамдықтық осьтен бастап жанамаға дейін есептелінеді.

2.3 Электрлік жетектің тұрақталған қозғалысы және оның орнықтылығы

Жалпы жағдайда электрлік жетектің қозғалысы екі режимде өтеді: қозғалыс жылдамдығы өзгермейтін, тұрақты болатын *тұрақталған режим* және жылдамдықтың өзгеруімен сипатталатын *өтпелі (динамикалық) режим*.

Тұрақталған режим қозғалтқыштың моменті мен жүктеменің келтірілген моменті тең ($M=M_K$) болған кезде орын алады.

Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы және өндірістік механизмнің атқарушы органының келтірілген сипаттамасы белгілі болған жағдайда тұрақталған режим шарты ($M=M_K$) орындалуын анықтау қиын емес. Ол үшін бұл сипаттамаларды бір квадрантқа көрсетіледі (2.5 сурет, 1 және 2 қисықтар). Егер сипаттамалар қиылысатын болса, онда қозғалтқыш пен жұмыстық машинаның бірге жұмыс істей алатындығын, ал қиылысу нүктесі ($M=M_K$) тұрақталған режим (қозғалыс) шарты орындалатын нүктені көрсетеді (2.5 сурет, a нүктесі).

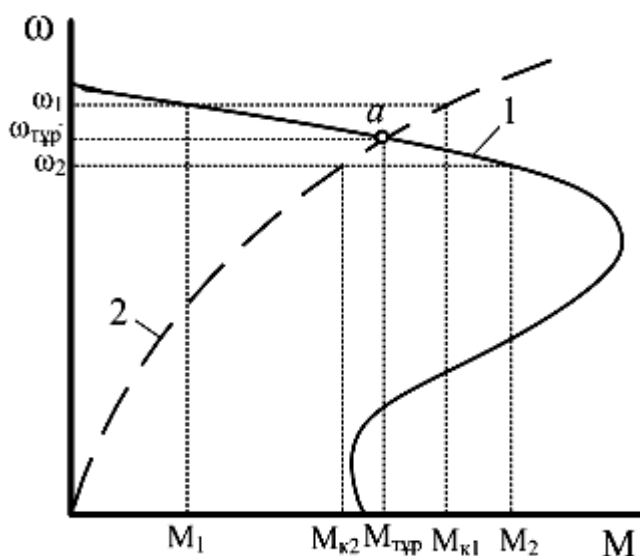
Қозғалтқыштың білігіндегі кедергілік момент өзгерісі оның жылдамдығы мен моменті автоматты түрде өзгеруіне әкеледі, бұл жағдайда жетек басқа жылдамдықпен және мәні басқа моментпен жұмыс жасайды.

Электрлік қозғалтқыштарда автоматты реттеуіш қызметін қозғалтқыштың ЭҚК атқарады. Мұндай автоматты түрде теңдестікті (өзгеріскен түскен кедергілік момент пен оған сәйкес келетін қозғалтқыштың моментінің теңдестігі) қамтамасыз ету жетек үшін өте бағалы қасиет болып саналады.

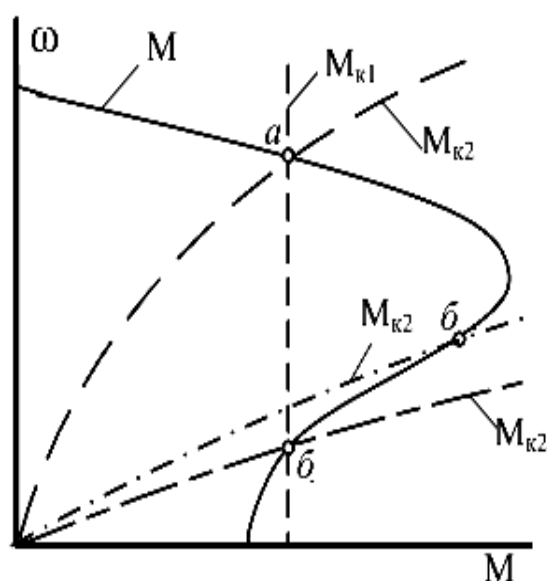
Электрлік жетектің тұрақталған режимін толық талдау үшін бұл режим кезінде қозғалыстың орнықты немесе орнықты емес екендігін анықтау керек.

Жетектің статикалық орнықтылығы деп қоздырушы әсердің әрекеті нәтижесінде тұрақталған режим қалпынан ауытқыған қозғалыс бұл әсер тоқтағаннан кейін тұрақталған режимге қайта оралу қабілетін айтады. Қоздырушы әсерлер басқару кезінде қозғалтқыштың электрлік тізбегінің параметрлерін, желінің кернеуі мен жиілігін, жұмыстық машинаның жүктемесін және т.б. параметрлерді өзгерткен кезде пайда болады.

Егер қозғалыстың жылдамдығы тұрақталған режим кезінде қандай да бір кездейсоқ сыртқы қоздырушы әсердің әрекеті нәтижесінде тұрақталған мәнінен ауытқып, қоздырушы әсер тоқтағаннан кейін жылдамдық бұл мәнге қайта оралса, онда *қозғалыс орнықты* дейді, ал қайта оралмаса, онда *қозғалыс орнықты емес* дейді. Мысалы, ойыс қабырғаның төменгі нүктесіне орналасқан және тыныш тұрған (жылдамдығы нөлге тең) шарикті бір рет түртіп қалып, қозғалысқа түсірсек, біраз уақыттан кейін ол бастапқы орнына келіп, тынышталады. Демек, бұл шариктің *қозғалысы орнықты* болады. Ал дөңес қабырғаның жоғарғы нүктесіне орналасқан және тыныш тұрған (жылдамдығы нөлге тең) шарикті бір рет түртіп қалып, қозғалысқа түсірсек, бастапқы жағдайға өздігінен ешқашан қайтып оралмайды, демек, қозғалыс орнықты емес.



2.5 сурет – Электрлік жетектің



2.6 сурет – Өртүрлі сипаттағы

орнықтылығын анықтау

кедергілік моментер үшін
жетектің орнықтылығын анықтау

Электрлік жетекке қатысты қоздырушы әсерлер жетекті басқару кезінде қозғалтқыштың электрлік тізбегінің параметрлерін, желінің кернеуі мен жиілігін, жұмыстық машинаның жүктемесі және т.б. жағдайларда пайда болады.

Жетектің жұмысының статикалық орнықтылығы оның тұрақталған режим кезінде қозғалысының орнықтылығымен анықталады.

Айталық, M_k кедергі моменті M_{k1} дейін өссін дейік, бұл жағдайда M_{k1} қозғалтқыш моментінен M_1 үлкен болады (2.5 сурет). Электрлік жетектің қозғалысының теңдеуіне сәйкес бұл кезде жүйеде теріс динамикалық момент пайда болады, нәтижесінде жылдамдықты тежеу үрдісі $\omega = \omega_{\text{тұр}}$ тең болғанша жүреді.

Қандай да бір қысқа мерзімді қоздырушы әсер жылдамдықты азайтсын делік, яғни $\omega_2 < \omega_{\text{тұр}}$ болсын. Бұл жағдайда $M_2 > M_{k2}$, сондықтан оң динамикалық момент әрекетінен жылдамдық $\omega_{\text{тұр}}$ болғанша өседі.

Осылайша жүйе қандай да бір ауытқу болған кезде тұрақталған қозғалыс жылдамдығына қайтып оралу қасиеті бар, яғни мұндай жүйеде қозғалыс орнықты болады.

Егер тұрақталған режим нүктесінде мынадай шарт орындалса,

$$\frac{\partial M_d}{\partial \omega} - \frac{\partial M_k}{\partial \omega} < 0, \quad \beta_d - \beta_k < 0, \beta_d < \beta_k,$$

онда жетек *статикалық орнықты* болады.

Әдетте $M_k = f(\omega)$ есептеу кезінде беріледі, сондықтан тұрақталған режим кезінде орнықты жұмыс істеу үшін электрлік қозғалтқыштың қажетті механикалық сипаттамасын дұрыс таңдай білу керек (2.6 сурет). Мысалы, M_{k1} үшін *a* нүктесі орнықты жұмыс режимі, ал *b* нүктесі – орнықты емес; M_{k2} үшін *a*, *b* нүктелері – орнықты жұмыс режимдері (2.6 сурет).

2.4 Электрлік жетектің динамикалық режимі және оның қозғалысының теңдеуі

Жалпы мағлұматтар. Электрлік жетектің (ЭЖ) *өтпелі немесе динамикалық режимі* деп бір тұрақталған режимнен жүргізіп жіберу, тежеу немесе айналу бағытын өзгерту және т.б. әрекеттер жасаған кезде екінші бір тұрақталған режимге көшу режимін айтады. Бұл режим ЭҚК, ω , M , I сияқты параметрлердің өзгерісімен сипатталады.

Динамикалық режимдердің практикалық маңызы үлкен. Оларды есептеу нәтижелері қозғалтқыштың қуатын дұрыс таңдауға, тиімді басқару жүйесін жобалауға, электрлік жетектің жұмысының өндірістік механизмдердің өнімділігіне және оның жұмысының сапасына әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

Электрлік жетектің өтпелі режимдері кезінде бір мезгілде және өзара тығыз байланысты жағдайда механикалық, электромагниттік және жылулық үрдістер әрекет етеді. Өте тез өтетін үрдістерде ЭЖ-тің жылулық күйі көп жағдайда басқа үрдістерге айтарлықтай әсер ете алмайды, сондықтан өтпелі жылулық үрдістер жиі есепке алынбайды.

Бұл жағдайда ЭЖ-те механикалық және электромагниттік өтпелі үрдістер (электромеханикалық үрдістер деп те аталады) орын алады. Кейбір жағдайларда электромагниттік үрдістерді есепке алмауға болады. Онда ЭЖ-тегі үрдістер тек жетектің қозғалысқа түсетін бөліктерінің инерциясы арқылы анықталатын механикалық үрдістермен сипатталады.

Үрдістерді есептеу нәтижелері бойынша $i=f(t)$, $M=f(t)$, $\omega=f(t)$ тәуелділіктерінің, кейбір жағдайларда жолдың уақытқа тәуелділігінің $L=f(t)$ графиктерін тұрғызады.

Электрлік жетектің қозғалысының теңдеуі. Бұл теңдеу өтпелі режимдер кезінде әрекет ететін барлық күштер мен моменттерді есепке алуы керек. Ілгерлемелі түзу қозғалыс кезінде қозғаушы күш F машинаның кедергілік күшімен F_k және жылдамдық өзгерісінен туындайтын инерциялық күшімен $m \frac{dv}{dt}$ теңеседі. Осыған байланысты ілгерлемелі түзу қозғалыс кезінде күштер теңдестігінің теңдеуі мына түрде жазылады:

$$F - F_k = m \frac{dv}{dt}. \quad (2.12)$$

Айналмалы қозғалыс үшін

$$M - M_k = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (2.13)$$

Бұл (2.13) теңдеу жиі кездесетін, $J=const$ болатын жағдайды сипаттайды.

Егер $J=var$, яғни айнымалы болса, онда

$$M - M_k = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \cdot \frac{dJ}{dt}. \quad (2.14)$$

Бұл (2.14) теңдеу инерция моменттері бұрылу бұрышына тәуелді болатын кесу аппараттарына, ағаш тілетін рамаларға, шатунды механизмдерге қатысты.

Теңдеу (2.13) қозғалтқыш тудыратын момент M біліктегі кедергі моментімен M_k және инерциялық немесе динамикалық моментпен $J \frac{d\omega}{dt}$ теңгерілетіндігін көрсетеді.

Бұл (2.13) теңдеуді талдау нәтижелері мына бойынша мынадай тұжырымдама жасауға болады:

а) егер $M > M_k$ болса, онда $\frac{d\omega}{dt} > 0$, яғни ЭЖ үдемелі қозғалады;

б) егер $M < M_k$ болса, онда $\frac{d\omega}{dt} < 0$, яғни ЭЖ тежелу үрдісіне көшеді;

в) егер $M = M_k$ болса, онда $\frac{d\omega}{dt} = 0$, яғни ЭЖ-те тұрақталған режим орнайды.

Егер қозғалтқыштың айналдырушы моментінің M бағыты жетектің айналу бағытына сәйкес болса, онда оның мәні оң болады. Керісінше жағдайда, айналдырушы моменттің мәні теріс болады.

Егер M_k мәні теріс болса, онда ол тежеуіш момент (затты кесу, жүкті көтеру, пружинаны қысу кезінде), яғни оның бағыты айналдырушы момент M бағытына қарама-қарсы.

M_k мәні жүкті түсіру, серпімді пружинаны босату кезінде оң болады.

Кедергі моменттері екі түрге бөлінеді:

- реактивті (қозғалысқа кедергі келтіретін қысу, кесу, үйкеліс моменттері);

- активті (потенциалды - салмақ күші, серпімді пружинаны босату).

Активті момент өзінің таңбасын (реактивті моментпен салыстырғанда) өзгертпейді (мысалы, жүкті көтергенде және жүкті түсіргенде).

Инерциялық немесе динамикалық момент (теңдеудің оң жағы) жетектің жылдамдығының өзгерісі кезінде, яғни өтпелі үрдіс кезінде ғана өзін көрсетеді, әрекет етеді. ЭЖ үдемелі қозғалған кезде бұл момент қозғалыс бағытына қарсы бағытталады, ал тежеу кезінде қозғалысты қолдайды.

Жалпы жағдайда ЭЖ-тің қозғалысының теңдеуі:

$$\pm M \pm M_k = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (2.15)$$

Моменттер алдындағы таңбаны таңдау қозғалтқыштың жұмыс режиміне және кедергі моментінің сипатына байланысты жүргізіледі.

Кедергінің және инерцияның келтірілген моменттері. ЭЖ-тің қозғалысының теңдеуі тек оған кіретін моменттер (күштер) белгілі бір жылдамдыққа қатысты болуы керек. Басқаша айтқанда, моменттер белгілі бір жылдамдыққа келтірілуі керек. Әдетте моменттерді қозғалтқыштың жылдамдығына келтіріледі.

Келтірілген M_k (жұмыстық машинаның кедергісінің моменті) қозғалтқыштың жылдамдығына келтірілуі үшін қуаттар теңдестігін қолданады:

$$M_k \omega_k = M_m \omega_m, \quad (2.16)$$

мұндағы M_k - машинаның кедергісінің қозғалтқыштың жылдамдығына (ω_k) келтірілген моменті;

M_m - машинаның жылдамдығы ω_m болған кездегі оның кедергісінің моменті.

Бұл (2.16) теңдеуден

$$M_k = M_m \frac{\omega_m}{\omega_k} = \frac{M_m}{i}, \quad (2.17)$$

мұндағы $i = \frac{\omega_k}{\omega_m}$ – қозғалтқыш пен жұмыстық машинаның арасындағы беріліс қатынасы.

ЭЖ-тегі берілістердегі шығындарды ПӘК-тер арқылы есепке алсақ, онда:

$$M_k = M_m \frac{1}{i_1 i_2 \dots i_n} \cdot \frac{1}{\eta_1 \eta_2 \dots \eta_n}. \quad (2.18)$$

Соңғы (2.18) теңдеу энергия қозғалтқыштан жұмыстық машинаға берілген жағдайда (қозғалтқыштық режим) сәйкес келеді.

Электрлік машина тежеу режимінде жұмыс жасаса, онда (2.18) теңдеудегі ПӘК-терді бөлшектің алымына қою керек.

Жетектің әр агрегатының өзінің инерция моменті болатындығына қарамастан ЭЖ қозғалысының теңдеуінде инерция моменті бір ғана мәнмен кіреді. Сондықтан теңдеуге «жұмыстық машина-қозғалтқыш» жүйесінің инерциясының келтірілген моментінің мәнін қою керек.

Жүйенің келтірілген моменті деп жүйенің бөліктері өздерінің нақты жылдамдықтарымен қозғалған кезінде олардың моменттері қандай кинетикалық энергиясы болса, келтірілген жылдамдық кезінде соншама энергиясы бар инерция моментін айтады.

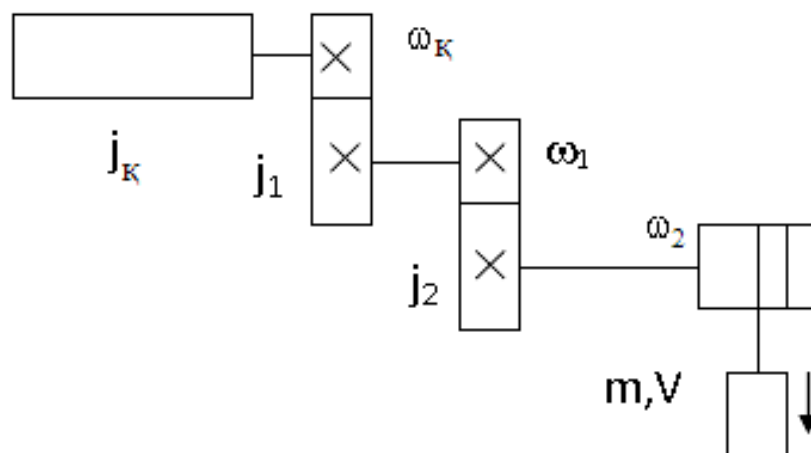
Инерцияның келтірілген моментін анықтаған кезде жүйенің кинетикалық энергиясының қоры өзгеріссіз қалу керектігін есте ұстау керек.

2.7 суреттегі жетек үшін кинетикалық энергияның қоры:

$$J_{\text{кел}} \frac{\omega_k^2}{2} = J_k \frac{\omega_k^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + m \frac{V^2}{2}, \quad (2.19)$$

мұндағы $J_{\text{кел}}$, J_k , J_1 , J_2 – жүйенің инерциясының қозғалтқыштың жылдамдығына келтірілген моменті, қозғалтқыштың инерциясының моменті, ω_1 , ω_2 жылдамдықтармен айналатын берілістің элементтерінің инерцияларының моменттері;

m – V жылдамдығымен ілгерлемелі түзу қозғалатын элементтердің массасы.



2.7 сурет – «Қозғалтқыш – машина» жүйесінің кинематикалық сұлбасы

(2.19) теңдеуді $J_{кел}$ қатысты шешсек, онда

$$J_{кел} = J_{\kappa} + J_1 \frac{\omega_1^2}{\omega_{\kappa}^2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{\omega_{\kappa}^2} + m \frac{V^2}{\omega_{\kappa}^2}, \quad (2.20)$$

және жылдамдықтардың қатынастарын берілістік қатынастармен айырбастасақ, онда:

$$J_{кел} = J_{\kappa} + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_2}{i_1^2 i_2^2} + m \frac{V^2}{\omega_{\kappa}^2}. \quad (2.21)$$

Кейде қозғалтқыштардың каталогтарында GD^2 моменті (кгс·м²) көрсетіледі. Бұл жағдайда ротордың инерциясының моменті:

$$J_{ротор} = \frac{GD^2}{4}, \quad (2.22)$$

мұндағы D – ротор диаметрі; G – салмақ күші (салмақ).

Массасы m цилиндрдің инерциясының моменті:

$$j = \frac{mR^2}{2}, \quad (2.23)$$

мұндағы R - цилиндрдің радиусы.

Салмақ центрінен өтетін оське қатысты *дененің инерциясының моменті* деп дененің жеке бөліктерінің массасының осы бөліктерінің айналу осыне дейінгі қашықтықтарының квадраттарының көбейтінділерінің қосындысына тең.

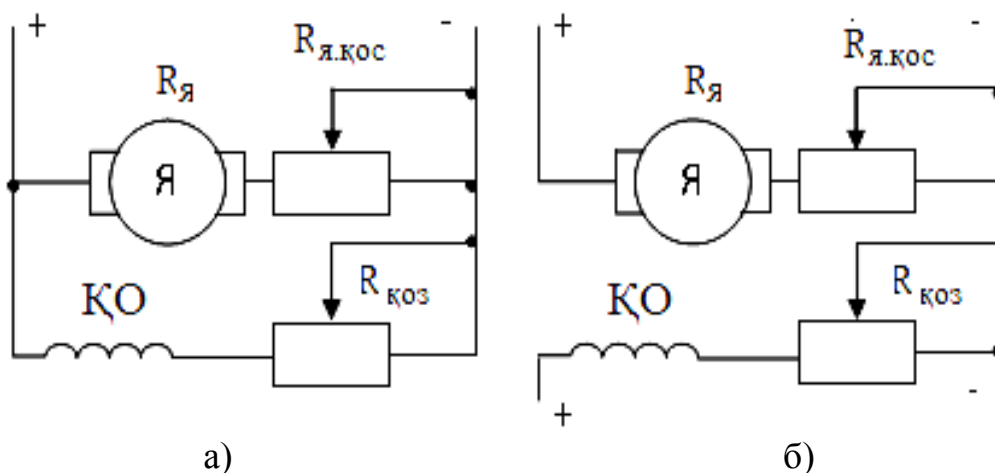
3 Тұрақты ток қозғалтқыштарын қолданатын электрлік жетектердің механикалық сипаттамалары

3.1 Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштары туралы жалпы мағлұматтар

Тұрақты ток қозғалтқышын (ТТҚ) қолданатын электрлік жетектер соңғы кезге дейін реттелетін электрлік жетектердің сапалық көрсеткіштері жоғары деңгейдегі негізгі түрі ретінде саналды.

Тұрақты ток қозғалтқыштардың ішінде қуаты 0,13 кВт... 200 кВт аралығында болатын 2П сериялы қозғалтқыштар өте кең тараған. Меншікті көрсеткіштері жақсартылған жаңа 4П сериялы тұрақты ток қозғалтқыштарында мыс шығыны 30% және оларды жасау шығыны 3 есе азайтылған. Крандық механизмдер үшін тәуелсіз және бірізді қоздырылатын Д сериялы, ал металл кесетін станоктар үшін ПБСТ, ПГТ сериялы тұрақты ток қозғалтқыштары жасалынууда.

4.1 суретте параллель және тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның сұлбалары келтірілген.



3.1 сурет – Параллель (а) және тәуелсіз (б) қоздырылатын ТТҚ-ның сұлбалары

Оларды қоректендіру ортақ қорек көзінен немесе тәуелсіз түрде жүзеге асырылуы мүмкін.

Қоздыру тәсілі қозғалтқыштың электромеханикалық қасиеттеріне әсер етеді.

Тәуелсіз қоздырылатын (шунттық) ТТҚ біліктегі жүктеме кең ауқымда өзгерген кезде өзінің айналу жылдамдығын аз ғана өзгертеді, сондықтан оларды механизмнің жұмыстық жылдамдығы тұрақты дерлік болуы қажет жағдайларда қолданады.

Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның артықшылығы - айналу жылдамдығын кең ауқымда жайлап реттеу мүмкіндігінде.

II сериялы параллель және тізбектей жалғанатын қоздыру орамалары бар, сондықтан олар параллель қоздыру режимінде де, аралас қоздыру режимінде де жұмыс істей алады.

Олардың айналу бағытын өзгерту үшін қоздыру орамасына немесе якорь орамасына берілетін тұрақты кернеудің бағытын өзгерту керек.

ТТҚ-ның негізгі кемшілігі – олардың бағасының қымбаттылығы және тұрақты ток көзінің қажеттілігінде.

3.2 Тұрақты ток қозғалтқыштарының механикалық және электрмеханикалық сипаттамаларының теңдеулері

Электрмеханикалық сипаттаманы $\omega = f(I_{\text{я}})$ қозғалыстағы қозғалтқыштың кернеулерінің, электрмагниттік моменттің және ЭҚК-тің теңдеулерінен алуға болады:

$$U = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}; \quad (3.1)$$

$$M = \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{N}{a} \Phi I_{\text{я}} = C_{\text{м}} \Phi I_{\text{я}}; \quad (3.2)$$

$$E = \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{N}{a} \omega \Phi = C_{\text{м}} \omega \Phi, \quad (3.3)$$

мұндағы M – электрмагниттік момент;

p – полюстер жұптарының саны;

N – активті өткізгіштер саны;

a – якорьдің параллель тармақтарының саны;

$C_{\text{м}}$ – моменттің тұрақты коэффициенті;

Φ – магнит ағыны;

I – қозғалтқыш тогы;

$R_{\text{я}}$ – якорь тізбегінің толық кедергісі.

(3.1) теңдеуді токқа қатысты шешсек, онда:

$$I_{\text{я}} = \frac{U}{R_{\text{я}}} - \frac{E}{R_{\text{я}}}. \quad (3.4)$$

(3.4) теңдеуді (3.3) теңдеуге қойсақ, онда:

$$I_{\text{я}} = \frac{U}{R_{\text{я}}} - \frac{C_{\text{м}} \Phi}{R_{\text{я}}} \omega. \quad (3.5)$$

Бұдан

$$\omega = \frac{U}{C_{\text{м}} \Phi} - \frac{I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{C_{\text{м}} \Phi}, \quad (3.6)$$

электрмеханикалық сипаттаманың $\omega=f(I_{я})$ теңдеуін аламыз.

(3.6) теңдеуде $(C_M \Phi)$ константа болғандықтан $\omega=f(I_{я})$ тәуелділігі сызықты тәуелділік болады.

(3.2) теңдеуден:

$$I = \frac{M}{C_M \Phi}. \quad (3.7)$$

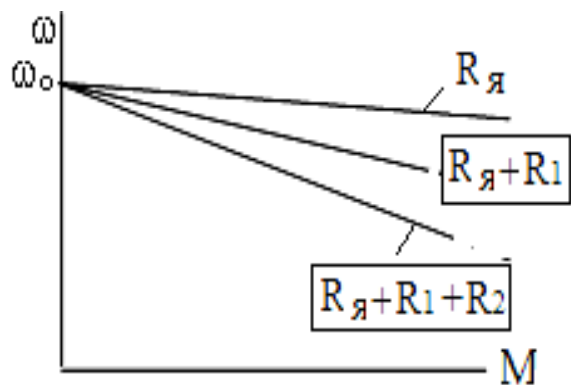
Бұл (3.7) теңдеуді (3.6) теңдеуге қойсақ, онда механикалық сипаттаманың теңдеуін аламыз:

$$\omega = \frac{U}{C_M \Phi} - \frac{MR_{я}}{C_M^2 \Phi^2}. \quad (3.8)$$

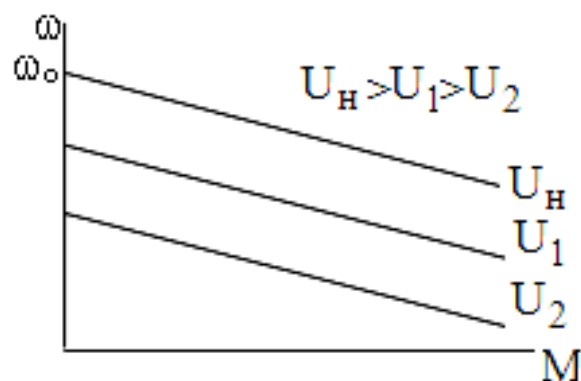
Механикалық сипаттама $\omega=f(M)$ түзу сызық түрінде бейнеледі (3.2 сурет).

Механикалық және электрмеханикалық сипаттамалардың екі ерекше нүктесі болады: бос жүріс нүктесі ($M=0$), қысқаша тұйықталу нүктесі ($\omega=0$).

Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның айналу жылдамдығын реттеу тәсілдері. Механикалық және электрмеханикалық сипаттамалардың теңдеулерінен ТТҚ айналу жылдамдығын үш түрлі тәсілмен реттеуге болатындығын көруге болады: магнит ағынын (қоздыру тогын) өзгерту арқылы; якорь тізбегінің кедергісін өзгерту арқылы және якорь тізбегіне берілетін кернеуді өзгерту арқылы (3.2...3.5 суреттер).



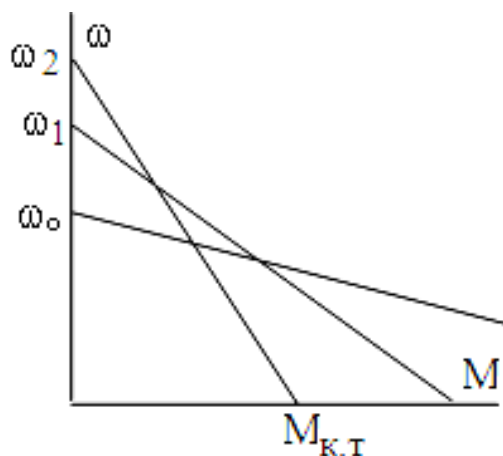
3.2 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың айналу жиілігін якорь тізбегіндегі кедергі арқылы реттеу кезіндегі сипаттамалар



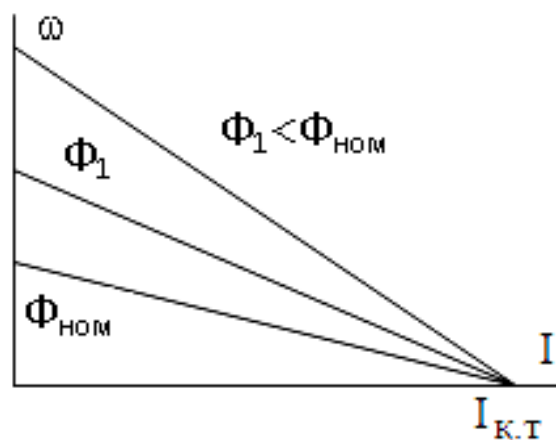
3.3 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың айналу жиілігін якорь орамасына берілетін кернеу арқылы реттеу кезіндегі сипаттамалар

Қысқаша тұйықталу режимі (3.4 және 3.5 суреттер) электр тізбегінің қысқаша тұйықталуына емес, толық тежелген якорь жағдайына сәйкес келеді.

Жоғарыдағы суреттердегі графиктерді талдау кернеу мен кедергі арқылы реттеу айналу жылдамдығын азайту бағытында, ал магнит ағынын арқылы реттеу айналу жылдамдығын көбейту бағытында жүретіндігін көрсетеді.



3.4 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың айналу жиілігін магнит ағынын өзгерту арқылы реттеу кезіндегі механикалық сипаттамалары



3.5 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың айналу жиілігін магнит ағынын өзгерту арқылы реттеу кезіндегі электрмеханикалық сипаттамалары

3.3 Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларын каталогтық (құжаттық) деректер бойынша тұрғызу

Каталогта қозғалтқыштардың номиналдық параметрлері келтірілген: номиналдық кернеу U_n , номиналдық ток I_n , номиналдық қуат P_n , номиналдық айналу жылдамдығы n_n , номиналдық ПӘК η_n . Сипаттаманы тұрғызу үшін екі нүкте белгілі болса жеткілікті, өйткені сипаттама түзу сызық болады.

Табиғи механикалық сипаттама үшін:

- 1) $\omega = \omega_0$; $M = 0$.
- 2) $\omega = \omega_n$; $M = M_n$.

Мұндағы:

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = \frac{\pi n_n}{30}; \quad (3.9)$$

$$\omega_0 = \frac{U_n}{k\Phi_n} = \frac{U_n}{M_n/I_n} = \frac{U_n \omega_n}{U_n - I_n R_n}; \quad (3.10)$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (3.11)$$

Механикалық сипаттаманы бос жүріс нүктесі мен қысқаша тұйықталу режимінің нүктесі ($M=M_{к.т}$, $\omega = 0$) бойынша да тұрғызуға болады:

$$M_{к.т} = M_H \frac{I_{к.т}}{I_H}, \quad (3.12)$$

мұндағы $I_{к.т} = U/R$ – қысқаша тұйықталу тогы.

Табиғи сипаттамада $I_{к.т}(M_{к.т})$ мәні ең үлкен мән, өйткені бұл кезде $I_{к.т}$ якорь орамасының кедергісімен ғана шектеледі.

Каталогта якорь кедергісі $R_я$ көрсетілмегендіктен есептеу кезінде бұл кедергіні анықтау қажеттілігі жиі туындайды.

Қозғалтқыштағы шығындардың жартысы якорьдегі мыстағы шығынмен байланысты деп есептейді де $R_я$ анықтайды:

$$R_я \approx 0,5(1 - \eta_H) U_H / I_H. \quad (3.13)$$

Табиғи механикалық сипаттаманы пайдалана отырып, якорь тізбегіне қосылған кез келген қосымша кедергіге $R_{қос}$ сәйкес келетін реостаттық сипаттаманы жеңіл тұрғызуға болады, ол да екі нүкте бойынша тұрғызылады:

1) $\omega = \omega_0$; $M = 0$.

2) $\omega = \omega_p$; $M = M_H$.

Мұндағы

$$\omega_p = \omega_0 \left[1 - \frac{I_H (R_я + R_{қос})}{U_H} \right]. \quad (3.14)$$

Көп жағдайда координатасы ($\omega_ж$, $M_ж$) A нүктесі (3.6 сурет) арқылы өтетін сипаттама алу үшін якорь тізбегіне қосылатын қосымша кедергінің $R_{қос}$ мәнін анықтау қажет болады. Мұндай реостаттық сипаттама жылдамдықты реттеу шарттарын орындауға немесе өтпелі режим кезінде ток пен моментті шектеуге байланысты қажет болады.

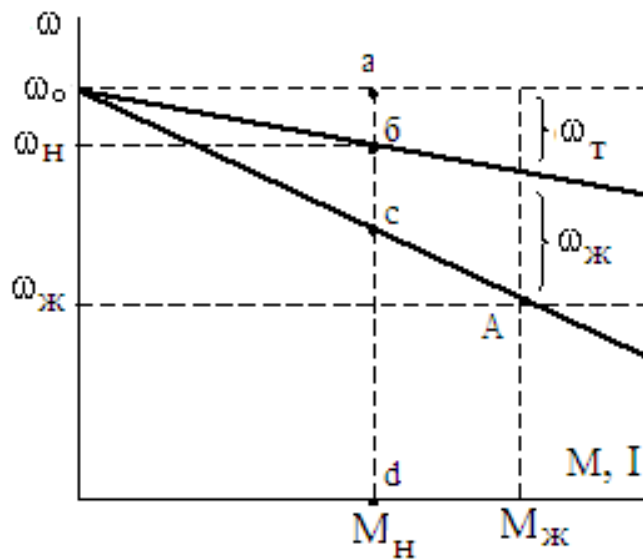
Есептеулер үшін ең ыңғайлы тәсіл *кесінділер тәсілі* болып саналады. Бұл тәсіл қосымша кедергіні анықтау үшін якорьдің өзінің кедергісін анықтауды қажет етпейді.

Қажетті мәнді анықтау үшін номиналдық ток немесе момент кезінде ($R_H = U_H / I_H$) *bc* және *ad* кесінділердің ұзындығын өлшеу керек. Қосымша реттегіш кедергі $R_{қос}$:

$$R_{қос} = R_H \frac{bc}{ad}. \quad (3.15)$$

Бұл кезде якорь кедергісі:

$$R_{\text{я}} = R_{\text{н}} \frac{ab}{ad}. \quad (3.16)$$



3.6 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың реттегіш кедергілерін есептеуге арналған сипаттамалары

Жылдамдық өзгерісін анықтауға негізделген пропорциялық тәсіл арқылы да $R_{\text{қос}}$ есептеуге болады:

$$R_{\text{қос}} = R_{\text{н}} \left(\frac{\Delta\omega_{\text{ж}}}{\Delta\omega_{\text{т}}} - 1 \right). \quad (3.17)$$

3.4 Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының тежеу режимдері кезіндегі механикалық сипаттамалары

Үйкеліске негізделген механикалық тежеудің әртүрлі тәсілдерінен басқа, электрлік қозғалқышты тез тоқтату үшін *электрлік тежеу* кеңінен қолданылады.

Электрлік тежеу қозғалтқышта айналу моментіне қарсы бағытталған, ал оны желіден ажыратқан кезде инерция моментіне қарсы бағытталған тежеу моментін тудыруға негізделген.

Электрлік тежеудің үш тәсілі қолданылады: *генераторлық (рекуперативтік) тежеу*, *қарсы қосу арқылы тежеу және динамикалық (реостаттық) тежеу*.

Генераторлық тежеу электрлік машинаның қозғалтқыштық режимнен генераторлық режимге көшуге негізделген (3.7 сурет). Оның ерекшелігі: тежеу кезінде механикалық энергиядан туындаған электр энергиясы желіге қайтарылады.

3.7 суреттегі механикалық сипаттамаларды талдау мынаны көрсетеді:

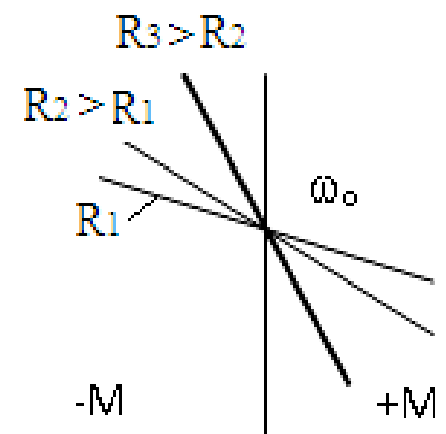
а) $\omega = \omega_0$ болғанда $E = U$; $I_{\text{я}} = 0$; $M = 0$ – идеал бос жүріс режимі;

б) $\omega < \omega_0$ болғанда $E < U$; $I_{\text{я}} > 0$; $M > 0$ – қозғалтқыштық режим;

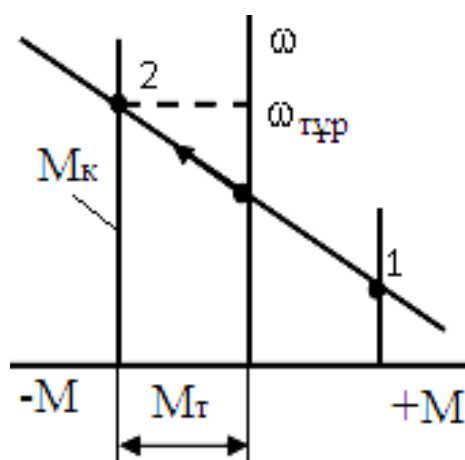
в) $\omega > \omega_0$ болғанда $E > U$; $I_{\text{я}} < 0$; $M < 0$ – генераторлық режим.

Қозғалтқыш энергияны желіге беретін генератор болып жұмыс істеу үшін екі шарт орындалуы керек: біріншіден, қарсы ЭҚҚ-тің E бағыты бұрынғыдай болып, мәні желінің кернеуінің U мәнінен үлкен болуы керек, яғни $E > U$ (осы жағдайда ғана якорь тогы өзінің бағытын өзгертіп, рекуперативтік генераторлық ток бола алады); екіншіден, тежеу режиміне көшкен кезде машина магнитсізденбеуі үшін қоздыру орамасындағы ток өз бағытын өзгертпеуі керек.

Қосымша кедергінің мәні неғұрлым үлкен болған сайын, соғұрлым генераторлық режим кезінде айналу жиілігі үлкен болады.



3.7 сурет – Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың және генераторлық режимдері кезіндегі механикалық сипаттамалары



3.8 сурет – Тежеумен жүкті түсіру кезіндегі тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары (генераторлық режим)

Мұндай тежеу тәсілді транспортерлардың және көтеру механизмдерінің жетектерінде жүкті түсіру кезінде және $\omega > \omega_0$ болатын кейбір жағдайларда қолдануға болады. Мұндай тежеу өте үнемді, өйткені машинаның механикалық энергиясы электр энергиясына түрлендіріліп, желіге қайтарылады. Бірақ мұндай тәсілмен тежеуді барлық дерлік жетектерде қолдану мүмкін болмайды, өйткені $\omega > \omega_0$ шарты көп жағдайда орындалмайды.

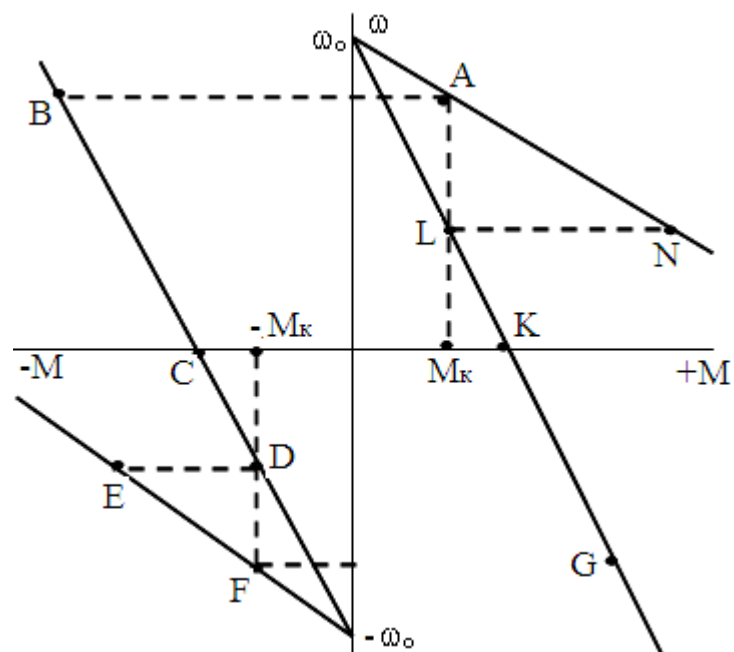
Мысалы, $\omega > \omega_0$ шарты кранның тежеумен жүкті түсіру кезінде орындалады (3.8 сурет). Қозғалтқыш 1 нүктесінде жүкті түсіру бағытында іске қосылады. Жүктің салмағы (моменті) қозғалтқыштың айналу жылдамдығын 2 нүктесіне дейін, яғни жүктің кедергісінің моменті $M_{\text{к}}$ тежеу моментімен $M_{\text{т}}$ теңескенше, көбейтеді.

Қарсы қосу арқылы тежеу якорь орамасының ұштарын ауыстырып қосу арқылы жүзеге асырылады.

Қозғалтқыштық режимде жұмыс жасап тұрған машинаның якорінің орамасының ұштарын ауыстырып қосу арқылы оған кері полярлы кернеу U берейік, бірақ қоздыру тогының бағытын (магнит ағынының бағытын) өзгертпейміз. Якорьдың айналу бағыты мен машинаның ЭҚК-інің E бағыты бұрынғыдай болғандықтан олар берілген кернеумен U үйлесімді бір бағытта әрекет етеді. Бұл жағдайда якорь тогы $I_a = (E+U)/R_a$ тең, ал бағыты тежеуге дейінгі бағытқа қарама-қарсы болады. Магнит ағынының бағыты өзгермеген жағдайда якорь тогының бағытының өзгеруі машинаның моментінің бағытын өзгертеді. Ол момент енді айналдырушы моменттен тежеуші моментке айналады. Осылайша қозғалтқыштың якорі тежеледі.

Қозғалтқышқа көбейген кернеу $(E+U)$ берілген тежеу үрдісінің алғашқы сәттерінде токтың шамадан тыс үлкейіп кетпес үшін қосымша шектегіш кедергі $R_{ш.қос}$ арқылы токты қажетті мәнге дейін азайтады (3.9 сурет).

Қарсы қосу арқылы тежеу үлкен тежегіш момент болуына байланысты қозғалтқыштың тез тоқтауын қамтамасыз етеді.



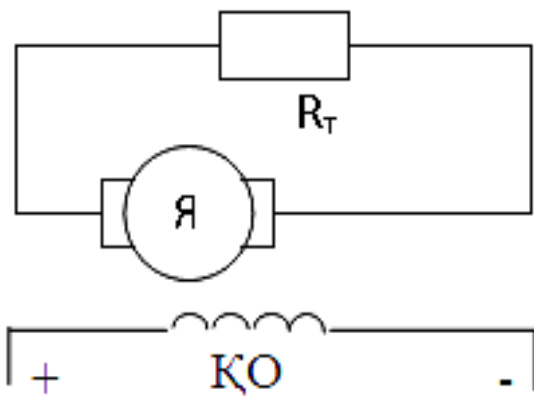
3.9 сурет – Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның қозғалтқыштың қарсы қосу арқылы тежеу режимі кезіндегі механикалық сипаттамалары

Қозғалтқыш 1 квадранттағы А нүктесінде жұмыс жасайды. Полярлықты өзгерту арқылы ВС сипаттамасының В нүктесіне (2 квадрант) көшеміз. Алғашқы сәтте жылдамдықтың тұрақты болуы электрлік жетектің механикалық инерциясымен байланысты. Тежеу моментінің әрекеті нәтижесінде айналу жиілігі нөлге дейін төмендейді. $\omega=0$ болғанда Қозғалтқышты тоқтату үшін тежеу орындалса $\omega=0$ болғанда С нүктесінде

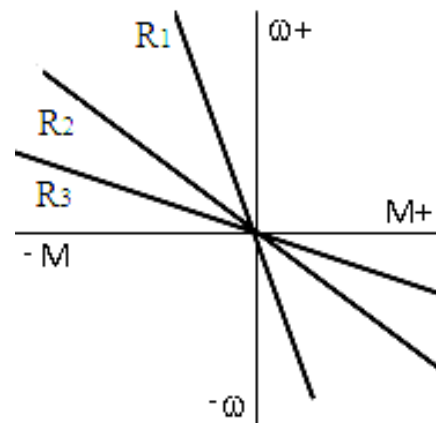
желіден ажырату керек. Ажыратпаған жағдайда қозғалтқыштың жылдамдығы көбейе бастайды (3 квадрант), яғни CD сипаттамасына, онан кейін EF табиғи сипаттамасына көшеді. Егер тағы бір рет полярлықты өзгертсек, онда G нүктесінде цикл қайталанады.

Қоздыру орамасының полярлығын өзгерткенге карағанда якорь орамасының полярлығын өзгерткен тиімдірек, өйткені тежеу уақыты қысқарақ болады.

Жұмыс істеп тұрған қозғалтқышты *динамикалық (реостаттық) тежеу* режиміне көшіру үшін оны желіден ажыратады да, арнаулы жүктемелік кедергіге – тежеу реостатына R_m қосады (3.10 сурет). Бұл кезде машина қозғалтқыштық режимнен генераторлық режимге көшеді. Якорь орамында ЭҚК E пайда болады, ал якорь тізбегі тежеу реостаты арқылы тұйықталғандықтан онымен генераторлық тежеу тогы жүреді:



3.10 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-тың қозғалтқыштың динамикалық тежеу режимі кезіндегі сұлбасы



3.11 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-тың қозғалтқыштың динамикалық тежеу режимі кезіндегі механикалық сипаттамалары

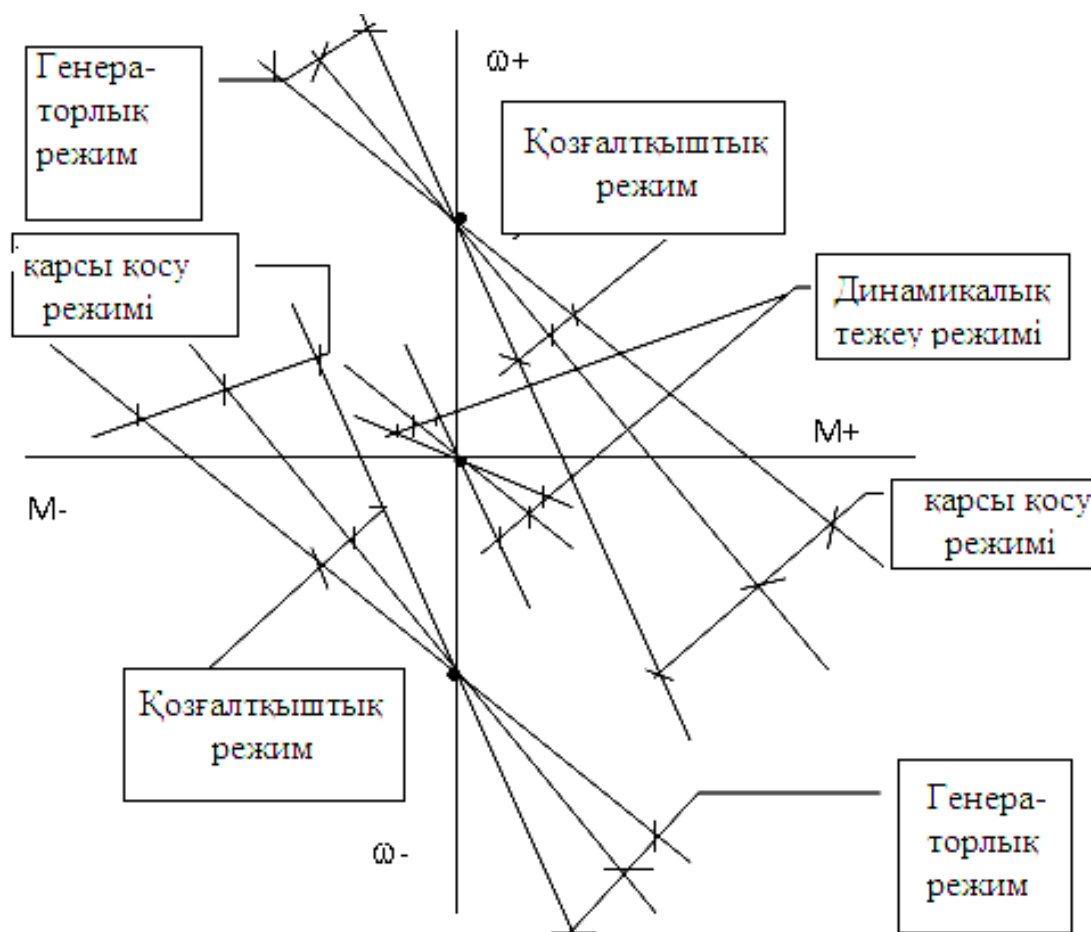
Қарастырылған тежеу режимі кезінде якорь айналу бағыты өзгермейді. Сондықтан қозғалтқыштық режимнен генераторлық режимге көшкен кезде машина магнитсізденбеуі үшін қоздыру орамасының ұштарын ауыстырып қосады. Қоздыру орамасындағы ток $I_{қоз}$ және магнит ағыны Φ бұрынғы бағыттарын сақтайды. Айналу бағыты бұрынғыдай болғандықтан ЭҚК-тің E бағыты бұрынғыдай болады, ал якорь тогы $I_я$ бағытын өзгертеді.

Бұл ток $I_я$ тудыратын момент якорьге тежейді, ал өндірілген электр энергиясы тежеу реостатында жылуға айналады.

Қозғалтқыштың айналу жиілігі азайған сайын ЭҚК және якорь тогы азая бастайды, демек, тежеу моменті де азаяды. Сондықтан якорь тогы мен тежеу моментінің мәндерін азайтпау үшін тежеу реостатын бірнеше секциялардан құрайды да, жылдамдықтың азаюына байланысты секцияларды біртіндеп тізбектен ажыратады.

3.11 суретте тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштың динамикалық тежеу режимі кезіндегі механикалық сипаттамалары көрсетілген.

3.12 суретте тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштың барлық жұмыс режимдері көрсетілген.



3.12 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштың жұмыс режимдері

3.5 Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштардың жүргізіп жібергіш кедергілерін есептеу

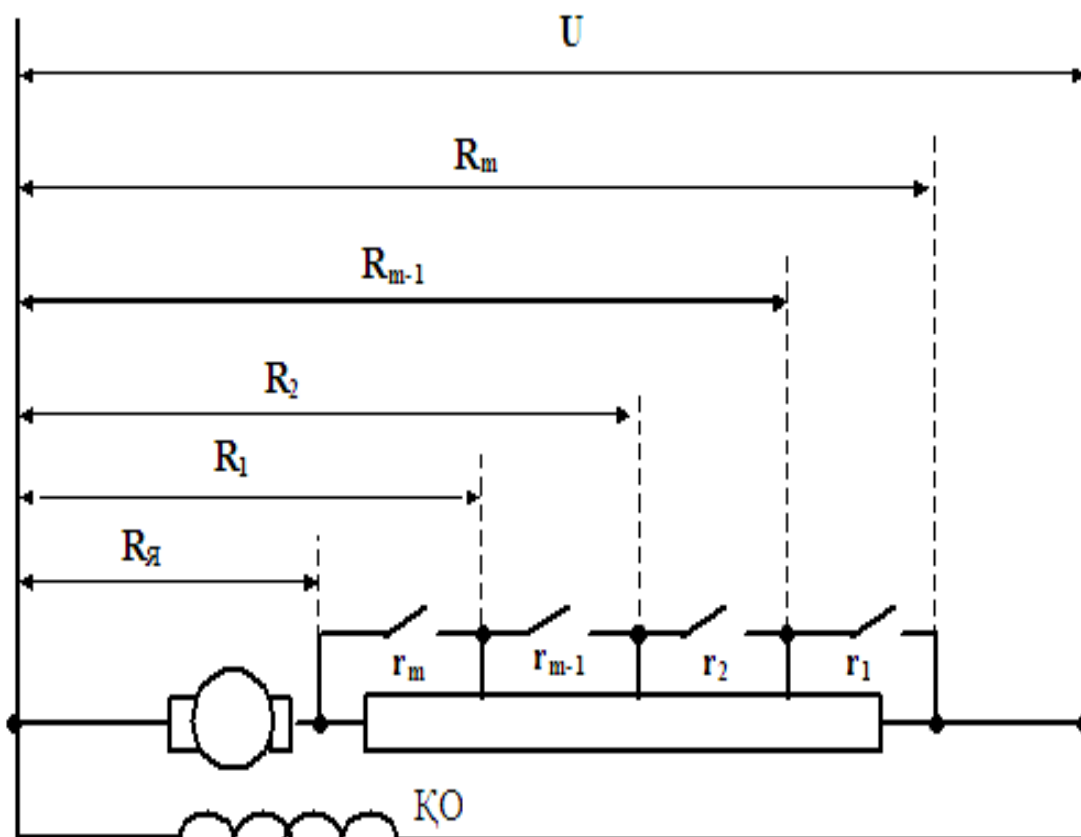
Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-тарының жүргізіп жібергіш кедергілерін есептеудің графикалық тәсілі. Бұл қозғалтқыштардың табиғи механикалық және электромеханикалық сипаттамалары айтарлықтай қатаң, соған байланысты қозғалтқышты жүргізіп жіберу кезінде токтар мен моменттердің мәндері номиналдық мәндерден айтарлықтай артып кетуі мүмкін. Сондықтан тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-тарды жүргізіп жіберу және тежеу якорь тізбегіне қосымша кедергілер қосу арқылы жүзеге асырады (3.13 және 3.14 суреттер). Жүргізіп жіберу магнит ағыны (қоздыру тогы) номиналдық мәнге ие болған жағдайында іске асырылады.

Қозғалтқыш үдемелі қозғалған сайын жүргізіп жібергіш кедергілерді жайлап немесе секірмелі (сатылы) түрде азайтады. Токтардың тербелуі белгіленген аралықта өтеді. Егер жұмыстық машинаны жүргізіп жіберу кезінде үдеудің үлкен мәнге ие болуына шектеу қойылмаса, онда токтардың тербелісі айтарлықтай үлкен ауқымда өтеді, бұл жағдайда жүргізіп жіберу сатылардың қажетті саны аз болуы мүмкін. Жылдамдықтың жайлап көбеюін талап ететін жұмыстық машиналар үшін жүргізіп жіберу токтарының тербеліс ауқымы (диапазоны) кішірек (тар) болуы керек. Ол үшін жүргізіп жіберу сатылардың қажетті саны көбірек болуы керек.

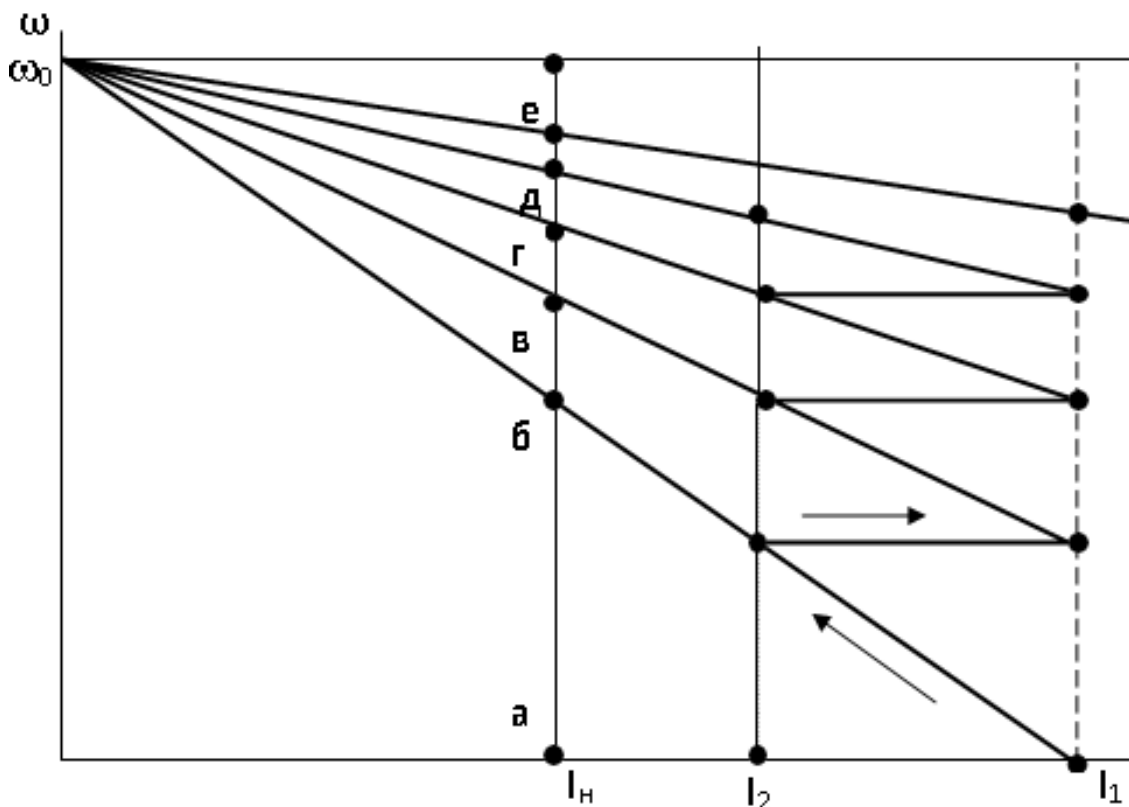
3.14 суретте көрсетілген 1-2 сипаттамаға сәйкес, қозғалтқыш жылдамдығы 2 нүктеге дейін өседі. Бұл нүктеде жүргізіп жібергіш кедергінің бірінші сатысы (r_1) шунтталады (қысқаша тұйықталады), бұл жағдайда сипаттама 3 нүктеге, яғни келесі реостаттық сипаттамаға көшеді. 4 нүктеде екінші саты (r_2), одан кейін келесі саты шунтталады. Осылайша мұндай әрекеттер сипаттама табиғи сипаттамаға көшкенге дейін орындалады.

1-2-б- ω_0 сипаттамасы кезінде якорь тізегінің кедергісі ең үлкен мәнге ие болады, ал 9-е- ω_0 сипаттамасы табиғи сипаттамаға сәйкес келеді.

Токтардың тербелісінің диапазондары мына өрнектер арқылы анықталады: $I_1=(2...2,5)I_H$; $I_2=(1,2...1,5)I_H$.



3.13 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ көп сатылық (резисторлық) тәсілмен жүргізіп жіберу



3.14 сурет - Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның жүргізіп жіберу диаграммасы

Бұл жағдайда M_2 жұмыстық машинаның кедергісінің моментінен 10%...20% үлкен болуы керек.

Табиғи сипаттама құжаттық деректер бойынша тұрғызылады (екі нүкте бойынша).

M_n кезінде айналу жылдамдығының өзгерісінің өсімі $\Delta\omega^*$ якорь тізбегіндегі салыстырмалы кедергіге R^* тең: $\Delta\omega^* = R^*$. Демек, кесінді *аж* (3.14 сурет) якорь тізбегіндегі салыстырмалы бірлік бойынша алынған жеке кедергілердің қосындысына тең, ал қосынды $R^*=1$.

Бұл жағдайда *бж* кесіндісі R_m (якорь тізбегінің активті кедергісі) сәйкес, *вж* кесіндісі R_{m-1} сәйкес, *гж* кесіндісі R_2 сәйкес, *дж* кесіндісі R_1 сәйкес, *еж* кесіндісі R_α (якорьдің орамасының активті кедергісі) сәйкес.

Нақты кедергілер мына өрнектер бойынша анықталады: $R_{ном} = U_n / I_n$; $m_R = R_{ном} / аж$, Ом/мм; $R_m = бж \cdot m_R$; $R_2 = гж \cdot m_R$; $R_{m-1} = вж \cdot m_R$; $R_1 = дж \cdot m_R$; $R_\alpha = еж \cdot m_R$.

Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-тарының жүргізіп жібергіш кедергілерін есептеудің аналитикалық тәсілі. Бұл тәсілдің артықшылығы жүргізіп жіберу диаграммасын тұрғызудың қажет еместігі.

Есептеу әдістемесі:

1) Жүргізіп жіберу кезіндегі токтардың мәндерін анықтаймыз: $I_1 = (2 \dots 2,5) I_n$; $I_2 = (1,2 \dots 1,5) I_n$.

2) Анықтаймыз: $\lambda = I_1 / I_2$.

3) Якорь тізбегінің толық кедергісін анықтаймыз: $R_m = U_H / I_H$.

4) Анықтаймыз: $R_{я} = 0,5 U_H (1 - \eta_H) / I_H$.

5) Реостаттың сатыларының санын анықтаймыз: $m = \lg \frac{R_m}{R_{я}} / \lg \lambda$.

6) Анықтаймыз:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_{я} \cdot \lambda; R_2 = R_1 \cdot \lambda = R_{я} \cdot \lambda \cdot \lambda = R_{я} \cdot \lambda^2; \\ R_{m-1} &= R_2 \cdot \lambda = R_{я} \cdot \lambda^{m-1}; \\ R_m &= R_{m-1} \cdot \lambda = R_{я} \cdot \lambda^m. \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

7) Реостаттың әр сатысының кедергісін анықтаймыз:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= R_m - R_{m-1} = R_{я} \cdot \lambda^m - R_{я} \cdot \lambda^{m-1} (\lambda - 1); \\ r_2 &= R_{m-1} - R_2; \\ r_{m-1} &= R_2 - R_1; \\ r_m &= R_1 - R_{я}. \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

3.6 Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштардың тежегіш кедергілерін есептеу

Тежегіш кедергілерді графикалық тәсілмен есептеу үшін құжаттық деректер бойынша табиғи механикалық сипаттамаларды тұрғызады.

Масштаб бойынша номиналдық токты I_H салады да ордината оське параллель түзу сызық жүргізеді (3.15 сурет).

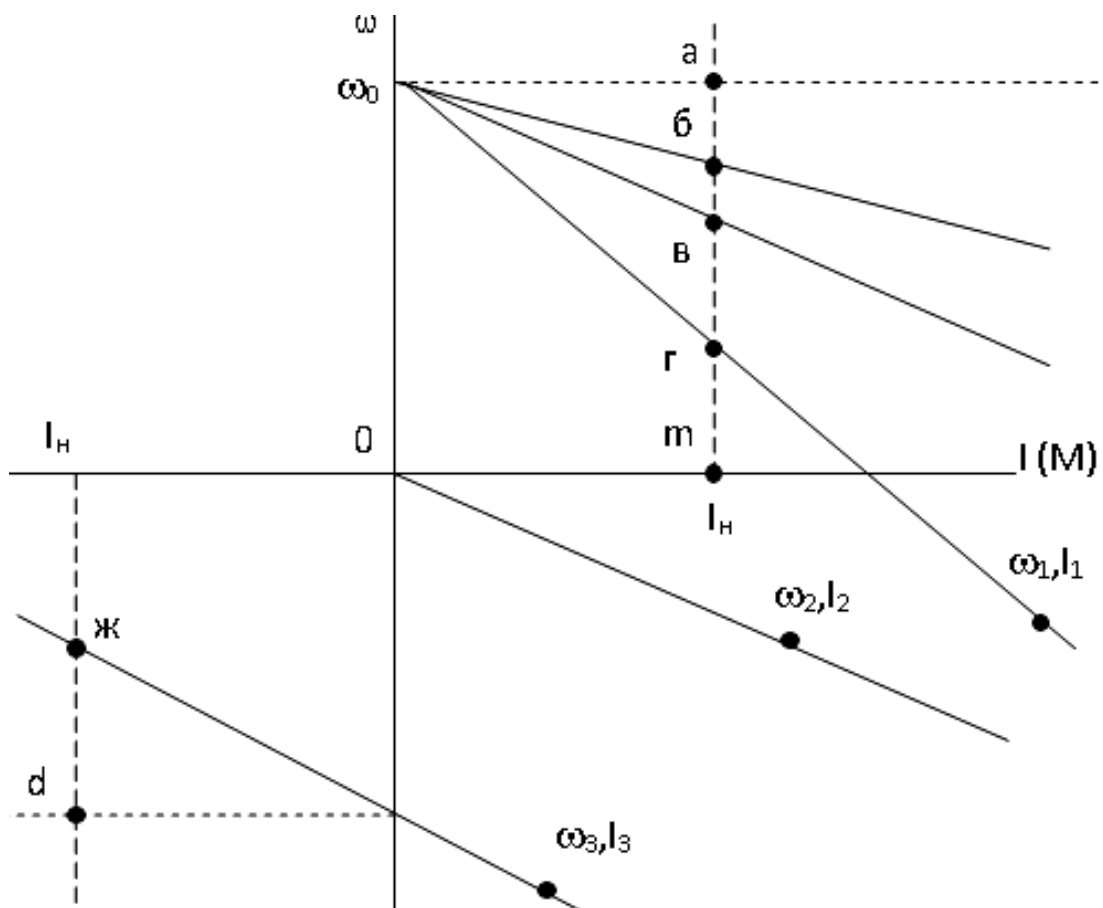
Қарсы қосу тежеу режимі үшін тежегіш кедергіні $R_{к.теж}$ анықтау үшін тежеу орындалатын нүктенің координаталары (ω_1, I_1) беріледі. Бұл нүктені (ω_1, I_1) ω_0 нүктесімен кесінді арқылы жалғастырады. Бұл жағдайда ag кесіндісінің ұзындығы қарсы қосу режимі кезіндегі якорь тізбегінің тежегіш кедергісіне сәйкес келеді.

Динамикалық тежеу режимі үшін тежегіш кедергіні $R_{д.теж}$ анықтау үшін қарастырылатын нүктенің координаталары (ω_2, I_2) беріледі. Мұндағы I_2 тогы I_H тогына тең болуы мүмкін. Бұл нүктеден O нүктесіне кесінді жүргізеді. Онан кейін бұл кесіндіге параллель $\omega_0 - v$ сызығын жүргізеді. Бұл жағдайда av кесіндісінің ұзындығы динамикалық тежеу режимі кезіндегі якорь тізбегінің тежегіш кедергісіне сәйкес келеді.

Генераторлық тежеу режимі үшін тежегіш кедергіні $R_{г.теж}$ анықтау үшін қарастырылатын нүктенің координаталары (ω_3, I_3) беріледі. Бұл жағдайда $I_3 < I_H$, $\omega_3 > \omega_0$. Бұл нүктені ω_0 нүктесімен қосылады және үшінші квадрантта жалғастырылады. Ол жердегі $dж$ кесіндісінің ұзындығы генератордың тежеу режимі кезіндегі якорь тізбегінің тежегіш кедергісіне сәйкес.

Нақты кедергілер мына өрнектер бойынша анықталады:

$$R_H = U_H / I_H; \mu_R = R_H / am, \text{ Ом/мм}; R_{д.теж} = L_{ав} \cdot \mu_R; R_{г.теж} = L_{дж} \cdot \mu_R; R_{к.теж} = L_{дж} \cdot \mu_R.$$



3.15 сурет – Тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-ның тежегіш кедергілерін есептеу

3.7 Бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының сипаттамаларының тендеулері

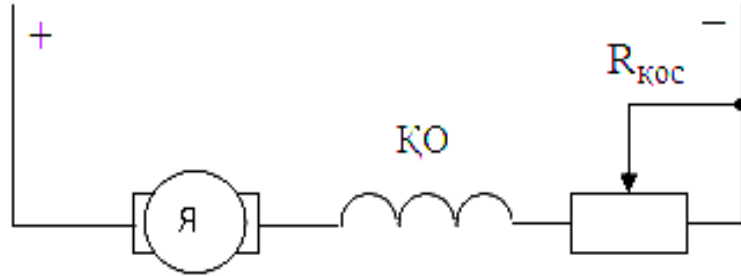
Мұндай қозғалтқыштардың ерекшелігі - олардың айналу жылдамдығының көп жағдайда біліктегі жүктемеге тәуелділігі. Жүктеме аз болған жағдайда жылдамдық өте үлкен, ал жүктеме көбейген сайын жылдамдық айтарлықтай азаяды. Сондықтан мұндай қозғалтқыштарды жүктемесіз іске қосуға болмайды (3.16 сурет), өйткені бұл жағдайда жылдамдық якорьде механикалық ақаулар тудыратын мәнге дейін жетуі мүмкін. Параллель қоздырылатын ТТҚ-тарымен салыстырғанда бірізді қоздырылатын қозғалтқыштардың аса маңызды ерекшелігі - олардың үлкен жүктемемен жұмыс жасау қабілеттілігі. Сондықтан бұл қозғалтқыштар транспорта, көтергіш крандарда және т.б. салаларда кеңінен қолданады.

Якорь орамасы мен қоздыру орамасы бірізді жалғанады, сондықтан якорь тогы бір мезгілде қоздыру тогы болып табылады.

Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның электромеханикалық сипаттамасының тендеуі:

$$\omega = \frac{U}{C_M \Phi} - \frac{I_{\text{я}} R}{C_M \Phi'} \quad (3.20)$$

мұндағы $R=R_{\text{я}}+R_{\text{к0}}+R_{\text{к0с}}$; $R_{\text{я}}=0,5U_{\text{н}}(1-\eta_{\text{н}})/I_{\text{н}}$; $R_{\text{к0}}+R_{\text{к0с}}\approx 0,5R_{\text{я}}$.



3.16 сурет - Бірізді қоздырылатын ТТҚ іске қосу сұлбасы

Магнит ағыны мен токты өзара байланысын магниттелу қисығы арқылы көрсетуге болады (3.17 сурет).

Қарапайымдылық үшін магнит ағыны мен токты арасындағы тәуелдікті сызықты деп қарасақ, яғни

$$\Phi = \alpha I, \quad (3.21)$$

онда қозғалтқыштың моменті:

$$M = k\Phi I = k\alpha I^2. \quad (3.22)$$

(3.22) өрнегін электромеханикалық сипаттамасына қойсақ, онда:

$$\omega = \frac{U}{k\alpha I} - \frac{R}{k\alpha} = \frac{U - IR}{k\Phi}. \quad (3.23)$$

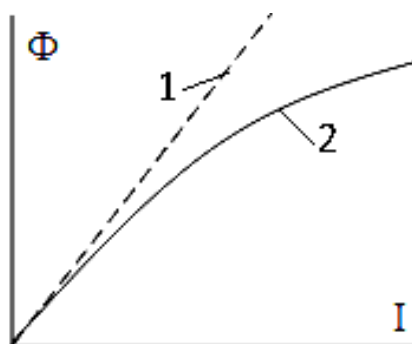
Егер токты момент арқылы өрнектесек, онда механикалық сипаттаманың теңдеуін (графикі гипербола) аламыз:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{k\alpha M}} - \frac{R}{k\alpha}. \quad (3.24)$$

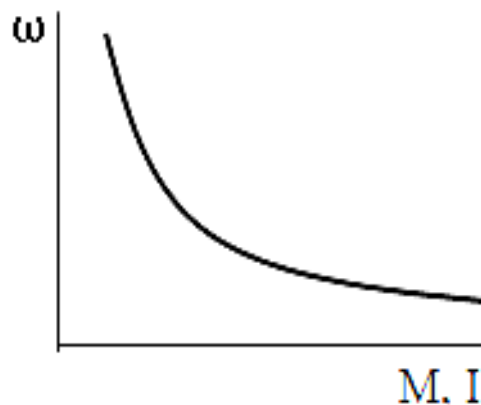
Егер $I=M/k\Phi$ екендігін ескерсек, онда механикалық сипаттаманың теңдеуі:

$$\omega = \frac{U - \frac{M}{k\Phi} R}{k\Phi} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR}{(k\Phi)^2}. \quad (3.25)$$

Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның механикалық және электрмеханикалық сипаттамаларды талдау бойынша мынадай қорытынды жасауға болады (3.18 сурет): бұл қозғалтқыштар негізгі жұмыс сұлбасында бос жүріс режимі және генераторлық (электр желісіне параллель жағдайда) режимі қарастырылмайды, өйткені екінші квадрантта сипаттама бөлігі жоқ.



3.17 сурет – Магнителу қисығы



3.18 сурет - Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның механикалық (электрмеханикалық) сипаттамалары

Қалған режимдер тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-нікі сияқты:

- қозғалтқыштық режим - $0 < \omega < \infty$;
- қысқаша тұйықталу режимі - $\omega = 0$;
- қарсы қосу режимі (4 квадрант) - $\omega < 0$;
- динамикалық тежеу - 2 және 4 квадранттар.

Бірізді қоздырылатын ТТҚ-тардың механикалық және электрмеханикалық сипаттамаларын тұрғызу. Жасанды сипаттамалар каталогтық деректер бойынша тұрғызылады. Каталогтарда $\omega^* = f(I^*)$, $M^* = f(I^*)$ әмбебап сипаттамалары және $\omega^* = \omega / \omega_n$, $M^* = M / M_n$ салыстырмалы токқа $I^* = I / I_n$ тәуелділігі келтірілген.

Есептеу нәтижелері бойынша табиғи механикалық және электрмеханикалық сипаттамалар тұрғызады.

Жасанды (реостаттық) сипаттамаларды тұрғызу үшін келесі тәсіл қолданады. Табиғи сипаттаманың теңдеуі:

$$\omega_T = \frac{U}{C_M \Phi} - \frac{IR}{C_M \Phi'} \quad (3.26)$$

мұндағы $R = R_{ко} + R_я$, немесе

$$\omega_T = \frac{U}{C_M \Phi} \cdot \left(1 - \frac{IR}{U}\right). \quad (3.27)$$

Якорь тізбегіне R_p (реостат кедергісі) қосқан кезде қозғалтқыштың реостаттық сипаттамасы:

$$\omega_p = \frac{U}{C_M \Phi} \cdot \left(1 - \frac{I(R + R_p)}{U}\right). \quad (3.28)$$

(3.21) теңдеуді (3.20) теңдеуге бөлсек, онда:

$$\omega_p = \omega_T \cdot \frac{U - I(R + R_p)}{U - IR}. \quad (3.29)$$

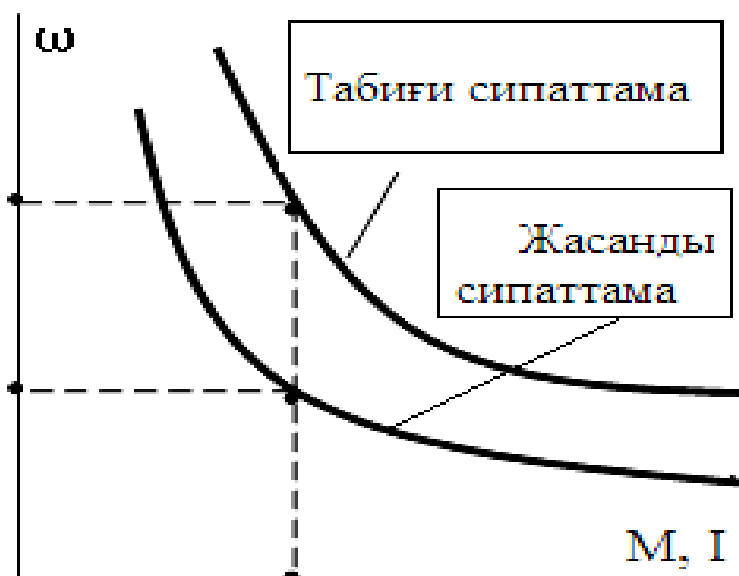
Қозғалтқыштың құжаттық деректері және оның табиғи сипаттамасы белгілі жағдайда электромеханикалық және механикалық сипаттамалардың координатасы (ω_1, I_1) нүктеден өтуін қамтамасыз ететін резистордың мәнін анықтау керек (3.19 сурет).

(3.22) теңдеуден:

$$R_p = \left(\frac{1 - \omega_1}{\omega_T}\right) \cdot \left(\frac{U_H}{I_1} - R_{я} - R_{к0}\right). \quad (3.30)$$

Есептеуге қажет $R_{к0}$ мен $R_{я}$ мәндері анықтамалық әдебиеттерден табуға болады немесе жуықтап мына формула бойынша анықталады:

$$R_{к0} + R_{я} \approx 0,75U_H(1 - \eta_H) / I_H. \quad (3.31)$$



3.19 сурет - Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның реостаттық сипаттамасын тұрғызу

Егер соңғы горизонталь e нүктесінен өтсе, онда табысты деп есептеледі. Егер олай болмаса, онда ae немесе gf түзудің көлбеулігін өзгертіп (I_1 немесе I_2 өзгерту арқылы), тұрғызу жұмысын қайталаймыз.

Нәтижесінде bc – бірінші сатының кедергісін, de - екінші сатының кедергісін аламыз.

Жүргізіп жіберу сәтінде $\omega=0$, $I=I_1$, $R=R_1$.

Жылдамдық ω_1 жеткенде кедергіні шунттайды және келесі жасанды сипаттамаларға көшеді, соңында табиғи сипаттамаға көшеді.

OR_T кесіндісі – $\omega=\omega_T$ жылдамдықты қарсы қосумен тежеу кезіндегі тежегіш кедергі.

3.9 Бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының жылдамдығын реттеу және оларды тежеу тәсілдері

Бірізді қоздырылатын ТТҚ-тардың жылдамдығын реттеу үшін тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-тарына қатысты тәсілдер қолданады.

Механикалық және электрмеханикалық сипаттамалардың теңдеулерін талдау нәтижесі бұл қозғалтқыштардың да жылдамдығын реттеу үшін мына тәсілдерді қолдануға болатындығын көрсетеді:

- *якорь тізбегінің кедергісін өзгерту арқылы;*
- *якорьге берілетін кернеуді өзгерту арқылы;*
- *магнит ағынын (қоздыру тогын) өзгерту арқылы.*

Якорь тізбегіндегі $R_{\text{кос}}$ мәні неғұрлым үлкен болған сайын жылдамдық соғұрлым көп төмендейді, яғни жасанды сипаттамалар табиғи сипаттамадан төмен жатады (3.21 сурет).

Қозғалтқыштың жылдамдығын мұндай тәсілмен реттеу көрсеткіштері мынадай: реттеу диапазоны 2...3, реттеу бағыты – жылдамдықты төмендету, жайлап реттеу $R_{\text{кос}}$ өзгерісімен анықталады.

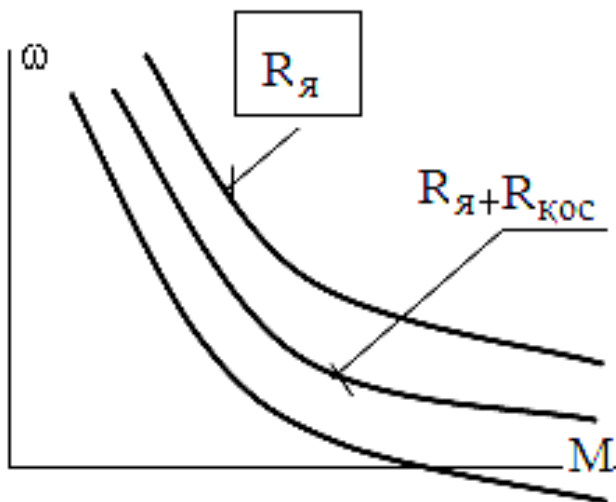
Бұл тәсілді жылдамдықты шағын диапазонда реттегенде немесе электрлік жетек қысқа уақыт аралығында төменгі жылдамдықпен жұмыс жасағанда қолдану экономика жағынан тиімді.

Жылдамдықты магнит ағынын өзгерту арқылы реттеу үшін қоздыру орамасына параллель кедергі $R_{\text{ш}}$ қосылады (3.22,а сурет). Бұл кедергінің мәнін өзгерту арқылы қоздыру орамасы арқылы жүретін токты, яғни магнит ағынын өзгертеміз.

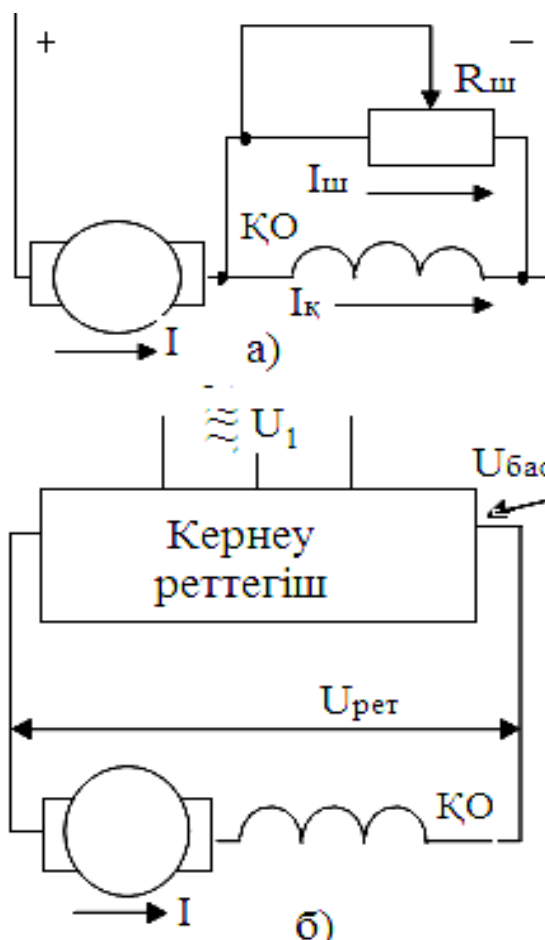
$R_{\text{ш}}=\infty$ болғанда қозғалтқыш негізгі сұлба бойынша, яғни табиғи сипаттама бойынша жұмыс жасайды.

Егер $0 < R_{\text{ш}} < \infty$ болғанда якорь тогының бір бөлігі шунттаушы тізбек ($R_{\text{ш}}$) арқылы жүреді, сондықтан $I_{\text{ко}}$ және Φ азаяды, ал бұл жылдамдықтың артуына әкеледі. Сол себепті жасанды сипаттама табиғи сипаттамадан жоғары жатады.

Кернеуді өзгерту арқылы жылдамдықты реттеу (3.22,б сурет). Жылдамдықты реттеу мақсатында кернеуді өзгерту басқарылатын түзеткіш арқылы жүзеге асырылады.



3.21 сурет – Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның айналу жиілігін якорь тізбегіндегі кедергіні өзгерту арқылы реттеген кезіндегі сипаттамалар



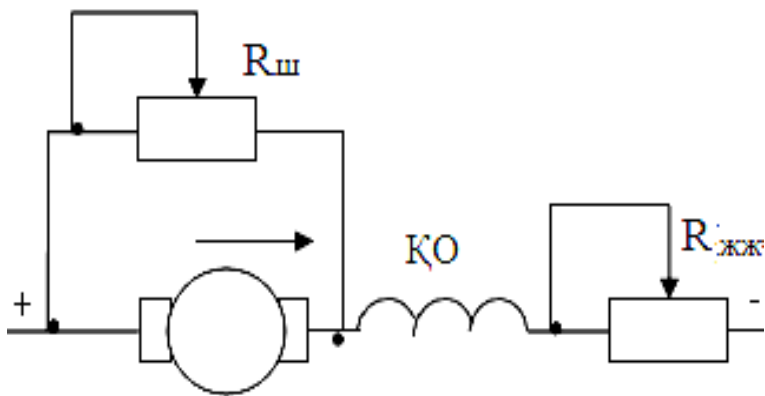
3.22 сурет - Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның айналу жиілігін магнит ағынын (а) және кернеуді (б) өзгерту арқылы реттеу сұлбалары

$U=U_n$ болғанда (түзеткіштің ішкі кедергісін ескермесек) қозғалтқыш табиғи сипаттама бойынша жұмыс жасайды. Кернеу төмендеген кезде механикалық және электрмеханикалық сипаттамаларға сәйкес айналу жылдамдығы да төмендейді. Реттеу көрсеткіштері тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-нікіндей.

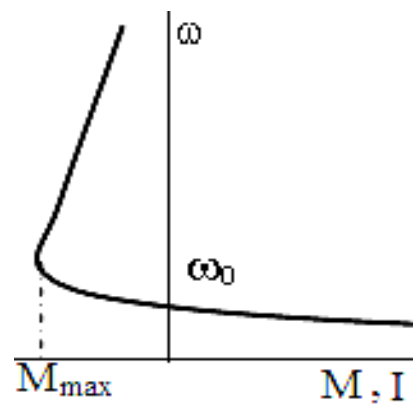
Якорь тізбегін шунттау арқылы жылдамдықты реттеу. Бұл тәсіл төменгі (баяу) жылдамдықтар немесе белгілі бір бос жүрістік жылдамдық ω_0 алу үшін қолданылады.

3.23 суретте көрсетілген сұлбада якорьге параллель жалғанған шунттаушы резистор $R_{ш}$ және бірізді жалғанған жүргізіп жібергіш резистор $R_{жж}$ қоздырушы орамадағы кернеудің мәнін өзгерту үшін қолданылады. Егер якорь орамасына мәні азайған кернеу берілсе, онда бұл өз кезегінде айналу жылдамдығының азаюына себеп болады (3.24 сурет).

Бұл сұлбаның ерекшелігі мынада: $I_я=0$ болғанда $I_{ко}$ нөлге тең емес ($R_{ш}$ болғандықтан), сондықтан магнит ағыны $\Phi \neq 0$ және $\omega = \omega_0$. Сонымен қатар, $\omega = \omega_0$ болғанда $M=0$, ал $\omega_0 \dots \omega$ диапазонында момент M_{max} мәнге жетеді.



3.23 сурет – Якорі шунтталған ТТҚ іске қосу сұлбасы



3.24 сурет– Якорі шунтталған кездегі ТТҚ-ның сипаттамасы

Бірізді қоздырылатын ТТҚ-тарын тежеу тәсілдері (3.25 сурет).

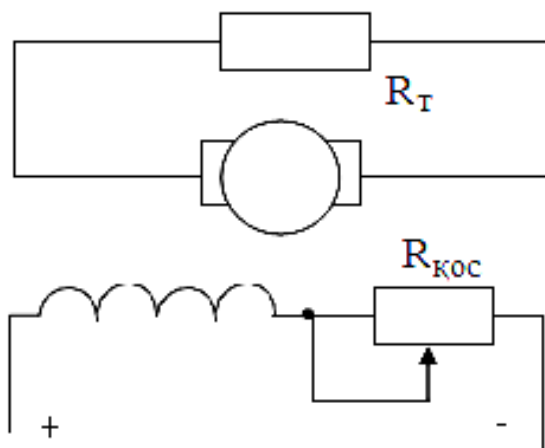
А) Динамикалық тежеу. Тәуелсіз қозу сұлбасы бойынша динамикалық тежеу кезінде $U_я=0$ болғанда механикалық сипаттаманың теңдеуі:

$$\omega = -\frac{MR}{(k\Phi)^2}, \quad (3.32)$$

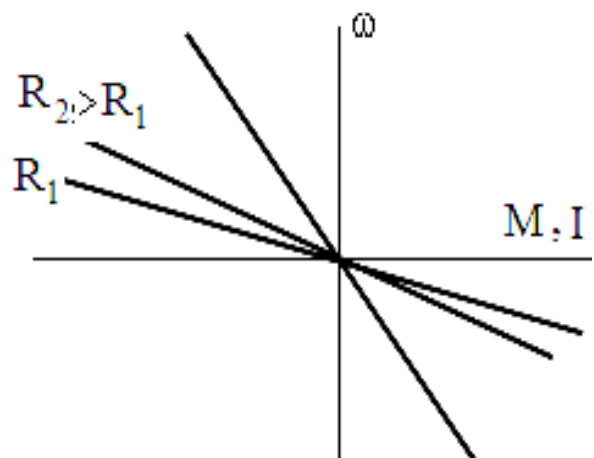
ал электромеханикалық сипаттаманың теңдеуі:

$$\omega = -\frac{IR}{k\Phi} \quad (3.33)$$

Бұл жағдайда сипаттамалар координаталар басынан өтетін түзулер түрінде бейнеленеді (3.26 сурет).



3.25 сурет – Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның тәуелсіз қозу сұлбасы бойынша динамикалық тежеу



3.26 сурет –ТТҚ-ның тәуелсіз қозу сұлбасы бойынша динамикалық тежеу кезіндегі сипаттамалар

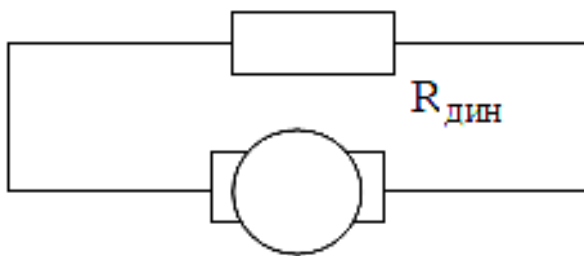
Өздігінен қозу құбылысымен байланысты динамикалық тежеу (3.27 сурет) мынадай шарттар орындалған кезде жүреді: қозғалтқышта қалдық магнит ағыны $\Phi_{\text{қал}}$ болуы қажет; $\Phi_{\text{қал}}$ мен негізгі магнит ағынының $\Phi_{\text{нег}}$ бағыттары сәйкес болуы. Якорь тізбегінің кедергісі R ($R_{\text{қо}}$ және $R_{\text{дин}}$) мәні шектік мәннен кіші болуы керек.

Қозғалтқышта қалдық магнит ағыны $\Phi_{\text{қал}}$ болған кезде және якорь айналғанда онда ЭҚК туады, нәтижесінде якорь және қоздыру орамасы арқылы ток жүреді. Бұл ток $\Phi_{\text{қал}}$ бағыттас негізгі магнит ағынын $\Phi_{\text{нег}}$ тудырады. Магнит ағынының көбеюіне байланысты ЭҚК өседі. Бұл өз кезегінде токтың көбеюіне апарды. Осындай өздігінен қозу үрдісі ЭҚК якорь тізбегінде кернеудің толық түсуіне тең болғанша жүреді.

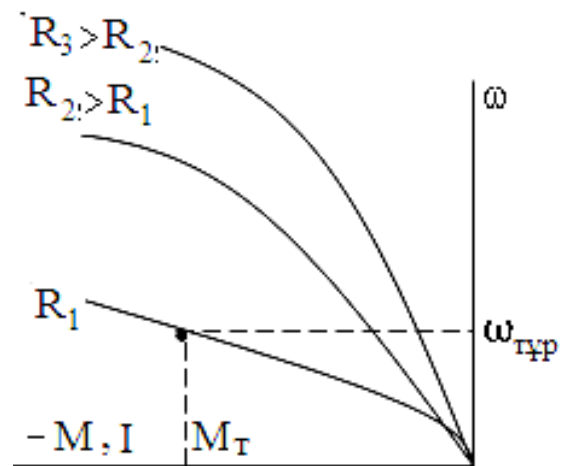
Мысалы, жүкті түсірудің алғашқы сәтінде қозғалтқыштың жылдамдығы және оның өте аз, жүк салмақ күшімен төмен түскен сайын жылдамдық өсе түседі (А нүктесіне дейін), өздігінен қозу үрдісі жүреді және тежеу моменті M_T күрт көбейеді (3.28 сурет).

Қарсы қосу арқылы тежеу. Бұл тежеу екі түрлі болады: жүкті төмен түсірумен байланысты тежеу және тікелей қарсы қосу.

Жүкті төмен түсірумен байланысты тежеудің екі нұсқасы бар:



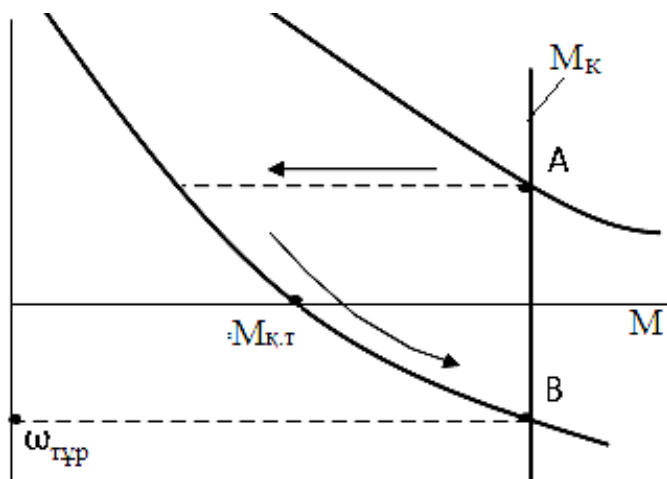
3.27 сурет – ТТҚ өздігінен қозу құбылысымен байланысты динамикалық тежеу



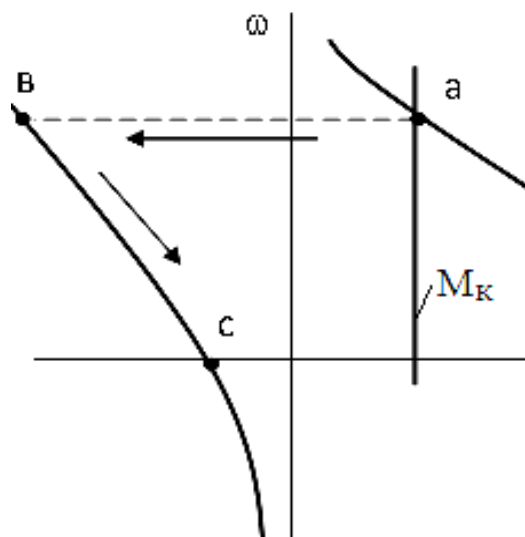
3.28 сурет – Бірізді қоздырылатын ТТҚ тәуелсіз қозу сұлбасы бойынша динамикалық тежеу кезіндегі сипаттамалар

- қозғалтқыштың айналу бағыты жүкті көтеруге бағытталған, ал жүк жетекті оны төмен түсіру бағытында айналуға мәжбүр етеді;

- алдымен жұмыс табиғи сипаттаманың А нүктесінде істелінеді, одан жасанды сипаттамаға, $M_{\text{к.т}}$ нүктесіне көшеміз де В нүктесінде $\omega = \omega_{\text{тұр}}$ жылдамдықпен жұмыс жасаймыз (3.29 сурет). Бұл режим $M_{\text{к}} > M_{\text{к.т}}$ шарты орындалғанда жүзеге асады.



3.29 сурет – Бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның жүкті төмен түсірумен байланысты тежеу кезіндегі сипаттамасы



3.30 сурет- Тікелей қарсы қосу арқылы тежеу кезіндегі бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның сипаттамалары

Тікелей қарсы қосу тәсілі якорьге берілетін кернеудің полярлығын ауыстыру арқылы жүзеге асырылады. Бұл жағдайда момент таңбасын өзгертеді (3.30 сурет).

Якорьдегі токты шектеу үшін якорь тізбегіне қосымша кедергі қосады.

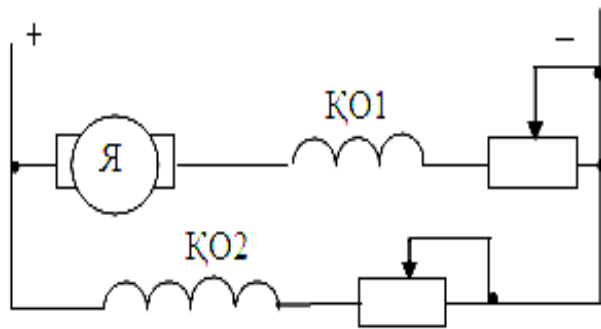
Электрлік жетек *a* нүктесіне жұмыс жасасын делік. Кернеудің полярлығын ауыстырған кезде және шектеуші кедергіні қосқан кезде жұмыс режимі *b* нүктесіне көшеді және тежеу үрдісі басталады (*bc* кесіндісі). Тежеу *c* нүктесінде аяқталады. Сол сәтте басқару сұлбасы қозғалтқышты электр желісінен ажыратуы керек, өйтпеген жағдайда электрлік жетектің үдемелі қозғалып, жылдамдығы артады ($-\omega_{тҫр}$).

3.10 Аралас қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының қасиеттері мен сипаттамалары

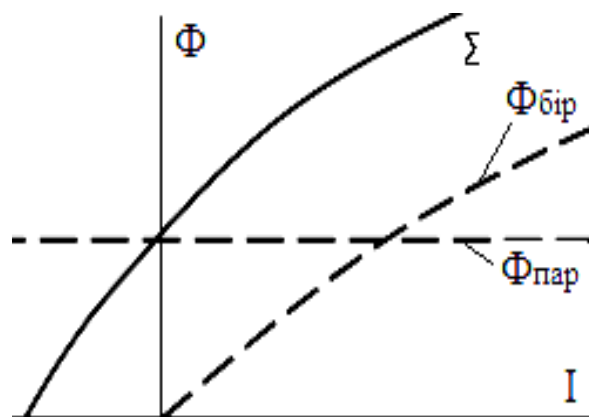
Аралас қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштың (ТТҚ) екі орамасы бар (3.31 сурет): тәуелсіз ҚО2 және бірізді жалғанған ҚО1, сондықтан оның механикалық сипаттамалары тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ пен бірізді қоздырылатын ТТҚ-ның сипаттамаларына қатысты алғанда аралық орынды иемденеді.

Аралас қоздырылатын ТТҚ-ның магнит ағыны екі ораманың магнит ағындарының қосындысынан тұрады (3.32 сурет).

I тогы - I_1 тогына ұмтылғанда магнит ағыны нөлге ұмтылады және қозғалтқыш магнитенсізденуі мүмкін. Сондықтан оны болдырмау үшін энергияны электр желісіне беру арқылы тежеу кезінде (Π) және нүктесінен өткенде бірізді ораманы шунттайды.

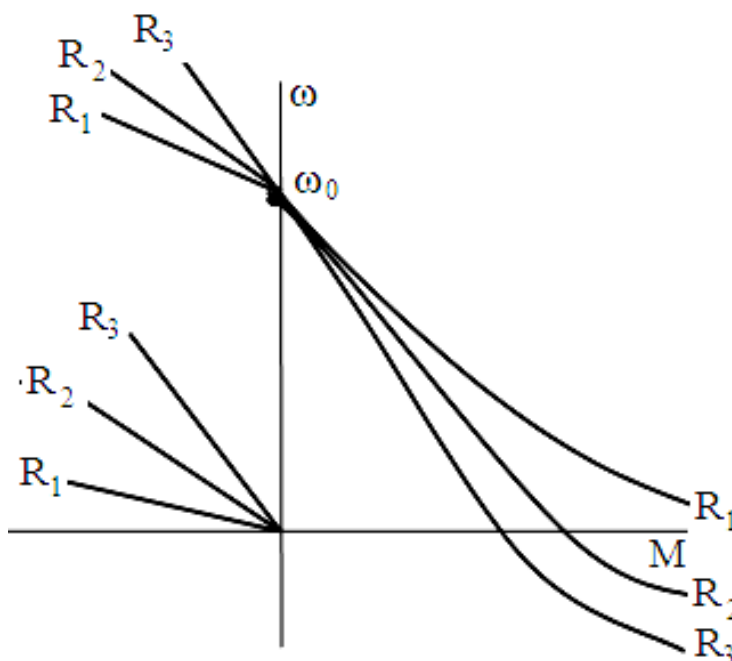


3.31 сурет - Аралас қоздырылатын ТТҚ-ын іске қосу сұлбасы



3.32 сурет - Аралас қоздырылатын ТТҚ-ның магнит ағындарының якорь тогына тәуелділігі

Сондықтан екінші квадрантта механикалық сипаттамалар түзу сызықтар түрінде (тәуелсіз қоздырылатын ТТҚ-нікі сияқты) болады. Динамикалық тежеу кезінде тәуелсіз орама әрекет ететіндіктен оның тежеу сипаттамалары да түзу сызықтар түрінде болады (3.33 сурет).



3.33 сурет - Аралас қоздырылатын ТТҚ-ның жұмыс режимдері

Айналу жылдамдығының ω_0 шектік мәні бар ($\omega_0 = U/K\Phi_0$). Жылдамдықты реттеу және тежеу режимдері тәуелсіз және бірізді қоздырылатын ТТҚ-нікі сияқты.

4 Үшфазалы және бірфазалы асинхронды қозғалтқыштарды қолданатын жетектердің механикалық сипаттамалары

Жалпы мағлұматтар. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштар (АҚ) - өнеркәсіпте және ауыл шаруашылығында өте кең тараған қозғалтқыштар. Мұндай жағдай оларды жасау мен эксплуатациялаудың қарапайымдылығымен, олардың массасының аздығымен, бағасының арзандылығымен (ТТҚ-мен салыстырғанда) және жұмыс істеу сенімділігімен түсіндіріледі.

1 кестеде әр типті үшфазалы асинхронды қозғалтқыштардың шығарылған жылы мен сипаттамалары келтірілген.

1 кесте – Әр типті үшфазалы асинхронды қозғалтқыштардың шығарылған жылы мен сипаттамалары

Типі	Шығарылған жылы	Меншікті қуаты, кг/кВт	ПӘК	cosφ
АО	1949	22,5	70	0,76
АО2	1962	15	73,5	0,78
Д	1965	14	80	0,83
4А	1971	10	80,5	0,84
АИ	1983	7	82	0,86

4А типті қозғалтқышпен салыстырғанда АИ типті қозғалтқышты шуының мөлшері 10 дБ...15 дБ азайған, массасы 10 %...15 % кеміген, ал қызу температурасы 15 °С төмендеген.

Үлкен қуатты жетектерді жабдықтау үшін АН-2 сериялы (2000 кВт дейін), АВ сериялы (8000 кВт дейін), ДАЗО сериялы (1250 кВт дейін) асинхронды қозғалтқыштар қолданады.

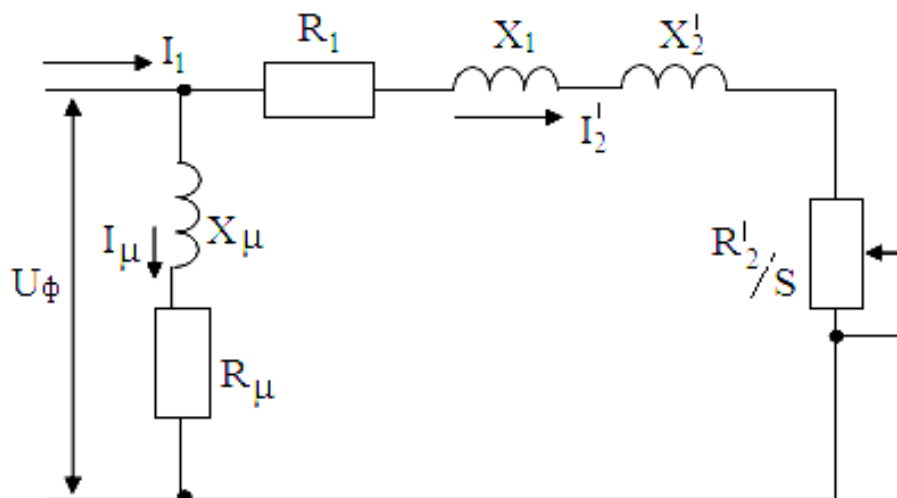
Қозғалтқыштар $S_1...S_8$ режимдерде жұмыс жасауға арналған. Айнымалы ток тізбегіндегі жиілік $f=50$ Гц, кернеулер $U=220$ В; 380 В; 660 В.

Асинхронды қозғалтқыштардың әртүрлі нұсқалары мен конструкциялық ерекшеліктері бар: жүргізіп жіберу моменті мен сырғанауы жоғары АҚ, фазалы роторлы АҚ, шағын қуатты АҚ, ішке орналастырылған температуралық қорғау құрылғысы бар АҚ, электромагниттік тежегіші бар АҚ және т.б.

Асинхронды қозғалтқыштар осы уақытқа дейін реттелмейтін электрлік жетектерде қолданылып келді. Соңғы жылдары жиілік пен кернеудің тиристорлық түрлендіргіштердің электротехникалық кәсіпорындарында жасалып, нарықта пайда болуына байланысты асинхронды қозғалтқыштар реттелетін жетектерде де қолданыла бастады. Асинхронды жетектердің көрсеткіштері тұрақты ток қозғалтқыштарына негізделген жетектердің көрсеткіштерінен кем түспейді. Асинхронды қозғалтқыштардың негізінен екі түрі бар: фазалы роторлы және қысқа тұйықталған роторлы.

4.1 Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының теңдеуі

4.1 суретте үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың Π тәрізді сұлбасы келтірілген.



4.1 сурет - Асинхронды қозғалтқыштың орынбасу сұлбасы

Сұлбада келтірілген параметрлер:

U – желінің фазалық кернеуі;

I_1 – статордың фазалық тогы;

I_μ – магниттеу тогы;

I_2' – ротордың келтірілген тогы;

X_1 – статордың орамасының шашыранды магнит ағынына қатысты индуктивтік кедергісі;

X_2' – ротордың келтірілген индуктивтік кедергісі;

R_1, R_2' – бірінші және екінші ретті активті кедергілер;

R_μ, X_μ – магниттеу контурының активті және индуктивті кедергілері,

S – сырғанау, $S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$, мұндағы

ω_0 – статор өрісінің бұрыштық жылдамдығы ($\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$);

f – қоректендіруші токтың жиілігі;

p – қозғалтқыштың полюстарының жұбының саны.

Келтірілген орынбасу сұлбасының екіншілік тогы мына өрнек бойынша анықталады:

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{U_\phi \cdot S}{\sqrt{(R_1 \cdot S + R_2')^2 + X_k^2 \cdot S^2}} \quad (4.1)$$

мұндағы X_k – қозғалтқыштың қысқаша тұйықталу кезіндегі индуктивтік кедергісі.

(4.1) өрнектен және орынбасу сұлбасынан ротор тізбегіндегі ток сырғанауға тәуелді екені көрінеді. $S=0$ болғанда, яғни айналып тұрған ротордың өрісі мен статордың өрісінің айналу жылдамдығы бірдей ($\omega_0 = \omega$) болғанда, ротор тогы $I_2' = 0$. $S=1$ болғанда, яғни ротор айналмаған кезде, ток жүргізіп жіберу тогына $I_{жж}$ (максимал токқа) тең.

(4.1) өрнектен жүргізіп жіберу тогы қозғалтқыштың параметрлеріне (R_1, R_2', X_1, X_2') және желінің кернеуіне U_ϕ тәуелді, бірақ жүктемеге тәуелді емес. Жүргізіп жіберу тогы $I_{жж}$ әдетте номиналды токтан 5...8 есе көп болады. Үлкен жүргізіп жіберу $I_{жж}$ токтары желінің кернеуін азайтады, бұл жұмыс істеп тұрған электрлік қабылдағыштарға зиянын тигізеді.

Жүргізіп жіберу тогы еселігі $\lambda = I_{жж}/I_n$ қозғалтқыштың маңызды сипаттамасы, ол каталогта келтіріледі.

Орынбасу сұлбасын құрған кезде мынадай шарттар қабылданған: ротордың активті кедергісі екіншілік тізбектің жиілігі тәуелді емес, магниттік жүйенің қанығуы статор мен ротордың орамасының реактивті кедергілеріне әсер етпейді, магниттеу контурының өткізгіштігі тұрақты болады, яғни магниттеу тогы тек берілген кернеуге тәуелді, қосымша шығындар және магниттік қозғаушы күштің жоғарғы гармоникалары болмайды.

Осы шарттарды ескерсек, онда қозғалтқыштың желіден тұтынатын қуаты P_1 магниттеуші контурдағы шығындарға P_0 , статор орамасының мысында бөленетін шығынға P_m жұмсалады және электромагниттік қуатқа $P_{эм}$ түрленеді.

$$P_1 = P_0 + P_m + P_{эм} = \left(I_\mu^2 + I_2'^2 R_1 + I_2'^2 \frac{R_2'}{S} \right) m, \quad (4.2)$$

мұндағы m – фазаның саны.

Екінші жағынан:

$$P_{эм} = m I_2'^2 \frac{R_2'}{S} \quad (4.3)$$

немесе $P_{эм} = M \omega_0$.

Бұл өрнектерден:

$$M = \frac{m I_2'^2 \frac{R_2'}{S}}{\omega_0}. \quad (4.4)$$

Бұл алынған өрнекке I'_2 өрнегін қойсақ, онда:

$$M = \frac{mU_{\phi}^2 R'_2}{\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right] \cdot S}. \quad (4.5)$$

(4.5) өрнектен моменттің желінің кернеуіне тәуелді екендігі көрінеді.

Алынған $M=f(S)$ тәуелділігін зерттеу үшін dM/dS туындысының өрнегін анықтаймыз да оны нөлге теңестіреміз. Алынған теңдеуді шешу нәтижесінде момент үшін және сырғанау үшін экстремум мәндерді (максимал немесе шектік мәндерді) анықтайтын өрнектер аламыз:

$$M_{\text{ш}} = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0 \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}, \quad (4.6)$$

мұндағы «+» қозғалтқыштық режим немесе қарсы қосу арқылы тежеу режимі кезінде, ал «-» желімен параллель генераторлық режим кезінде қойылады.

$$S_{\text{ш}} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}, \quad (4.7)$$

мұндағы «+» генераторлық режим кезінде қойылады.

$S_{\text{ш}}$ кернеуге тәуелді емес екендігін атап өту керек.

Егер (4.5) өрнекті (4.6) өрнекке бөлсек, онда:

$$M = \frac{2M_{\text{ш}}(1 + aS_{\text{ш}})}{S/S_{\text{ш}} + S_{\text{ш}}/S + 2aS_{\text{ш}}}, \quad (4.8)$$

мұндағы $M_{\text{ш}}$ – максимал (шектік) момент;

$S_{\text{ш}}$ – максимал (шектік) сырғанау; $a = R_1/R'_2$.

Генераторлық режим үшін максимал момент те осылайша табылады, бірақ $S_{\text{ш}}$ теріс таңбалы болады. Бұл режимде максимал момент қозғалтқыш режиміндегі моментке қарағанда үлкен болады.

Егер (4.8) теңдеудегі активті кедергіні ескермесек, онда есептеуге (4.9)

$$M = \frac{2M_{\text{ш}}}{S/S_{\text{ш}} + S_{\text{ш}}/S}.$$

ыңғайлы формула аламыз:

Егер (4.9) момент пен сырғанаудың ағындық мәндерінің орнына олардың номинал мәндерін ($M_{\text{НОМ}}$, $S_{\text{НОМ}}$) қойсақ және $\lambda_M = M_{\text{Ш}}/M_{\text{НОМ}}$ болса, онда шектік (максимал) сырғанау мен номинал сырғанауды байланыстыратын өрнек аламыз:

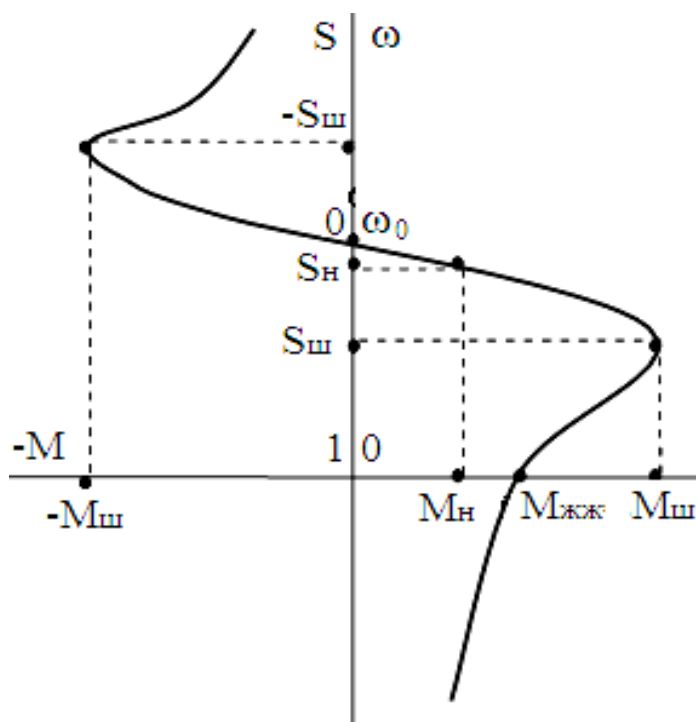
а) $P > 10$ кВт болғанда:

$$S_{\text{Ш}} = S_{\text{НОМ}} \left(\lambda_M \pm \sqrt{\lambda_M^2 - 1} \right); \quad (4.10)$$

б) $P < 10$ кВт болғанда (яғни R ескеру керек болғанда):

$$S_{\text{Ш}} = \frac{S_{\text{НОМ}} \left(\lambda_M \pm \sqrt{\lambda_M^2 + 2S_{\text{НОМ}} (\lambda_M - 1) - 1} \right)}{1 - 2S_{\text{НОМ}} (\lambda_M - 1)}. \quad (4.11)$$

Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының ерекше нүктелерін және жұмыс режимдерін 4.2 сурет арқылы түсіндіруге болады:



4.2 сурет - Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының ерекше нүктелері

- а) $S=0$, $\omega = \omega_0$ – идеал бос жүріс режимі;
- б) $S=1$, $\omega = 0$ – қысқаша тұйықталу режимі;
- в) $S < 0$, $\omega > \omega_0$ – желіге параллель генераторлық (рекуперативтік тежеу) режимі;
- г) $S > 1$, $\omega < 0$ – желіге тізбектей генераторлық (қарсы қосу арқылы тежеу) режимі;

д) $S=S_{\text{НОМ}}$, $\omega = \omega_{\text{НОМ}}$.

Механикалық сипаттаманың жұмыстық бөлігі жуықтап сызықты, ал жүргізіп жіберу бөлігі сызықты емес деуге болады.

Асинхронды қозғалтқыштың арналымына қарай $\lambda_m = M_{\text{ш}}/M_{\text{НОМ}}$ және $\lambda_{\text{жжж}} = M_{\text{жжж}}/M_{\text{НОМ}}$ әртүрлі мәндерге ие болуы мүмкін.

Мемлекеттік стандарт бойынша:

а) қысқа тұйықталған роторлы АҚ үшін λ_m мәні 1,65 кем болмайды (әдетте 1,7...2,2);

б) фазалы роторлы АҚ үшін λ_m мәні 1,8 кем болмайды;

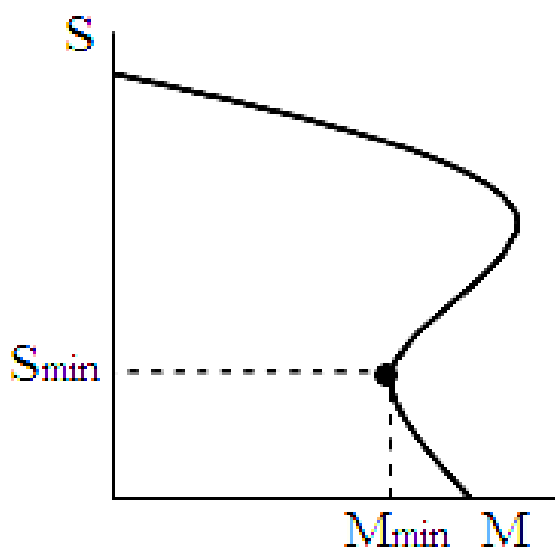
в) крандық АҚ үшін $\lambda_m = 2,3 \dots 3,4$.

Әдетте $\lambda_{\text{жжж}}$ мәні 1,0...2,0 аралығында болады, кейбір жағдайларда $\lambda_{\text{жжж}} = 2,5 \dots 2,8$.

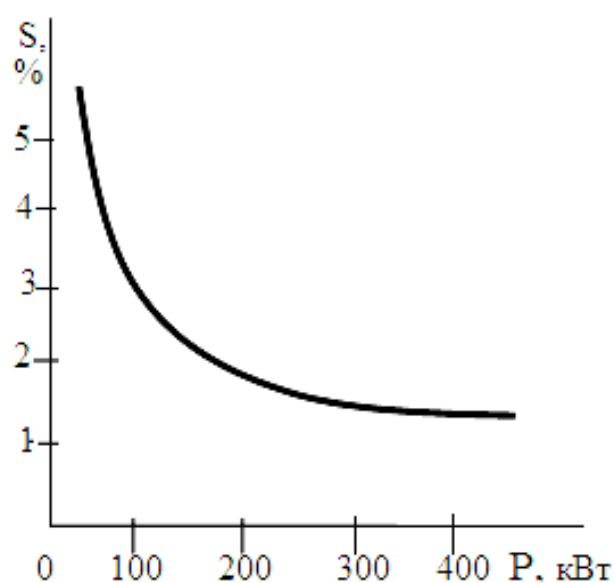
$M_{\text{жжж}}$ мәнін жоғарлату үшін, ал $I_{\text{жжж}}$ мәнін төмендету үшін қысқаша тұйықталған роторы арнаулы конструкция бойынша жасалған қозғалтқыштар қолданылады. Олардың роторлары бірінің ішіне бірі орналасқан екі тордан тұруы мүмкін немесе ойықтары терең, стерженьдері қысқа болады. Бұл қозғалтқыштардың роторының кедергісі жүргізіп жіберу кезінде әжептеуір үлкен (номинал режиммен салыстырғанда) болады (беттік эффектiнiң пайда болуына байланысты), өйткені сырғанаудың үлкен мәні кезінде ротор тізбегіндегі токтың жиілігі жоғары болады.

АҚ жүктемемен жұмыс жасаған кезде магнит өрісінің жоғарғы гармоникалары әсер етеді, бұл $S=0,85$ болғанда механикалық сипаттаманың күрт құлауына әкеледі (4.3 сурет). Бұл нүкте $\lambda_{\text{min}} = M_{\text{min}}/M_{\text{НОМ}}$ болуымен ерекшеленеді.

Номиналдық сырғанаудың АҚ қуатына тәуелділігінің графигі 4.4 суретте көрсетілген.



4.3 сурет – АҚ-тың механикалық сипаттамасына жоғарғы гармоникалардың әсері



4.4 сурет - Номиналдық сырғанаудың АҚ қуатына тәуелділігі

Құжаттық деректер бойынша асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын есептеу. Құжатта келтіріледі: P_H , U_H , I_H , n_H (айн/мин), η_H , $\cos\varphi_H$, ал каталогта λ_{\min} , $\lambda_{жж}$, λ_{\max} .

Есептеу реті:

1) $M_H = P_H / \omega_H$, $\omega_H = \pi n_H / 30$.

2) $S_H = (n_0 - n_H) / n_0$.

3) $M_{ш} = M_{\max} = \lambda_{\max} M_H$; $S_{ш}$ мәні (4.10) немесе (4.11) өрнек арқылы анықталады.

4) Сырғанаудың әртүрлі мәндерін бере отырып, (4.9) өрнек арқылы M мәндерін анықтаймыз.

5) $\omega = f(M)$ немесе $M = f(S)$ тәуелділігінің кестесін толтырамыз, сипаттаманың графигін тұрғызамыз.

Механикалық сипаттаманы бес ерекше нүкте арқылы тұрғызуға болады (4.5 сурет):

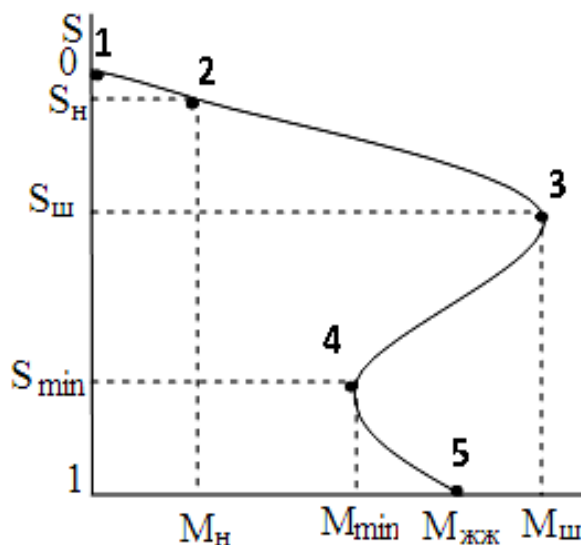
1) $S=0$; $\omega = \omega_0$; $M=0$.

2) $S=S_H$; $\omega = \omega_H$; $M=M_H$; $M_H = 9550 P_H / n_H$.

3) $S=S_{ш}$; $M_{ш} = \lambda_{\max} M_H$.

4) $S=S_{\min} = 0,85$; $M_{\min} = \lambda_{\min} M_H$.

5) $S=1$; $\omega = 0$; $M = M_{жж} = \lambda_{жж} M_H$.



4.5 сурет - Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы

4.2 Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын қоректендіруші кернеудің мәнін өзгерту арқылы реттеу

Бұрыштық жылдамдықты реттеудің жиі қолданылатын тәсілдеріне мыналар жатады:

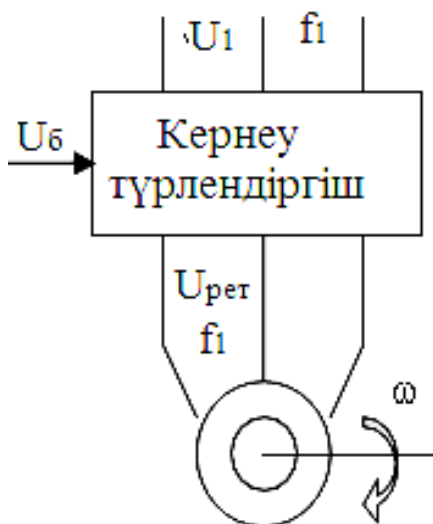
- қоректендіруші кернеудің мәнін өзгерту арқылы реттеу;
- қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту арқылы реттеу;
- полюстарды ауыстырып қосу арқылы реттеу;

- статор немесе ротор тізбегінің кедергісін өзгерту арқылы реттеу, бұл тәсіл мына өрнектерге негізделеді:

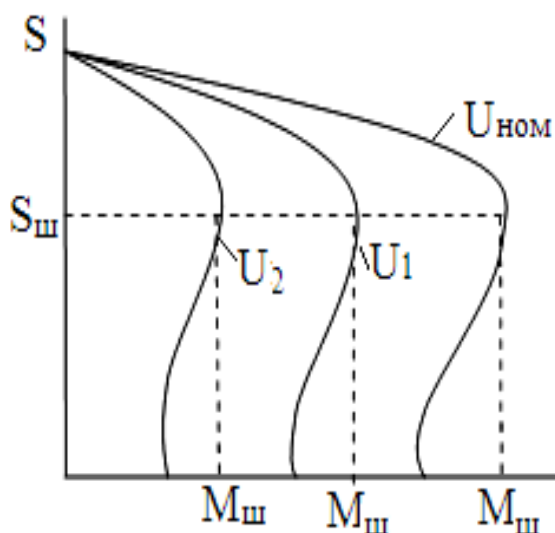
$$M = \frac{mU_{\phi}^2 R'_2}{\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right] \cdot S};$$

$$n_0 = \frac{60f}{p}.$$

Бұрыштық жылдамдықты кернеуді өзгерту арқылы реттеу АҚ берілетін кернеу кез келген реттеуіштің көмегімен өзгертіледі (4.6 сурет). Бұл кезде кернеудің жиілігі f және шектік сырғанау $S_{ш}$ өзгермейді, ал шектік момент $M_{ш}$ өзгереді (4.7 сурет).



4.6 сурет - АҚ-тың айналу жиілігін қоректендіруші кернеуді өзгерту арқылы реттеудің электрлік сұлбасы



4.7 сурет –Қоректендіруші кернеуді өзгерткен кездегі АҚ-тың механикалық сипаттамалары

Бұл тәсіл сирек қолданылады, өйткені қозғалтқыштың асыра жүктеу қабілеті ($M_{ш}$) азаяды. Сонымен қатар, бұл тәсілді роторының кедергісі үлкендеу АҚ немесе фазалы роторлы АҚ қолдануға болады. Бұл тәсіл желдеткіштік сипаттамасы бар жұмыстық машинада жақсы жүзеге асырылады.

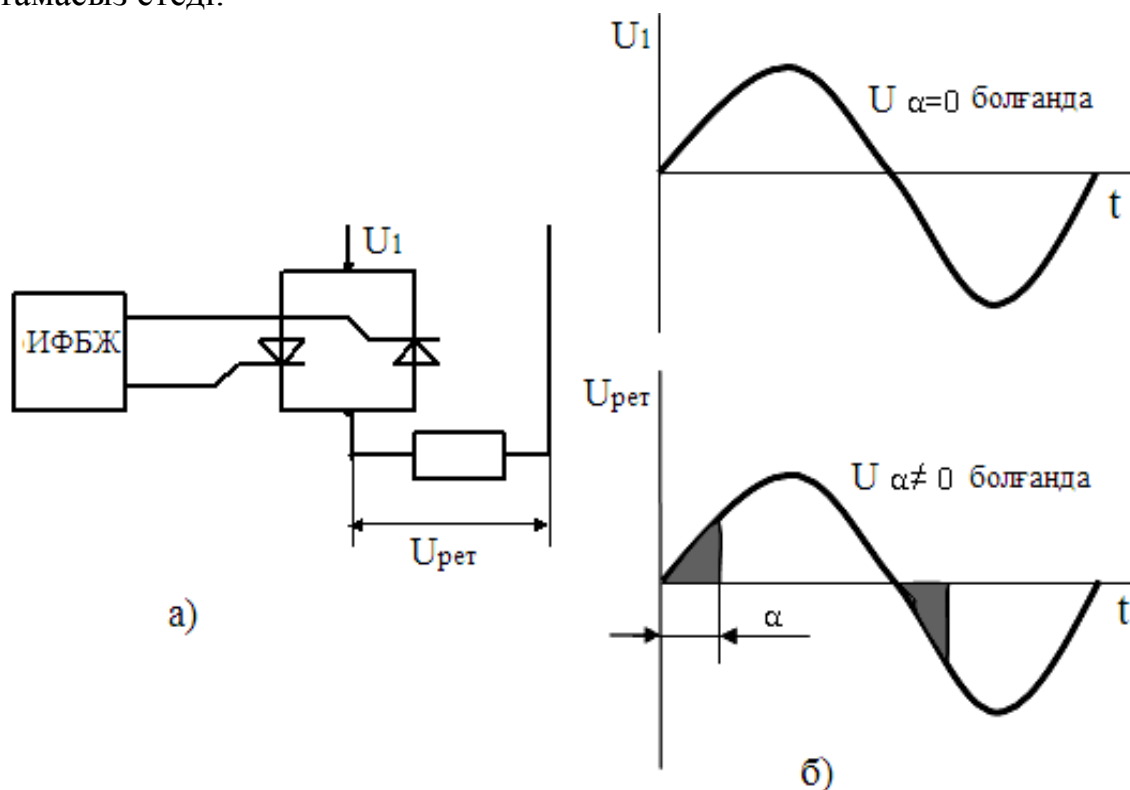
Кернеуді автотрансформатор, магниттік күшейткіштер және соңғы кезде кең тараған, ПӘК жоғары, эксплуатациялауға жеңіл тиристорлық кернеу реттегіштер (ТКР) арқылы реттеуге болады.

ТКР әрекет ету принципін және кең тараған «тиристорлық кернеу реттегіш – асинхронды қозғалтқыш (ТКР-АҚ)» жүйесін қарастырайық.

4.8 суретте бір фазалы жүктемеге берілетін кернеуді реттеу сұлбасы көрсетілген.

Бір фазалы ТКР-дің күштік бөлігі қарсы қосылған екі тиристордан тұрады, бұлар кернеудің жарты периодтарының екеуінде де токтың өтуін қамтамасыз етеді.

Тиристорлар басқару импульстарын импульстік фазалық басқару жүйесінен алады. Бұл жүйе сыртқы басқару сигналына (U_0) сәйкес басқару импульстарының белгілі бір бұрышқа α (басқару бұрышы) ығысуын қамтамасыз етеді.



4.8 сурет – Бірфазалы тиристорлық кернеу реттегіштің сұлбасы (а) және кернеудің қисықтары (б)

Басқару бұрышын өзгерте отырып, жүктемедегі кернеудің мәнін нөлге дейін азайтуға болады. Алынған кернеудің пішіні синусоидалы емес екендігін ескерте кету керек. Синусоидалы емес кернеуді әрқайсысы әртүрлі жиілікпен өзгертін бірнеше синусоидалы гармоникалар жиынтығы ретінде көрсетуге болады. Бірінші гармониканың (негізгі гармониканың) жиілігі қоректендіруші желінің кернеуінің жиілігіне тең, ал қалғандарынікі одан үлкен болады. Бірінші гармониканың амплитудасы үлкен болғандықтан есептеу жұмыстары сол гармоника бойынша жүргізіледі.

Үш фазалы ТКР жасау үшін әр фазаға қарсы қосылған екі тиристор кіргізеді.

ТКР-дің функционалдық мүмкіншіліктері: реверс (тура және кері айналдыру), тежеу, барлық динамикалық сипаттамаларды қалыптастыру.

4.3 Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту арқылы реттеу

Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы қоректендіруші кернеудің жиілігіне тура пропорционал: $n_0=60f/p$. Бірақ жиілікті өзгертумен қатар кернеуді де өзгерту керек.

Егер $U=const$ болған кезде жиілікті өзгертсек, онда магнит ағыны кері пропорционалдық заңдылықпен өзгереді. Мысалы, жиілікті азайту магнит ағының көбеюіне, ал бұл өз кезегінде машинаның болатының қанығуына, яғни токтың күрт көбеюіне және қозғалтқыштың қызуына әкеледі. Жиілік өскен кезде магнит ағыны азаяды, бұл моменттің азаюына әкеледі. Осыған байланысты жиілікті өзгерткен кезде онымен бір мезгілде кернеуді де өзгерту керек.

Кернеудің өзгеру заңы жүктеменің моментінің сипатына тәуелді.

Кедергінің моменті $M_{кед}=const$ болған кезде кернеу U жиілікке пропорционал өзгертілуі керек:

$$\frac{U_1}{f_1} = const.$$

Жұмыстық машинаның желдеткіштік сипаттамасы үшін:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const.$$

Жүктенің моменті жылдамдыққа кері пропорционал болғанда:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const.$$

Жиіліктік тәсіл жылдамдықты кең диапазонда реттеуге мүмкіндік береді, ал алынған сипаттамалар жоғары (үлкен) қатаңдыққа ие болады. Сонымен қатар, АҚ жылдамдығын реттеу сырғанаудың артуын тудырмайды, сондықтан реттеу кезінде қуат шығыны аздау болады.

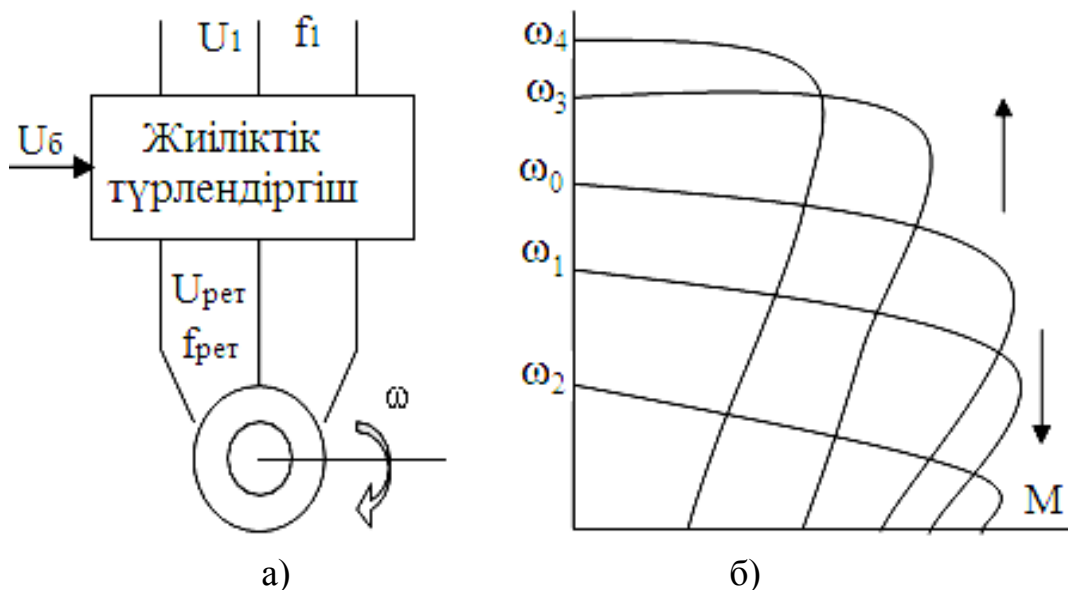
Бұл тәсілді жүзеге асыру үшін жиіліктік түрлендіргіш керек (4.9 сурет).

Оның кірісіне жиілігі стандарттық жиілікке (50 Гц немесе 60 Гц) тең желінің стандарттық кернеуі беріледі. Ал оның шығысынан жиілігі реттелетін айнымалы кернеу алынады.

50 Гц төмен жиілік облысында АҚ артық жүктелу қабілетін сақтайды, яғни $M_k = const$ (тек аз жылдамдықтар облысында біршама төмендейді).

50 Гц жоғары жиілік облысында $M_{ш}$ азаяды.

Асинхронды электрлік жетектерде қолданылатын жиіліктік түрлендіргіштер екі үлкен топтарға бөлінеді: электршиналық түрлендіргіштер және статикалық түрлендіргіштер.



а - АҚ-ты желіге қосу сұлбасы; б – механикалық сипаттамалар.
4.9 сурет - АҚ-тың айналу жиілігін қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту арқылы реттеу

4.4 Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын полюстер жұптарының санын өзгерту арқылы реттеу

Бұрыштық жылдамдықтың өрнегін жазайық:

$$\omega = \omega_0(1-S) = 2\pi f_1 (1 - S)/p, \quad (4.12)$$

мұндағы p - полюстер жұптарының саны.

Бұл тәсілмен f_1 берілген жағдайда және сырғанау аз өзгерген жағдайда айналу жылдамдығын реттеуге болады. Полюстер жұптарының саны бүтін сан болғандықтан реттеу сатылы (секірмелі) түрде өтеді. Бұл тәсіл қысқаша тұйықталған роторлы, көпжылдамдықты АҚ үшін қолдануға жарамды болып табылады. Бұл қозғалтқыштардың ерекшелігі - екі ұқсас бөліктен тұратын статорлық ораманың болуы. Бұл бөліктерді әртүрлі сұлба бойынша жалғау арқылы полюстердің жұптарының санын өзгертуге, демек жылдамдықты өзгертуге болады.

Көп жағдайда әр фазалық ораманың жарты бөліктеріндегі токтардың бағыттырын өзгерту арқылы полюстердің жұптарының санын өзгерту жүзеге асырылады.

Статордың фазасы орамасы екі бірдей секциядан ($1_{\text{бас}}-1_{\text{аяк}}$, $2_{\text{бас}}-2_{\text{аяк}}$) тұрады, әр секцияда бірізді және үйлесімді жалғанған екі өткізгіш бар

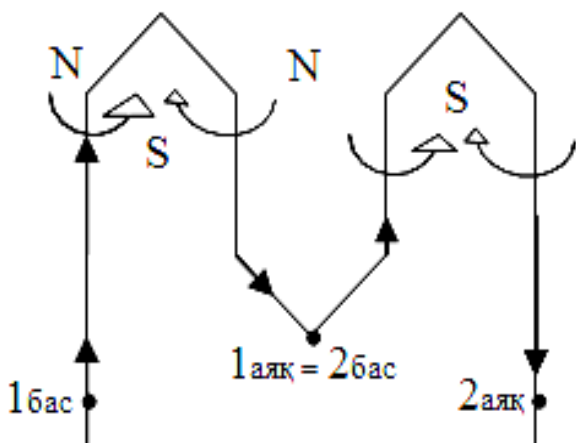
(4.10 сурет). Ток бір бағытқа бағытталған. Бұрғы ережесі бойынша магнит өрісінің сызықтарының бағытын анықтаймыз. Талдау магнит өрісі 4 полюстің, яғни полюстердің екі жұбы ($p=2$) бар екендігін көрсетеді.

Жалғану сұлбаларын өзгертейік, секцияларды бірізді және қарсы жалғайық, токтың бағытын сол бағытта қалдырайық. Бұл жағдайда полюстердің жұптарының саны $p=1$ (4.11 сурет). Осындай жағдай секцияларды параллель жалғағанда да орын алады.

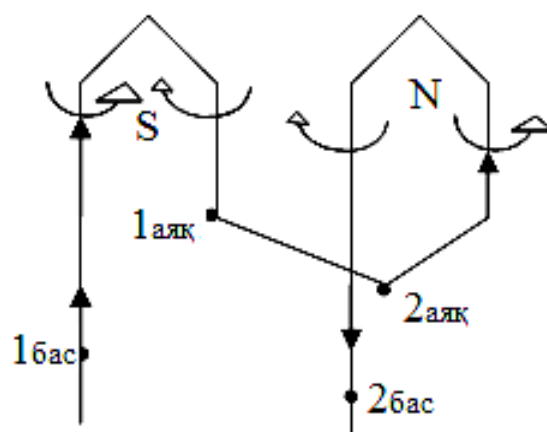
Көпжылдамдықты АҚ статорларының орамаларын ауыстырып жалғаудың жиі қолданылатын екі сұлбасы:

- үшбұрыштан екі жұлдызшаға көшу;
- жұлдызшадан екі жұлдызшаға көшу.

«Үшбұрыш- екі жұлдызша» сұлбасы. Полюстердің жұптарының санын көбейту үшін статордың әр фазасының секциялары бірізді және үйлесімді қосылған және фазалар үшбұрыш сұлбасы бойынша жалғанған ($A_{1бас}$ және $A_{2бас} - A$ фаза секцияларының басқы ұштары, $A_{1аяқ}$ және $A_{2аяқ} - A$ фаза



4.10 сурет – $p=2$ болғанда статор орамының сұлбасы



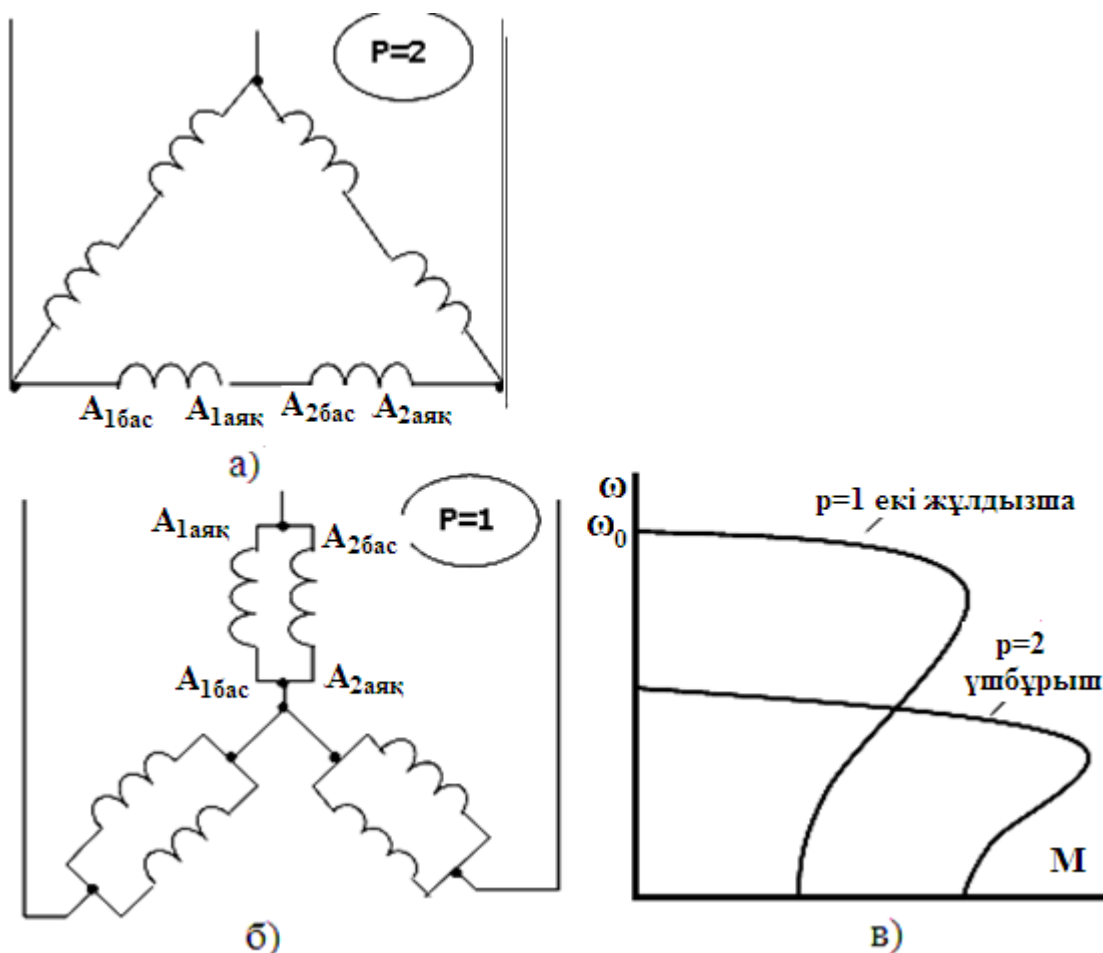
4.11 сурет – $p=1$ болғанда статор орамының сұлбасы

секцияларының аяққы ұштары, қалған фазалар секциялары да осыған ұқсас белгіленген) (4.12 сурет).

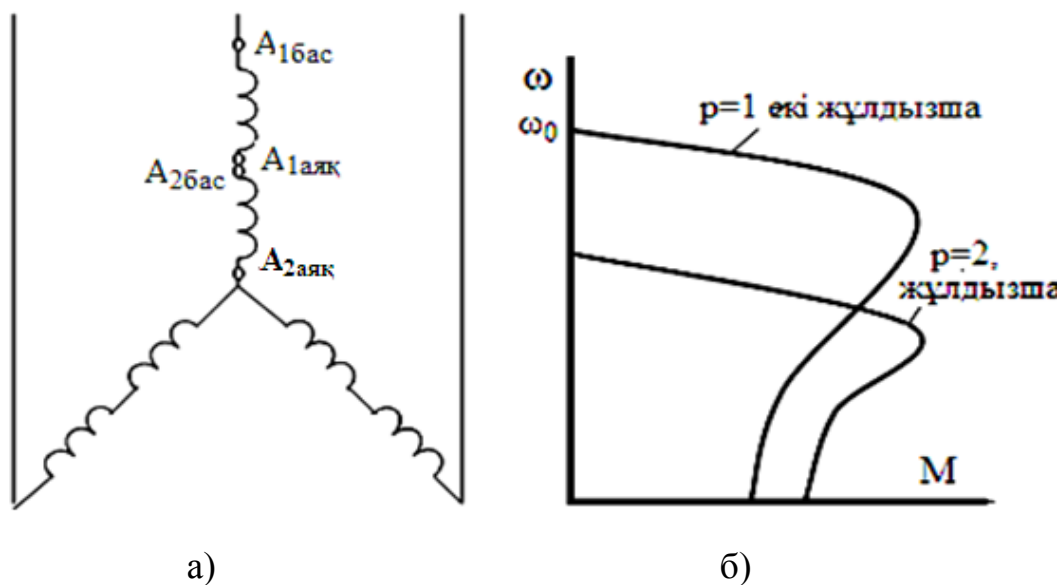
«Жұлдызша-екі жұлдызша» сұлбасы. Бұл жағдайда төменгі мәнді (баяу) жылдамдық алуға орамалардың бір жұлдызша сұлбасы бойынша жалғануы ($p=2$) сәйкес келеді (әр фазаны бірізді жалғанған секциялар құрайды, сурет). Ал полюстар жұптары санын екі есе азайту ($p=1$) екі жұлдызша сұлбасына ауысқанда мүмкін болады (4.12,б сурет). Полюстерінің жұптарының саны өзгеретін АҚ-тің сипаттамалары 4.13 суретте көрсетілген.

Мұндай қозғалтқыштардың реттеу диапазоны 6:1 ($3000...500 \text{ мин}^{-1}$) аралығында. Олар жақсы қатаңдығымен және артық жүктелу қабілетімен ерекшеленеді.

«Жұлдызша-екі жұлдызша» сұлбасын жүктеме моменті тұрақты болған кезде қолданған тиімді, ал «үшбұрыш- екі жұлдызша» сұлбасын тұрақты қуат тұтынатын электрлік жетектерде қолданған жөн.



4.12 сурет – АҚ-тың әр фазасының секцияларын «үшбұрыш» (а), «екі жұлдызша» (б) сұлбалары бойынша жалғау және полюстері саны өзгертін АҚ-тың механикалық сипаттамалары (в)



4.13 сурет – АҚ-тың фазаларының секцияларын «бір жұлдызша» сұлбасы бойынша жалғау сұлбасы (а) және полюстері саны өзгертін АҚ-тың механикалық сипаттамалары

4.5 Асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдығын реостаттық және импульстік реттеу

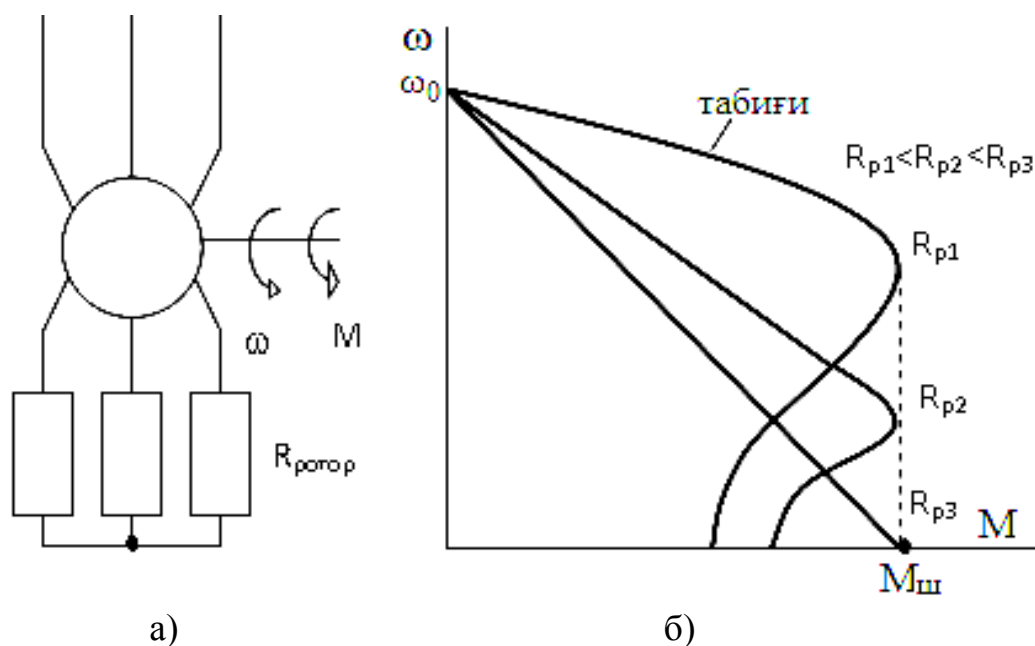
Асинхрондық қозғалтқыштың координаталарын реттеудің бұл тәсілі (реостаттық тәсіл деп те аталады) статордың немесе ротордың тізбегіне қосымша резисторлар ендіру арқылы жүзеге асырылады. Бұл тәсіл бірінші кезекте қарапайымдылығымен, сонымен қатар, реттеудің сапасы мен тиімділігінің айтарлықтай жоғары емес көрсеткіштерімен де ерекшеленеді.

Реостаттық реттеу көтергіш-транспорттық қондырғылардың, желдеткіштердің, шағын және орташа қуатты (100 кВт дейін) сорғыштардың, лифтілердің электрлік жетектерінде (жүргізіп жіберу кезінде тоқты шектеу, реверс, тежеу) қолданады.

S_1 режимі кезінде реттеу диапазоны тар болады: $(1,15 \dots 1,2): 1$.

Қысқа уақытты режимдер кезінде айналу жылдамдығын кеңірек диапазонда реттеу тек тұйықталған басқару жүйелерінде ғана мүмкін. Бұл жүйелерде жылдамдықты белгіленген деңгейде автоматты түрде тұрақтандыруға арналған кері байланыстар қарастырылған.

Ротор тізбегіне қосымша кедергілер қосу арқылы фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштардың тогын да, моментін де және жылдамдығын да реттейді. 4.14,а суретте осы тәсілге қатысты механикалық сипаттамалар көрсетілген.



4.14 сурет - Фазалы роторлы АҚ-тың айналу жиілігін реостаттық реттеу кезіндегі механикалық сипаттамалары

Бұл тәсіл кезінде идеал бос жүріс жылдамдығы және максимал (шектік) момент тұрақты деңгейде қалады, ал шектік сырғанау кедергіге пропорционал өзгереді. Бұл ротор тізбегіндегі кедергі өзгерту арқылы жүргізіп жіберу моментін шектік (максимал) мәнге дейін көбейтуге болады, бұл жағдайда бір

мезгілде жүргізіп жіберу тогы азаяды. Бұл АҚ-тың артық жүктелу қабілетін сақтауға жағдай жасайды.

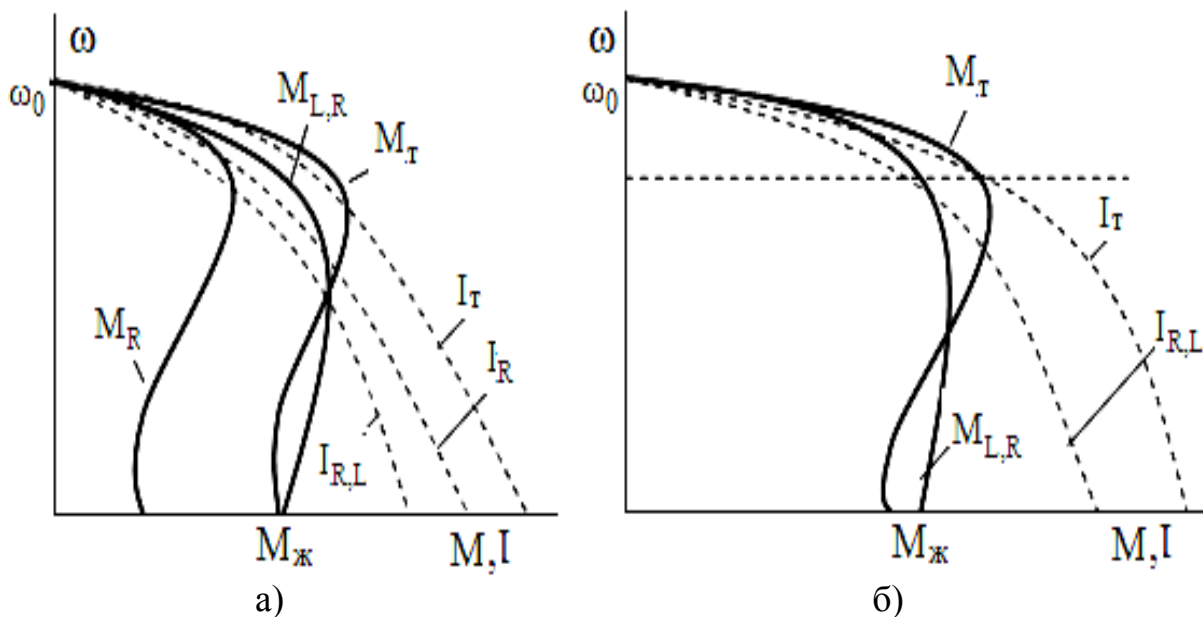
Бұл тәсілдің көрсеткіштері мынадай: реттеу бағыты тек механикалық сипаттамадан төмен қарай, яғни жылдамдықты бос жүріс жылдамдығынан бастап азайту жүзеге асырылады; қатандықтың азаюына байланысты реттеу диапазоны үлкен емес (тар); шығынның үлкен еместігі. Бірақ эксплуатациялау шығыны әжептеуір болады.

Сырғанаудың мәні өскен сайын ротор тізбегіндегі шығын да көбейеді, яғни реттеу диапазонын ұлғайту энергияның көп шығынына және электрлік жетектің ПӘК төмендеуіне әкеледі. Сондықтан бұл тәсілді жылдамдықты шағын диапазонда реттеу қажет болғанда (көтергіш-транспорттық машиналарда) қолданған жөн.

Жүргізіп жіберу моментінің тұрақты болуын қамтамасыз ету қажет болғанда ротор тізбегіне активті кедергіден R қатар индуктивті элемент L (бірізді немесе параллель) қосады.

Жүргізіп жіберу сәтінде жылдамдық өте аз, ротор тогының жиілігі жуықтап желінің жиілігіне тең, индуктивті кедергі өте үлкен, яғни жүргізіп жіберу тогы аз болады. Жылдамдық көбейген сайын ток жиілігі мен ротор ЭҚК азаяды. Бұл индуктивті кедергінің азаюына, яғни токтың азаюына әкеледі. Бірақ токтың азаю қарқыны ротор тізбегіне тек активті кедергі қосылған жағдайда қарағанда төмен.

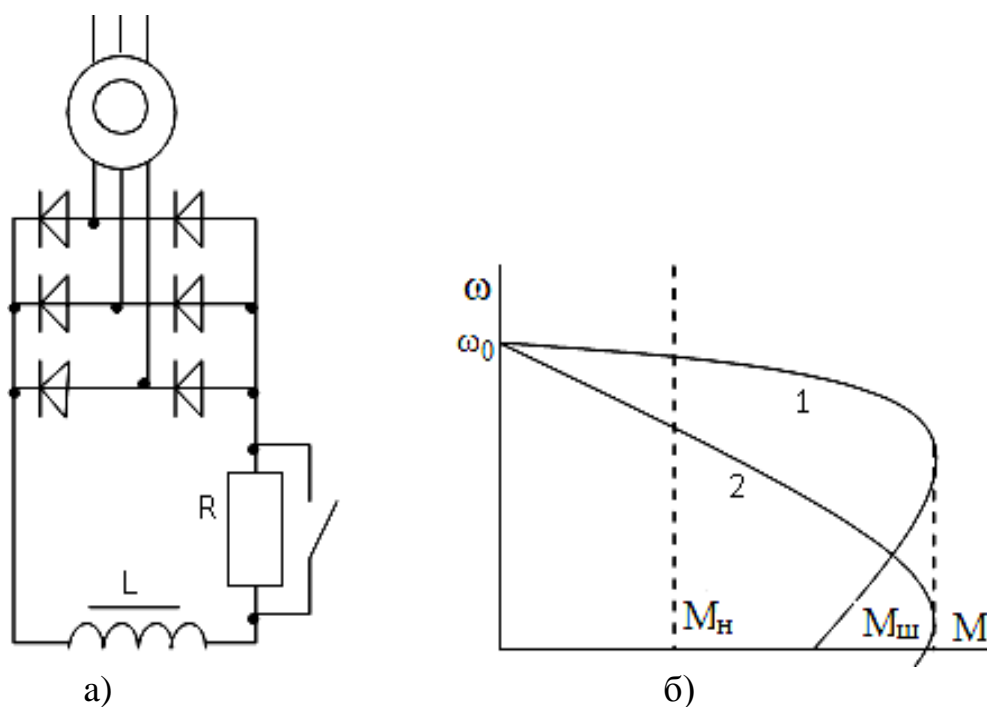
Активті кедергі мен индуктивті кедергінің өзара қатынасын өзгерту арқылы жүргізіп жіберу сәті кезіне қатысты жасанды механикалық сипаттаманы қозғалтқыштың тұрақты дерлік моменті жағдайында жақсарту қамтамасыз етіледі (4.15 сурет).



4.15 сурет - Фазалы роторлы АҚ-тың табиғи сипаттамаларын қосымша активті және индуктивті кедергілерді бірізді (а) және параллель (б) қосылған жағдайларда алынған электрмеханикалық және механикалық сипаттамаларымен салыстыру

Асинхрондық қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығын импульстік, параметрлік реттеу. 4.16,а,б суреттерде жылдамдықты реттеу үшін импульстік параметрлік тәсіл қолданылған фазалық роторлы АҚ-ты іске қосу сұлбасы және бұл тәсіл кезіндегі механикалық сипаттамалар көрсетілген.

Бұл жағдайда қуаттың қосымша шығындары қозғалтқыштың сыртында бөлінеді. Тегістегіш реакторы бар ротор тізбегіне кедергі R түзеткіш арқылы қосылады. Резистор тізбекке кілт (контактылық немесе тиристорлық) арқылы периодты түрде қосылады және одан ажыратылады.



4.16 сурет –Фазалы роторлы АҚ-тың айналу жиілігін параметрлік импульстік реттеудің сұлбасы (а) және механикалық сипаттамалары (б)

Қозғалтқыш кілт тұйықталған кезде (4.16,а сурет) жоғарғы сипаттама (4.16,б сурет, 1 сызық) бойынша, ал кілт тұйықталмаған жағдайда реостаттық сипаттама (4.16,б сурет, 2 сызық) бойынша жұмыс жасайды. Реттеудің жұмыстық алаңы екі шеткі сипаттаманың арасында болады.

Кедергіні импульстік реттеу кезіндегі энергетикалық көрсеткіштер оны сатылы реттеген жағдаймен салыстырғанда біршама төмен. Бұл түзетілген шығынды көбейтетін токтың пульсациясымен (толқуымен) және тізбекте токтың пішінін бұрмалайтын тиристордың болуымен түсіндіріледі. Токтың пішінінің бұрмалануы қосымша шығынның пайда болуына себеп болады.

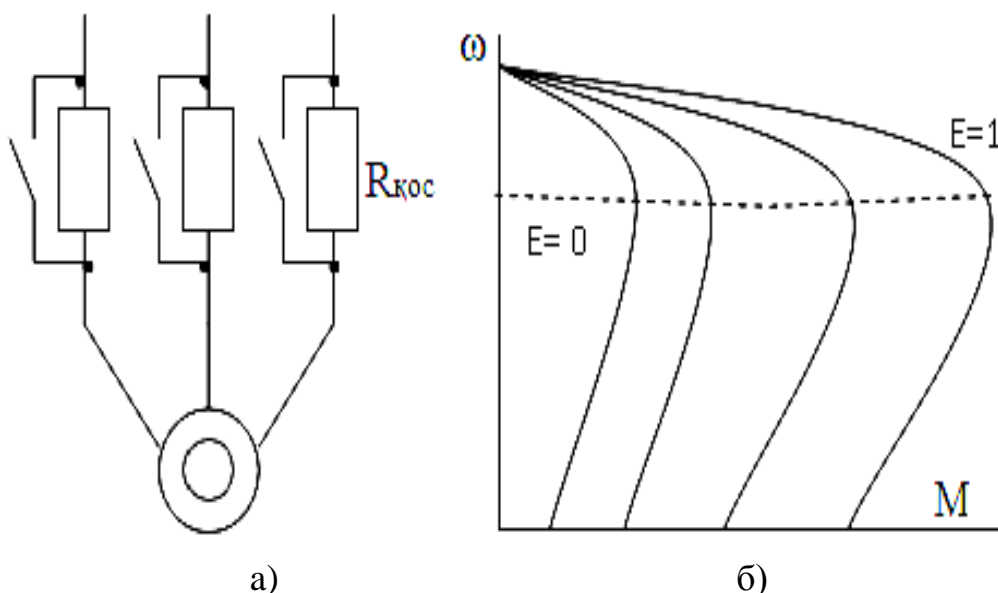
Бұл тәсіл айтарлықтай қарапайым және арзан техникалық құралдармен жүзеге асырылады және бұрыштық жылдамдықты кең диапазонда реттейді.

Статор тізбегіне қосымша кедергілер қосу арқылы реттеу тәсілі қысқа тұйықталған роторлы қозғалтқыштың өтпелі үрдістер кезіндегі тогы мен моментін шектеу үшін қолданылады.

Жасанды сипаттамалар жылдамдықты реттеуге жарамайды, өйткені реттеу диапазоны үлкен емес, артық жүктелу қабілеті мен сипаттаманың қатандығы және үнемділігі төмен (4.17,б сурет). Бұл сипаттамалар АҚ-тың жылдамдығын қоректендіруші кернеуді өзгерту арқылы реттеу кезінде алынатын сипаттамаларымен ұқсас болады.

Бұл тәсіл лифтілердің екі жылдамдықты АҚ бар электрлік жетектерінде қолданылады. Жоғары жылдамдықтан төменгі жылдамдыққа ауысу кезінде статордың төменгі жылдамдықтық орамасының тізбегіне ток пен моментті шектеу үшін қосымша резисторлар қосады.

Бұл тәсіл статор тізбегіне әртүрлі мәнді активті кедергілерді сатылы түрде қосу арқылы немесе кілтпен шунтталған кедергілерді импульстік (параметрлік) түрде қосу арқылы жүзеге асырылады (4.17,а сурет).



4.17 сурет – Қысқаша тұйықталған роторлы АҚ-тың айналу жиілігін параметрлік реттеудің сұлбасы (а) және механикалық сипаттамалары (б)

$E=1$ болғанда (контактілер тұйықталған) қозғалтқыштың жұмысы табиғи сипаттама бойынша жүреді, мұндағы E – қосылудың салыстырмалы мәні. $E=0$ болғанда жұмыс резистор қосылған (кілт тұйықталмаған) жағдайда өтеді.

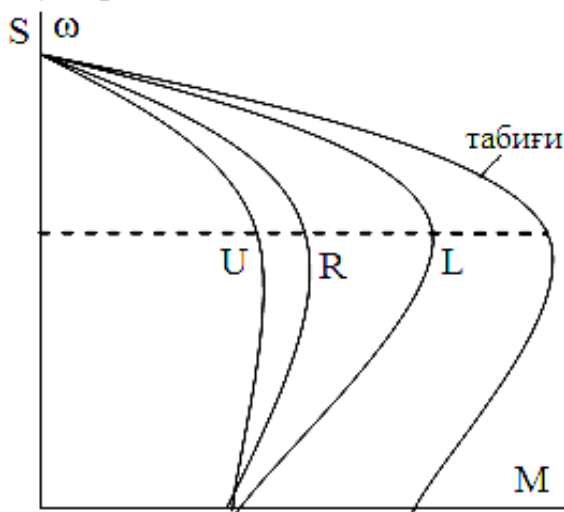
$0 < E < 1$ – жұмыс жасанды сипаттамалар бойынша жүреді.

Статор тізбегіне жүргізіп жіберу тогы мен моментін шектеу үшін индуктивті кедергі де қосылуы мүмкін (4.18 сурет).

Бұл жағдайда артық жүктелу қабілеті жақсарады (максимал момент көбеюіне байланысты).

Статор тізбегіне қосылатын реттеуші резисторларды есептеу. Статор тізбегінің үш фазасына қосылған активті кедергілер жүргізіп жіберу тогының тапсырмалық еселігін $\alpha = I_{1\text{ж.ж}}/I_{1\text{ж.т}}$ (мұндағы $I_{1\text{ж.ж}}$, $I_{1\text{ж.т}}$ – қосымша

кедергілер қосылған кездегі және олар қосылмаған кездегі жүргізіп жіберу токтары), максимал моментті $\mu = M_{ж.ж.} / M_{ж.т.}$ (мұндағы $M_{ж.ж.}$, $M_{ж.т.}$ – қосымша кедергілер қосылған кездегі және олар қосылмаған кездегі жүргізіп жіберу моменттері) қамтамасыз ету керек.



4.18 сурет – Өртүрлі реттеу тәсілдері кезіндегі АҚ-тың механикалық сипаттамалары

АҚ жүргізіп жіберу моментіне сәйкес келетін қысқаша тұйықталудың толық кешендік кедергісі:

$$Z_k = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{3I_{1ж.т}}}, \quad (4.13)$$

активті кедергісі r_k және реактивтік кедергісі X_k деген ұғым ендіреміз:

$$r_k = Z_k \cos \varphi_{ж}; \quad (4.14)$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}, \quad (4.15)$$

мұндағы $\cos \varphi_{ж}$ – жүргізіп жіберу сәтіндегі қуат коэффициенті.

Жүргізіп жіберу моменті мен тогының тапсырмалық еселігін алу үшін қажет қосымша резистордың мәні:

$$R_{1\kappa} = \sqrt{\left(\frac{Z_k}{\alpha}\right)^2 - X_k^2} - r_k; \quad (4.16)$$

$$R_{1\kappa} = \sqrt{\left(\frac{Z_k}{\mu}\right)^2 - X_k^2} - r_k. \quad (4.17)$$

Негізгі қиындық - $\cos\varphi_{ж} = \cos\varphi_{кт}$ анықтау. Ол үшін анықтамаларды, каталогтарды қарау керек. 4А сериялы қозғалтқыштар үшін жуықтап $\cos\varphi_{ж} = 0,3 \dots 0,5$.

Ротор тізбегіне қосылатын реттеуші резисторларды есептеу. Әдетте тізбекке қосқанда тапсырмалық жасанды сипаттаманы алуға немесе белгілі бір нүктеден (айталық, координаталары $\omega_{ж}$, $M_{ж}$) өтетін жасанды сипаттама алуға мүмкіндік беретін $R_{2кос}$ кедергінің мәнін анықтау керек. Бұл жағдайда табиғи механикалық сипаттама алдын ала белгілі, ал қажетті жасанды сипаттама жүргізіп жіберу немесе жылдамдақты реттеу шарттарына сәйкес тапсырма түрінде беріледі (4.19 сурет).

Табиғи сипаттамада $M_{ж}$ және $S_{ж}$ сәйкес келетін S_T белгілі болған жағдайда ізделінетін кедергі мына өрнек бойынша анықталады:

$$R_{2кос} = R_p \left(\frac{S_{ж}}{S_T} - 1 \right), \quad (4.18)$$

мұндағы R_p – ротор орамасының кедергісі, ол құжаттық деректер бойынша жуықтап табуға болады:

$$R_p = \frac{E_{2к} S_H}{(\sqrt{3} I_{2н})}, \quad (4.19)$$

мұндағы $E_{2к} - S = 1$ болғанда ротордың ЭҚК;

$I_{2н}$ – ротордың номинал тогы.

Егер жасанды сипаттаманың жұмыстық бөлігі берілсе, онда кесінділер тәсілін қолдануға болады. Бұл тәсіл тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштың жүргізіп жіберу резисторларын есептеу кезінде толық қарастырылған (4.19 сурет).

Ізделінетін резистордың кедергісі:

$$R_{2кос} = R_{2н} \frac{bc}{ad}, \quad (4.20)$$

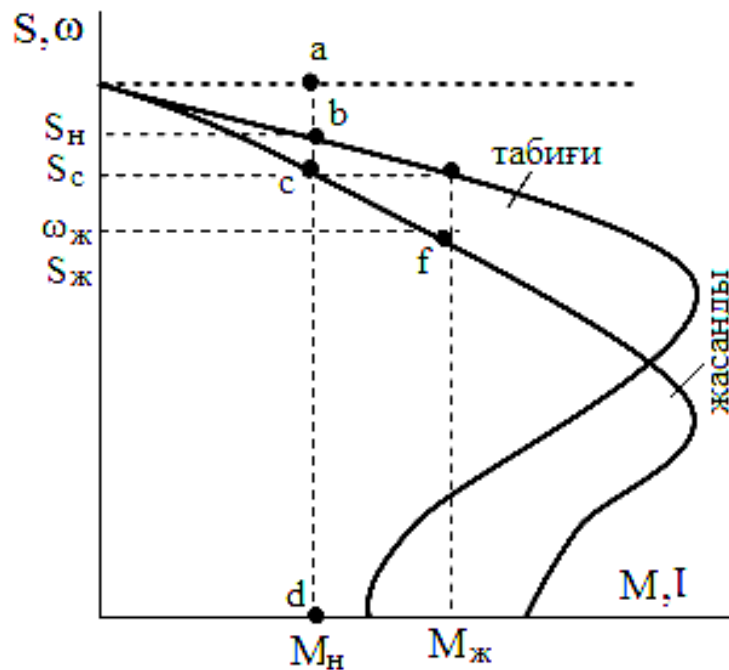
мұндағы $R_{2н}$ – АҚ номинал кедергісі,

$$R_{2н} = \frac{E_{2к}}{(\sqrt{3} I_{2н})}. \quad (4.21)$$

Қажет болған жағдайда кесінділер тәсілінің көмегімен табиғи сипаттамадан ротор орамасының фазалық кедергісін анықтауға болады:

$$R_p = R_{2H} \left(\frac{ab}{ad} \right).$$

(4.22)



4.19 сурет – АҚ-тың ротор тізбегіндегі активті кедергілерді есептеу

Фазалық роторлы АҚ-тың жүргізіп жіберу диаграммасын тұрғызу тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштың жүргізіп жіберу диаграммасын тұрғызу сияқты жүргізіледі

4.6 Асинхронды қозғалтқыштардың тежеу режимдері

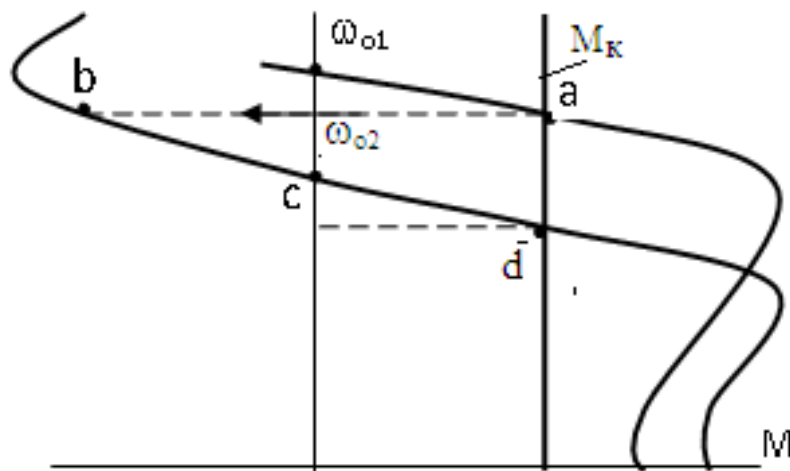
Генераторлық тежеу режимі кезінде ротор ω_0 үлкен жылдамдықпен айналады, бұл кезде АҚ желімен параллель жұмыс істейді. Бұл режимнің механикалық сипаттамасы екінші квадрантта орналасады (4.20 сурет).



4.20 сурет - АҚ-тың қозғалтқыштық және генераторлық режимдері кезіндегі механикалық сипаттамалары

$\omega > \omega_0$ болғанда АҚ генераторлық режимде жұмыс жасайды және энергияны желіге беріледі. Бұл жағдайда ол қоздыру үшін реактивті қуат тұтынады.

Мысал ретінде полюс саны өзгертін АҚ келтіруге болады. Егер жоғары жылдамдықта ω (a нүктесі) жұмыс жасайтын статор орамасын төменгі жылдамдыққа ω_{02} ауыстырсақ, онда жылдамдық ω_{02} үлкен болғандықтан қозғалтқыш генераторлық тежеу режиміне көшеді (bc кесіндісі). Жылдамдық ω_{02} (идеал бос жүріс жылдамдығы) төмен болған кезде ($\omega < \omega_{02}$) АҚ қозғалтқыштық режимде төменгі жылдамдықпен (d нүктесі) жұмыс жасайды (4.21 сурет).



4.21 сурет - Полюс саны өзгертін АҚ-тың генераторлық режимін жүзеге асыру

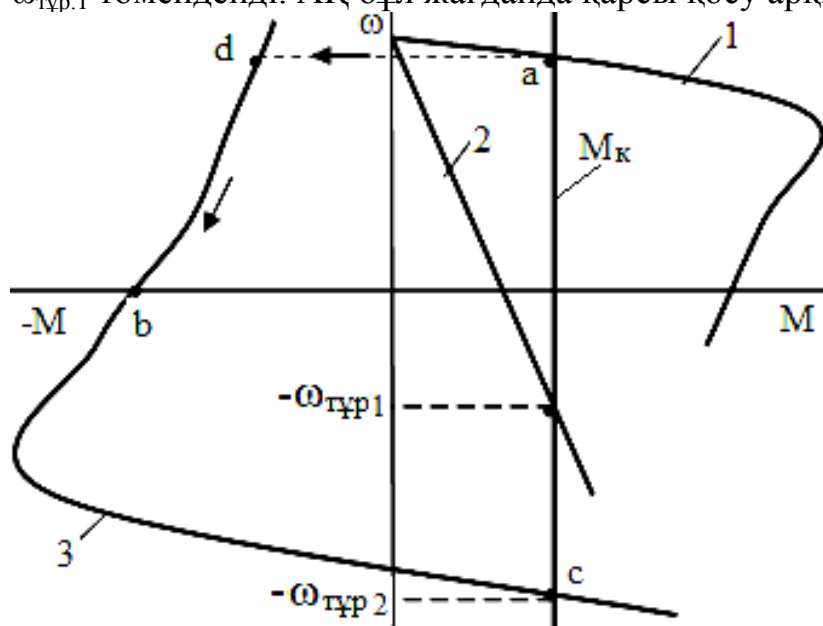
Келесі мысал ретінде тежеумен жүкті төмен түсіруді айтуға болады. Қозғалтқышты жүкті төмен түсіру бағытында (4.22 суреттегі 3 сипаттамасы) іске қосады, оның айналу жылдамдығы кедергілік моменттің M_k әрекеті нәтижесінде $-\omega_0$ ден $\omega_{\text{түр.2}}$ дейін (c нүктесі) артады.

Бұл тежеу тәсілі тиімді тәсіл ретінде саналады.

Қарсы қосу арқылы тежеу қоректендіруші кернеудің фазаларының кезектесуін өзгерту арқылы жүзеге асырылады (4.22 сурет). АҚ 1 сипаттама бойынша (a нүктесі) жұмыс жасасын делік. Фазаны ауыстырғанда d нүктесіне ауысады (db – жылдамдық $\omega=0$ дейін төмендейтін участок), b нүктесінде қозғалтқышты желіден ажырату керек.

Қарсы қосу арқылы тежеудің келесі нұсқасы жүктеменің моменті M_k активті сипатта болғанда орын алады. Айталық, жүкті төмен түсіру АҚ көмегімен тежеу арқылы орындалу керек. Бұл үшін АҚ ротор тізбегіне мәні үлкен қосымша кедергі (жүкті көтеру режиміндегі сияқты) қосылады (2 сипаттама).

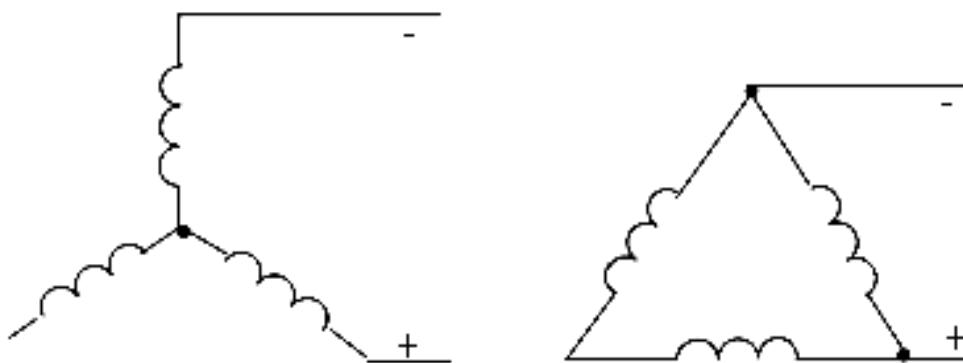
Жүктеменің активті сипаттағы моменті M_k қозғалтқыштың жүргізіп жіберу моментінен $M_{ж}$ артып кетуінің нәтижесінде жүк тұрақты жылдамдықпен $-\omega_{тұр.1}$ төмендейді. АҚ бұл жағдайда қарсы қосу арқылы тежеу



4.22 сурет - АҚ- тың тежеу режимдерін жүзеге асыруға мысалдар

режимінде жұмыс жасайды.

Динамикалық тежеу үшін статор орамасын желіден ажыратады, онан кейін тұрақты ток көзіне қосады. Бұл жағдайда тежеу моментін тудыратын кеңістікте қозғалмайтын магнит өрісі пайда болады (4.23 сурет).



4.23 сурет - АҚ- тың динамикалық тежеу кезінде оның статорының орамаларын тұрақты ток көзіне қосу сұлбасы

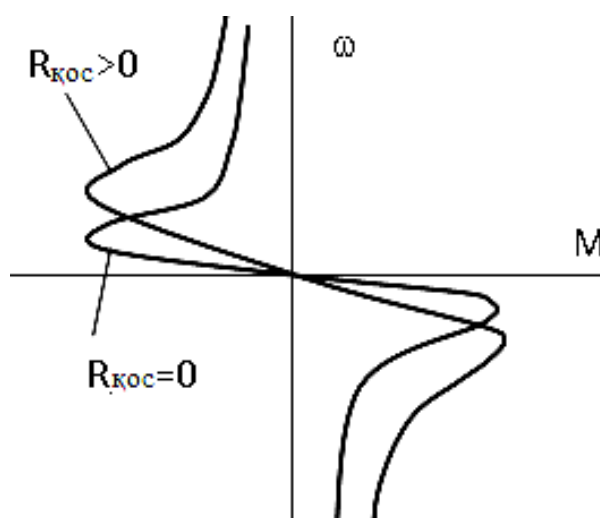
Статор орамасын тұрақты ток көзіне қосқан кезде оның тек омдық кедергісі ғана болатындықтан кернеуі төмен (аз) энергия көзін қолданған жөн.

Қозғалтқыш айнымалы ток желісіне тәуелсіз генератор режимінде жұмыс жасайды, яғни электрлік жетектің айналатын бөліктерінің

механикалық энергиясын электр энергиясына түрлендіреді. Бұл энергия ротор тізбегінде жылу түрінде айналаға тарайды.

Статор және ротор тізбегіндегі кедергілердің мәндерін әртүрлі қатынаста өзгерте отырып, тежеу моменттері әртүрлі жасанды сипаттамалар алуға болады (4.24 сурет).

Өздігінен қозу кезіндегі тежеуді (конденсаторлық тежеу) жүзеге асыру үшін статор орамасын желіден ажыратады, онан кейін оған конденсаторлар қосады. Бұл тәсіл желіден ажыратқаннан кейін электромагниттік өріс бірден жоғалмайтындығына, ол үшін біраз уақыт қажеттігіне негізделген. Бұл өрістің энергиясы арқылы оның өздігінен қозуын, $\omega > (0,3 \dots 0,5)\omega_0$ болған кезде тежеу моментінің пайда болуын қамтамасыз етуге болады.



4.24 сурет - АҚ-тың динамикалық тежеу кезіндегі механикалық сипаттамалары

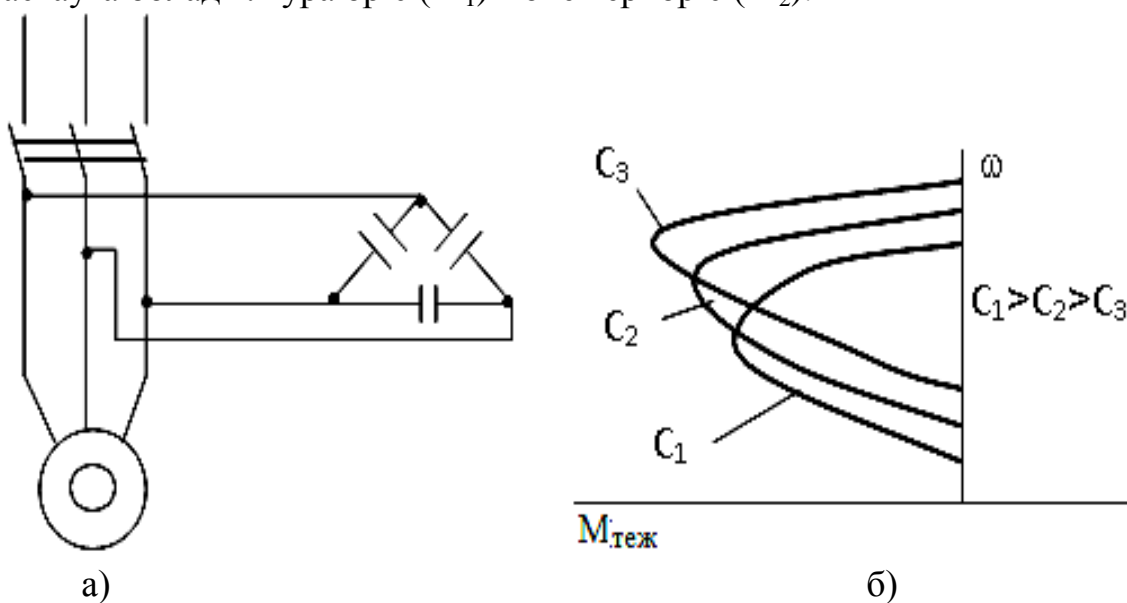
Айналу жиілігі аз болғанда сыйымдылығы үлкен конденсаторлар керек болады.

Алдын-ала өзара «жұлдызша» немесе «үшбұрыш» сұлбасы бойынша жалғанған конденсаторлар статорға тұрақты түрде немесе қосымша контактор арқылы қосылуы мүмкін (4.25 сурет). Бұл тәсілдің артықшылығы – тежеу үшін сыртқы энергия көзінің қажет еместігі. Көп жағдайда апаттық тежеу үшін қолданылады.

Қозғалтқышты желіден ажыратып, онан кейін оның орамасының ұштарын қысқаша тұйықтау арқылы тежеуді жүзеге асыруға болады. Бұл тәсілдің ерекшелігі тежеу үрдісінің тез өтуі, бірақ тежеу моменті айтарлықтай үлкен болады.

Асинхронды қозғалтқыштың симметриялы емес режимдер кезіндегі механикалық сипаттамалары. Жасанды сипаттамалар алу үшін кейде АҚ-қа симметриялы емес кернеу береді немесе ротор тізбегіне симметриялы емес кедергілер қосады.

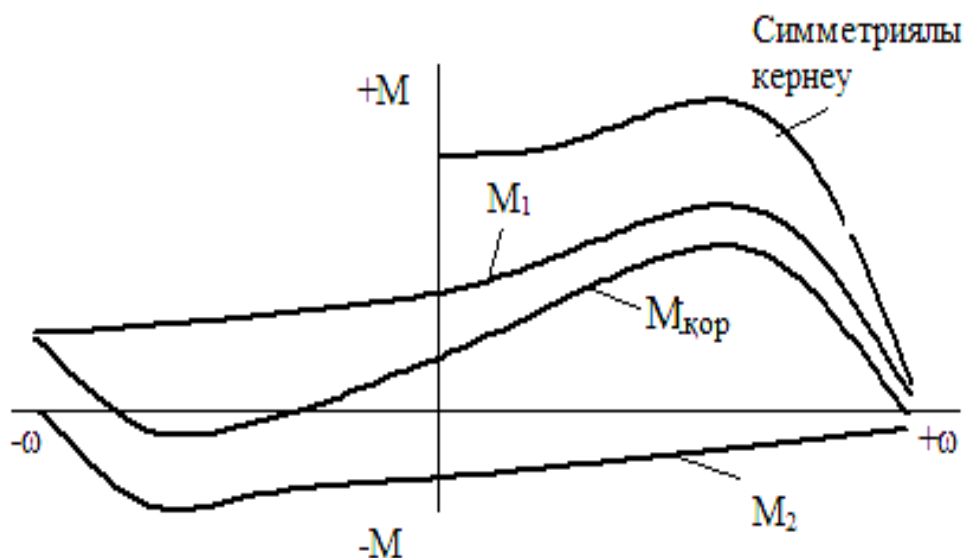
Симметриялы емес кернеу кезінде статордың айналмалы магнит өрісі эллипс (шеңбер емес) пішінде болады. Эллипстік өрісті екі шеңберлік өріспен айырбастауға болады: тура өріс (M_1) және кері өріс (M_2).



4.25 сурет - АҚ-тың конденсаторлық тежеу кезіндегі электрлік сұлбасы (а) және механикалық сипаттамалары (б)

Тура магнит өрісі қозғаушы (айналдырушы) момент, ал кері магнит өрісі тежеуші момент тудырады.

Қорытынды момент $M_{\Sigma} = M_1 + M_2$, бұл айналу жиілігін реттеуге мүмкіндік береді (4.26 сурет).



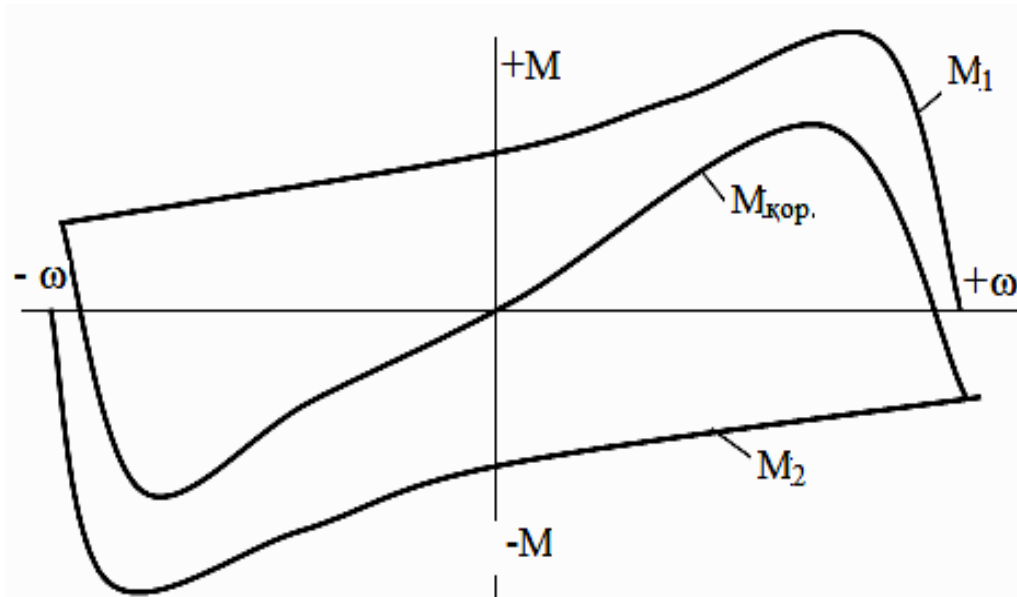
4.26 сурет - Қоректендіргіш желінің симметриялы емес және симметриялы режимдері кезіндегі АҚ-тың механикалық сипаттамалары

АҚ-ты желіге бірфазалық қосу - толық емес фазалық режимнің ең айқын көрінісі (4.27 сурет).

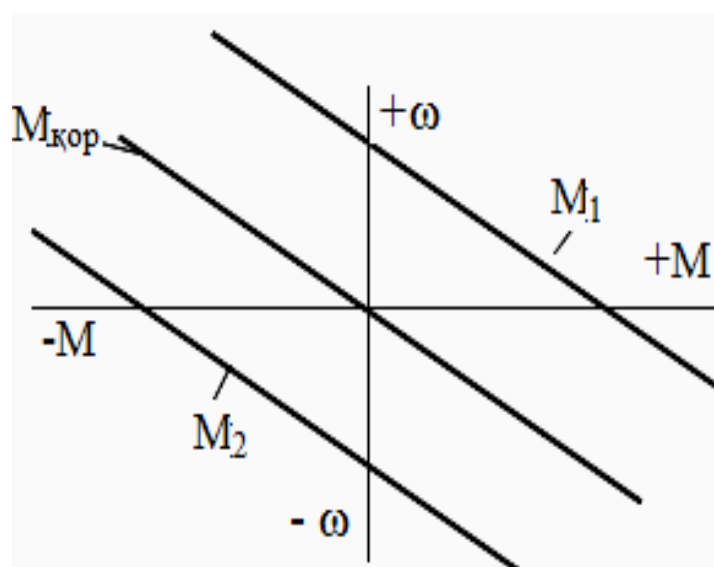
Егер АҚ-қа симметриялы емес кернеу берілсе және ротор тізбегіне мәні үлкен кедергілер қосылса, онда қорытынды механикалық сипаттама тежеулік сипатта болады.

Фазалық роторлы АҚ-ты желіге бірфазалық қосу кезінде M_1 және M_2 симметриялы, ал $M_{кор}$ координаталар басынан өтеді (4.28 сурет).

Фазалық роторлы АҚ-ты тежеудің бұл тәсілі жүкті тежеу арқылы төменгі жылдамдықпен түсіру үшін қолданады. Бұл тәсілдің қарсы қосу арқылы тежеумен салыстырғанда жұмыс істеу сенімділігі жоғары, өйткені өздігінен пайда болатын реверстің болу мүмкіндігі болмайды.



4.27 сурет - АҚ-тың желіге бірфазалы қосылған кездегі механикалық сипаттамалары (жүргізіп жіберу моменті болмаған кезде)

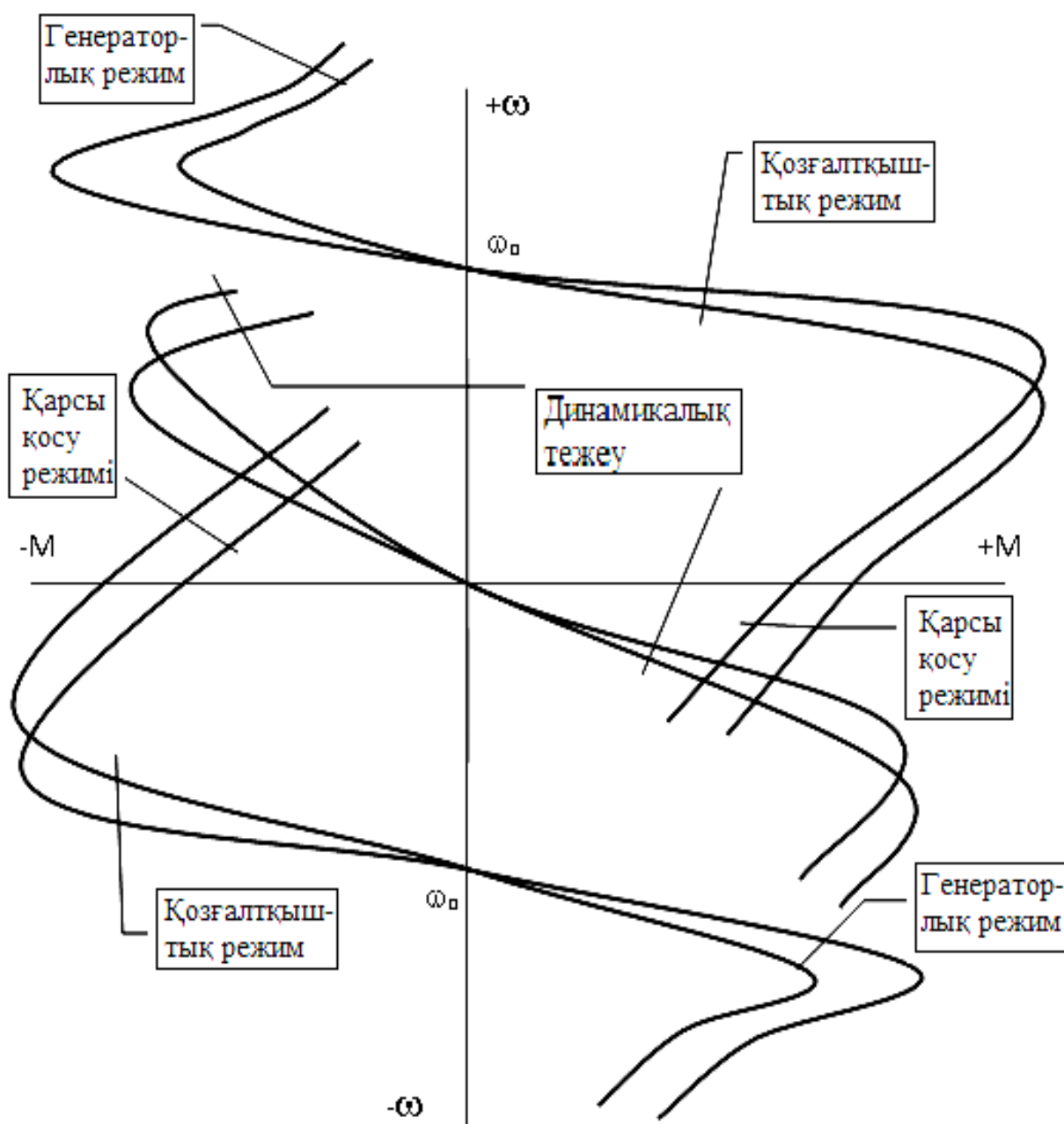


4.28 сурет - Фазалы роторлы АҚ-тың бірфазалы қосылған кезде және

ротор тізбегіне кедергі қосылған кездегі механикалық сипаттамалары

Ротор тізбегіне симметриялы емес кедергілер қосқан кезде оның орамаларындағы токтар теңдестігі бұзылады, ротор симметриялы емес айналмалы магнит өрісін тудырады, яғни статор тізбегіне симметриялы емес кернеу берілген жағдайдағы көрініс қайталаынады.

4.29 суретте барлық тежеу режимдері кезіндегі механикалық сипаттамалар келтірілген.



4.29 сурет - АҚ-тың барлық тежеу режимдері кезіндегі механикалық сипаттамалары

4.7 Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары

Бір фазалы асинхронды қозғалтқыштар тұрмыста жиі қолданылады, бұл бір фазалы айнымалы ток желісінің кең тарауымен байланысты. Бір фазалы АҚ әдетте шағын қуатты болып келеді және кір жуғыш машиналарда, тоназытқыштарда, шаңсорғыштарда, тұрмыстық инструменттерде және т.б. құрылғыларда қолданады.

Бір фазалы АҚ бір түрі - автоматты басқару жүйелерінде қолданылатын әртүрлі орындаушы қозғалтқыштар, олар жылдамдықтары кең диапазонда реттелу мүмкіндігімен ерекшеленеді.

Өнеркәсіп шығаратын бір фазалы АҚ-тардың түрлері:

а) АИРЕ: (18 Вт...400 Вт), $U=127$ В; 220 В; 380 В; $n_{ном}=1370$ мин⁻¹ ...2900 мин⁻¹;

б) ДАК: (P=10 Вт...400 Вт); тұрмыстық аспаптар, электрлік инструменттер;

в) УАД: (1 Вт...70 Вт);

г) ДАО, желдеткіштік жүктемеге арналған электрлік жетектер.

Бір фазалы АҚ техникалық көрсеткіштері үш фазалы қозғалтқыштардың көрсеткіштеріне қарағанда біршама нашар, бір фазалы АҚ-тың қуаты өлшемдері (габарит) сондай үш фазалы қозғалтқыштың қуатының 70% құрайды. Сонымен қатар, бір фазалы АҚ-тардың артық жүктелу қабілеті төмен.

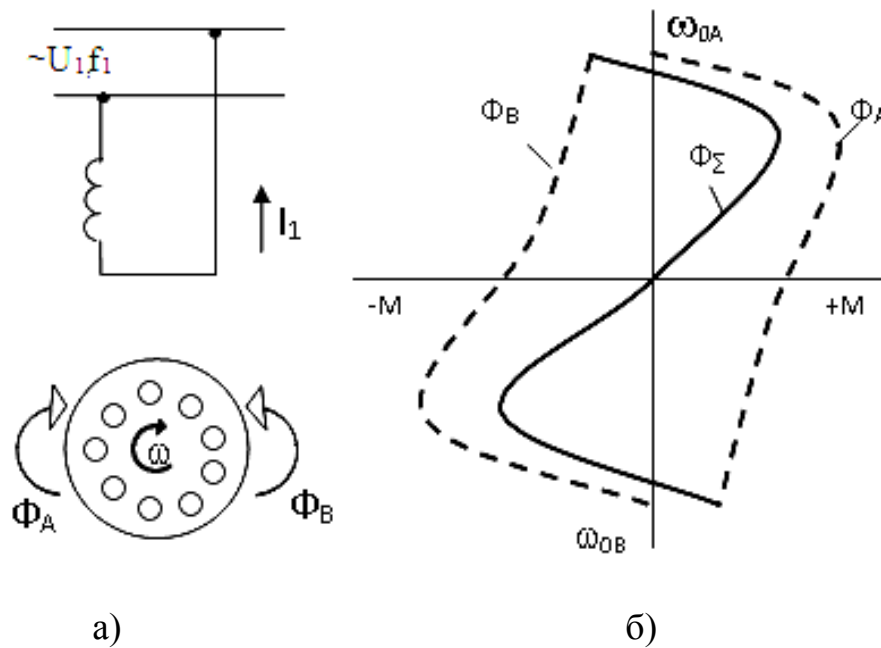
Бір фазалы АҚ статорында екі орама болады: негізгі (жұмыстық) және жүргізіп жіберу орамалары. Бір фазалы АҚ роторы қысқа тұйықталған, ақтиндік тор тәрізді. Іске қосу сұлбасы 4.30 суретте келтірілген бір фазалы АҚ-тың жүргізіп жіберу орамасы ажыратылған кездегі жұмыс режимін қарастырайық. Қозғалтқыштың жұмыстық орамасы бір фазалы айнымалы ток желісіне (U_1, f_1) қосылады (4.30 сурет). Бір фазалы ток толқымалы магнит өрісін тудырады, оны екі өріске (Φ_A, Φ_B) жіктеуге бөлуге болады. Олардың амплитудалары әртүрлі және бірдей жиілікпен ($\omega_0=2\pi f/p$) қарама-қарсы бағытта айналады.

$\omega=0$ болғанда $\Phi_\Sigma=0$, $M_{жж}=0$, яғни қозғалтқыш білікте жүктеме болмаған кезде де қозғалмайды.

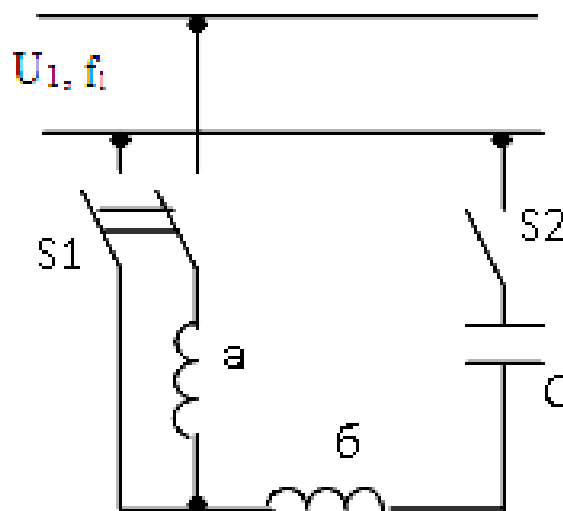
Сол себепті де бір фазалы АҚ жүргізіп жіберу үшін қосымша жүргізіп жіберу орамасы қолданылады. Бұл орама қозғалтқышты желіге қосқанда айналмалы магнит өрісін алуға, сол арқылы белгілі бір жүргізіп жіберу момент алуға мүмкіндік береді (4.31 сурет).

Жүргізіп жіберу реті мынадай. Алдымен екі контактор (S_1, S_2) тұйықталады, белгілі бір жылдамдықта контактор S_2 жүргізіп жіберу орамасын желіден ажыратады. Қозғалтқыштың статорына жүргізіп жіберу орамасын орналастырады, оның өсі жұмыстық орамасының өсіне байланысты 90° ығысып орналасады. Ал токтардың ығысуы олардың тізбегіне қосымша

фаза ығыстырғыш элементтер (резисторлар, индуктивтілік шарғы, конденсатор) ендіру арқылы жүзеге асырылады. Фаза ығыстырғыш элемент



4.30 сурет – Бірфазалы АҚ-ты желіге қосу сұлбасы және оның тек жұмыстық орама қосылған кездегі механикалық сипаттамалары

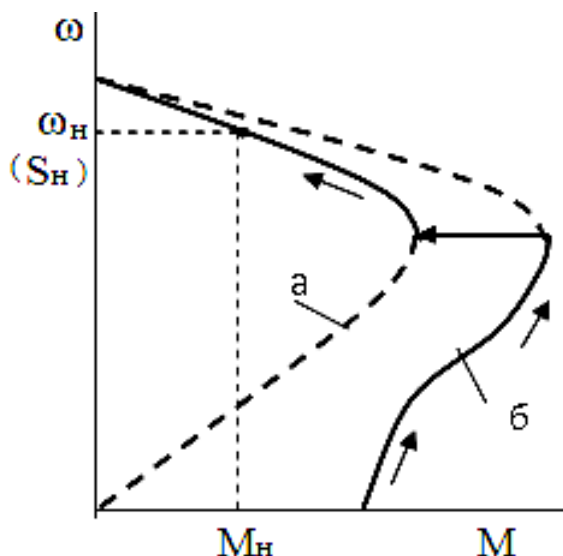


4.31 сурет – Фаза ығыстырғыш конденсаторы бар бірфазалы АҚ-ты желіге қосу сұлбасы

ретінде конденсатор қолданылған жағдайда қозғалтқыш біршама жақсарған сипаттамаға ие болады.

4.32 суретте жұмыстық және жүргізіп жіберу орамалары бар АҚ-тың механикалық сипаттамасы көрсетілген. Қозғалтқышты жүргізіп жіберу екі

орамада іске қосылған жағдайға сәйкес келетін сипаттама (б) бойынша өтеді, онан кейін жүргізіп жіберу орамасы тізбектен ажыратылады, қозғалтқыш (а) сипаттама бойынша жұмыс жасайды.



4.32 сурет – Жүргізіп жібергіш және жұмыстық орамалары бар бірфазалы АҚ-тың механикалық сипаттамалары

Конденсаторы бар жүргізіп жіберу орамасын жүргізіп жіберу аяқталғаннан кейін тізбектен ажыратпауға болады, ол негізгі жұмыс режиміне де қатыса алады. Мұндай қозғалтқыш конденсаторлық деп аталады және ол конденсаторсыз жүргізіп жіберу орамасы бар АҚ қарағанда айтарлықтай жақсы техникалық көрсеткіштерімен ерекшеленеді.

Бір фазалы АҚ айналу бағытын өзгерту үшін бір ораманың (жүргізіп жіберу немесе жұмыстық ораманың) ұштарын желіге ауыстырып қосу керек.

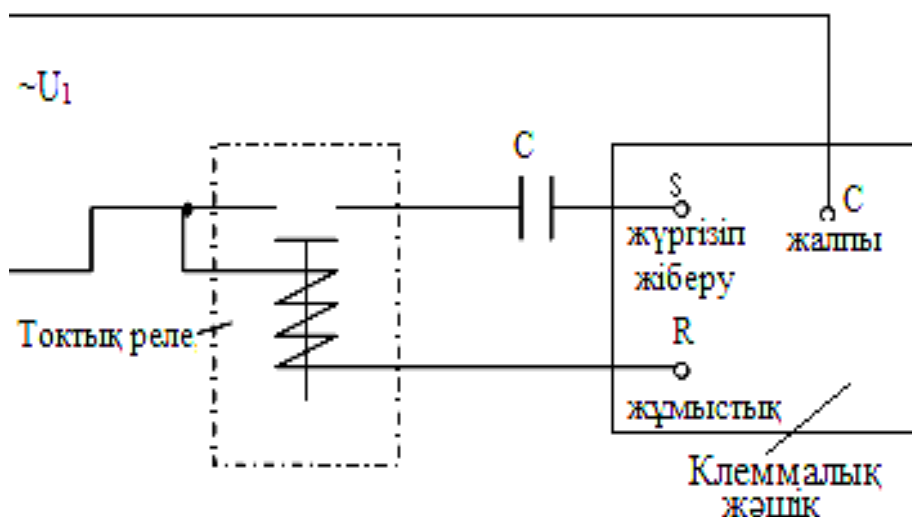
Нақты электрлік жетекте жүргізіп жіберу орамасын ажырату уақыттық реле, токтық реле немесе ортадан тепкіш реттеуіш көмегімен автоматты түрде жүзеге асырылады. Мысалы, тоңазытқыштарда жүргізіп жіберу орамасын ажырату үшін (токтық) реле қолданылады (4.33 сурет).

Жүргізіп жіберу сәті токтың үлкен мәнімен ерекшеленеді, айналу жиілігі номинал айналу жиілігінің 75% жеткенде реле жүргізіп жіберу тізбегін ажыратады.

Бұл сұлбада ең сенімсіз элемент болып токтық реленің контактысы саналады.

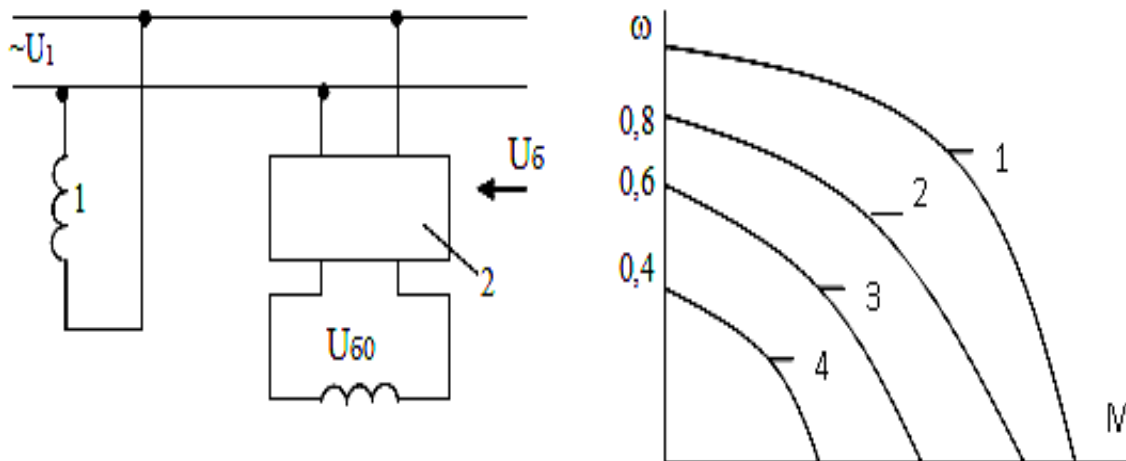
Конденсатордың қажетті сыйымдылығын мына өрнек бойынша анықтайды:

$$C = \frac{2500 \cdot I}{U}, \text{ мкФ.}$$



4.33 сурет – Жүргізіп жібергіш токтық релесі бар бірфазалы АҚ-тың желіге қосылу сұлбасы

Орындаушы қозғалтқыштар бір фазалы АҚ бір түрі болып саналады. Олар екі орамадан (қоздыру орамасы 1 және басқару орамасы 3) және басқару орамасына берілетін кернеудің амплитудасын немесе фазасын (немесе екеуін бірдей) реттейтін басқару блогінен 2 тұрады (4.34 сурет).



4.34 сурет – Орындаушы АҚ-тың іске сұлбалары мен механикалық сипаттамалары

Орындаушы қозғалтқыштарды амплитудалық басқару (басқару кернеуінің мәндері әртүрлі: $U_6 / U_{6,ном} = 1; 0,75; 0,5; 0,25$) кезіндегі механикалық сипаттамалар (1...4) 4.34 суретте көрсетілген. Сипаттамаларды тұрғызу үшін салыстырмалы бірліктер қолданылған. Базалық мәндер үшін жылдамдық пен моменттің номинал мәндері алынған.

4.8 Үшфазалық асинхронды қозғалтқыштың бірфазалық режимде жұмыс істеуі

Бірфазалы және үшфазалы қозғалтқыштардың қуаттарын салыстырайық:

$$\frac{P(1)}{P(3)} = \frac{U_1 I \cos\varphi}{\sqrt{3} U_1 I \cos\varphi} \approx \frac{1}{2}$$

Үшфазалы қозғалтқыштардың қарастырылмаған бірфазалы режимі кезінде біліктегі қуат жуықтап 2 есе кем болады.

$M_k / M_n = 2$, $P = M\omega$ және үшфазалық режимнен бірфазалы режимге көшкенде айналу жылдамдығы өзгермейтіндігін екендігін ескерсек, онда:

- егер біліктегі жүктеме номинал жүктемеден асып кетсе, онда АҚ тоқтайды, оның тогы $I_{жж}$ тогына жақын;

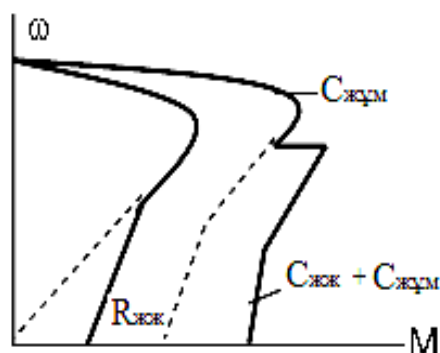
- біліктегі жүктеме номинал жүктеменің 50%...100% құраса, онда АҚ айналуын жалғастыра береді, бірақ ток номинал токтан үлкен болады;

- егер біліктегі жүктеме номинал жүктеменің 50% кем болса, онда АҚ айналады, бірақ ток номинал токтан аспайды.

Нақты электрлік жетектің білігіндегі жүктеме номинал жүктеменің 60%...100% құрайды, сондықтан қарастырылмаған бірфазалы режим (фаза үзілгенде, сақтандырғыш күйіп кеткенде) үшфазалы АҚ үшін апаттық режим болып саналады.

Үшфазалы АҚ-ты бірфазалы режимде айтарлықтай жиі қолданады. Бұл жағдайда біліктегі жүктеме азайтылады және фазанығыстырғыш элементтер $R_{жж}$, $C_{жжм}$, $C_{жжм} + C_{жж}$ қолданылады.

4.35 суретте үшфазалы АҚ-ты бірфазалы режимде жұмыс жасаған кездегі және фазанығыстырғыш элементтердің әртүрлі комбинациясы орын алған кездегі механикалық сипаттамалары көрсетілген.



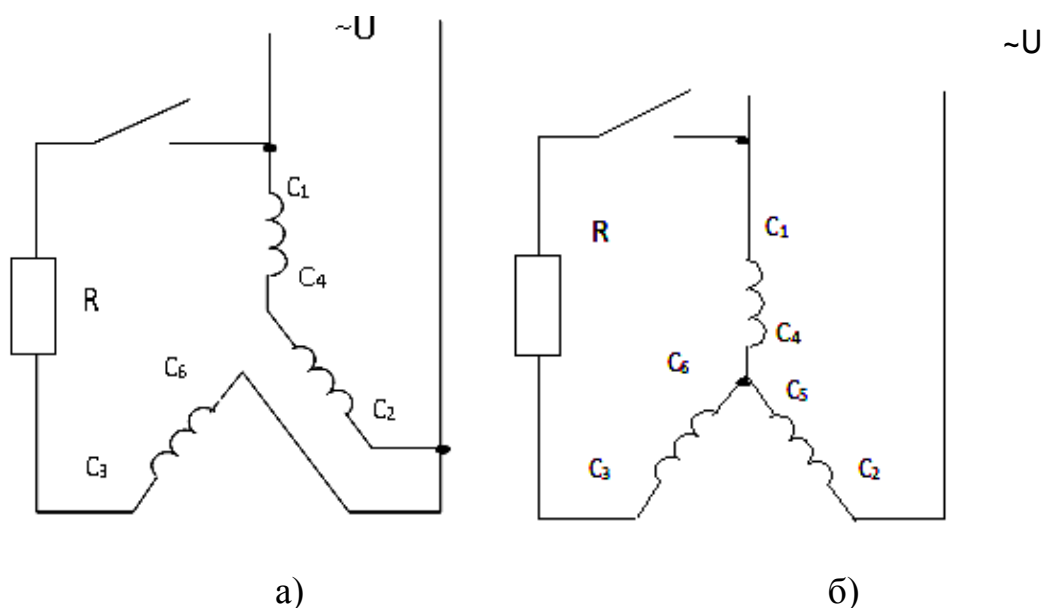
4.35 сурет - Бірфазалы режимде жұмыс жасайтын үшфазалы АҚ-тың механикалық сипаттамалары (фаза ығыстырғыш элементер әртүрлі болған кезде)

Ең үлкен жүргізіп жіберу моменті $C_{жұм}$ және $C_{жж}$ қосылған кезде байқалады.

Егер қозғалтқышты жүргізіп жіберу жүктемесіз жағдайда өтетін болса, онда $C_{жұм}$ болса жеткілікті.

Резистор кірген сұлбалар қарапайымдылығымен, арзандығымен және жұмыс істеу сенімділігімен тиімді. Резистор жасайтын материал ретінде фехраль, нихром, константан сымдар қолданады, оларды фарфордан, асбоцементтен жасалған цилиндрлерге орайды.

Қуаты 7,5 кВт дейін қозғалтқыштар үшін резисторлар қолданған кезде 4.36 суретте көрсетілген сұлбаларды пайдаланған жөн. Бұл жағдай үшін жүргізіп жібергіш резисторлардың мәні 2 кестеде келтірілген.



4.36 сурет - Үшфазалы АҚ-ты бірфазалы режимде фаза ығыстырғыш конденсаторлар көмегімен іске қосылу сұлбалары

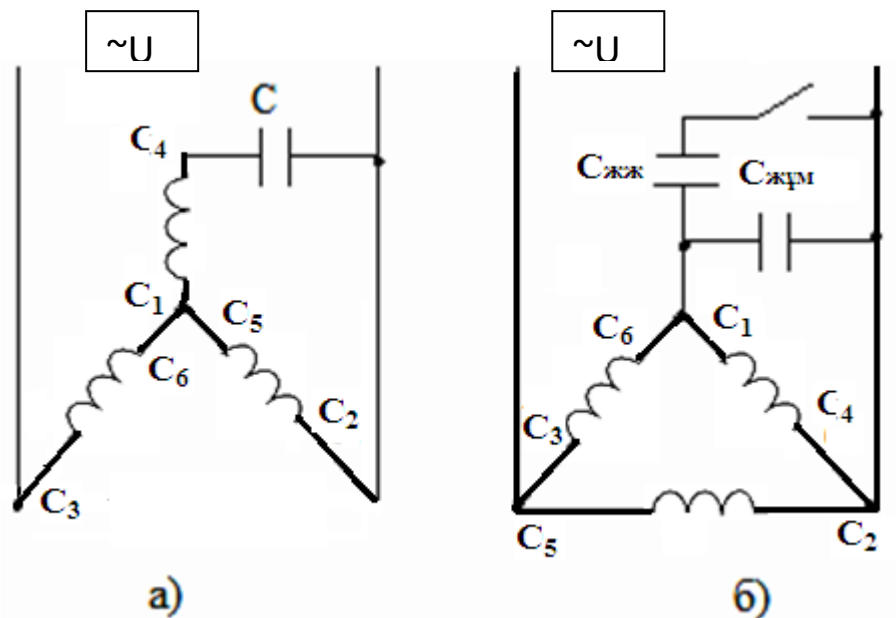
2 кесте - Бірфазалы режимде жұмыс жасайтын АҚ арналған жүргізіп жібергіш кедергілердің мәндері

Қозғалтқыш қуаты, кВт	4.36,а сұлбасы бойынша жүргізіп жібергіш кедергісі, Ом	Қозғалтқыш қуаты, кВт	4.36,б сұлбасы бойынша жүргізіп жібергіш кедергісі, Ом
0,6	25...30	0,6...1,1	8,5...15
1,1	20...25	1,5...2,2	3...6
1,5	10...15	3,0...4,5	1,5...3
2,2...3,0	5...10	5,5...7,5	1...2
4,5...7,5	3...5	7,5...10,0	1...2

Фаза ығыстырғыш конденсаторлары бар қозғалтқыштарды іске қосу сұлбасы 4.37 суретте көрсетілген.

4.37,а суретте көрсетілген сұлба үшін конденсатордың сыйымдылығын 40 мкФ /кВт тең етіп алады.

4.37,б көрсетілген сұлба үшін жұмыстық конденсатордың сыйымдылығын 50 мкФ/кВт тең етіп алады, ал жүргізіп жіберу конденсатордың сыйымдылығы 2 есе үлкен болады.



4.37 сурет – Үшфазалы АҚ-ты бірфазалы режимде фаза ығыстырғыш конденсаторлар көмегімен іске қосылу сұлбалары

Конденсатор ретінде металқағаздық конденсаторлар таңдалады, жұмыстық кернеу $\sqrt{2}U_H$ кем болмау керек.

Барлық жағдайда бірфазалық режим кездегі қуат $P_{(1)} = (0,5 \dots 0,6)P_{(3)}$.

5 Электрлік жетектің энергетикасы

5.1 Электрлік жетектердің тұрақталған және өтпелі режимдері кезіндегі энергия шығындары және оларды азайту тәсілдері

Электрлік жетектерді (ЭЖ) жобалау мен эксплуатациялау кезінде электр энергиясын тұтынуды және оның шығынын, электрлік жетектің желіге және басқадай электр қабылдағыштарға әсерін есепке алуға тура келеді. Бұл факторларды бағалау үшін энергетикалық көрсеткіштер (ПӘК, қуат коэффициенті, қуат және энергия шығыны) қолданады.

Электрлік жетектегі қуат және энергия шығыны электрлік қозғалтқыштағы, механикалық берілістегі, түрлендіргіштегі және басқару жүйелеріндегі шығындардан тұрады. Бірақ электрлік қозғалтқыштағы шығын мөлшерінің көптігіне байланысты негізгі шығын ретінде саналады және оған көп көңіл бөлінеді.

Электрлік жетектерінің тұрақталған және өтпелі режимдері кезіндегі энергия шығыны. Қозғалтқыштағы қуат шығыны ΔP екі құраушыдан – тұрақты (K) және айнымалы (V) құраушылардан тұрады.

$$\Delta P = K + V. \quad (5.1)$$

Тұрақты шығындарға (құраушыға) қозғалтқыштың жүктемесіне тәуелді емес шығындар (магнитөткізгіштің болатындағы шығындар, үйкелістен туындайтын механикалық шығындар, желдеткіштік шығындар) жатады.

Айнымалы шығындарға қозғалтқыштың орамаларымен мәні механикалық жүктемеге тәуелді болатын ток жүргенде бөлінетін шығындар кіреді.

Тұрақты ток қозғалтқыштары үшін:

$$V = I^2 R, \quad (5.2)$$

мұндағы I , R – якорь тізбегіндегі ток пен кедергі.

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш үшін:

$$V = V_1 + V_2 = 3I_1^2 R_1 + 3(I_2')^2 R_2', \quad (5.3)$$

мұндағы V_1, V_2 – статор мен ротор орамаларының тізбегіндегі қуат шығындары.

Номиналдық режимде жұмыс жасаған кезде қуат шығыны:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}}) / \eta_{\text{ном}}. \quad (5.4)$$

Бұл жағдайда қуаттың тұрақты шығындары:

$$K = \Delta P_{\text{НОМ}} - V_{\text{НОМ}} \cdot \quad (5.5)$$

Қозғалтқыштағы $t_{\text{жс}}$ уақыт аралығындағы энергия шығыны:

$$\Delta A = \Delta P t_{\text{жс}}. \quad (5.6)$$

Цикл бойынша өзгертін жүктемемен жұмыс жасағанда толық цикл ішіндегі толық энергия шығыны:

$$\Delta A = \sum_{i=0}^n \Delta P_i t_i, \quad (5.7)$$

мұндағы n – циклдің бөліктерінің саны.

Жүктемесіз ($M_k=0$) өтпелі режим. Жүргізіп жіберу, реверс, тежеу және жылдамдықты өзгерту режимдері кезіндегі қозғалтқыштағы шығындар қомақты, сондықтан энергетикалық көрсеткіштерге әсері де әжептеуір болуы мүмкін. Динамикалық режим негізгі режим болып табылатын электрлік жетектерде (крандар, станоктар, лифтілер және т.б.) шығынды анықтау - аса маңызды мәселе.

ТТҚ якоріндегі және АҚ роторындағы айнымалы шығындар мына өрнек бойынша анықталады:

$$\Delta A_2 = \int_0^{t_{\text{от}}} M(\omega_0 - \omega) dt, \quad (5.8)$$

мұндағы $t_{\text{от}}$ - өтпелі режимнің ұзақтығы.

(5.8) өрнекті түрлендірсек:

$$\Delta A_2 = J\omega_0^2 (S_{\text{бас}}^2 - S_{\text{аяқ}}^2) / 2. \quad (5.9)$$

Бұл өрнек есептеулер үшін өте ыңғайлы.

АҚ-тардағы энергияның толық айнымалы шығындарын ($\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2$) анықтау үшін статор тізбегіндегі шығындарды да есепке алу керек:

$$\Delta A_1 = \Delta A_2 \frac{R_1}{R'_2}. \quad (5.10)$$

Жүктеме бар ($M_k \neq 0$) кездегі өтпелі режим. Бұл жағдайда (8.8) өрнекті пайдалануға болады, бірақ есептеулер үшін $\omega = f(t)$ және $M = f(t)$ тәуелділіктері белгілі болу керек.

Энергетикалық көрсеткіштерді бағалау үшін көп жағдайда энергия шығындарын жеңілдетілген тәсіл бойынша есептейді. Бұл үшін өтпелі режим кезінде қозғалтқыш моменті өзгермейді және ол қандай бір орташа

мәнге тең деп есептейді. (5.8) өрнекті біраз түрлендіргеннен кейін ол мынадай түрге ауысады:

$$\Delta A_{2н} = \frac{M_{ор}}{M_{ор} \pm M_{к}}, \quad (5.11)$$

мұндағы $M_{ор}$ – өтпелі режим кезіндегі өзгермейтін орташа момент;

«+» – тежеуге режиміне сәйкес келеді;

«-» – жүргізіп жіберу режиміне сәйкес келеді.

(5.11) өрнек өтпелі режим кезіндегі ТТҚ якоріндегі және АҚ роторындағы энергия шығындарын анықтайды. Бұл өрнектен қозғалтқыш жүктелген кезде энергия шығыны ол жүктелмеген кездегі шығынға қарағанда жүргізіп жіберу режимі кезінде көбейетінін, ал тежеу режимі кезінде азаятынын көруге болады.

Статордағы шығынды $\Delta A_{1н}$ және АҚ-тағы толық шығынды анықтау үшін (5.10), (5.11) формулаларды қолдануға болады.

Электрлік жетектегі энергия шығынын азайту тәсілдері.

(5.9) өрнектен жүргізіп жіберу және тежеу режимдері кезінде энергия шығынын азайту үшін *жетектің инерциясының келтірілген моменті аз болатындай етіп жұмыстық машинаға қозғалтқыш таңдау керек.* Бұған инерциясының моменті аз, кіші өлшемді (габарит) қозғалтқыштарды (якорі қуыс немесе дискілі) қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

Әрқайсысының қуаты қажетті қуаттың жартысына тең екі қозғалтқышты пайдаланған тиімді. Бұл жағдайда екі қозғалтқыштың инерциясының толық моменті қуаты сондай бір қозғалтқыштың инерциясының моментінен аз (бірдей жылдамдықта) болады.

Электрлік жетектегі энергия шығынын азайтудың келесі тәсілі – идеал бос жүріс жылдамдығын реттеу, бұл жағдай ЭЖ сатылы жүргізіп жіберу арқылы жүзеге асырылады.

Асинхронды қозғалтқыштарда айналу жылдамдығын реттеу қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту немесе полюстер санын өзгерту арқылы, ал тұрақты ток қозғалтқыштарында кернеуді өзгерту арқылы жүзеге асырылады.

Сатылы жүргізіп жіберуді қолданғанда энергия шығыны екі есе азаятындығы байқалады. Өтпелі үрдіс кезінде ω_0 өзгерту арқылы АҚ роторындағы энергия шығыны азайтуға болады. Бұл статордағы энергия шығынын және АҚ толық шығынын азайтады.

ЭЖ-тің инерциясының келтірілген моментін азайтудың тағы бір жолы қозғалтқыш пен жұмыстық машинаның арасындағы беріліс қатынасын i инерция моменті минималды болатындай етіп таңдау керек.

5.2 Электрлік жетектердің пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) және қуат коэффициенті

Жалпы жағдайда электрлік жетек әртүрлі жылдамдықпен, әртүрлі жүктемемен жұмыс жасайды. Бұл жағдайда

$$\eta = \frac{A_{\text{пай}}}{A_{\text{тұт}}} = \frac{A_{\text{пай}}}{(A + \Delta A)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{пай},i} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{пай},i} \cdot t_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i} \quad (5.12)$$

мұндағы $A_{\text{пай}}$, $A_{\text{тұт}}$ – пайдалы және тұтынатын қуат;

ΔA – ЭЖ-дегі энергия шығыны;

$P_{\text{пай},i}$ – ЭЖ-дегі циклдің i бөлігіндегі пайдалы механикалық қуат;

ΔP – ЭЖ-дегі циклдің i бөлігіндегі қуат шығыны;

n – ЭЖ жұмысының бөліктері (учаскелері).

Мұндай ПӘК циклдік немесе орташа ПӘК деп атайды.

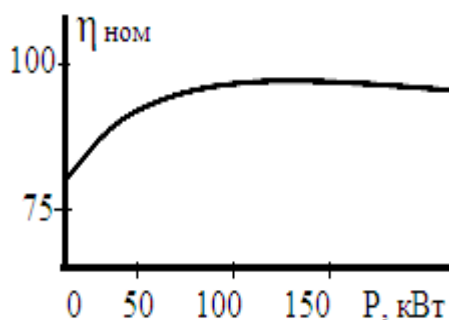
Егер ЭЖ өзгермейтін режимде тұрақты қуатпен жұмыс жасаса, онда:

$$\eta = \frac{P_{\text{пай}}}{P_{\text{пай}} + \Delta P} \quad (5.13)$$

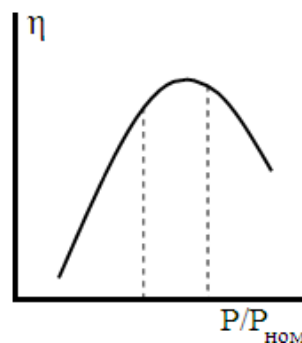
ЭЖ электромеханикалық жүйе болғандықтан оның ПӘК-і түрлендіргіштің, басқарушы құрылғының, электрлік қозғалтқыштың және механикалық берілістің ПӘК-терінің көбейтіндісіне тең: $\eta_{\text{эж}} = \eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{бк}} \cdot \eta_{\text{эк}} \cdot \eta_{\text{мб}}$.

Қозғалтқыштың ПӘК-і негізгі шама болып саналады, оның мәні қуатпен айналу жылдамдығы өскен сайын өседі (5.1 сурет).

ПӘК-і біліктегі пайдалы механикалық қуатқа тәуелді (5.2 сурет).



5.1 сурет - Номинал ПӘК-нің қуатқа тәуелділігі



5.2 сурет - ПӘК-нің жүктеменің еселігіне тәуелділігі

ПӘК-ін жоғарлату тәсілдері:

- бос жүріс уақытын шектеу;
- қозғалтқышты номинал жүктемемен немесе оған жуық жүктемемен жұмыс істету;
- жоғары жиілікті қозғалтқыштарды таңдау.

Электрлік жетектің қуат коэффициенті. Айнымалы ток желісіне қосылған қозғалтқыш активті P және реактивті Q энергияны тұтынады. Активті энергия электрлік жетектің пайдалы жұмыс жасауына және ондағы шығындарды өтеуге жұмсалса, реактивті қуат қозғалтқышта электромагниттік өріс тудыруға жұмсалады және тікелей пайдалы жұмыс жасамайды.

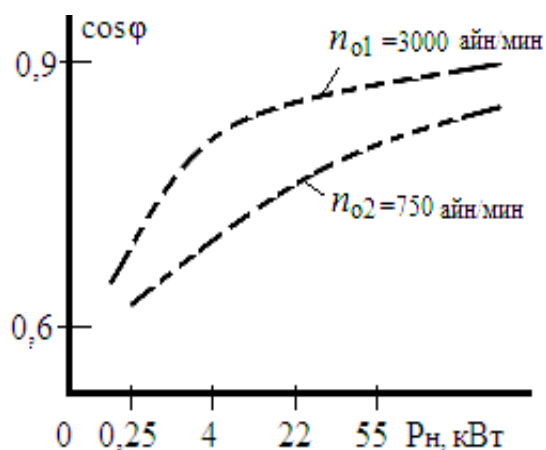
Электрлік жетектің қуат коэффициенті:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (5.14)$$

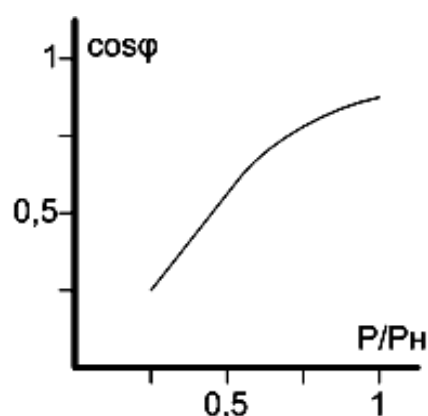
мұндағы S – толық қуат.

Егер Q тұтынылмаса, онда $\cos\varphi=1$. Q тұтынылған жағдайда ЭЖ электрмен қамтамасыз ету жүйесін қосымша жүктейді, бұл энергияның, кернеудің шығынын тудырады. Сондықтан $\cos\varphi$ мәнін бірге дейін жоғарлатуға тырысады. Көп жағдайда қуат коэффициентін реактивті қуатты статикалық конденсаторлар арқылы компенсациялау арқылы көтереді.

Қуат коэффициентінің мәні қозғалтқыштың қуатына, айналу жиілігіне және оның жүктелу деңгейіне тәуелді болады (5.3 және 5.4 суреттер).



5.3 сурет – Қуат коэффициентінің қозғалтқыштың қуатына және айналу жиілігіне тәуелділігі



5.4 сурет – Қуат коэффициентінің қозғалтқыштың жүктелуіне тәуелділігі

Қуат коэффициентін жоғарлататын негізгі шаралар:

а) табиғи шаралар:

- қозғалтқышты тұтынылатын қуатқа сәйкес таңдау;
- жоғары жылдамдықты қозғалтқыштарды таңдау;
- бос жүріс уақытын шектеу;

б) жасанды шараға статикалық конденсаторлар және синхрондық компенсаторлар қолдану жатады.

6 Электрлік жетектің қозғалтқышының қуатын анықтау

6.1 Электрлік қозғалтқыштың қызуы және суыуы

Электр машиналарында болатын шығындардың бәрі жылуға айналады. Бұл жылудың бір бөлігі машинаның материалдарын қыздыруға кетеді, ал қалған бөлігі қоршаған ауаға тарайды. Машинаның қызуы оның бүкіл көлемінде біркелкі, ал машинаның барлық сыртқы қабырғаларынан жылудың қоршаған ауаға тарауы біркелкі жүреді деп шартты түрде қабылданса, онда машина үшін *жылу теңдестігінің теңдеуі* мына түрде жазылады:

$$qdt = mcdt + S\lambda\tau dt, \quad (6.1)$$

мұндағы $q = \sum P$ - уақыт бірлігі ішінде машинада бөлінетін жылу мөлшері, Дж/с;

$\sum P$ – машинадағы барлық шығын, Вт;

$mcdt$ – машинаның қызуына кететін жылу мөлшері;

m - машинаның массасы;

c - машинаның материалының меншікті жылу сыйымдылығы;

τ - машинаның температурасының қоршаған ауаның температурасынан ауытқуы (асқын қызу температурасы);

$S\lambda\tau$ - машинаның қабырғаларынан уақыт бірлігі ішінде қоршаған ауаға тарайтын жылу мөлшері;

λ – тараудың жылулық коэффициенті, яғни $\tau = 1^\circ\text{C}$, $t = 1$ с болғанда машинаның қабырғаларының ауданының бірлігінен ауаға берілетін жылу мөлшері.

Машина іске қосылған бастапқы кезде, яғни машинаның температурасы қоршаған ауаның температурасымен (θ_1) бірдей болған кезде (ауытқу немесе асқын қызу $\tau = 0$), қоршаған ауаға жылу берілмейді ($S\lambda\tau dt = 0$), ал машинада бөлінетін барлық жылу (шығын) оны қыздыруға жұмсалады. Уақыт өте келе машинаның температурасы қоршаған ауаның температурасынан асқан кезде ($\tau > 0$), жылудың бір бөлігі қоршаған ауаға тарай бастайды. Уақыт өткен сайын машинаның температурасы біртіндеп көтеріледі де, белгілі бір уақыттан кейін температураның өсуі тоқтап, тұрақты мәнге ($\theta_{\text{тұр}} = \text{const}$) ие болады, яғни машина тұрақталған режимге көшеді. Бұл кезде машинада бөлінетін бар жылу қоршаған ауаға беріледі. Бұл жағдай үшін жылулық теңдестік теңдеуі:

$$qdt = S\lambda\tau_{\text{тұр}} dt, \quad (6.2)$$

мұндағы

$$\tau_{\text{тұр}} = \theta_{\text{тұр}} - \theta_1. \quad (6.3)$$

(6.2) теңдеуден табамыз:

$$\tau_{m\ddot{u}p} = \frac{q}{S\lambda}. \quad (6.4)$$

Бұл (6.4) теңдеуден мынадай қорытынды шығаруға болады:

а) *асқын қызудың тұрақталған температурасы* $\tau_{m\ddot{u}p}$ машинаның массасына m тәуелді емес, ол - уақыт бірлігі ішінде машинада бөлінетін жылу мөлшерімен q , яғни машинадағы барлық шығынның қуатымен $\sum P$ анықталады;

б) *асқын қызудың тұрақталған температурасы* $\tau_{m\ddot{u}p}$ машинаның сыртқы (салқындайтын) қабырғаларының ауданына S және тараудың жылулық коэффициентіне λ кері пропорционал, яғни машинаны салқындату қарқынына байланысты.

Арнаулы салқындату тәсілдері қолданылатын (жасанды салқындатылатын) машиналардағы $\tau_{m\ddot{u}p}$ мәні табиғи салқындатылатын машиналардағы $\tau_{m\ddot{u}p}$ мәніне қарағанда айтарлықтай төмен болады.

Машинаның температурасы қоршаған ауаның температурасымен (θ_1) бірдей болған кезде оны электр желісіне қоссақ, онда машинаның асқын қызу температурасының уақытқа тәуелді өзгерісі мына теңдеу арқылы өрнектеледі:

$$\tau = \tau_{m\ddot{u}p} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_k}} \right), \quad (6.5)$$

мұндағы $e = 2,718$ - натурал логарифмнің негізі;

T_k - *қызудың уақыт тұрақтысы*, ол машинаның сыртқы қабырғасынан қоршаған ортаға жылу берілмеген жағдайда машинаны тұрақталған температураға дейін қыздыру үшін қажет уақыт.

(6.5) өрнек бойынша тұрғызылған машинаның қызу графигі экспоненттік қисық түрінде бейнеленеді (6.1,а сурет). Ол машинаның асқын температурасы тұрақты мәнге жетуі үшін белгілі бір уақыт қажет екендігін көрсетеді.

Алғашқы кезде қызу үрдісі қарқынды жүреді де, кейіннен тұрақты мәнге жақындаған сайын баяулайды. Теориялық тұрғыдан $\tau = \tau_{m\ddot{u}p}$ болу үшін $t = \infty$ болу керек. Қызу графигінің басқы жағына жүргізген жанаманың $\tau_{m\ddot{u}p} = \text{const}$ сызығын қиып өткен кезде пайда болған кесіндінің ұзындығы масштаб бойынша алған кезде қызудың уақыт тұрақтысын T_k анықтайды.

Сонымен, физикалық тұрғыдан уақыт тұрақтысы T_k *қызу графигі түзу сызық болған жағдайда* асқын қызу температурасының тұрақты мәнге $\tau_{m\ddot{u}p}$ қанша уақытты жететіндігін білдіреді.

Шынайы жағдайда, яғни қызу графигі түзу сызық болмаған жағдайда, асқын қызу температурасы тұрақты мәнге $\tau_{\text{мұр}}$ жетуі үшін қажет уақыт $t = (4 \dots 5)T_c$ тең есептейді.

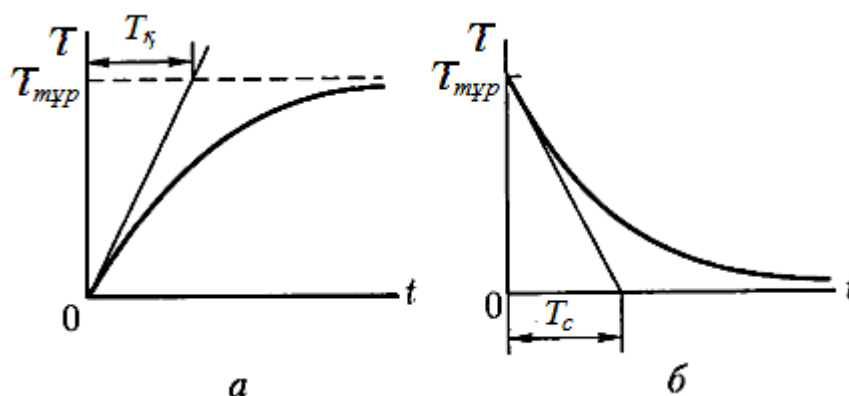
Электрлік қозғалтқыштың суыуы. Егер машинаны электр желісінен айырсақ, онда оның қызуы тоқтайды да, қоршаған ортаға машинаның материалында жинақталған жылу беріледі. Бұл жағдайда асқын қызудың температурасы біртіндеп қоршаған ортаның температурасына дейін төмендейді, яғни $\tau = 0$ болғанша төмендейді (6.1,б сурет). Машинаның сууының бұл (салқындау) үрдісі мына теңдеу арқылы сипатталады:

$$\tau = \tau_{\text{мұр}} e^{-\frac{t}{T_c}}, \quad (6.6)$$

мұндағы T_c – суудың уақыт тұрақтысы, с.

Асқын қызу температурасы нөлге жетуі үшін қажет уақыт $t = (4 \dots 5)T_c$ тең болады есептейді.

Сонымен, қызудың және суудың уақыт тұрақтылары жылулық үрдістердің жылдамдықтарын сипаттайды. Уақыт тұрақтысы неғұрлым аз болған сайын, машина соғұрлым тез қызады.



6.1 сурет – Электр машинасының қызу (а) және суу (б) графикалары

Электр машиналарының бөліктері жұмыс кезінде қызатындықтан олар үшін асқын қызудың рұқсат етілген температуралары белгіленген. Машинаның орамасының оқшаулағышы (изоляциясы) жоғары температураға өте сезімтал келеді, оның температурасы рұқсат етілген температурадан асқан жағдайда қызмет ету мерзімі азаяды.

Электротехникалық бұйымдарда қолданатын оқшаулағыш материалдар қызуға төзімділік деңгейіне байланысты 5 класқа бөлінеді: А, Е, В, F және Н. Электр машиналарында В, F және Н кластарына жататын оқшаулағыш материалдар қолданылады. Машиналардың орамаларының оқшаулағыштары үшін рұқсат етілген температуралардың ең жоғарғы мәндері төменгі кестеге сәйкес қабылданады (3 кесте).

Асқын қызу мойынтіректерге және түйіспелік сақиналарға кері әсерін тигізеді.

Қоршаған ортаның температурасы θ_1 айтарлықтай жоғары болған жағдайда (мысалы, металлургия өндірісінде) $\theta_1=40^\circ\text{C}$ тең етіп қабылдайды.

3 кесте - Орамаларының оқшаулағыштары үшін рұхсат етілген температура

Оқшаулағыш қызуға төзімділік класы	В	F	H
Оқшаулағыштың рұхсат етілген температурасының ең жоғарғы мәні, $^\circ\text{C}$	130	155	180
Машинаның орамасының рұхсат етілген температурасының ең жоғарғы мәні, $^\circ\text{C}$	120	140	165
Ораманың рұхсат етілген асқын температурасының ең жоғарғы мәні ($\theta_1=40^\circ\text{C}$ болғанда), $^\circ\text{C}$	80	100	125
Ораманың кедергісін есептеуге пайдаланатын жұмыстық температура, $^\circ\text{C}$	75	115	115

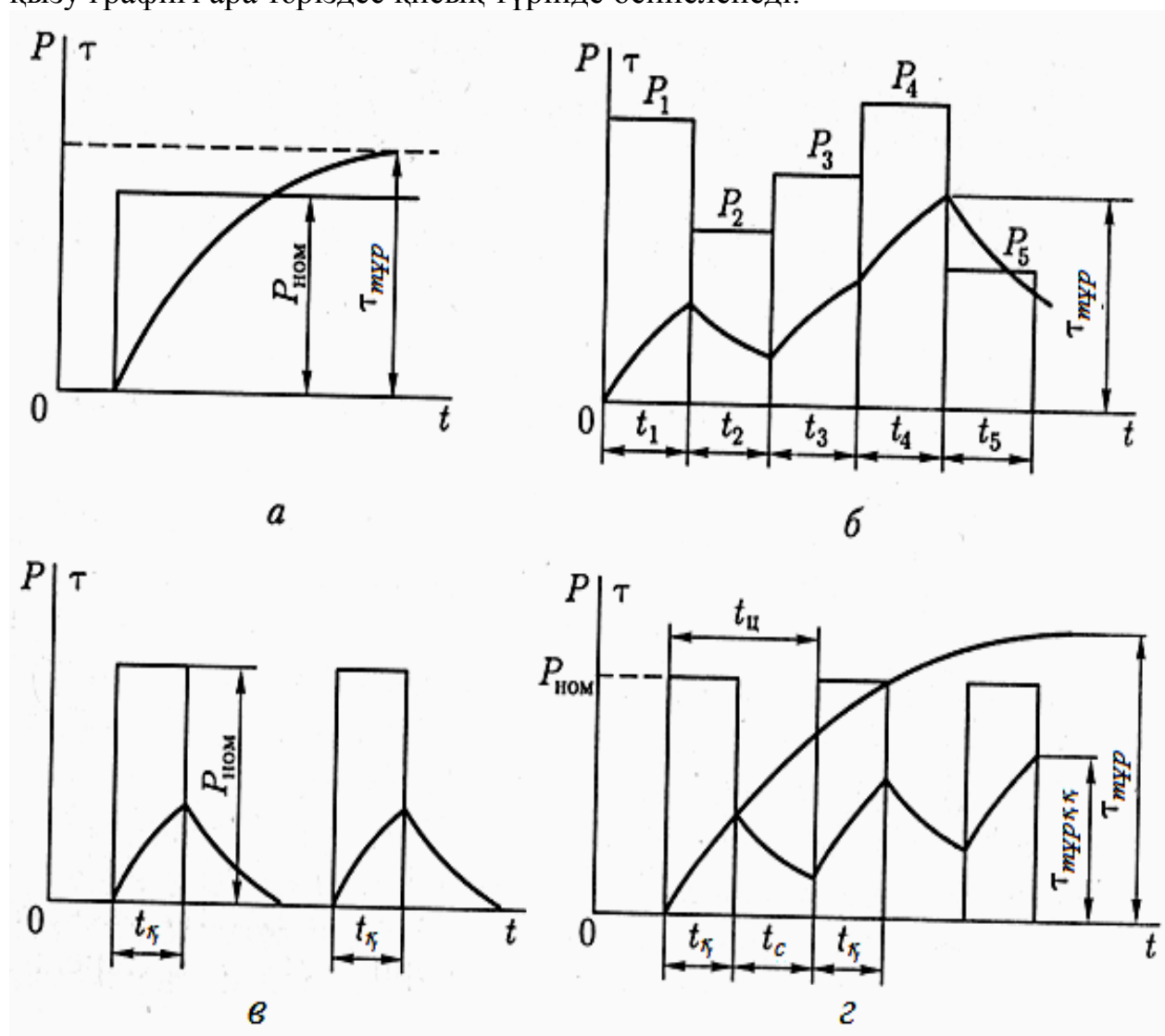
6.2 Электрлік жетектердің жұмыстық режимдері

Стандартқа сәйкес жүктеменің өзгерісінің сипатына байланысты электр машиналарының 3 негізгі номиналды режимі болады.

Ұзақ мерзімді номиналды режим S1 кезінде машина өзгермейтін номиналды жүктемемен P_n барлық бөліктерінің асқын қызу температурасы тұрақталған мәнге $\tau_{тұр}$ жетіп үлгеретіндей ұзақ жұмыс жасайды. Ұзақ режим екі түрге бөлінеді: *өзгермейтін жүктемелі ($P_n=const$) ұзақ мерзімді режим* (6.2,а сурет) және *айнымалы жүктемелі ұзақ режим* (6.2,б сурет). Мысалы, сорғыштың, транспортердің, желдеткіштің қозғалтқыштары өзгермейтін жүктемелі ұзақ режимде, ал прокаттық станның, металкескіш станоктардың және т.б. қозғалтқыштары айнымалы жүктемелі ұзақ режимде жұмыс жасайды.

Қысқа мерзімді номиналды режим S2 кезінде қозғалтқыштың номиналды жүктемемен жұмыс істеу периоды мен оның жұмыс істемей, тоқтап тұру периоды алма-кезек ауысып отырады. Бұл жағдайда қозғалтқыштың жүктемемен жұмыс істеу периоды барлық бөліктердің асқын қызу температурасы тұрақталған мәнге $\tau_{тұр}$ жетіп үлгермейтіндей қысқа болады, ал тоқтап тұру периоды барлық бөліктердің температурасы қоршаған ортаның температурасына дейін салқындап (суып) үлгеретіндей ұзақ болады. Стандарт бойынша жүктемемен жұмыс істеу периодының ұзақтығы 10; 30; 60 және 90 мин тең етіп қабылданған. Қысқа мерзімді режимнің шартты белгісінде жүктемемен жұмыс істеу периодының ұзақтығы көрсетіледі, мысалы, S2 - 30 мин. Қысқа мерзімді режимде әртүрлі материалдардың (мұнай, газ су және т.б.) берілу мөлшерін реттейтін құрылғылардың (әртүрлі шлюздер, қақпақтар және т.б.) қозғалтқыштары жұмыс жасайды.

Қайталанбалы-қысқа мерзімді номиналды режим $S3$ қозғалтқыштың қысқа мерзімді номиналды жүктемемен жұмыс істеу периоды $t_{жс}$ мен оның тоқтап тұру периоды t_m алма-кезек ауысып отырады. Бірақ жұмыс істеу периоды кезінде барлық бөліктердің асқын қызу температурасы тұрақталған мәнге $\tau_{мұр}$ жетіп үлгермейді, ал тоқтап тұру периоды кезінде олардың температурасы қоршаған ортаның температурасына дейін салқындап (суып) үлгермейді. Қайталанбалы-қысқа мерзімді режим кезінде қозғалтқыштың жұмыс істеуінің жалпы уақыты периодты түрде қайталанатын циклдарға бөлінеді. Цикл ұзақтығы: $t_{ц} = t_{жс} + t_m$. Бұл режим кезіндегі қозғалтқыштың қызу графигі ара тәріздес қисық түрінде бейнеленеді.



6.2 сурет – Электрқозғалтқышының өзгермейтін жүктемелі ұзақ мерзімді (а), айнымалы жүктемелі ұзақ мерзімді (б), қысқа мерзімді (в) және қайталанбалы-қысқа мерзімді (з) номиналды режимдері

Қайталанбалы-қысқа мерзімді режим кезінде қозғалтқыштың асқын қызу температурасы осы режимге сәйкес келетін тұрақты мәнге $\tau_{мұр,жс}$ (осы режим үшін максимал мәнге) дейін де, одан әрі минимал мәнге дейін

төмендейді. Одан кейін тұрақты мәнге $t_{тұр.ққ}$ қайта көтеріледі, яғни максимал мән мен минимал мән арасында өзгеріп отырады. Бұл жағдайда тұрақты мән $t_{тұр.ққ}$ ұзақ мерзімді режимге сәйкес келетін тұрақты мәннен $t_{тұр.ұм}$ кіші болады ($t_{тұр.ққ} < t_{тұр.ұм}$).

Лифттердің, крандардың, экскаватордың және т.б. қондырғылардың қозғалтқыштары қайталанбалы - қысқа мерзімді режимде жұмыс жасайды.

Қайталанбалы-қысқа мерзімді режим қосылудың салыстырмалы ұзақтығымен (%) сипатталады:

$$ҚҰ = \frac{t_{жс}}{t_{ч}} \cdot 100\%. \quad (6.7)$$

Стандарт бойынша қайталанбалы - қысқа мерзімді режим үшін қосылудың салыстырмалы ұзақтығы (ҚҰ) 15, 25, 40 және 60% тең етіп қабылданған, ал ұзақ мерзімді режим үшін $ҚҰ = 100\%$. Бұл режимнің шартты белгісінде ҚҰ көрсетіледі, мысалы, S3 - 40%.

Қарастырылған режимдер негізгі режимдер ретінде саналады. Бұлардан басқа қосымша бес режим қарастырылады.

6.3 Қуатты есептеу және электрлік жетектің қозғалтқышын таңдау

Жүзеге асырылатын таңдау әрекетінің мақсаты - жұмыстық машинаның берілген технологиялық циклін қамтамасыз ететін, қоршаған ортаның жағдайына сәйкес келетін және қызуы рұхсат етілген қызу деңгейінен аспайтын қозғалтқыш іздеу, таңдау. Қуаты қажетті қуаттан артық қозғалтқыштарды қолдануға болмайды, өйткені бұл жағдайда жетектің бағасы, энергияның шығыны өседі, ал ПӘК және қуат коэффициенті азаяды.

Әдетте қозғалтқыш таңдау мынадай ретпен жүргізіледі: қуатты есептеу; қозғалтқыштың алғашқы нұсқасын жорамалдап таңдау; таңдалған қозғалтқышты жүргізіп жіберу, артық жүктелу, қызу шарттары бойынша тексеру. Егер тексеру шарттары орындалмаса, онда қуаты үлкенірек қозғалтқыш таңдаймыз.

Қозғалтқыштың типін технологиялық үрдіске қойылатын талаптарға (үдеу, тежеу, жылдамдықты реттеу диапазоны және т.б.) сәйкес таңдалады.

Қозғалтқыш токтың түріне, кернеудің мөлшеріне, айналу жылдамдығына, конструкциялық жасалу нұсқасына байланысты таңдалады.

Егер жұмыстық механизмге қажет қуат белгілі болса, онда *S1 режимі үшін* ұзақ мерзімді тұрақты жүктеме кезінде қуат есептеу айтарлықтай жеңіл.

Мысалы, желдеткіштің қозғалтқыштың қуаты:

$$P = \frac{V \cdot p}{\eta_{ж} \eta_{б}} \cdot 10^{-3}, \quad (6.8)$$

мұндағы V – желдеткіштің өнімділігі;

p – желдеткіштің қысымы;

$\eta_{ж}$ – желдеткіштің ПӘК–і;

$\eta_{б}$ – берілістің ПӘК–і.

Ұзақ мерзімді *айнымалы жүктеме* кезінде қозғалтқыш қуаты әдетте токтың, моменттің, қуаттың немесе шығынның балама (эквиваленттік) мөлшерлері тәсілі бойынша анықтайды. Мысалы, балама қуат тәсілін қолданған кезде өзгермелі жүктемені қандай да бір балама (эквиваленттік) шамамен айырбастайды.

Жүктеменің графигінің тікбұрышты учаскелері үшін:

$$P_{эқв} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (6.9)$$

Ұзақ мерзімді *айнымалы жүктеме* үшін қозғалтқыштың қуатын таңдаған кезде мынадай шарт орындалуы керек:

$$P_{ном} \geq (1,2\dots1,3)P_{эқв}. \quad (6.10)$$

Каталогтан қуаты есептік қуатқа ең жақын және үлкен электрлік қозғалтқыш таңдайды. Кейбір жағдайда жүргізіп жіберуші моменттің жеткіліктігін тексеру керек, өйткені кейбір механизмдерге орнынан қозғалған сәтте үлкен үйкеліс кедергі жеңуге тура келеді. Сондықтан:

$$M_{жж} \geq (1,2\dots1,5)M_{үйк}. \quad (6.11)$$

Қысқа мерзімді режим $S2$ кезінде және жүктеменің диаграммасы болғанда $P_{эқв}$ қуатын анықтау керек, онан кейін $S2$ режимге арналған арнаулы қозғалтқыш таңдау керек. Бұл жағдайда нормаланған ($KY_{нор}$) және нақты жағдайдағы ($KY_{нақ}$) қосылудың салыстырмалы ұзақтықтарын есепке алу керек:

$$P_{ном} = P_{эқв} \sqrt{\frac{KY_{нор}}{KY_{нақ}}}. \quad (6.12)$$

Егер ұзақ мерзімді жұмыс режиміне арналған қозғалтқышты қысқа мерзімді режимде қолданса, онда жұмыстық кезеңнің аяғына қарай температураның өсуі оның есептік тұрақталу мәніне дейін жетпейді, яғни бұл

жағдайда қозғалтқыш қызу бойынша, демек, қуат бойынша толық пайдаланбайды. Бұл жағдайда қозғалтқышты толық пайдалану үшін оны қуат бойынша артығырақ жүктеу керек.

Қозғалтқыштың артық жүктелуін және қызуын сандық бағалау үшін жылулық артық жүктелу коэффициенті және механикалық артық жүктелу коэффициенті қолданылады:

$$p_{ж} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{ж}}{T_{к}}}}; \quad (6.13)$$

$$p_{м} = \sqrt{(1 + a)p_{жс} - a}, \quad (6.14)$$

мұндағы $t_{жс}$ – қозғалтқыштың жұмысының ұзақтығы;

$T_{к}$ - қызудың уақыт тұрақтысы, асинхронды қозғалтқыштар үшін жуықтап $T_{к}=15...35$ мин немесе мына өрнек бойынша анықталады:

$$T_{к} = 6 \frac{m \cdot \tau_{қос} \cdot \eta_{н}}{P_{н}(1 - \eta_{н})}, \quad (6.15)$$

мұндағы a - қозғалтқыштың қуатының тұрақты шығынының айнымалы шығынға қатынасы, асинхронды қозғалтқыш үшін $a=0,5...0,7$.

Қозғалтқыштың қуаты мына өрнек бойынша анықталады:

$$P_{ном} \geq P_{экр}/p_{м}. \quad (6.16)$$

Қайталанбалы-қысқа мерзімді режим S3 үшін арнаулы қозғалтқыш (S3) таңдағанда (6.12) өрнегі қолданады.

S3 режимінде жұмыс жасайтын S1 режимінің қозғалтқышының жылулық артық жүктелу коэффициенті:

$$p_{ж} = \frac{1 - e^{-\frac{t_{ж} + \beta_0 t_0}{T_{к}}}}{1 - e^{-\frac{t_{ж}}{T_{к}}}}, \quad (6.17)$$

мұндағы β_0 – жылу берудің нашарлауы коэффициенті.

Механикалық артық жүктелу коэффициенті (6.14) формула бойынша, ал қуат (6.16) бойынша анықталады.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода (ЭП).-6-е изд.-М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
- 2 Москаленко В.В. Электрический привод - М.: Мастерство; Высшая школа, 2001. –368 с.
- 3 Москаленко В.В. Электрический привод: Учебник для электротехн. спец. -М.: Высш. шк., 1991. – 430 с.
- 4 Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шиянского.-М.: Энергоатомиздат,1983. – 616 с.
- 5 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для ву- зов.-М.: Энергоатомиздат, 1986.- 416 с.
- 6 Ключев В.И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1998.-704 с.
- 7 Ильинский Н.Ф. Основы электропривода: Учебное пособие для ВУЗов. -2-е изд.-М.: Издательство МЭИ, 2003.- 224 с.
- 8 Справочник инженера – электрика с.-х. производства / Учебное пособие.-М.: Информагротех, 1999.-569 с.
- 9 Туганбаев Ы. Автоматтандырылған электр жетегі: Оқулық.-Алматы: Республикалық баспа кабинеті, 2004.- 280 б.
- 10 Савченко Д.И. Практикум по электроприводу в с.х. – М.: Колос, 1996.- 224 с.

Алдибеков Исабай Танирбергенович

**ЭНЕРГИЯНЫҢ ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ
ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІ**

Оқу құралы

Редактор

Қ.С. Телғожаева

Басуға __ __ _____ қол қойылды.
Таралымы _____ дана. Пішіні 60x84 1/16

Баспаханалық қағаз №2
Есептік-баспа табағы 6,19. №__ тапсырыс
Бағасы 3095 тенге.

«АЭЖБУ» коммерциялық емес АҚ
Алматы қ., Байтұрсынұлы көшесі, 126

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы
Алматы қ., Байтұрсынұлы көшесі, 126