

1. КІРІСПЕ. ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТ

1.1 Курстың мақсаты мен міндеттері

XX ғасырда механикалық энергияның негізгі көздері аса жетілдірілген электрлік қозғалтқыш болып табылады. Аса жоғары ПӘК, төмен салмақ өлшемді көрсеткіштерінің басқаруды іске асыру саласындағы үлкен мүмкіндіктерінің арқасында жетектік құрылғы ретінде электр қозғалтқыш кең таралымға ие болды. Қазіргі уақытта әлемдегі барлық жетектердің 85% астамы – электрлік.

Оқу курсының мақсаты студенттердің электржетектің мүмкіндіктері және функцияларымен, оның электрмеханикалық қасиеттерімен, реттеу қағидаларымен және электрқозғалтқыштардың қуатын таңдау сұрақтарымен танысу болып табылады.

«Электр жетегі» пәнінің мақсаты электржетектің жалпы физикалық заңдылықтарын, электрмеханикалық жүйелер элементтерінің өзара әрекеттесу ерекшеліктерін, тұйықталған және ажыратылған жүйелердегі статикалық және динамикалық процесстердің сипатын оқып-үйрену болып табылады. Курсты оқып-үйрену нәтижесінде оқушы процесстер сипаты мен тәуелділікті түсіндіруді, және жетек пен механизмнің жұмысына сыртқы әсерлердің, жүйелердің тұрғызылуының, параметрлердің өзгеруінің ықпалын талдауда икемді болуды, түрлі қозғалтқыштар мен электржетектердің механикалық және электрмеханикалық сипаттамасын тұрғызуды үйрену керек.

1.2 Курстың құрамы және оның оқу жүйесіндегі орны

Курста келесі негізгі сұрақтар қарастырылады:

- 1) *Жалпы мәлімет.* Автоматтандырылған электржетектің негізгі анықтамалары, даму кезеңдері, топтастыру және қолданылу аймақтары берілген.
- 2) *Электр жетегінің механикасы.* Кедергі күштер және моменттерді келтіру, кедергі моменттерінің түрлері, өндірістік механизмдердің механикалық сипаттамалары. Электржетектің қозғалыс теңдігі, жетек жұмысының қалыптасқан және айнымалы жұмыс режимдері.
- 3) *Тұрақты ток электр жетегінің электрмеханикалық қасиеті (ТТЭЭҚ).* Қоздыру тәсілдері бойынша қозғалтқыштарды топтастыру, ТҚ бар ТТҚ МС және ЭМС, электрқозғалтқыштың табиғи және жасанды сипаттамалары, Тәуелсіз қосуы бар ТТҚ қозғалтқышты және тежегішті режимдері .
- 4) *Айнымалы ток электржетегінің электрмеханикалық қасиеті.* Синхронды және асинхронды электржетектер. Механикалық сипаттамалар. Электрқозғалтқыштың табиғи және жасанды сипаттамалары, АҚ қозғалтқышты және тежегішті режимдері.
- 5) *Электржетектің бұрыштық жылдамдығын реттеу.* «Реттеу» түсінігі және реттеу сапасының көрсеткіштері. ТТҚ және АҚ жылдамдықтарын реттеу.
- 6) *Электр қозғалтқыштардың қуатын таңдау негіздері.* Қозғалтқыштарды қыздыру және салқындату. Қыздыру бойынша қозғалтқыштардың жұмыс режимдерін топтастыру. Қыздыру бойынша қозғалтқыштарды тексеру әдістері.

1.3 Даму кезеңдері, АЭЖ құрылымы, түсінігі және негізгі элементтері

Автоматтандырылған электржетектің көмегімен металл кескіш станоктарда, әр түрлі өңдеуші машиналарда, көлік құралдарында, көтергіш қондырғыларда және т.б. қажетті орын ауыстырулар жүзеге асырылады. Өндірілетін электрэнергияның басты тұтынушылары болып электржетек (ЭЖ) табылады.

Электржетектің дамуы 3 кезеңге бөлінеді:

Бірінші кезең: *топтасқан ЭЖ* – 1 қозғалтқыш механикалық энергияны бірнеше агрегаттарға береді. Іске асырылмағаны – әрбір жетектің жылдамдығын жеке реттей алмайды. Жылдамдықты реттеу механикалық берілістің көмегімен атқарылуы мүмкін.

Екінші кезең: *жеке ЭЖ* – әрбір жұмыс машинасының өзінің электр, жетегі бар, сонымен бірге жүйені де басқарады.

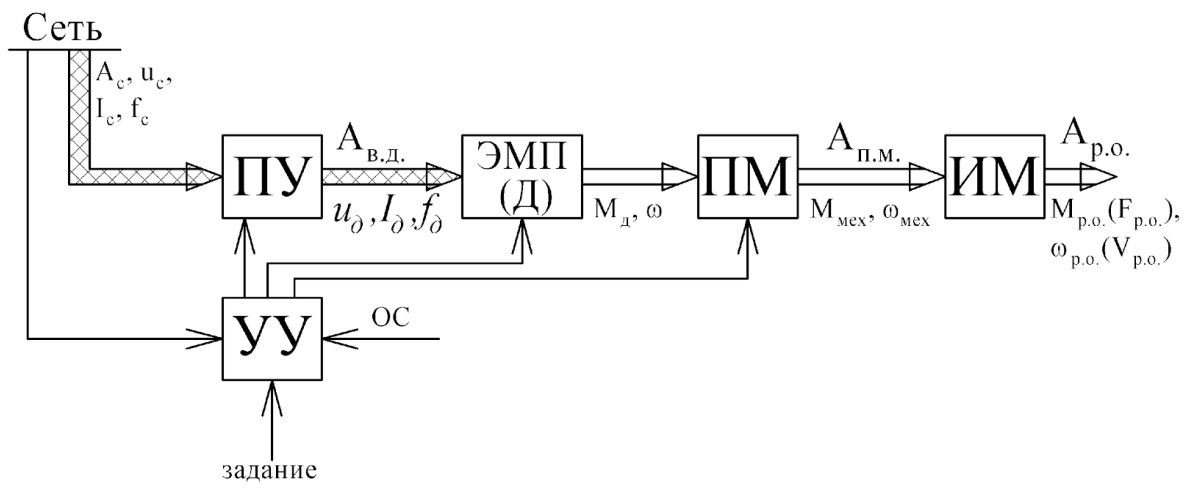
Үшінші кезең: *көпқозғалтқышты ЭЖ* – жұмыс органының қозғалысы үшін бір қозғалтқыштың орнына бірнеше қозғалтқыштарды қолданғанда.

Электр жетегі деп (жиі автоматтандырылған) ауыстырылатын құрылғыдан, электрқозғалтқыштан, түрлендіретін және басқаратын құрылғыдан тұратын, машинаның жұмыс органдарын қозғалысқа келтіру үшін арналған және оларды технологиялық процесстермен басқаратын электрмеханикалық құрылғы аталады.

АЭЖ энергия ағындарын басқару үшін қажетті ақпараттарды өңдеу автоматты түрде жүзеге асырылумен айрықшаланады. АЭЖ қолдану арқасында адам тек физикалық жұмыстан ғана арылмайды, сонымен бірге сәйкесті ақпараттарды өңдеу қызметтерінен де арылады.

Негізгі үш элементке бөлінеді:

- 1) ауыстырылатын механизмнен және атқарушы механизмнен тұратын жетектің *механикалық бөлігі* (ол ЖО да). Механикалық энергияны жұмыс машинасының атқарушы органына беру үшін және күш (айналу моментіндегі) пен қозғалыс жылдамдығын және түрін өзгерту үшін арналған.
- 2) электр энергиясын механикалық энергияға немесе механикалықты электрлікке түрлендіру үшін арналған *электрқозғалтқышты* құрылғы (ЭМТ).
- 3) күштік түрлендіргіш бөліктен, басқару құрылғысынан, берілу құрылғысынан және кері байланыс тетігінен тұратын *басқару жүйесі* (басқару құрылғысы). Электржетектің интеллекті бөлігі.



1.1 - сурет. Автоматтандырылған электржетектің құрылымдық сұлбасы

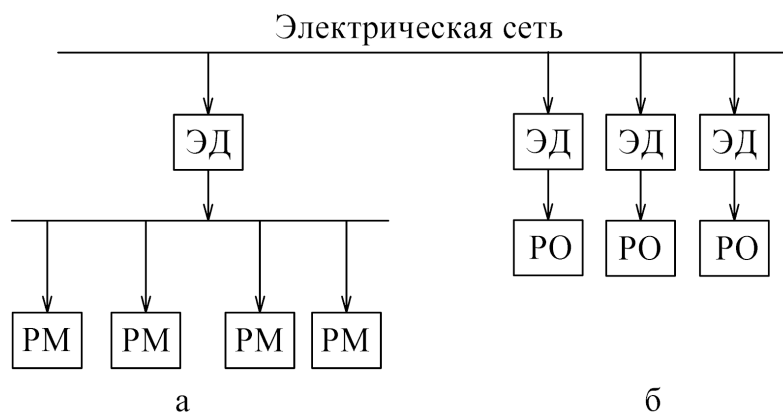
1.4 Электржетектердің түрлерін топтастыру

1.4.1 Ток түрі бойынша

Тұрақты және айнымалы токтың электржетегі. Қазіргі уақытта айнымалы ток (асинхронды) жетегіне өту үрдісі байқалады. Бұл мынадай факторлар қатарымен байланысты: құрылысының қарапайымдылығы салдарынан бағасының төмендігі, үздік динамиканы алу мүмкіндігі. Басты кемшілігі – басқару заңдары мен математикалық сипаттамасының аса күрделілігі.

1.4.2 Механикалық энергияны тарату тәсілдері бойынша

1) *Топтасқан* ЭЖ бірнеше атқарушы органдар немесе бірнеше жұмыс машиналарының атқарушы органдарының қозғалысын бір жұмыс машинасымен қамтамасыз етеді. Механикалық энергияны бір қозғалтқыштан бірнеше жұмыс машиналарына беру және оны олардың арасында тарату бір немесе бірнеше трансмиссия көмегімен жүргізіледі. Қазіргі уақытта техникалық жетілмеу себептерінен іс жүзінде қолданылмайды. Жеке және өзара байланысқан жетектерге орын берді.



1.2 - сурет. Топтасқан (а) және жеке (б) электржетектің құрылымдық сұлбасы

2) *Жеке* жетек топтасқанмен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие:

өндірістік ғимарат ауыр трансмиссиялармен және ауыстырылатын құрылғылармен үйілмейді; жұмыс жағдайлары жақсартылады және жеке механизмдерді басқаруды жеңілдету салдарынан еңбек өнімділігі артады. Жеке электржетек өте жақсы энергетикалық көрсеткіштермен ерекшеленеді. Механикалық берілістер айтарлықтай жеңілдетіледі, жетек жұмысының дәлдігі артады. Жеке ЭЖ қолдану кезінде технологиялық процесстер мен жұмыс машиналарын автоматтандыру үшін айтарлықтай қолайлы жағдайлар жасалады. Мұндай ЭЖ ауыр темір кесу станоктарында, тегістеу станоктарында, экскаваторларда, көтергіш-көлік машиналарында, роботтарда және т.б. кеңінен қолданылады.

3) *Өзара байланысқан ЭЖ* екі немесе бірнеше электрлік немесе механикалық өзара байланысқан қозғалтқыштары бар. Өзара байланысқан ЭЖ мысалы ретінде ұзаққа созылған тізбектік конвейердің жетегін алуға болады. Мұндай конвейердің атқарушы органы ретінде конвейердің ұзындығы бойынша орнатылған бірнеше қозғалтқышпен қозғалысқа келтірілетін тізбек пайдаланылады. Өзар байланысқан ЭЖ көлік қондырғыларында, тоқыма агрегаттарында, металл өндірісінің тегістеу станоктарында және т.б. кеңінен қолданылады. Өзара байланысқан ЭЖ көптеген түрлерінің бірі болып көпқозғалтқышты жетек табылады – бұл бірнеше қозғалтқыштар бір ортақ білікке жұмыс істейтін электржетек.

Қозғалыс түрі бойынша реверсивті және реверсивті емес электржетек үдемелі немесе айналмалы қозғалыс болып бөлінеді.

1.4.3 Басқару дәрежесі бойынша

- 1) реттелмейтін – жұмыс машинасының атқарушы органын бір жылдамдықпен іске келтіру, жетек параметрлері тек ашуландыратын ықпалдың нәтижесінде өзгереді;
- 2) реттелетін – жұмыс органының жылдамдығы берілген шекте ғана өзгеруі мүмкін, жетек параметрлері басқарушы құрылғының әсер етуімен өзгеруі мүмкін;
- 3) бағдарламалық-басқарылатын – айналу жылдамдығы кейбір бағдарламаларға сәйкес өзгереді;
- 4) қадағалаушы – еркін өзгеретін берілгіш дабылмен сәйкес белгілі бір дәлдігі бар жұмыс машинасының атқарушы органының жылжуын автоматты түрде жүзеге асыратын;
- 5) бейімделген – оңтайлы режимді жасау мақсатымен жұмыс машинасының шарттары өзгеруі кезіндегі басқару жүйесінің параметрлерін және автоматты құрылымын таңдау.

1.4.4 Ауыстыру құрылғысының түрі бойынша

- 1) Бәсеңдеткішті, электрқозғалтқыш машинаның жұмыс органына айналу қозғалысын бәсеңдеткіш арқылы береді.
- 2) Бәсеңдеткішсіз – қозғалысты беру жұмыс органына қатыссыз, тікелей жүзеге асырылады, немесе бәсеңдеткіші жоқ ауыстыру құрылғысы арқылы.

1.4.5 Автоматтандыру деңгейі бойынша

- 1) Автоматтандырылмаған. Басқару қолмен жүзеге асырылады. Аз қуатты қондырғыларда, тұрмыстық және медициналық техникаларда қолданылады.
- 2) Автоматтандырылған. Параметрлерді реттеу автоматты түрде іске асырылады, басқару командалары қолмен атқарылады.
- 3) Автоматты. Басқарушы ықпалдар оператордың көмегінсіз, автоматты түрде жасалынады.

1.5 Өндірістік механизмдердің автоматтандырылған электржетектерінің даму үрдістері және қолданылу аймағы

Жеке автоматтандырылған электржетек өмірдің әр алуан аумақтарында – өнеркәсіптік өндірістен бастап тұрмыстық салаға дейін кең таралған. Қолдану кеңдігі автоматтандыру және басқару бойынша үлкен мүмкіндіктермен және қуаттың үлкен көлемімен сондай-ақ электржетектің энергия тиімділігімен анықталады. ЭЖ энергия ағымын реттеу бойынша үлкен мүмкіндіктерді қамтамасыз етеді. Қандай да бір сынамалар бойынша электржетек пен механизмнің жұмысын оңтайландыратын құрылғылар, технологиялық үрдістерді бағдарламалық басқаратын заманауи жүйелер қолданыс тапты, бейімделген автоматтық басқарудың қағидалары дамуда.

Электржетектің дамуының алғашқы ерекшелігі реттелетін электржетекті қолдану аймағының ұлғаюы болып табылады, ол ең бастысы қазіргі уақыттағы жартылай өткізгішті техникалар аймағындағы жетістіктерге жетудің арқасында айнымалы токтың реттелетін электржетектерінің санының және сапасының өсуі есебінен.

Заманауи жетекті дамытудың екінші ерекшелігі болып электржетектің динамикалық және дәлдік көрсеткіштеріне технологиялық талаптарды қарқынды арттыру, технологиялық процесстерді басқарумен байланысты оның қызметтерін кеңейту мен күрделендіру және электржетектерді басқару жүйелерінің күрделілігінің сәйкесті артуы табылады. Микропроцессорлық басқару кеңінен енгізіледі.

Дамудың үшінші ерекшелігі ретінде сәйкестендірілген блоктық құрылғылардың жасалу үрдісін бөліп айтуға болады.

Механизмдердің кинематикалық тізбектерін қарапайымдатуға беталыс бәсеңдеткіші жоқ жетекті жасуға және қолдануға әкеледі. Осы мақсатпен айналу жиілігі 8-120 айн/мин ақырын жүретін қозғалтқыштарды қолданады. Үлкен габаритке қарамастан, ереже бойынша бәсеңдеткіші жоқ жетекті қолдану үлкен сенімділікпен және жылдам әрекет етуімен, үздік энергетикалық көрсеткіштерімен танылады. Сондай-ақ бұл бағытта жұмыс органдарының үдемелі қозғалыстарында машиналарды оңтайлы құрастыру үшін максималды жайлылықты жасайтын және кинематиканы максималды жеңілдетуге мүмкіндік беретін желілік қозғалтқыштарды дамыту жүріп жатыр.

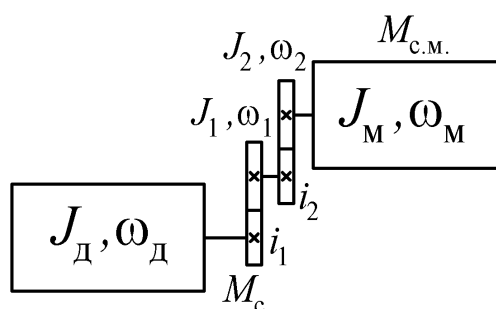
Сондықтан, өндірілген энергияның жартысынан көбі электржетекпен қолданылады, электржетекке электр энергияны минималды шығындармен механикалық энергияға түрлендіретін талаптар қойылады.

2 ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ МЕХНИКАСЫ

2.1 Келтірілген механикалық буын

Электрмеханикалық жүйенің механикалық бөлігі барлық байланысқан қозғайтын массаларды құрайды: машинаның қозғалтқышы, ауыстырылатын құрылғылары және атқарушы механизмі. ω жылдамдығындағы қозғалтқыш роторы кезінде M электрмагнитті момент тіркелген, соның әсерінен механикалық бөлік қозғалысқа келеді. Қондырғылардың қозғайтын массалары және олардың арасындағы механикалық байланыстар туралы тікелей ұсыным электржетектің кинематикалық сұлбасын береді.

Атқарушы органның айналмалы қозғалысымен электржетектің үлгіленген кинематикалық сұлбасы 2.1 - суретінде келтірілген. Кейде механизмнің жұмыс органы үдемелі қозғалыс жасайды (кран, лифт, сүргілейтін станок, өңдейтін қашауыш және басқа.).



2.1 - сурет. Атқарушы механизмдері бар қозғалтқыштардың байланыстарының кинематикалық сұлбасы

Шынайы кинематикалық тізбектердің элементтерінің әрқайсысы серпімділікке ие, сонымен қатар жүктемеде формасы өзгереді, ал элементтердің біріккен жерлерінде ауа саңылаулары болады. Егер барлық факторларды есепке алсақ, онда есептік сұлба өте қиын болады және мұндай сұлбаны есептеу ЭЕМ арқылы орындалады. Бірақ осындай жүйелердің қозғалыс заңдылығы ең үлкен салмағы мен қуыстары және ең аз жүйе байланыстарының қаттылықтарымен анықталады, бұл жетектің механикалық бөлігінің есептік сұлбасын балама серпімді байланыстары бар және қозғалтқыш білігінің бұрыштық жылдамдығына келтірілген қосынды қуысы бар екі массалы (кейде бір массалы) механикалық жүйеге келтіруге мүмкіндік береді.

Электржетектің механикалық бөлігінің есептік сұлбасын жасау үшін кинематикалық тізбектің элементтерінің барлық параметрлерін бір есептік жылдамдыққа келтіру керек. Әдетте аса ыңғайлысы оларды қозғалтқыш жылдамдығына келтіру болып табылады. Шынайы механикалық жүйеде келтірілген есептік сұлбаның сәйкесті шарты болып энергияны сақтау заңын орындау табылады, яғни мына шарт орындалуы керек

$$(W_{ki})_{\text{пр}} = J_{\text{пр}i} \omega_1^2 / 2 = J_i \omega_i^2 / 2 ;$$

$$(W_{kj})_{\text{пр}} = J_{\text{пр}j} \omega_1^2 / 2 = m_j v_j^2 / 2 .$$

Бұл жерден келтіру формуласын табуға болады

$$J_{\text{пр}i} = J_i / i_i^2;$$

$$J_{\text{пр}j} = m_j \rho_{ij}^2.$$

Жетектің механикалық бөлігінің есептік сұлбасын жалпы жағдайда бір жалпылама қатты механикалық буынға келтіруге болады, оның J инерция моментімен балама салмағы бар, оған қозғалтқыштың электромагниттік моменті M және жүйедегі барлық механикалық шығындарды қосқандағы, оның ішінде қозғалтқыштағы механикалық шығындарды, қозғалтқыштың білігіне келтірілген қосынды кедергі моменті (статикалық момент) M_c әсер етеді.

Жұмыс машинасының білігінде туындайтын механизмнің кедергі моменті пайдалы жұмыс пен үйкеліс жұмысына сәйкес келетін екі қосылғыштан тұрады. Өндірістік механизммен іске асырылатын пайдалы жұмыс сәйкесті технологиялық операцияның орындалуымен байланысты. Өндірістік механизмде іске асырылатын үйкеліс жұмысы әдетте механикалық байланыстардың ПӘК есепке алынады. Үйкеліс моменті әрдайым жетектің қозғалыс моментіне қарсы бағытталған.

2.2. Кедергі моменттері мен күштерін, екпінді салмақ пен екпінді моменттерді келтіру

2.2.1 Кедергінің активті және реактивті моменттері.

Бұл жағдайда статикалық момент

$$M_c = \Delta M_\Sigma + M_{c\Sigma},$$

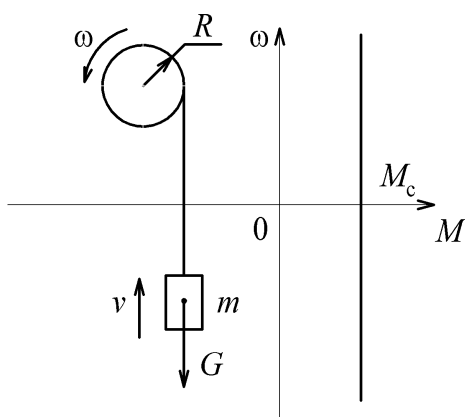
мұндағы ΔM_Σ – жетектегі жиынтықты жоғалтулар; $M_{c\Sigma}$ - жиынтықты статикалық момент.

Әдетте алғашқы құраушылар салыстырмалы түрде аз шамаға ие. Сондықтан жетекке аса көп ықпал ететін статикалық моменттің екінші құраушыларын қарастырамыз.

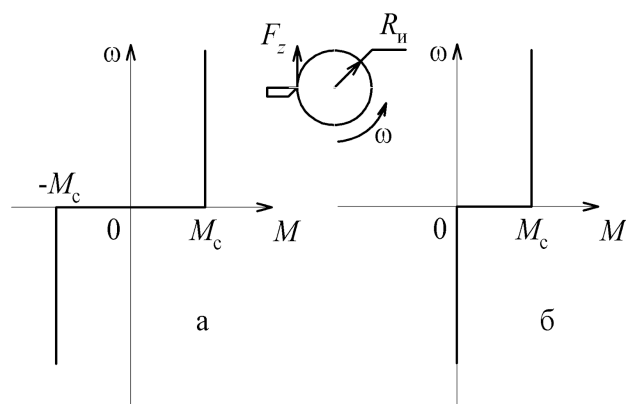
Электржетек үшін жүктеменің статикалық моментінің жылдамдыққа тәуелділігінің мәні бар. Мұндай тәуелділік механизмнің механикалық мінездемесін сипаттайды, яғни жүктеменің статикалық моментінің жылдамдыққа тәуелділігі $M_c = f(\omega)$ немесе $\omega = f(M_c)$.

Электржетекпен өзара әрекетінің мінездемесі бойынша барлық күштер мен моменттер екі үлкен топқа бөлінеді: активті және реактивті.

Активті күштер мен моменттер деп қозғалтқыш жұмысына тәуелді емес және механикалық энергия көздерінің қозғалтқышына қатынасы бойынша сыртқы болып туындайтын күштер мен моменттер аталады. Мысалы, ауырлық күштері, желдік жүктемелер. Активті статикалық момент айналу бағытын өзгерту кезінде өзінің белгісін өзгертпейді.



2.2 - сурет. Активті моменттің механикалық сипаттамасы



2.3 - сурет. Реактивті моменттің механикалық сипаттамасы

2.2 - суретінде G жүгінің ауырлық күшінің келтірілген моменті:

$$M_c = GR = mgR,$$

мұндағы g – еркін құлауды жеделдету; m – жүк салмағы.

Реактивті күштер мен моменттер деп қозғалтқыштың айналу бағытына қарсы бағытталған және қозғалтқышпен жасалған, моментте реакция сияқты туындағын күштер мен моменттер аталады. Барлық реактивті күштер мен моменттер жылдамдыққа байланысты. Осы байланыстылық сипаттамасы бойынша ($M_c = f(\omega)$) жүктемені құрғақ үйкеліс түрінде, тұтқыр үйкеліс түрінде және желдеткішті түрде айырады.

Құрғақ үйкелістің күші мен моменті модуль бойынша өзгермейді, бірақ жылдамдыққа байланысты бағытты өзгертеді

$$M_c = |M_c| \text{sign } \omega$$

Құрғақ үйкеліс моментінің сипаттамасы 2.3, а – суретінде көрсетілген.

Өңдеудің әр түрлі технологиялық процесстерінде туындайтын реактивті жүктемелер жылдамдық белгісін өзгерту кезінде өзінің мәнін нөлге дейін өзгерте отырып, бір бағытқа ие болуы мүмкін. Кескішпен бұйымды өңдеу кезінде кесу моментінің жылдамдыққа тәуелділігі (2.3, б - сурет) мысал бола алады. Статикалық моменттің мәні сонымен бірге F_z кесу күшеюіне пропорционал:

$$M_c = F_z R_n,$$

мұндағы R_n – бұйым радиусы.

Құрғақ үйкелістің күші мен моменті сызықты түрде жылдамдыққа байланысты (2.4, а - сурет):

$$M_{\text{в.т.}} = \beta \omega,$$

мұндағы $\beta_{\text{в.т.}}$ –пропорционалдылық коэффициенті.

Әдетте тұтқыр үйкеліс моменті құрғақ үйкеліс моментінің 8-10% құрайды.

Кездесетін жүктемелер бөлігінің үшінші түрі– желдеткішті жүктеме. Мұндай жүктеме аса жоғары дәрежедегі жылдамдыққа байланысты (2.4, б - сурет)

$$M_{\text{в.т.}} = \beta \omega^n, \quad n > 1.$$

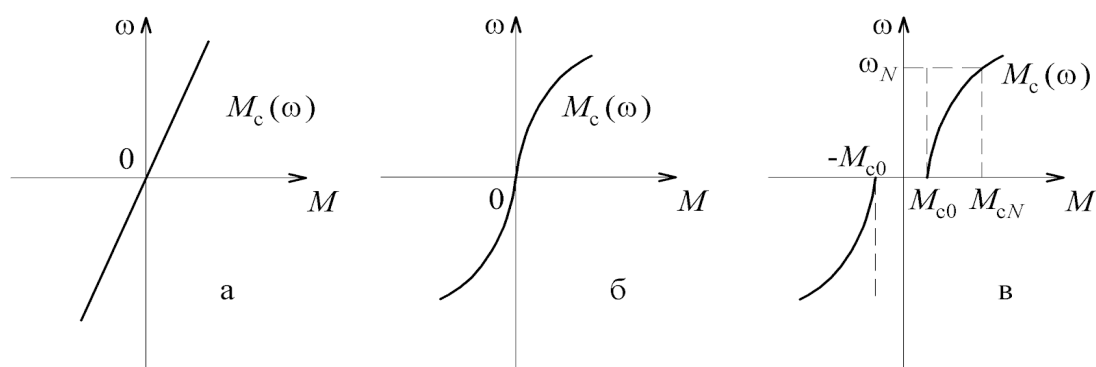
$n = 2$ болғанда жүктемені таза желдеткішті деп атайды. Мұндай тәуелділікке сыртқа тебуші желдеткіштер ие. Механизмдер қатары үшін дәреже көрсеткіші $n > 2$. Мұндай сипатқа қысымға қарсы жұмыс істейтін, сыртқа тебуші сорғылар ие.

Шын мәнінде механизмде орнына қозғалудың бір бастапқы моменті бар, ол $M_{c.N}$ номиналдыдан 20-40% құрайды. (2.4, в - сурет).

Жүктеме моменті бұрылыс бұрышына тәуелді болатын, циклдік әрекет механизмдері бар:

$$M_c = M_{c.max} \sin \varphi$$

Қарастырылған типтік жүктемелер әдетте шынайы электржетектердің жүктемелеріндегі жасаушылар ретінде болады.



2.4 - сурет. Тұтқыр үйкеліс типті (а), желдеткішті (б) және шынайы желдеткішті типтерінің (в) жүктеме моменттері

2.2.2 Жұмыс органының айналмалы және үдемелі қозғалыстары үшін екпінді моментін келтіру

Нақты механикалық жүйенің келтірілген есептік сұлбасының сәйкес келу шарты энергия сақталу заңы болып табылады. Келтірулер кезінде жүйенің кинетикалық және потенциалды энергиясының қорын сақтауды қамтамасыз ету керек, сонымен бірге жүйеде әрекет ететін барлық моменттер мен күштердің мүмкін болатын жылжуларының қарапайым жұмысын қамтамасыз ету керек. Сондықтан ω_i жылдамдығымен немес салмағымен айналып қозғалатын, ω_1 есептік жылдамдығына v_j жылдамдығымен үдемелі қозғалатын жүйенің элементтерінің екпінді моменттерін келтірулер кезінде келесі шарттар орындалуы керек

$$(W_{ki})_{пр} = J_{прi} \omega_1^2 / 2 = W_{ki} = J_i \omega_i^2 / 2;$$

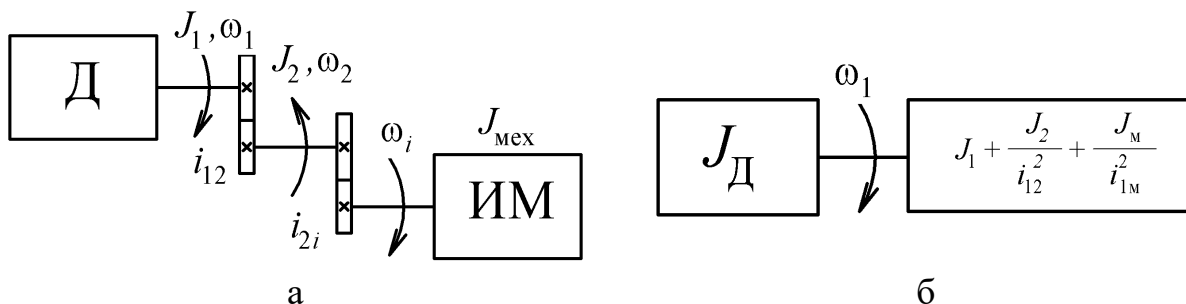
$$(W_{ki})_{пр} = J_{прi} \omega_1^2 / 2 = W_{ki} = m_j v_j^2 / 2.$$

Бұл жерден инерция моментін келтіретін формулаларды алуға болады:

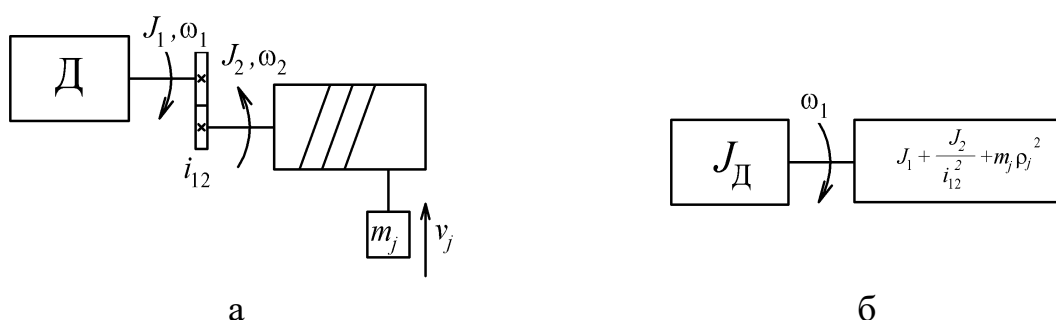
$$J_{\text{пр}i} = J_i / i_{1i}^2;$$

$$J_{\text{пр}j} = m_j \rho_{1j}^2,$$

мұндағы $i_{1i} = \omega_1 / \omega_i$ – келтіру білігінен i білігіне дейін берілетін сан; $\rho_{1j} = v_j / \omega_1$ – ω_1 жылдамдықпен білікке келтіру радиусы.



2.5 - сурет. Механикалық бөліктердің есептік (а) және эквивалентті есептік (б) сұлбалары (жұмыс органының айналымды қозғалысы)



2.6 - сурет. Механикалық бөліктердің есептік (а) және баламалы есептік (б) сұлбалары (жұмыс органының үдемелі қозғалысы)

Механизм үшін инерцияның келтірілген жиынтық моменті 2.5 - суретте, ал бұл инерция моменттері үшін келтірілген формулалар есебімен келесі түрде есептеледі:

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{д}} + J_1 + \frac{J_2}{i_{12}^2} + \frac{J}{i_{1i}^2}.$$

Атқарушы механизмнің жұмыс органының үдемелі қозғалысы жағдайында:

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{д}} + J_1 + \frac{J_2}{i_{12}^2} + m_j \rho_{1j}^2,$$

мұндағы $\rho_{1j} = \frac{v}{\omega_1} = \frac{\omega_6 r}{\omega_1} = \langle \omega_2 = \omega_1 / i_{12} \rangle = \frac{r}{i_{12}}$ - келтіру радиусы.

2.2.3 Кедергі моменттерін келтіру

Бір айналу осінен екінші айналу осіне кедергі моменттерін келтіру мүмкін жүйенің энергетикалық балансы негізінде жүргізілуі мүмкін. Аралық берілістер кезінде туындайтын қуат шығындары сәйкесті ПӘК - η_n есебіне енгізумен есепке алынады.

Берілістің ПӘК есебінсіз кедергі моменттерін келтіруді қозғалтқышта және АМ жұмыс органындағы қуаттарды салыстырумен орындауға болады:

$$P_{\text{пр}} = M_i \omega_i \quad \text{и} \quad P_M = M_{\text{с.м}} \omega_{Mi},$$

мұндағы $M_{\text{с.м}}$ – өндірілген механизмнің кедергі моменті.

Қозғалтқыштың білігіндегі статикалық момент

$$M_{\text{пр}i} \omega_1 = M_{\text{с.м}} \omega_{Mi}, \quad M_{\text{пр}i} = \frac{M_{\text{с.м}} \omega_{Mi}}{\omega_1} = \frac{M_{\text{с.м}}}{i_{1i}}.$$

Кедергі күштерін келтіру моменттерді келтіру сияқты жүргізіледі. Берілістегі шығындардың есебінсіз қозғалтқыштың білігіне келтірілген статикалық момент

$$M_{\text{пр}i} \omega_1 = F_{\text{с.м}} v_{Mj}, \quad M_{\text{пр}i} = \frac{F_{\text{с.м}} v_{Mj}}{\omega_1} = F_{\text{с.м}} \rho_{1j}.$$

2.2.4 Берілістік механизмнің ПӘК есептеу туралы

Электржетектің механикалық бөліктерінің қарапайым сұлбасын қарастырамыз. Берілістік механизм (БМ) екі сипаттамаларға, яғни механизмнің берілістік саны $i_{\text{мех}}$ және $\eta_{\text{мех}}$ ПӘК ие. ПӘК механизміне барлық элементтер кіреді

$$\eta_{\text{мех}} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_i.$$

Қозғалтқыш тораптан атқарушы механизмге бағытталған механикалық қуатты туғызады. Қуат балансының теңдеуі

$$M_c \omega_1 = \frac{M_{\text{мех}} \omega_i}{\eta_{\text{мех}}} + \Delta M \omega_1, \quad (1.1)$$

мұндағы ΔM – қозғалтқыштағы және берілістегі үйкелістер моменттерінен құралатын шығындар моменті.

Шығын моментінің шамасы номиналды моменттің 3-5 % сирек асады және оны $\Delta M \approx 0$ деп есептеп, жиі ескермейді.

Теңдеудің екі бөлігін ω_1 -ға бөле отырып (1.1), аламыз

$$M_c = \frac{M_{\text{мех}}}{i_{\text{мех}} \eta_{\text{мех}}} + \Delta M ,$$

мұндағы $i_{\text{мех}} = \omega_1 / \omega_i$ - ауыстыратын механизмнің жалпы берілетін саны.

Сонымен, қозғалтқышты режим үшін келтірілген статикалық моментті анықтауда келесі формуланы алған дұрыс:

$$M_c = \frac{M_{\text{мех}}}{i_{\text{мех}} \eta_{\text{мех}}} .$$

2.7, а - суреті энергия мен моменттер ағымының бағытын суреттейді.

Генераторлы режимде момент көзі болып атқарушы механизмнің өзі табылады. Мұндай жағдайда статикалық момент болып тежегішті режимдегі қозғалтқыш момент табылады. Генераторлы режим үшін баланстың теңдігі

$$M_c \omega_1 = M_{\text{мех}} \omega_{\text{мех}} \eta_{\text{мех}} .$$

Қозғалыс жылдамдығына бөлу рәсімін орындай отырып, аламыз

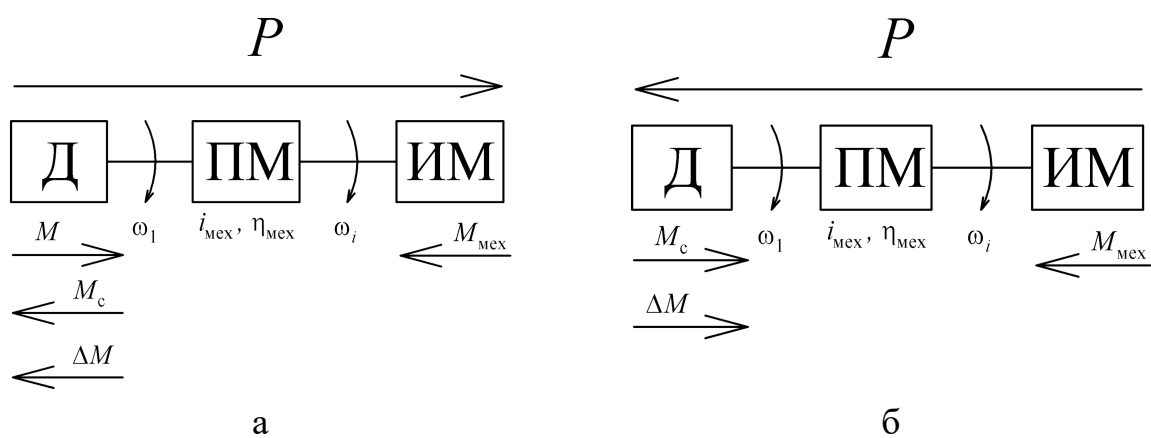
$$M_c = \frac{M_{\text{мех}} \eta_{\text{мех}}}{i_{\text{мех}}} .$$

Үдемелі қозғалыс кезінде қозғалтқышты режимдегі статикалық момент

$$M_c = \frac{F_{\text{мех}} \rho}{\eta_{\text{мех}}} ,$$

Генераторлы режимде

$$M_c = F_{\text{мех}} \rho \eta_{\text{мех}} .$$



2.7 - сурет. Жетек жұмысының қозғалтқышты (а) және генераторлы (б) режимдері үшін энергиялар мен моменттердің бағыттары

2.3 Өндірістік механизмдер мен электрлік қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары. Механикалық сипаттама қаттылығының түсінігі

Электр қозғалтқышты дұрыс және үнемді қолдану үшін өндірістік механизм сипаттамасындағы қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын анықтау қажет.

$\omega = f(M_c)$ механизмінің қозғалтқыш білігіне келтірілген кедергі моменті мен жылдамдығының арасындағы байланысты *өндірістік механизмнің механикалық сипаттамасы* деп атайды.

Әр түрлі өндірістік механизмдер түрлі механикалық сипаттамаларға ие. Алайда механикалық сипаттаманың түрлері негізінде механизмдердің жеке санаттарын атап айтуға болады. Сипаттаманың жалпы түрі

$$M_{\text{ном}} = M_0 + (M_c - M) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^x,$$

мұндағы M_c – ω жылдамдығы кезіндегі өндірістік механизмнің кедергі моменті; M_0 – механизмнің қозғалыс бөлігіндегі үйкелістің кедергі моменті; $M_{\text{ном}}$ – $\omega_{\text{ном}}$ номиналды жылдамдық кезіндегі кедергі моменті; x – жылдамдық көрсеткіші.

1. Жылдамдыққа байланысты емес механикалық сипаттама (2.8, а - суретіндегі 1 түзу). Деңгей көрсеткіші $x = 0$ және момент жылдамдыққа тәуелді емес. Мұндай сипаттамаға көтергіш крандар, шығырлар, металл кескіш станоктарды беру механизмдері, берудің өзгермейтін биіктіктері кезіндегі поршенді сорғылар. Бұл механизмдердің қатарына кедергінің негізгі моменттері үйкеліс моменті болып табылатын механизмдерді жатқызуға болады.

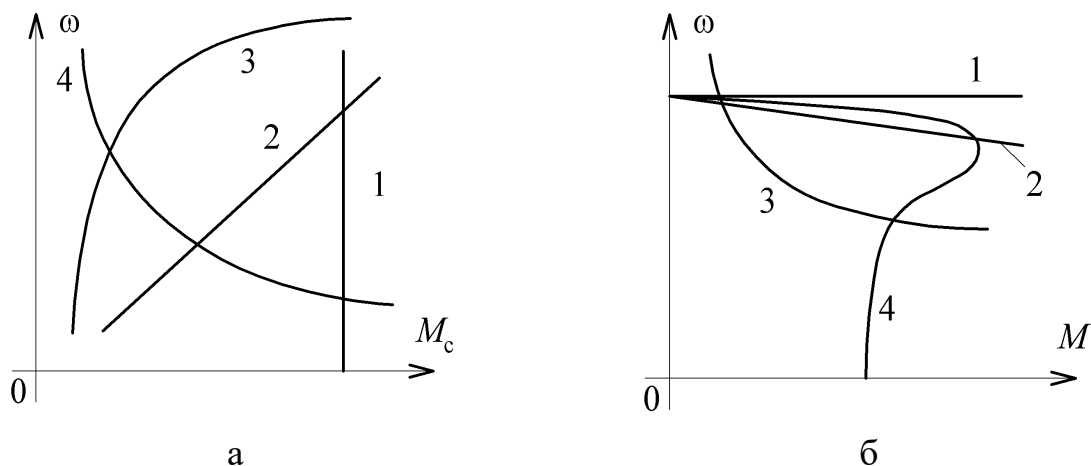
2. Желілік-артатын механикалық сипаттама (2.8, а - суретіндегі 2 түзу) Мұндай жағдайда $x = 1$ және кедергі моменті ω жылдамдығына желілік тәуелді. Бірқатар станоктардың басты жетектері.

3. Параболалық механикалық сипаттама (2.8, а - суретіндегі 3 қисық). Бұл сипаттамаға $x = 2$ сәйкес келеді. Осындай тәуелділіктерге ие механизмдер таза-желдеткішті жүктемелері бар механизмдер деп аталады. Бұларға орталықтан берілетін сорғылар, еспе бұрандалар жатады.

4. Желілік емес-бәсеңдейтін механикалық сипаттама (2.8, а - суретіндегі 4 қисық). Сондықтан $x = -1$ және M_c кедергі моменті кері-пропорционалды жылдамдықпен өзгереді, ал механизммен қолданылатын қуат тұрақты болып қалады. Бұл топқа бірқатар жонғыш, сүргілеу, фрезерлік станоктар, металлургиялық өндірістегі орағыштар жатады.

Аралық сипаттамалары бар механизмдер бар.

Электрқозғалтқыштың механикалық сипаттамасы деп оның бұрыштық жылдамдығының $\omega = f(M)$ айналу моментіне тәуелділігін атайды. Қозғалтқыш сипаттамаларының аса көп таралған түрлері 2.8, б - суретінде келтірілген.



2.8 - сурет. Өндірістік механизмдер (а) мен электр қозғалтқыштардың (б) механикалық сипаттамалары

Механикалық сипаттама қаттылығымен сипатталады. Қаттылық деп момент үстелімінің жылдамдық үстеліміне қатынасын түсінеді, ол момент үстелімімен шақырылған. Механикалық сипаттаманың қаттылығы қозғалтқыш білігіндегі моменттің (статикалық момент) өзгеруі кезінде қозғалтқыш жылдамдығының (механизм) қалай (қаншалықты) өзгередінін көрсетеді. Жалпы алғанда β қаттылық формула бойынша есептеледі

$$\beta = \partial M / \partial \omega .$$

Желілік механикалық сипаттамалар үшін туындылар үстелімдермен ауыстырылуы мүмкін

$$\beta = (M_2 - M_1) / (\omega_2 - \omega_1) = \Delta M / \Delta \omega .$$

Қаттылығына байланысты қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары келесі санаттарға бөлінуі мүмкін:

1. Абсолютты қатты механикалық сипаттама ($\beta = \infty$) – моменттің өзгеруі кезіндегі жылдамдық өзгеріссіз қалады. Мұндай сипаттамаларға синхронды қозғалтқыштар ие (2.8, б - суретінде 1 түзу).

2. Қатты механикалық сипаттама. Қозғалтқыш жылдамдығы моменттің өзгеруі кезінде біраз ғана азаяды. Мұндай сипаттамаға тәуелсіз қозулары (тәуелсіз қозуы бар ТТҚ) бар тұрақты ток қозғалтқыштары ие.

Және жұмыс сипаттамаларының шектеріндегі (2.8, б - суретіндегі 2 түзу және 3 қисық) асинхронды қозғалтқыштар (АҚ).

3. Жұмсақ механикалық сипаттама – моменттің өзгеруі кезінде жылдамдық айтарлықтай өзгереді (2.8, б - суретінде 3 қисық). Мұндай сипаттамаға тізбекті қозулары бар ТТҚ ие, әсіресе аз моменттер аймағында.

4. Абсолютты жұмсақ механикалық сипаттама ($\beta = 0$) – бұл жылдамдықтың өзгеруі кезіндегі қозғалтқыш моменті өзгеріссіз қалатын сипаттама. Мұндай сипаттамаға зәкір тоғын шектеу режиміндегі жұмыс кезінде токтың тұйық АРЖ ие.

Асинхронды қозғалтқыш өтпелі қаттылығы бар механикалық сипаттамаға ие.

2.4 Электрқозғалтқыш қозғалыстарын теңестіру

Өндірістік механизмнің моменті және қозғалтқыш моменті бір-біріне сай келсе, ал қозғалтқыш механикалық сипаттаманың орнықты бөлімшесінде тұрақты жылдамдықпен жұмыс істеген кезде электржетектің орнатылған жұмыс режимі орын алады. Алайда жұмыс уақытында механизм параметрлері өзгеруі мүмкін (серпінді момент, кедергі моменті, басқаратын немесе ашуландыратын ықпалдардың өзгеруі). Мұндай жағдайларда бір орныққан жағдайдан екіншісіне өту режимі туындайды. Мұндай режимді *өтпелі* деп атайды.

Айналмалы қозғалыс үшін моменттердің тепе-теңдігін теңестіру

$$M - M_c = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}, \quad (1.2)$$

мұндағы J_Σ – серпіндердің жиынтық моменті, $\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon$ – жетекті жеделдету.

(1.2) теңдеуін *жетек қозғалысының негізгі теңдеуі* деп жиі атайды. Теңдеу қозғалтқышпен дамытылатын айналдырғыш момент M оның білігіндегі кедергі моментімен M_c және динамикалық моментпен $J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}$ теңестіріледі.

Қозғалтқыш моменті мен статикалық момент арасындағы айырмашылықты динамикалық момент деп атайды.

$$M_{\text{дин}} = M - M_c.$$

Қозғалыстың негізгі теңдеулерін талдаудан келесі тұжырымдарды жасауға болады:

- 1) $M > M_c$ болғанда жетекті жеделдету орнына ие – $d\omega/dt > 0$;
- 2) $M < M_c$ болғанда жетекті бәсеңдету орнына ие – $d\omega/dt < 0$;
- 3) қозғалтқыш пен кедергі моменттерінің теңесуі $M = M_c$ кезінде жетек жұмыстың орныққан режимінде жұмыс істейді $d\omega/dt = 0$.

Динамикалық момент тек қана жетек жылдамдығы өзгергенде, өтпелі режимдер уақытында пайда болады. Жеделдету кезінде бұл момент қозғалысқа қарсы бағытталған, ал тежелу кезінде қозғалысты қолдайды.

Энергетикалық көзқараспен қарағанда жетектің механикалық берілістері арқылы энергия ағындарының бағыттарымен айрықшаланатын электржетектің жұмыс режимдерін қозғалтқышты және тежегішті деп бөледі. Қозғалтқышты режим әдетте түзу бағытқа сәйкес келеді, тежегішті режим – кері бағытқа. Қозғалтқышты режимнің сипаттамалы белгілері болып қозғалтқыш моменті мен жылдамдық белгілерінің үйлесуі табылады.

Орныққан жұмыс режимі кезінде жетектің статикалық тұрақтылығы орын алады, яғни жетектің орныққан жұмыс режимінің мұндай жағдайы орныққан мәннен жылдамдықтың кенеттен ауытқуы кезінде жетек орныққан режим нүктесіне қайта келеді. Тұрақсыз қозғалыс кезінде орныққан жылдамдықтан ауытқу жетектің күйінің өзгеруіне әкеледі – өтпелі режим пайда болады.

Жетек статикалық тұрақты, егер орныққан режим нүктесінде мына шарт орындалса

$$\partial M / \partial \omega - \partial M_c / \partial \omega < 0$$

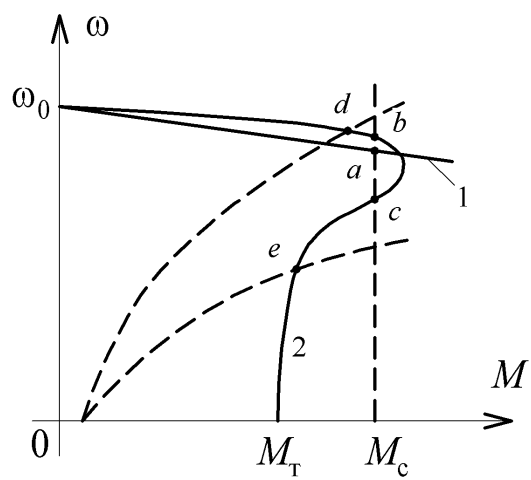
немесе

$$\beta - \beta_c < 0 .$$

Сонымен, егер жетек статикалық тұрақты болса, онда бұрыштық жылдамдықты оң арттыруда қозғалтқыш моменті статикалық моменттен аз болып қалады және осының салдарынан жетек жылдамдықтың бастапқы мәніне дейін тежеледі. Жылдамдықты теріс арттыру кезінде қозғалтқыш моменті кедергі моментінен көп болады, және жетек жылдамдықтың бастапқы мәніне дейін таратылады.

Жүктеменің тұрақты моментінде статикалық тұрақтылық $\partial M_c / \partial \omega = 0$ болғандықтан, қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының қаттылығымен анықталады. Егер ол теріс болса, онда орныққан режимдегі жұмыс тұрақты (2.9 - суретіндегі a нүктесі) $\partial M / \partial \omega - \partial M_c / \partial \omega = \partial M / \partial \omega < 0$.

Егер қысқа тұйықталу роторлары бар асинхронды қозғалтқыштарды қолдансақ және оны тұрақты моментпен жүктемелесек, онда b нүктесінде $\partial M / \partial \omega - \partial M_c / \partial \omega = -\beta - 0 < 0$ болғандықтан, орныққан жұмыс режимінің орны болады, ал қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының қаттылығы оң болғандықтан, c нүктесіндегі режим тұрақсыз. ҚТР бар АҚ жұмысы кезінде желдеткішті сипаттамасы бар механизмде тұрақты режим d және e нүктелерінде байқалатын болады.



2.9 – сурет. Жетектің статикалық тұрақтылығын анықтауға

2.5 Жетекті жеделдету және бәсеңдету уақыты

Жетектің өтпелі режимдерінің уақыты: іске қосу, тежеу, бір жылдамдықтан екінші жылдамдыққа өту механизм өнімділігіне ықпал етеді. Өтпелі процесстердің уақыттарын анықтау жетек қозғалысы теңдеуін интегралдауға негізделген. Айнымалыларды бөле отырып, аламыз:

$$dt = Jd\omega / (M - M_c) .$$

Жылдамдықтың ω_1 -ден ω_2 дейін өзгеруі кезіндегі өтпелі режимнің уақыты

$$t_{12} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{J}{(M - M_c)} d\omega .$$

$M, M_c, J = const$ деп қабылдайтын болсақ, интегралды шешу нәтижесі мынадай болады

$$t_{12} = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{(M - M_c)} .$$

Қозғалтқыш білігінде кедергі моменті M_c бар болған кезде іске қосу моменті бар M_n тыныш күйден ($\omega_{\text{нач}} = \omega = 0$) номиналды жылдамдыққа дейін $\omega_{\text{ном}}$ жетектің іске қосылу уақытын есептейміз. (2.10 - суретін қараңыз).

$$t_n = J \frac{\omega_{\text{ном}} - 0}{(M_n - M_c)} .$$

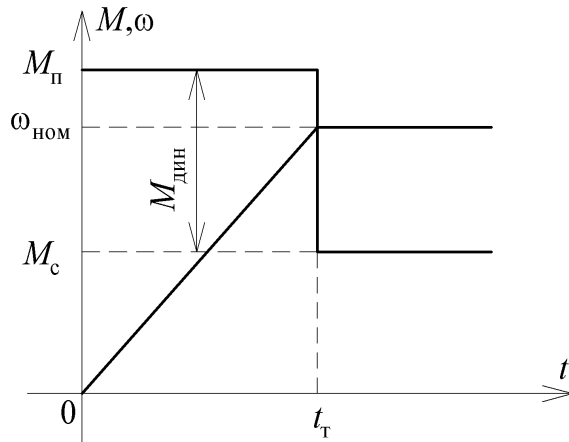
Егер асинхронды қозғалтқышы бар жетек үшін ($M_n \neq const$) өтпелі процесстің уақытын дәл есептеу талап етілсе, онда интегралдардағы формуланы қолдану керек.

Теориялық тұрғыдан алғанда, өтпелі процесстің толық уақыты шексіздікке тең. Сондықтан практикалық есептеулерде әдетте екпін процесі ω_2 тең емес, керісінше $\omega = 0,95\omega_2$ тең жылдамдықта аяқталады, сонда процесс уақыты соңғы болады.

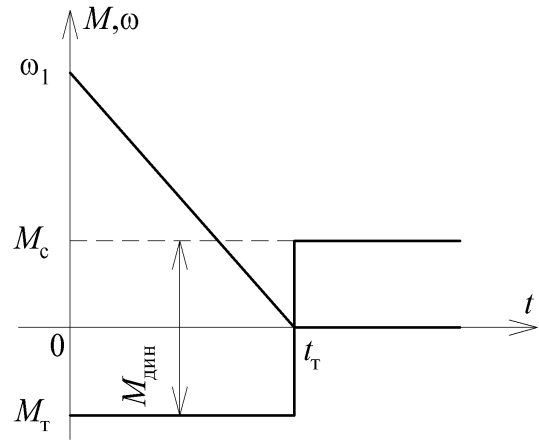
Динамикалық момент теріс мәнге ие болған жағдайда жетек бәсеңдейді (2.11 - сурет). Бұл жағдай үшін қозғалыстың теңдігі мына түрге ие болады:

$$-M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

Қозғалтқыш абсолюттік мән бойынша статикалықтан аз мәнді арттырған жағдайда жетек бәсеңдейтін болады.



2.10 - сурет. Жетекті іске қосу кестесі



2.11 - сурет. Жетектің тежелу графигі

Жетектің тежелу уақыты

$$t_{\tau} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{J d\omega}{-(M + M_c)} = \int_{\omega_2}^{\omega_1} \frac{J d\omega}{M + M_c}$$

Жеке жағдайлар үшін, $M, M_c, J = const$ болғанда,

$$t_{\tau} = J \frac{\omega_1 - \omega_2}{M + M_c}$$

Қозғалтқыштың және механизмнің, J_d мен J_c , серпін моменттерінің, сонымен бірге кедергі моментінің M_c берілген мәндері кезінде берілгіш санының БМ $i_{\text{опт}}$ оңтайлы мәнін есептеуге болады.

Жетек қозғалысының теңдігі механизмнің жұмыс тетігіне қатысты

$$iM - M_c = (J_c + kJ_d i^2) \frac{d\omega_c}{dt}$$

Мұндағы k – беріліс серпінінің моментін ескеретін коэффициент.

Минималды уақыттың жетектің максималды жеделдету кезінде болатыны анық

$$\varepsilon = \frac{d\omega_c}{dt} = \frac{iM - M_c}{J_c + kJ_d i^2}$$

Оңтайлы ауыстырыатын санды табу үшін $\varepsilon = f(i)$ функциясының максимум нүктесін табамыз.

$$\frac{d\varepsilon}{di} = \frac{d}{di} \left(\frac{iM - M_c}{J_c + kJ_d i^2} \right) = 0, \quad \frac{d\varepsilon}{di} = \frac{-(kJ_d M i^2 - 2kJ_d M_c i - J_c M)}{J_c + kJ_d i^2} = 0$$

Теңдеуді шеше отырып

$$-(kJ_d M i^2 - 2kJ_d M_c i - J_c M) = 0,$$

БМ берілетін санын анықтаймыз

$$i_{1,2} = \frac{M_c}{M} \pm \sqrt{\left(\frac{M_c}{M}\right)^2 + \frac{J_c}{kJ_d}}$$

Теңдеудің екінші шешімі (екінші қосылғыштың алдында минус белгісімен) i барлық қатынастарында теріс мәнді береді.

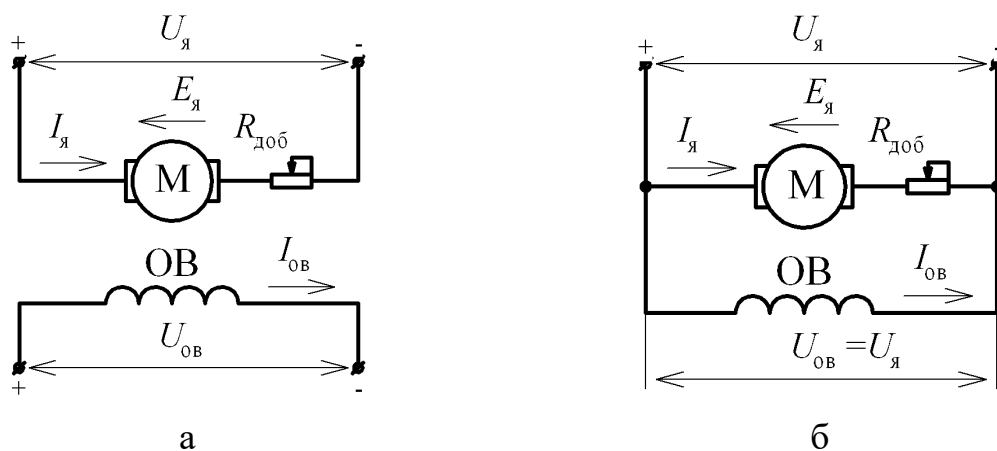
3 ТҰРАҚТЫ ТОК ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТІ

3.1 Қоздыру тәсілі бойынша тұрақты ток электрқозғалтқыштарын (ТТЭҚ) топтастыру

ТТҚ құрылысы жағынан екі негізгі бөліктен тұрады: жылжымалы бөліктен (зәкірден) және қозғалтқышты қоздыру орамасы орналасқан жылжымайтын бөліктен (статордан). Қозғалтқыш тұрақты кернеумен қоректенеді. Қоздыру орамасын қосу тәсіліне байланысты 4 негізгі электрқозғалтқыштар түрін ажыратуға болады.

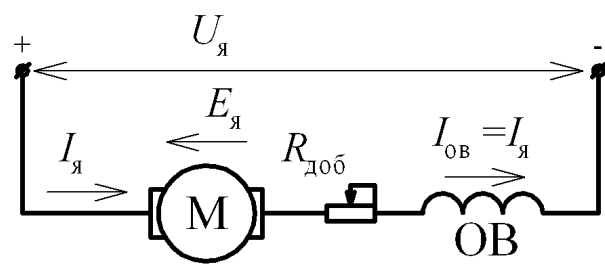
Тәуелсіз қоздыруы бар ТТҚ (3.1, а - сурет). Берілген жағдайда қозғалтқыш зәкірі тізбегінің және қоздыру орамасы (ҚО) тізбегінің қоректендіру көздері әр түрлі болып табылады, кейде әр түрлі кернеу деңгейімен. Осыған байланысты қоздыру тогының жағдайы зәкір тізбегіне тәуелді емес (зәкір реакциясының әсерін ескермеген кезде), бұл қоздыру тогының өзгеріссіз болуы кезінде қозғалтқыштың сипаттамасын сызықтық болдырады.

1. Қоздыру орамасын және зәкірді қатар қосу тәсілі кезінде бір біріне қатар бір торапқа қосады (3.1, б - сурет). Шексіз қуат торабы болу шарты кезінде орамалардың қыспаларындағы кернеу тұрақты болып қалады және қатар қозуы бар ТТҚ сипаттамалары тәуелсіз қозуы бар ТТҚ сипаттамаларына ұқсас. Сондықтан тәуелсіз қозуы бар ТТҚ қарастыруымен жиі шектеледі.



а

б



в

3.1 - сурет. Қозғалтқышты тәуелсіз(а), қатар(б) және тізбектеп(в) қосу сұлбалары

2. Тізбектеле қозуы бар ТТҚ тізбекті орамасы бар, ол қозғалтқыш зәкірінің орамасымен тізбектеле қосылады (3.1, в - сурет). Мұндай қосу ҚО тудырылатын ағын қозғалтқыш тогына байланысты болуына әкеліп соғады, ол жұмыс процесі мен өтпелі процесстер кезінде едәуір өзгерістерге ұшырайды. Берілген қозғалтқыш түрі сызықты емес механикалық сипаттамаға ие.

3. Аралас қоздыруы бар ТТҚ. Бұл жағдайда қозғалтқыш екі қоздыру орамасына ие: тізбектік және қатар, және нәтижелеуші магниттік ағын екі құраушыдан құралады. Зәкір тізбегін қосу 3.1, в - суретіндегідей орындалады, ал қоздыру орамасын қосу 3.1, а, б - суретіндегідей.

3.2 Тәуелсіз қозуы бар ТТҚ механикалық және электрмеханикалық сипаттамалары

Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының формуласын табамыз. Кирхгофтың екінші заңына сәйкес зәкір тізбегі үшін аламыз:

$$U_{я} = I_{я} R_{я\Sigma} + E_{я} + L_{я\Sigma} \frac{dI_{я}}{dt} ,$$

мұндағы $R_{я\Sigma}$ – зәкір тізбектерінің жиынтық кедергісі, $L_{я\Sigma}$ – зәкір тізбектерінің жиынтық индуктивтілігі.

ЭҚК пен қозғалтқыш моменті үшін $E = k\Phi\omega$ және $M = k\Phi I_{я}$ қатынасты теңдеуге қоя отырып, аламыз

$$U_{я} = \frac{M R_{я\Sigma}}{k\Phi} + k\Phi\omega + \frac{L_{я\Sigma}}{k\Phi} \frac{dM}{dt} ,$$

мұндағы k – формула бойынша анықталатын қозғалтқыштың құрастырмалы коэффициенті

$$k = pN / (2\pi a) ,$$

мұндағы p – қозғалтқыштың қосарлы полюстер саны; N – зәкір орамасындағы активті өткізгіштер саны, a – зәкір орамасындағы параллельді тармақтардың саны.

Қозғалтқыштың сол жақ бөлігін қалдыра отырып, тәуелсіз қозуы бар ТТҚ механикалық сипаттамалары үшін ортақ өрнекті аламыз

$$\omega = \frac{U_{я}}{k\Phi} - \frac{M R_{я\Sigma}}{(k\Phi)^2} + \frac{L_{я\Sigma}}{(k\Phi)^2} \frac{dM}{dt} .$$

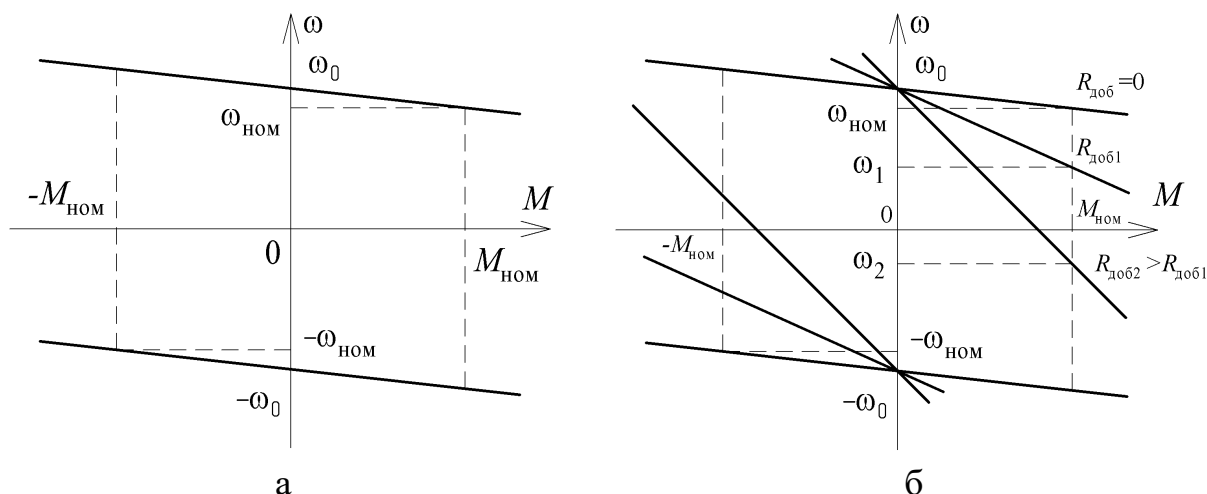
Егер қозғалтқыш моменті тұрақты болса, онда $dM / dt = dI_{я} / dt = 0$, және қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының теңдеуі келесі түрге ие болады:

$$\omega = \frac{U_{я}}{k\Phi} - \frac{M R_{я\Sigma}}{(k\Phi)^2} . \tag{3.1}$$

немесе басқаша түрде

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega ,$$

мұндағы $\omega_0 = \frac{U_{я}}{k\Phi}$ – мінсіз бос жүріс жылдамдығы.
 Сипаттамалар түрі 3.2, а - суретінде көрсетілген.



3.2 - сурет. Табиғи (а) және жасанды (б) тәуелсіз қозуы бар ТТҚ механикалық сипаттамалары

Электрмеханикалық механикалық сипаттаманы қозғалтқыштың механикалық сипаттамасына (3.1) момент өрнегін $M = k\Phi I$ қоя отырып, алуға болады:

$$\omega = \frac{U_{я} - IR_{я\Sigma}}{k\Phi}$$

Теңдеуді қарастыра отырып, тұрақты ағындағы екі механикалық сипаттама да сызықты деп қорытуға болады. Әрбір сипаттаманың жағдайы екі нүктемен сипатталған: мінсіз бос жүріс нүктесімен ($I_{я} = M = 0$; $\omega = \omega_0$) және қысқа тұйықталу нүктесімен ($I_{я} = I_{к.з.}$; $M = M_{к.з.}$; $\omega = 0$).

Сипаттаманың статикалық қаттылығының модулін табамыз, ол үшін моментке салыстырмалы түрде механикалық сипаттаманың теңдеуін шешеміз:

$$M = \frac{k\Phi U_{я}}{R_{я\Sigma}} - \frac{(k\Phi)^2 \omega}{R_{я\Sigma}}$$

Ендеше

$$\beta_{ст} = \frac{dM}{d\omega} = -\frac{(k\Phi)^2}{R_{я\Sigma}}$$

Статикалық қаттылықты есепке ала отырып, механикалық сипаттаманың теңдеуін келесі түрде жазуға болады:

$$M = \beta(\omega_0 - \omega)$$

3.2.1 Тәуелсіз қозуы бар ТТҚ механикалық сипаттамаларын тұрғызу

Тәуелсіз қосылатын қозғалтқыштың МС тұрғызу үшін тек екі нүктені білу жеткілікті, МС түзу сызықтар болып саналатындықтан. Бұл екі нүкте кез келгені болуы мүмкін, алайда сипаттаманы тұрғызуды нүктелер бойынша жүргізу ыңғайлы, олардың бірі номиналды жылдамдық ($M = M_{\text{ном}}$; $\omega = \omega_{\text{ном}}$) пен қозғалтқыштың номиналды электрмагниттік моментіне сәйкес келеді, ал екіншісі – мінсіз бос жүрістің жылдамдығына ($M = 0$; $\omega = \omega_0$). Қозғалтқыштың номиналды жылдамдығы паспорттық мәліметтер бойынша анықталады

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60}$$

Номиналды момент формула бойынша есептеледі

$$M_{\text{ном}} = k\Phi I_{\text{ном}}$$

$k\Phi$ коэффициентін келесі түрде табуға болады:

$$k\Phi = \frac{(U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} R_{\Sigma})}{\omega_{\text{ном}}}$$

Зәкір кедергісі белгісіз болған жағдайда, номиналды жүктеме кезіндегі қозғалтқыштағы барлық шығындардың жартысы зәкір мысындағы шығындармен байланысты деп қабылдап, оны жуықтап есептеуге болады, демек

$$I_{\text{ном}}^2 R_{\Sigma} = 0,5(1 - \eta_{\text{ном}}) U_{\text{ном}} I_{\text{ном}}$$

Олай болса

$$R_{\Sigma} = 0,5(1 - \eta_{\text{ном}}) U_{\text{ном}} / I_{\text{ном}}$$

Мінсіз бос жүріс жылдамдығы

$$\omega_{\text{HOM}} = \frac{U_{\text{HOM}}}{k\Phi} .$$

3.3 Табиғи және жасанды механикалық сипаттамалардың түсінігі. Тәуелсіз қозуы бар ТТҚ механикалық сипаттамаларының түріне параметрлердің ықпалы

Егер сипаттама қозғалтқыштың номиналды параметрлері ($R_{\text{доб}} = \Phi U_{\text{я}} \Phi = U_{\text{ном.я}}; = \text{ном}$) кезінде алынған болса, онда мұндай сипаттаманы *табиғи* деп атайды. Табиғи механикалық сипаттама 3.2, а - суретінде көрсетілген. Ол оның жұмыс жылдамдығын анықтайды және жұмыстың статикалық режимдеріндегі жүктемелердің өзгерістері кезінде оның қалай өзгертетінін көрсетеді.

Қозғалтқыштың *табиғи* МС теңдеуі

$$\omega_e = \frac{U_{\text{я.ном}}}{k\Phi_{\text{ном}}} - \frac{MR_{\text{я}}}{(k\Phi_{\text{ном}})^2}$$

Жасанды механикалық сипаттамалар сипаттама жұмыстың номиналды режимі үшін емес тұрғызылған жағдайларда алынады. 3.2, б - суретінде $R_{\text{я.доб}} \neq 0$ болғандағы жасанды механикалық сипаттамалар көрсетілген. Мұндай сипаттамаларды реостаттылар деп атайды. Зәкір тізбектерінде кедергілердің өсулері кезіндегі механикалық сипаттаманың қаттылығы төмендейді.

Реостатты МС формула бойынша алуға болады

$$\omega = \frac{U_{\text{я.ном}}}{k\Phi_{\text{ном}}} - \frac{M(R_{\text{я}} + R_{\text{доб}})}{(k\Phi_{\text{ном}})^2}$$

Осыған орай, қосымшаланатын кедергі қысқа тұйықталу тоғын (момент) шектейді

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\text{ном}}}{(R_{\text{я}} + R_{\text{доб}})}$$

Мінсіз бос жүрістің ω_0 жылдамдығы зәкір тізбегіндегі кедергіге тәуелді болмағандықтан, өзгеріссіз қалады.

Зәкір тізбектеріндегі кедергінің өзгеруінен басқа қозғалтқыштың зәкіріндегі кернеу мен қозғалтқыштың магниттік ағынында өзгеріс болуы мүмкін.

Φ қозғалтқышының магниттік ағынының өзгеруі тек төмендеу бағытына қарай болуы мүмкін ($R_{\text{доб}} = \Phi U_{\text{я}} = U_{\text{ном.я}}; = \text{var}$). Магниттік ағынның артуы қозғалтқыштың қоздыру тоғының айтарлықтай өсуімен байланысты.

Магниттік ағынның өзгеруі кезінде қысқа тұйықталу моменті төмендейді

$$M_{к.з.} = \frac{k\Phi U_{ном}}{R_{я}},$$

және қозғалтқыштың мінсіз бос жүріс жылдамдығы артады.

$$\omega_0 = \frac{U_{я.ном}}{k\Phi}.$$

Осы жағдайлар үшін механикалық сипаттамалар 3.3, а - суретінде көрсетілген.

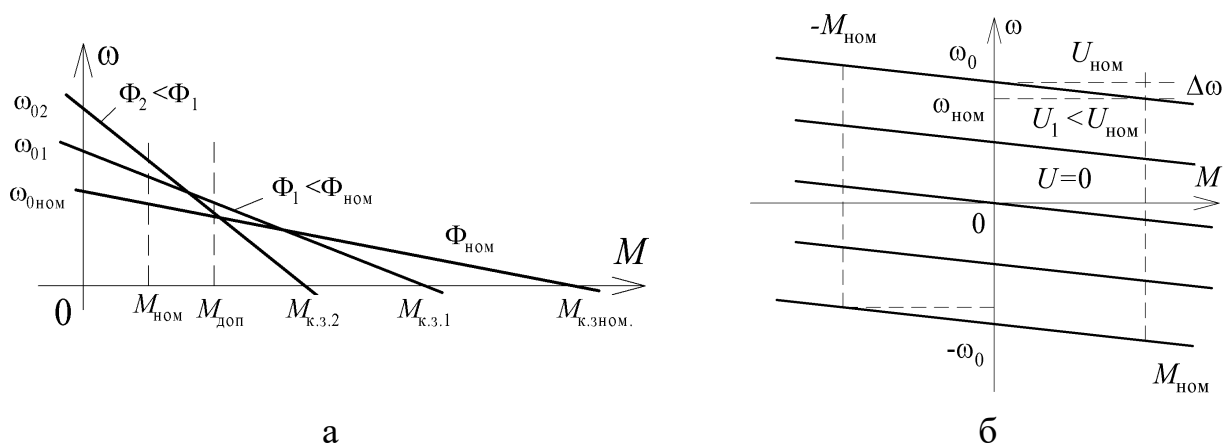
Қозғалтқыштың зәкіріндегі кернеудің өзгеруі номиналдыдан төмен қарай бағытқа болуы мүмкін. Осыған орай $\Delta\omega$ жылдамдықтың құлау шамасы өзгермейді

$$\Delta\omega = -\frac{M(R_{я} + R_{доб})}{(k\Phi_{ном})^2},$$

ал мінсіз бос жүрістің жылдамдығының шамасы пропорционалды төмендейді

$$\omega_0 = \frac{U_{я}}{k\Phi_{ном}}.$$

Осы жағдайлар үшін механикалық сипаттамалар 3.3, б - суретінде көрсетілген.



3.3 - сурет. $\Phi=var$ (а) және $U=var$ (б) кезіндегі жасанды МС

3.4 Тәуелсіз қозулары бар тұрақты ток қозғалтқыштарын іске қосу ерекшеліктері

ТТҚ торапқа қосу кезінде зәкірдің бастапқы моменті қозғалмайды, демек $E_{\text{я}} = 0$. Бұл жағдайларда зәкір тогы (іске қосу тогы) тек зәкір тізбектеріндегі щеткалы байланыстармен және ораманың электрлік кедергісімен шектеледі

$$I_{\text{яп}} = U / R_{\text{я}} \quad (3.2)$$

Зәкір кедергісінің шамасы аз болғандықтан, қозғалтқыштың іске қосу тогы қозғалтқыштың номиналды тогын 10-40 ретке арттыруы мүмкін. Бастапқы іске қосу тогын бұлай арттыруға болмайды, себебі ол ораманың қатты қызып кетуіне, электржетектің жылжымалы бөлігіне және зәкіріне соққылы әсерін тигізетін өте көп іске қосу моменттерінің пайда болуына әкеліп соқтырады, бұл электржетектің жылжымалы бөліктерінің механикалық зақымдалуына әкелуі мүмкін. Токтың үлкен мәндерінде коммутациялардың қалыпты жағдайлары бұзылады, бұл коллектордың зақымдалуына әкеледі.

Іске қосу тогының төмендеуі, (3.2) көрсетілгендей, екі тәсілмен болуы мүмкін: қоректендіру торабының кернеуін төмендетумен немесе зәкір тізбектерінің кедергісін арттырумен.

Зәкір тізбегіне сыртқы кедергіні енгізу кезінде бастапқы іске қосу тогы келесі өрнекпен анықталады

$$I_{\text{яп}} = U / (R_{\text{я}} + R_{\text{доб}})$$

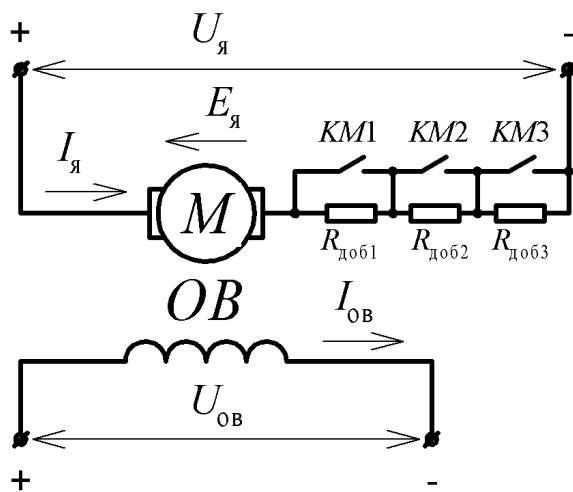
Сонымен, $I_{\text{яп}}$ бастапқы іске қосу тогы рұқсат етілетін мәннен аспайтын, әдетте $I_{\text{доп}} = 2I_{\text{ном}}$ екі номиналды мәнді құрайтын, резистор кедергісін таңдауға болады. Таңдалынған кедергі, шындығында іске қосылудың бастапқы кезеңін ғана қанағаттандырады, себебі зәкір орамасында қозғалтқыштың айналу кезіндегі ЭҚК индукциялана бастайды, оның шамасы айналу жылдамдығына пропорционалды.

Іске қосу тогын, сонымен бірге әске қосу моментін бастапқы деігейде ұстап тұру үшін резистор кедергісін азайту керек. Осы мақсатпен зәкір тізбегіне кедергіні сатылы реттегіші бар *іске қосу реостаты* деп аталатын айнымалы кедергінің резисторын қосады. Қазіргі уақытта көтеру немесе түсірудің төмендетілген жылдамдығын құру мақсатымен, кран қозғалтқыштарын басқару үшін қолмен іске қосу қолданылады. Басқа механизмдерде сатыларды ауыстырып қосулар кезінде көбінесе іске қосу реостаттарының элементтерін шунттайтын автоматтандырылған іске қосу қолданылады.

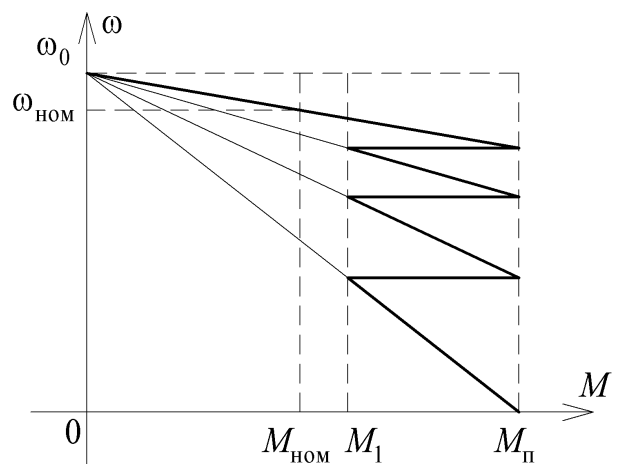
Іске қосу реостатын қолданумен ($Z=3$) үш сатыға қозғалтқыштың іске қосу процесін қарастырамыз. Іске қосуды бақылау әдетте ток функциясымен орындалады. M_1 моментіне сәйкес келетін токты *ауыстырып қосу тогы* деп атайды. Әдетте іске қосу токтарының мәндері (қолданылатын қозғалтқыш пен механизмге тәуелділігіне байланысты) тең:

$$I_{II} = (1,3 \div 2,5)I_{НОМ}; \quad I_I = (1,0 \div 1,3)I_{НОМ}.$$

Кранды-металлургиялық сериялы қозғалтқыштар үшін іске қосу тогының мәні артуы мүмкін. Іске қосу сатыларын есептеу графикалық және талдамалы орындалуы мүмкін.



3.4 - сурет. Іске қосу кедергілерін қосу сұлбалары



3.5 - сурет. ТҚ бар ТТҚ іске қосу диаграммасы

Салыстырмалы бірліктерде сатылардың кедергілерінің мәндерін үзіктер бойынша есептеуге болады:

$$\begin{aligned} R_1^* &= de/ae, \text{ бұл жерден } R_{НОМ} = R_1^* R; \\ R_2^* &= cd/ae, \text{ бұл жерден } R_{НОМ} = R_2^* R; \\ R_3^* &= bc/ae, \text{ бұл жерден } R_{НОМ} = R_3^* R, \end{aligned}$$

Қозғалтқыштың номиналды кедергісі

$$R_{НОМ} = U_{НОМ} / I_{яНОМ}.$$

Реостаттың жиынтық кедергісі

$$R_{пр} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Талдамалы әдіс

Іске қосудың жеделдетілген режимін есептеу кезінде іске қосу тогының шамасын паспорттық мәліметтер бойынша шектік-рұқсат етілетінге жақын немесе тең деп қабылдайды, яғни

$$I_{\text{н}} = \lambda_i I_{\text{ном}}$$

Бұл жағдайда Z іске қосу реостатының сатылары санымен беріледі және $I_{\text{н}}$ және I_1 токтарының арасындағы рационалды қатынасты анықтайтын шаманы λ есептейді:

$$\lambda_{\text{ном}} = \sqrt[Z]{U_{\text{н я}} / (I R)}$$

Содан соң ауыстырып қосатын токтың мәнін есептейді

$$I_{\text{н}} = I / \lambda$$

Егер іске қосу режимі қалыпты болса, онда ауыстырып қосу тогының шамасымен беріледі, ал λ қатынасы мына қатынаспен есептеледі

$$\lambda_{\text{ном}} = \sqrt[Z+1]{U_{\text{я}} / (I R)}$$

Осыдан кейін бастапқы іске қосу тогын анықтайды

$$I_{\text{н}} = I_1 / \lambda$$

Сатылардың кедергісін есептеу төмендегі формула бойынша орындалады:

$$R_{\text{я}} = R (\lambda - 1) ; R_2 = R_3 \lambda ; R_1 = R_2 \lambda$$

Есептеу мысалы [4, с.55] келтірілген.

3.5 Тәуелсіз қозуы бар тұрақты ток қозғалтқышының тежегіш режимдері. Тежегіш режимдердегі ТҚ бар ТТҚ механикалық сипаттамалары

Электр қозғалтқыштар қозғалтқыш режимдерден басқа тежегіш режимдерде жұмыс істеуі мүмкін. Тежегіш режим айналу жылдамдығы мен қозғалтқыш моментінің әр түрлі белгілерге ие болуымен сипатталады. Тоқтату немесе реверстің өтпелі кезеңдері өтуінің жылдамдығы мен дәлдігін көптеген жағдайда механизмнің өнімділігі анықтайды, ал кейде өндірілетін өнімнің сапасын да анықтайды. Электрлік тежегіштің үш нұсқасы болуы мүмкін:

- 1) Рекуперативтік тежегіш;
- 2) Динамикалық тежегіш;
- 3) Қосуға қарсы тежегіш.

Әрбір тежегіш режим генераторлық болып табылады, өйткені энергия машинаға біліктен келіп түседі, электрлікке түрлендіріледі және торапқа беріледі, әйтпесе активті кедергіге ие зәкірлік тізбектің элементтерін қыздыруға жұмсалады, және қоршаған ортаға тарап кетеді.

3.5.1 Рекуперативтік тежегіш

Мұндай режим қозғалтқыш жылдамдығы қозғалтқыштың мінсіз бос жүріс жылдамдығынан жоғары болғанда туындайды, яғни мына шарт орындалады

$$\omega > \omega_0 .$$

Сондықтан қозғалтқыштың ЭҚК торап кернеуінен үлкен болады ($E_{я} > U_c$), және қозғалтқыш тогы бағытын өзгертеді. Сонымен бірге қозғалтқыш генератормен жұмыс істейді және энергияны торапқа береді. Қозғалтқыштың электрмагниттік моменті сыртқы айналу моментіне қарсы әрекет етеді.

Тежегіштің бұл түрі энергия торапқа қайтарылатындықтан, айтарлықтай үнемді болып табылады. Бұл тәсілді қолдану тиімді энергия үнемдегіш құрал болып табылады. Бұл режим жетек жиі іске қосылыстар және тоқталыстармен жұмыс істеген кезде мақсатты. Мысалы, электркөлік. Ылдилап қозғалу кезінде тежегіштің осы режимі туындау үшін қолайлы шарттар туындайды.

Берілген режим үшін қозғалтқышты қосу сұлбасы 3.6, а - суретінде көрсетілген, ал сипаттамалары 3.7 - суретінде берілген (1 сипаттама).

3.5.2 Динамикалық тежегіш

Мұндай тежегіште қажеттілік қозғалтқыштың тораптан ажырауынан кейін оның зәкірі кинетикалық энергия қорының әсерімен айналуын

жалғастырғанда туындайды. Егер технология бойынша қозғалтқыштың жылдам тоқтауы талап етілетін болса, динамикалық тежеліс пайдаланылады.

Берілген тәсіл кезінде қозғалтқыш зәкірінің тежегіші тежегіш кедергісімен тұйықталады, ал қозу орамасы тежегіш моментін туғызу үшін, торапқа қосылған күйінде қалады. Өндірілетін энергия жылуға өтеді және қоршаған ортада таралады. Бұл режимде торап кернеуіне әрдайым қарсы бағытталған қозғалтқыштың ЭҚК әсерімен аға бастағандықтан қозғалтқыш тогы белгісін өзгертеді

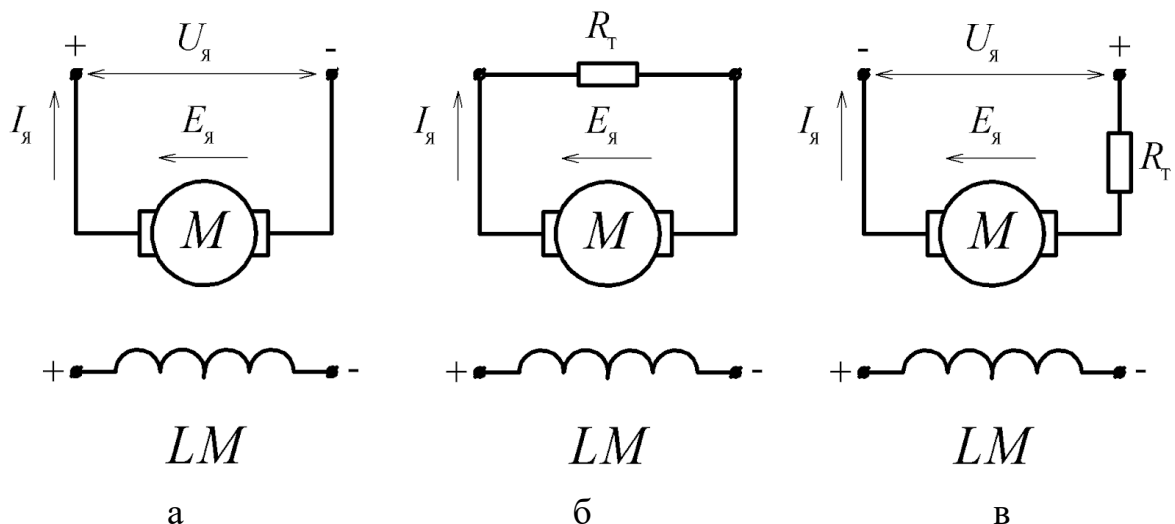
$$I_{я} = (U_{я} - E_{я}) / R_{я\Sigma} = -E_{я} / (R_{я} + R_{д.т.})$$

Тежегіш кедергінің шамасын төмендегі формуламен анықтауға болады

$$R_{д.т.} = \frac{\omega_{т.нач}}{(1,1 \div 1,8)M_{ном}} - R_{я}$$

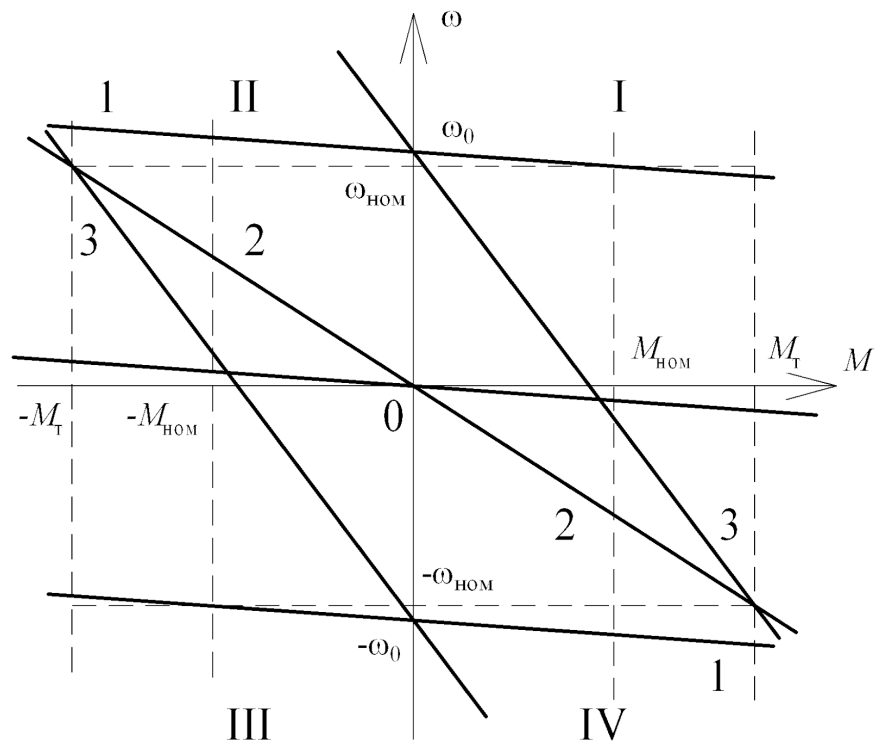
Сондықтан тежелу моментінің өте аз мәні тежелу процесінің созылуына әкеледі, ал өте үлкен ток қозғалтқыштың қылшақ-коллекторлық аппаратының жұмысында теріс айтылады.

Берілген режим үшін қозғалтқышты қосу сұлбасы 3.6, б – суретінде көрсетілген, ал сипаттамалары 3.7 - суретінде (2 сипаттама).



3.6 - сурет. Жұмыстың тежегіш режимдерінде қозғалтқышты қосу сұлбалары

(а-рекуперативтік, б-динамикалық, в-қосуға қарсы)



3.7 - сурет. Тежегіш режимдердегі ТҚ бар ТТҚ механикалық сипаттамалары

3.5.3 Қосуға қарсы тежегіш

Реверс немесе тежегіш уақытын азайту үшін, кейде берілген режимді қолданады. Бұл режимді қоректенетін кернеудің полярлығының ауысымы кезінде, әрекеттегі қозғалтқышта жүзеге асыру мүмкін болады. Мұндай жағдайда торап кернеуі мен қозғалтқыштың ЭҚК бағыты сәйкес келеді

$$I_{я} = (-U_{я} - E_{я}) / R_{я\Sigma},$$

бұл зәкір тогын шектемеу зәкір тогының үлкен шамасына әкелетіндігін көрсетеді, яғни бұған жол берілмейді.

Тежегіш кедергінің шамасы формула бойынша таңдалады

$$R_{т.п.} = \frac{\omega_{т.нач} + \omega_0}{(1,1 \div 1,8)M_{НОМ}} - R_{я}.$$

Қосуға қарсы тежегіш көбінесе қозғалтқыштың реверсі үшін қолданылады. Қозғалтқыштың дәл тоқтауы үшін бұл режим ыңғайлы емес, себебі қозғалтқышты нөлдік жылдамдықтың нүктесінде тоқтату үшін аппаратураны дәлдеп күйге келтіру талап етіледі. Егер қозғалтқышты тораптан ажыратпаса, онда ол қозғалтқышты режимге өтеді, және ары қарай қозғалтқыштың білігінде номиналды момент болған кезде номиналды жылдамдыққа дейін үдетіледі. Қозғалтқышты дәл тоқтату үшін динамикалық тежеу режимі қолданылады.

Берілген режим үшін қозғалтқышты қосу сұлбасы 3.6, в - суретінде көрсетілген, ал сипаттамалары 3.7 - суретінде (3 сипаттама).

4 АЙНЫМАЛЫ ТОК ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТІ

4.1 Асинхронды және синхронды электрқозғалтқыштар. Жұмыс істеу қағидалары

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштар заманауи электржетектің негізін құрайды. Оларды ТТҚ – дан құрылысының қарапайымдылығы, сенімділігі, жоғары технико-экономикалық көрсеткіштері ерекшелейді. Қазіргі уақытта жиілікті түрлендіргіштер АҚ реттеулік қасиетін ТҚ бар ТТҚ қарағанда жақсырақ етуге мүмкіндік береді.

АҚ роторын құрылысы бойынша фазалы роторы (ФР) бар қозғалтқыштар мен қысқа тұйықталу роторы (ҚТР) бар қозғалтқыштарға бөледі. Аса қарапайым құрылыс ҚТР бар АҚ. Мұндай қозғалтқыштың роторы оның орамасы қысқа тұйықталған клеткалар түрінде орындалғандықтан, өткізгішке ие емес. Оның орамасы екі жақтары қысқа тұйықталатын сақиналармен тұйықталған, ротор жүрекшесінің периметрі бойынша орналасқан мыс және алюминий өзекшелер қатары түрінде орындалған. Құрылысының қарапайымдылығы оларды жоғары сенімділікпен, жоғары емес құны және қызмет көрсету қарапайымдылығымен қамтамасыз етеді. ҚТР СС АҚ қосу сұлбасы 4.1, а -суретінде көрсетілген.

Фазалы ротор статор орамаларының түрі бойынша орындалған үшфазалы орамаға ие (4.1, б - сурет). Орауыштың бір соңы нөлдік нүктеге («жұлдыз») қосылған, ал екіншісі – байланыс сақинасына қосылған. Сақинаға ротордың орамасымен сырғымалы байланысты жүзеге асыратын қылшақ салынған. Мұндай құрылыс кезінде ротор орамасына іске қосушы немесе реттегіш реостатты жалғау мүмкін, ол ротор тізбегіндегі электрлік кедергіні өзгертуге мүмкіндік береді. Мұндай қозғалтқыштар дайындалуда және пайдалануда өте күрделі, сондықтан ҚТР бар АҚ қолдану механизм жетегіне талаптарды қамтамасыз етпейтін жерде қолданылады.

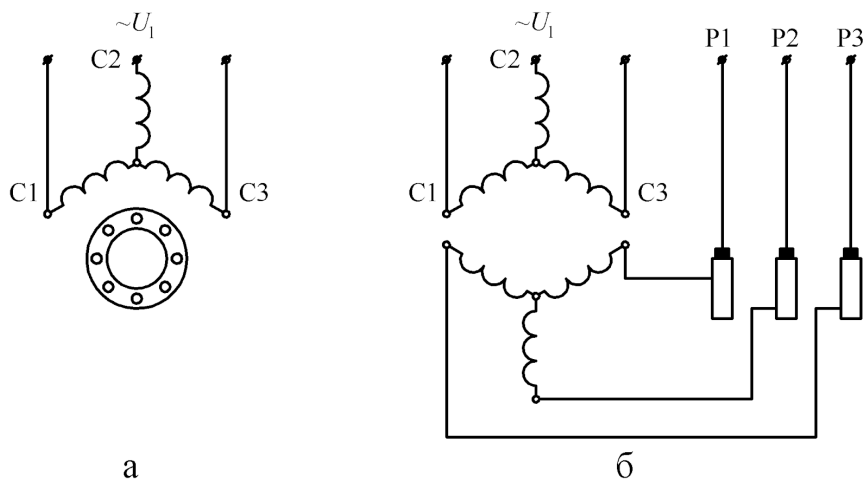
АҚ роторы статор орамасымен жасалатын статордың айналмалы магниттік өрісінен кейіндеп қалады, яғни айналу асинхронды түрде болады. Бұл шарттар кезінде статордың айналатын өрісі ротор орамасында ЭҚК индукциялайды, оның әсерінен роторда ток ағып өтеді, ол қозғалтқыштың айналу моментін тудыра отырып, айналғыш магниттік өріспен (АМӨ) өзара ықпалдасады. Жұмыс режимдерінде статор мен ротордың айналу жиіліктерінің айырмашылығы өте үлкен емес және бірнеше пайызды құрайды. АҚ жұмысының процесстерін қарастыру кезінде s сырғу түсінігін пайдаланады

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$$

Жұмыс режиміндегі асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы

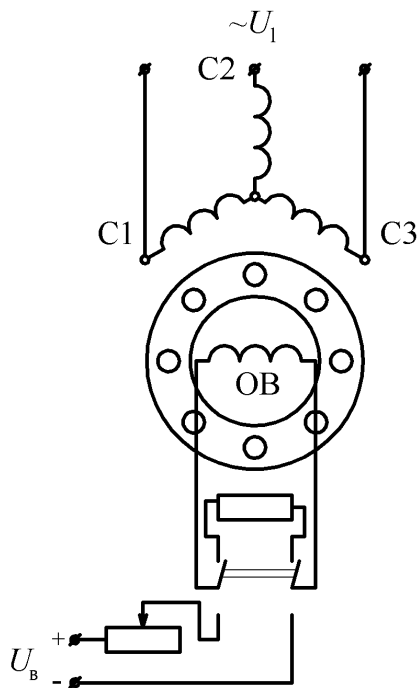
$$\omega = \omega_0(1 - s),$$

магнитті өрістің айналуының синхронды жиілігі $\omega_0 = 2\pi f_1 / p$; f_1 – қоректену кернеуінің жиілігі U_1 ; p – полюстер жұбының саны.



4.1 - сурет. ҚТР (а) және ФР (б) бар асинхронды қозғалтқыштарды қосу сұлбалары

Синхронды қозғалтқыштың (СҚ) статоры құрылысы жағынан АҚ статорынан айырмашылығы жоқ. СҚ роторы айқын полюсты құрылысқа ие, бұл полюстерде қозу орамасы орналасқан. Тұрақты ток көзіне орамаларды қосу кезінде қозғалтқышта қосымша магниттік өрістер пайда болады. Сонымен, синхронды қозғалтқыштың жұмысы үшін 3 фазалы айнымалы кернеуден басқа тұрақты кернеу де талап етіледі. Бұл ережеден тыс тұрақты магниттермен қоздырылатын қозғалтқыштар құрайды. Мұндай қозғалтқыштар өте қатты механикалық сипаттамаларға ие: қозғалтқыш роторы ω_0 жиілікті айналатын магнитті өріспен синхронды айналады.



4.2 - сурет. СҚ қосу сұлбасы

Синхрондыдан АҚ айырмашылығы іске қосу моментін тудырмайды, себебі қозғалтқыш роторы екпінді болғандықтан синхронды жылдамдыққа дейін тез үдемейді. СҚ іске қосу үшін оны жылдамдығы синхрондыға жақын ($\omega \approx 0,95\omega_0$) айналымға дейін алдын ала жеткізу қажет. Осы мақсатпен іске қосу орамасы орналасқан қозғалтқыш роторындағы, құрылысы тиін клеткасына ұқсас асинхронды іске қосқышты қолданады.

СҚ асинхронды іске қосу процесі келесі түрде жүреді (4.2 - сурет).

СҚ статор орамасын қосу кезінде СҚ торапқа асинхронды түрде қосылады. Осы кезде қоздыру орамасын ЭҚК шамасын шектеу үшін кедергіге тұйықтайды, ол қозғалтқышты іске қосу кезінде ҚО келтіріледі. Номиналдыға жақын айналу жылдамдығына жеткен кезде қоздыру орамасын тұрақты кернеуге жалғайды, және қозғалтқыш синхронизмге тартылады, яғни қозғалтқыштың айналу жылдамдығы синхронды жылдамдыққа тең болады.

Синхронды қозғалтқыштар үлкен қуаттармен шығарылады: бірнеше жүзден мың киловаттқа дейін. Бұл олардың қуаты аз болған кезде оларды технико-экономикалық көрсеткіштері бойынша қолдану тиімсіз болуымен түсіндіріледі.

СҚ әдетте белгілі бір мақсатқа арналады, яғни әрбір сериясы нақты бір механизмдер үшін әзірленеді (шарлық ұнтақтағыштар үшін - СДМЗ, сығымдағыштардың жетегі үшін – СДК, сорғыштардың жетегі үшін ВДС және басқалары).

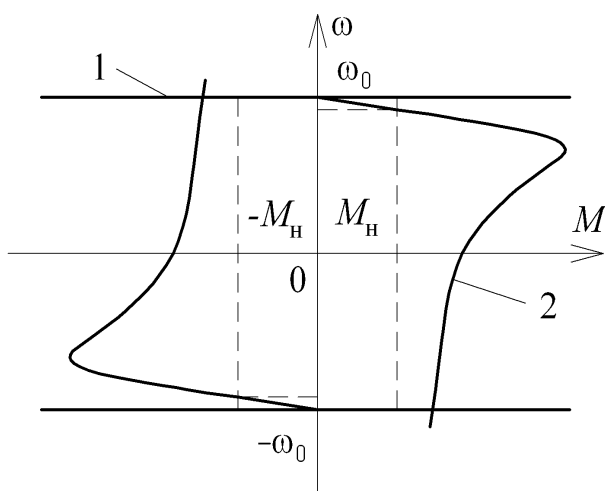
Синхронды қозғалтқыштар $\lambda_M = 1,7 \div 3,0$ асқын жүктемелейтін қабілетке ие.

СҚ тағы да бір ерекшелігі болып $\cos \varphi = 1$ шамасымен жұмыс істеуге қабілеттілігі табылады, бұдан басқа асқын қозу кезінде синхронды

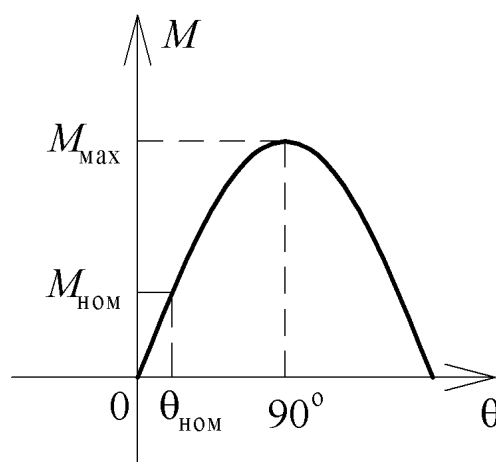
қозғалтқыш сыйымдылық жүктемені генерирлей бастайды. Тораптарда $\cos \varphi$ арттыру үшін білікте жүктемесіз жұмыс істейтін, арнайы құрастырылған асқын жүктемелі СК деп ұсынылатын синхронды қарымталағыштар қолданылады.

Синхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары 4.3 -суретінде (1 түзу) көрсетілген.

Синхронды қозғалтқыштар үшін бұрыштық сипаттама маңызды мәнге ие, яғни синхронды машинаның моменті θ бұрышына тәуелді. θ бұрышы - бұл қозғалтқыштың ЭҚК мен статордағы кернеулер арасындағы бұрыш. 4.4 - суретінен көрінгендей, 90 градустан үлкен мәндер кезінде қозғалтқыш синхронизмнен құлайды, яғни бұрыштық сипаттамалардың аумағы $\theta > 90^\circ$ кезінде тұрақсыз болып табылады.



4.3 - сурет. Асинхронды және синхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары



4.4 - сурет. СК бұрыштық сипаттамасы

4.2 Асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары

АҚ механикалық сипаттамаларының теңдеуін шығару үшін, 4.5-суретінде келтірілген қозғалтқыштың қарапайым орын басу сұлбасын қолдануға болады. Сұлбада келесі белгілеулер қабылданған: U_1 - бастапқы фазалық кернеу; I_1 - статордың фазалық тогы; I_2' - ротордың келтірілген тогы; X_1 және X_2 - таралудың бастапқы және қайталама келтірілген реактивті кедергілері; R_0 және X_0 - магниттелу контурының активті және реактивті кедергісі.

Механикалық сипаттамалардың теңдеуін ауалық қуыс арқылы қозғалтқыштың роторына берілетін, активті электрмагнитті қуаттың өрнегінен алуға болады

$$P_{12} = M\omega_0 = 3(I_2')^2 R'_{2\Sigma} / s ,$$

бұдан

$$M = \frac{3(I_2')^2 R'_{2\Sigma}}{\omega_0 s} . \quad (4.1)$$

Келтірілген ротор тогы I_2' үшін өрнекті Кирхгофтың бірінші заңы бойынша орын басу сұлбасынан табуға болады

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_k + R_2' / s)^2 + (X)^2}} , \quad (4.2)$$

мұндағы $X_k = X_1 + X_2'$ - қысқа тұйықталудың индуктивті кедергісі.

Олай болса, моментке арналған (4.1) теңдеуге (4.2) қоя отырып, аламыз

$$M = \frac{3U_1^2 R'_{2\Sigma}}{\omega_0 s [(R_k + R_2' / s)^2 + (X)^2]} . \quad (4.3)$$

(4.3) формуласын талдау, оның экстремум нүктелеріне ие екендігін көрсетеді; экстремумға сәйкес критикалық сырғулар s бойынша саралау және осы туындыны нөлге теңестіру жолымен анықталуы мүмкін:

$$s_k = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_k^2 + X^2}} .$$

Критикалық сырғулар үшін формуланы (6) қоя отырып, критикалық моменттің өрнегін табуға болады

$$M_k = \frac{3U_1^2}{2\omega_{\theta}[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X^2}]}$$

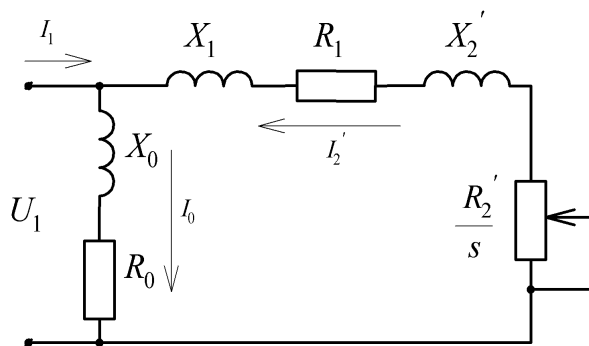
(6) моменті үшін өрнекті өзгерткен соң, Клосстың анықталған формуласы түрінде жазуға болады:

$$M = \frac{2M_k(1 + as_k)}{s/s_k + s_k/s + 2as_k}, \quad (4.4)$$

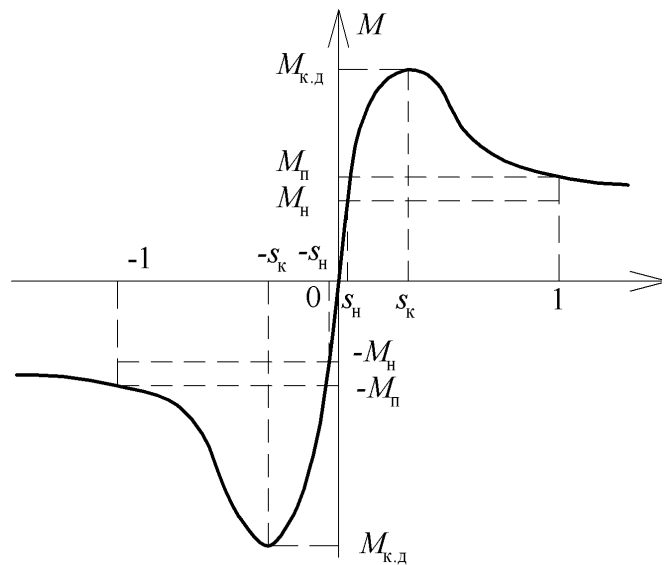
мұндағы $a = R_1 / R'_{2\Sigma}$.

Механикалық сипаттаманың түрі 4.6 - суретінде көрсетілген.

(4.4) формуласын талдау, $s \ll s_k$ кезінде механикалық сипаттама сызықтық тәуелділікке жақын $M \approx 2M_k s / s_k$, ал үлкен сырғулар ($s \gg s_k$) аймағында гиперболалық сипаттамағы ие: $M \approx 2M_k s_k / s$. $s = s_k$ болған кезде момент максималды мәнді қабылдайды, себебі қозғалтқышты режимдегі критикалық моменттің сәйкесті мәні генераторлы режимге қарағанда аз.



4.5 - сурет. АҚ орын басудың Г-бейнелі сұлбасы



4.6 - сурет. АҚ механикалық сипаттамасы

АҚ МС сипаттамалы нүктелері:

1) $s = 0; M = 0$, сондықтан қозғалтқыш жылдамдығы синхронды жылдамдыққа тең;

2) $s = s_n; M = M_n$, қозғалтқыш жұмысының номиналды режиміне сәйкес келеді;

3) $s = s_k; M = M_{к.д}$ - қозғалтқышты режимдегі механикалық сипаттамалардың экстремумы;

4) $s = 1; M = M_n$ - іске қосу. Уақыттың осы моментінде қозғалтқыш іске қосу моментін дамытады;

5) $s = -s_k; M = -M_{к.г}$ - генераторлы режимдегі механикалық сипаттамалардың экстремумы.

$s > 1$ болғанда қозғалтқыш қосуға қарсы тежеу режимінде жұмыс істейді, $s < 0$ болғанда генераторлы жұмыс режимі тораппен қатар орынға ие.

4.3 Асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының түріне параметрлердің ықпалы. Жасанды механикалық сипаттамалар.

Асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігін мына өрнектен аламыз

$$\omega = 2\pi f_1(1 - s) / p$$

демек, бұл қозғалтқыштың білігіндегі тұрақты статикалық жүктемелік момент M_c ротордың айналу жиілігі қоректендіруші тораптың жиілігінен f_1 , ролюстар жұбының саны P және сырғанау шамасына s тәуелді. Сонымен бірге номиналды жұмыс режимдерінде қозғалтқыштың ЭҚК шамасы қоректенуші кернеу шамасынан көп ерекшеленбейді, сондықтан

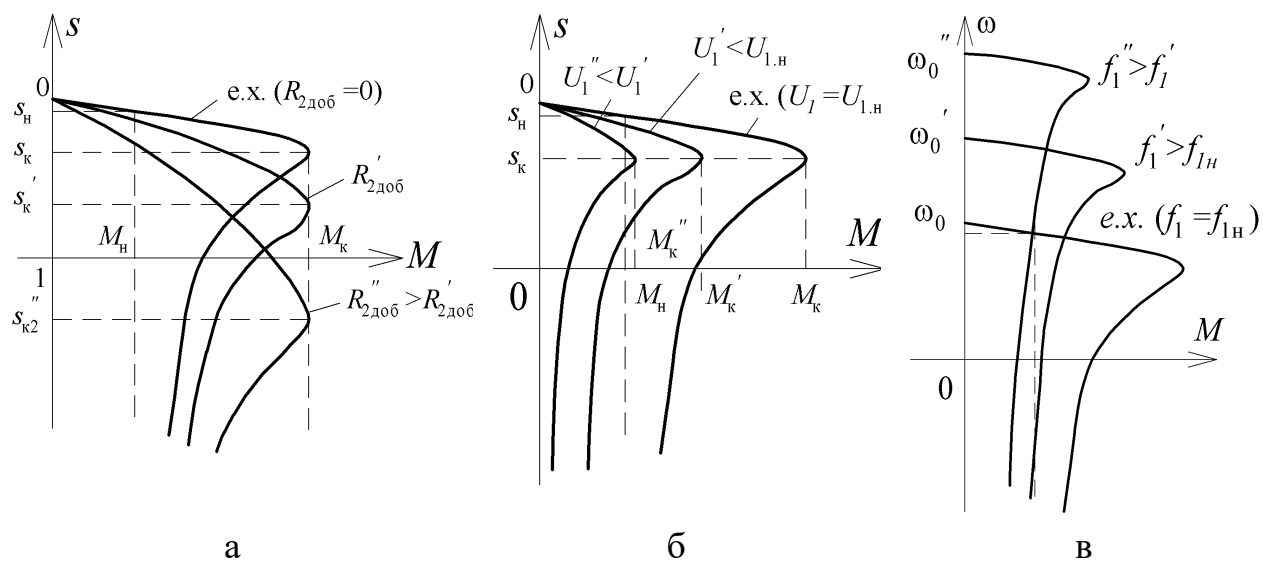
$$U_1 \cong E_1 = \Phi_{44} f_1 w_1 \quad (4.5)$$

4.3.1 Ротор кедергісінің өзгеруі

Жылдамдықты реттеудің берілген тәсілі ротордың $R'_{2\text{доб}}$ қосымша кедергісінің шамаларының өзгеру мүмкіндігіне ие фазалы роторы бар қозғалтқыштар үшін мүмкін. Сондықтан, бұл параметрді түрлендіру кезінде критикалық моменттер мен сырғуларға арналған өрнектен сырғу шамасы өзгертін болады, ал критикалық момент шамасы өзгеріссіз қалатын болады. Жылдамдықты реттеудің бұл тәсілін *реостатты* деп атайды. Жасанды сипаттамалардың түрі 4.7, а - суретінде көрсетілген.

Критикалық момент шамасы ротордың кедергісінің өзгеруі кезінде өзгеріссіз қалады, ал критикалық сырғулар шамасы өзгереді.

Берілген реттеу тәсілінде іске қосу моментінің мәні артады, қозғалтқыш қызбайды, алайда жиынтық шығындар артады, ал жалпы ПӘК төмендейді.



4.7 - сурет. $R'_{2\Sigma} = var$ (а), $U_1 = var$ (б), $f_1 = var$ (в) кезіндегі жасанды АҚ МС

4.3.2. Статордағы кернеудің өзгеруі

Берілген тәсілде қозғалтқыш статоры кернеуінің алғашқы гармоникасының шамасы өзгереді $U_1 = var$. Сондықтан, критикалық сырғу шамасы өзгермейді, яғни $s_k = const$ (4.7, б - сурет). Критикалық моменттің шамасы өзгереді, себебі момент шамасы статордың кернеу квадратына пропорционал болатын дәйек маңызды. U_1 шамасы өзгеретін реттеуді *фазалы* деп атайды. Кернеудің өзгеруі тек төмендеу бағытына қарай болуы мүмкін, себебі f_1 жиіліктің тұрақтылығы кезінде кернеудің артуымен магниттік өрістің шамасы ұлғаяды. Бұл өз кезегінде магниттелу тогының едәуір артуына әкеліп соғады, ол машинаның қанығу құбылысы салдарынан қозғалтқыштың тогының номиналды мәніне жетуі және едәуір артуы мүмкін.

4.3.3 Қоректенуші тораптардың жиіліктерінің өзгеруі.

Формулаға сәйкес, синхронды жиілік үшін $\omega_0 = 2\pi f_1 / p$, статордағы қоректенуші кернеудің жиіліктерінің өзгеруі кезінде $f_1 = var$ айналатын магниттік өрістің ω_0 айналу жиілігі өзгеруі мүмкін. (4.5) формуласынан $U_1 = const$ болғанда жиіліктердің азаюы кезінде магниттік өрістің ұлғаюы болатындығы көрінеді, бұл машинаның қанығуына және магниттелу тогының I_0 жоғары артуына әкеледі. Сондықтан жиіліктердің өзгеруі тек номиналдыдан жоғары болуы мүмкін. f_1 артуы кезінде индуктивті кедергілердің артуы болады $X_k = (L_1 + L_2')\omega_{\text{эл}} = (L_1 + L_2')2\pi f_1$, бұл өз кезегінде критикалық сырғулар мен моменттің азаюына әкеледі (4.7, в - сурет).

Қозғалтқыштың ЭҚК үшін формуланы қайта жазамыз, магниттік ағынның сол жақ бөлігін қалдыра отырып

$$\Phi_0 = \frac{U_1}{4.44 w_1 f_1}$$

Орама орамдарының w_1 саны тұрақты болғандықтан, магниттік ағынның тұрақты мәндерін Φ_0 қамтамасыз ету үшін U_1 / f_1 тұрақты қатынасын қолдау қажет, яғни $U_1 / f_1 = const$ заңының орындалуын қамтамасыз ету қажет.

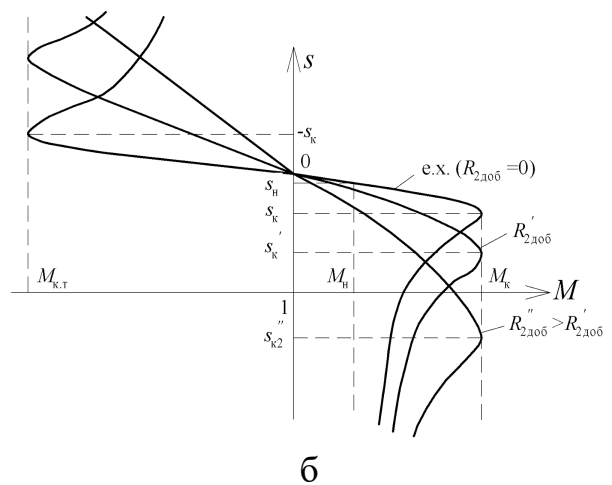
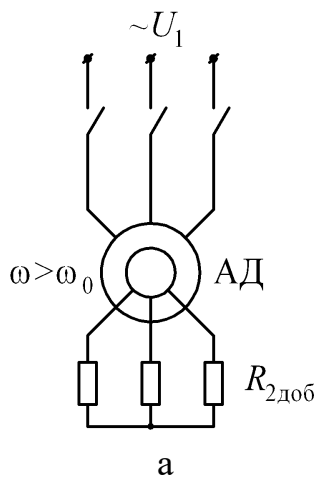
4.4 Асинхронды қозғалтқыштың тежелу режимдері. Тежелу режимдеріндегі асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары

4.4.1 Рекуперативті тежелу режимі

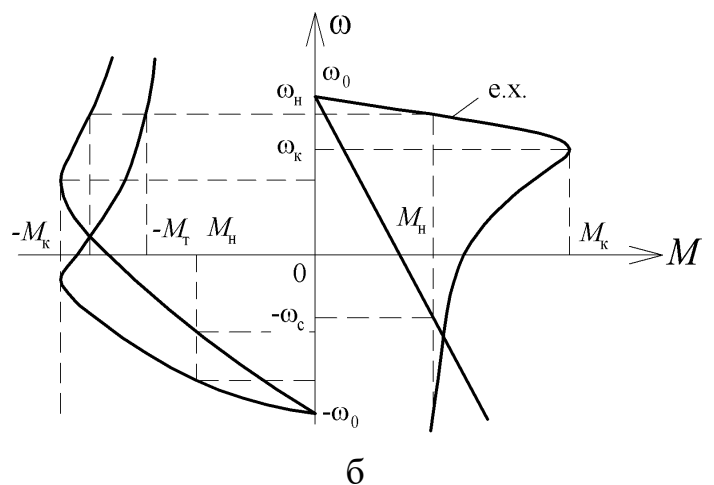
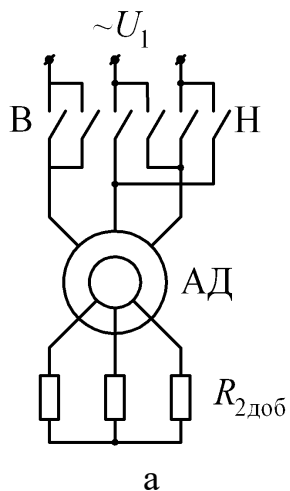
Берілген режим ротордың айналу жиілігінің артуы кезінде статордың магнитті өріс айналымының синхронды жиілігіне қатысты туындайды ($\omega > \omega_0$). Бұл шарттарда қозғалтқыштың электрмагниттік моменті теріс болады, ал өндірілетін энергия торапқа беріледі. Бұл режимді іс жүзінде жұмыс істейтін қозғалтқыштың айналымының синхронды жиілігін азайта отырып алуға болады. АМӨ айналу жылдамдығына арналған ($\omega_0 = 2\pi f_1 / p$) формуладан мұны екі тәсілмен жасауға болатыны көрініп тұр: статор орамасында полюстер жұбын P көбею жағына қарай өзгертумен, немесе қоректендіру кернеуінің жиілігін f_1 кемітумен. Бұл режим лифттердегі қозғалтқыштың толық тоқтауы алдындағы айналу жиілігін кеміту үшін қолданылады, немесе қозғалтқыш активті моментке жұмыс істеген жағдайларда (мысалы, көтергіш-көліктік машиналарда) қолданылады. Қосу сұлбасы және рекуперативті тежелу режиміндегі қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы 4.8, а, б -суретінде келтірілген.

4.4.2 Қосуға қарсы тежелу режимі

Режим активті статикалық момент іске қосу моментіне қарағанда үлкен болса, немесе фазалар алмасуы кері қарай өзгерген кезде орындалады, осы кезде магниттік өрістің айналу жиілігі айналу бағытын кері бағытқа өзгертеді. Берілген режим тежелу уақытының айтарлықтай азаюы арқасында үлкен моменттерді алуға мүмкіндік береді. Егер фазаларды алмастырып қайта қосу кезінде қозғалтқышты нөлге жақын жылдамдықта қосса, онда қозғалтқыш айналымның басқа бағыттағы қозғалтқыштық жұмыс режиміне өтеді. Тежелудің мұндай тәсілі кезінде қозғалтқышта үлкен токтар пайда болады, сондықтан мұндай режим ФР бар қозғалтқыштары үшін және қозғалтқыштың максималды тогын шектеу үшін ротор тізбегіне қосымша кедергіні енгізу арқылы қолданылады.



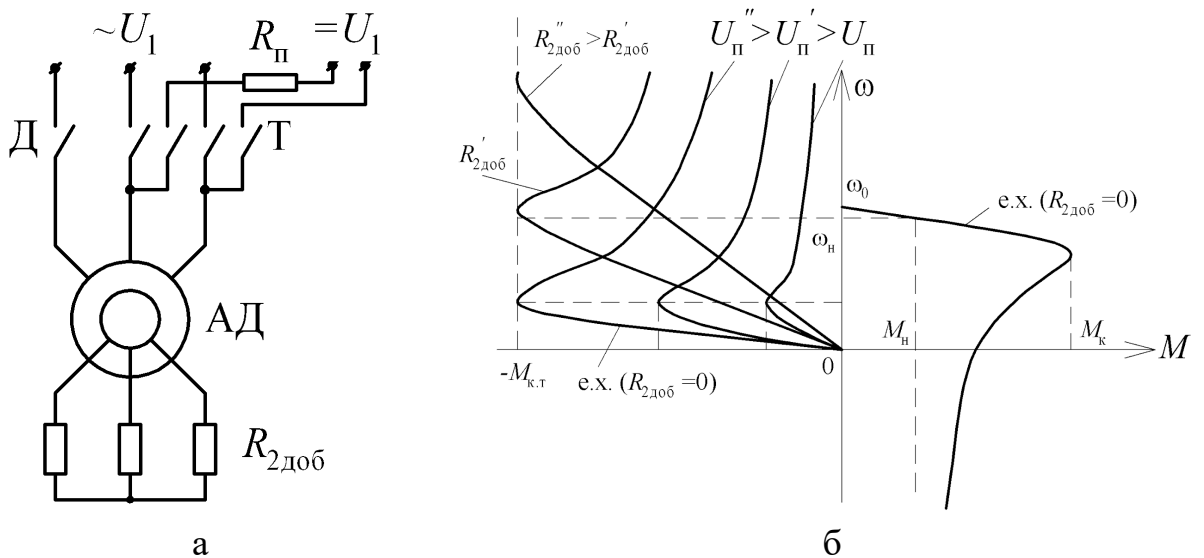
4.8 - сурет. АҚ қосу сұлбасы (а) және рекуперативтік тежелулер кезіндегі механикалық сипаттамалар (б)



4.9 - сурет. АҚ қосу сұлбасы (а) және қосуға қарсы тежелулер кезіндегі механикалық сипаттамалар (б)

ФР бар асинхронды қозғалтқышта қозғалтқыштың моменті мен тогын ротор тізбегіне қосымша кедергіні енгізу арқылы реттеуге болады. Сонымен қатар тежелу режимінде механикалық сипаттаманың қаттылығы өзгереді. Тежелу кезінде барлық энергия ротор кедергісі мен қосымша кедергілерге бөлінеді, сондықтан бұл режим үнемді емес болып табылады.

Осы режим үшін қосу сұлбасы мен механикалық сипаттама 4.9, а, б -суреттерінде сәйкесінше көрсетілген.



4.10 - сурет. АҚ қосу сұлбасы (а) және динамикалық тежелулер кезіндегі механикалық сипаттамалар (б)

4.4.3 Динамикалық тежелу

Тежелудің бұл түрі үшфазалы АҚ айнымалы токтың торабынан ажырату және тұрақты ток көзіне қосу кезінде болады. Сондай-ақ тұрақты ток статордың жылжымайтын магниттік өрісін тудырады. Бұл шарттарда серпінмен айналатын роторда ЭҚК келтіріледі, ротор орамасында ток пайда болады, оның магниттік өріспен өзара әрекеті қозғалтқыш білігінде тежелу моментін тудырады. Динамикалық тежелу процесінде электржетектің айналатын массасының механикалық энергиясы тізбек роторына қосылған қосымша резисторлар мен ротор орамаларын қыздыруға жұмсалатын электр энергиясына түрленеді. Нөлге жақын жылдамдық кезінде ЭҚК нөлге тең болады, ток тоқтайды, және тежелу моменті жоғалады.

Берілген режимді қозғалтқыштың дәл тоқтауы үшін қолданады. Тұрақты ток тек статор орамасының активті кедергісін жеңеді, сондықтан динамикалық тежелу кезінде статор орамасына жинақталған тұрақты ток кернеуі қозғалтқыш жұмысына сай келетін айнымалы токтың кернеуінен төмен болуы керек, өйткені статор орамасындағы ток номиналды мәннен аспауы керек. Динамикалық тежелудің механикалық сипаттамалры мен қосу сұлбасы 4.10, а, б - суреттерінде көрсетілген.

5 ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ БҰРЫШТЫҚ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

5.1 «Реттеу» түсінігінің анықтамасы

Технологиялық процесстерге (ТП) қойылатын талаптардың үздіксіз артуы электржетекке қойылатын талаптардың да артуына әкеп соғады, ол ТП қатысатын жұмыс механизмдерінің қозғалысына әкеледі. ТП көбісінде технологиялардың қажетті сапасын арттыру үшін қуат ағынын реттеу талап етіледі. Бұларға металл өңдейтін станоктар, тегістеу станоктары, көтергіш және көлік механизмдері, қағаз, көмір, тоқыма өнеркәсіптерінің әр түрлі механизмдері жатады. Сондықтан, металл кескіш станоктардағы электржетектің жылдамдығы өңделетін металлдың түріне, кесу сапасына, бұйым өлшеміне байланысты реттеледі. Тегістеу станоктарында әрбір бағыт үшін жетектің аса жақсартылған жұмыс режимдері болады.

Лифттердегі жылдамдықты реттеу жүргіншілердің ауысу қолайлылықтарын айтарлықтай жоғарылауға мүмкіндік береді. Қазандықтағы түтін сору жұмыстарының жылдамдығы сыртқы параметрлермен анықталады (өндірістік талап ететін ылғалдылық, күл қалу, жану шарттары).

Жылдамдықты *реттеу* деп технологиялық процесстердің талаптарына байланысты электржетек жылдамдығын мәжбүрлі түрде өзгертуді атайды. Жылдамдықты реттеу түсінігін жұмыс машинасының білігіндегі жүктемені өзгертуде электржетектерде пайда болатын жылдамдықтың табиғи өзгеруімен шатастыруға болмайды. Жылдамдықты реттеу жетекті қозғалтқышқа қосымша ықпал етумен жүзеге асырылады.

Шығындар мен мүмкіндіктер көзқарасынан алып қарағанда ең тиімдісі электрлік реттеу болып табылады, ол бүгінде атқарушы механизмнің жұмыс органына қуат ағындарын реттеудің басқа типтеріне қарағанда үстем.

Электржетектің жылдамдығын реттеуден басқа ереже мен моментті (ток) реттеуді қамтамасыз ету талап етіледі. Электржетек координатын реттеу есебі электржетекпен басқару жүйесін (ЭЖБЖ) жобалаулар кезінде шешіледі.

Әдетте реттеуді екі топқа бөледі: ажыратылған жүйелерде және тұйықталған жүйелерде. *Ажыратылған* жүйелер, ереже бойынша күрделі басқару құрылғылары мен кері байланыс тетіктерін талап етпейді (мысалы, бағдарламаланатын логикалық бақылаушылар). Ажыратылған реттеудің кемшілігі болып реттелетін координатты қолдаудың төмен дәлдігі табылады, бұл өндіріс технологиясына қажетті талаптарды орындауды жиі қамтамасыз ете алмайды.

Технологияларды үздіксіз іске асырумен және жұмыс орындарын автоматтандырумен байланысты реттеудің дәлдігі мен сапасына талаптар артады. Сондықтан реттеудің тұйықталған жүйелеріне орын бере отырып, ажыратылған жүйелерді қолдану аймағы тарылады. Координат бойынша кері байланыстарды енгізу координатты автоматты түрде реттеуді қамтамасыз етеді, сондықтан электржетекті реттеу жүйесін автоматты реттеу жүйесі

(АРЖ) деп атайды. Кей кезде аса кең термин қолданылады – автоматты басқару жүйесі (АБЖ).

Тұйықталу жүйелерінде реттеуді екі түрге ажыратады: ауытқу бойынша және толқу бойынша. Толқулар бойынша реттеу оң кері байланыс көмегімен кері байланыс көмегімен реттелетін координаталарға толқулардың ықпалын қарымталауды көздейді. Электржетекте реттеудің бірінші түрі қолданылады – толқу бойынша. Оң кері байланыстарды қолдану тұрақсыздық құбылыстарының туындауына әкеледі, бұл жүйені жұмысқа қабілетсіз қылады, сондықтан ығысу бойынша реттеу жетекте қолданылмайды.

Реттеуді іске асыру ЭМЖ қосымша басқару құрылғыларын енгізуді талап етеді. Ажыратылған жүйеде түйістіргіштер, реле, резисторлар, реакторлар және т.б. енгізіледі.

Автоматтық реттеуді жүзеге асыру үшін, жүйелердің параметрлерін кері байланыстың ықпалымен автоматты түрде өзгертуге мүмкіндік беретін басқарылатын түрлендіргіштер мен реттегіштер қарастырылады. Электрмашиналық және желдеткіштік басқарылатын түрлендіргіштер мен электржетектің сәйкесті жүйелері кеңінен қолданылады: генератор жүйесі – қозғалтқыш (Г-К); тиристорлы (немесе транзисторлы) түрлендіргіш – қозғалтқыш (ТТ-К); жиілікті түрлендіргіш жүйе – асинхронды қозғалтқыш (ЖТ-АК).

5.2 Электржетектердің бұрыштық жылдамдығын реттеу сапасының көрсеткіштері

Реттелетін электржетекке қойылатын талаптардың есептік анықтаулары үшін және реттеудің мүмкін болатын тәсілдерін өзара салыстыру үшін реттеудің жинақталған көрсеткіштері қолданылады. Олардың қатарына реттеу дәлдігі, бірқалыптылық, жылдамдықтың тұрақтылығы, әр түрлі жылдамдықтардағы рұқсат етілетін жүктеме, сапаның динамикалық көрсеткіштері және реттеу үнемділігі.

5.2.1 Реттеу дәлдігі

Ауыспалыны реттеу дәлдігі оның толқытушы факторлардың әсерімен берілген мәндерден мүмкін болатын ауытқуларымен анықталады (жүктемелердің өзгерулері, кернеулердің тербелістері және басқалары). Ажыратылған жүйедегі реттеулер кезінде барлық толқытушы әсерлердің өзгеруінің белгілі шектері кезінде координатаның орташа мәні өабылдануы мүмкін. Осы кезде реттеудің дәлдігін бағалау ретінде ең үлкен ауытқудың $\Delta\omega_{\max}$ орташа мәнге $\Delta\omega_{\text{ср}}$ қатынасы алынуы мүмкін

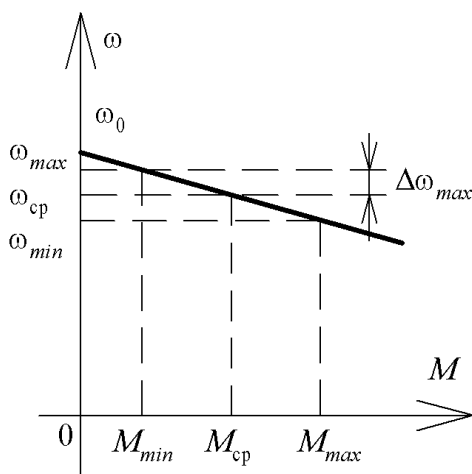
$$\Delta\omega_{\text{ср}*} = \Delta\omega_{\max} / \omega = (\omega_{\max} - \omega_{\min}) / (\omega_{\max} + \omega_{\min}),$$

мұндағы ω_{\max} және ω_{\min} – параметрдің берілген мәндері немесе берілетін дабыл мен толқулардың өзгеру шектері кезіндегі ауыспалының максималды және минималды мәндері.

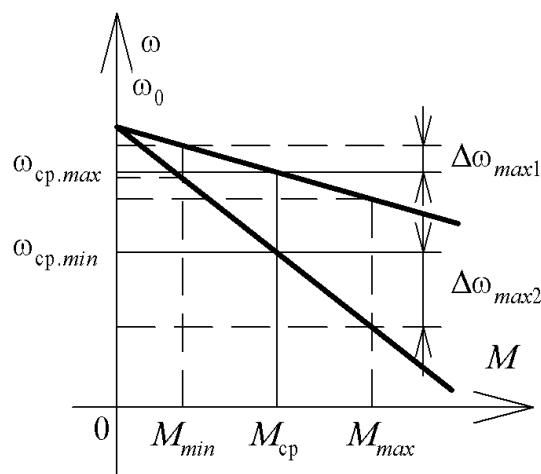
Тұйықталған жүйелерде реттеу дәлдігінің сандық бағасы әдетте басқаша орындалады. Егер электржетектің жұмыс істеу шарттары бойынша АТҚ кірісінде берілетін реттелетін координаттар мәндерінің қалпына келтіру дәлдігі маңызды болса, дәлдікке қойылатын талап реттеудің рұқсат етілген қателігімен $\Delta\omega_{\text{доп}}^*$ анықталады, оның абсолюттік мәнін бірлік кері байланыс кезінде осылай жазуға болады:

$$\Delta\omega_{\text{доп}}^* = |\omega^* - \omega|_{\max} \leq \omega^*,$$

мұндағы ω^* – берілетін дабыл, ω – реттелетін координаттардың ағымдағы мәндері. Қажет болған кезде реттеу қателігін салыстырмалы бірліктерде ұсынады, ω^* бөле отырып.



5.1 - сурет. Реттеу дәлдігі түсінігін анықтауға



5.2 - сурет. Реттеу диапазоны түсінігін анықтауға

5.2.2 Реттеу диапазоны

Бұрыштық жылдамдықтың реттеу диапазоны мүмкін болатын орнатылған жылдамдықтардың қатынасымен анықталады: максималдының ω_{max} минималдыға ω_{min}

$$D_{\omega} = \omega_{max} / \omega_{min} .$$

Реттеудің берілген дәлдігі кезінде жүктеме моментінің өзгеруінің орнатылған шектері үшін және басқа толқулар. Ажыратылған жүйелердегі жылдамдықтарды реттеу диапазоны әдетте 10:1, 20:1 құрайды. Реттеудің тұйықталған жүйелерін қолдану 30000:1 дейін бұрыштық жылдамдықтың реттеу диапазонын D_{ω} алуға мүмкіндік береді.

Әр түрлі өндірістік механизмдер реттеудің әр түрлі диапазондарын талап етеді. Мысалы, тағайындалуына байланысты металл кескіш станоктардың басты жетектері $D_{\omega} = 4 \div 1000 : 1$ диапазондарында жұмыс істейді, әмбебап металл кескіш станоктардың беру механизмдері үшін 10000:1 дейінгі диапазон талап етіледі. Тегістеу станоктары үшін жылдамдықты реттеудің орташа диапазоны 25:1 құрайды.

5.2.3 Реттеудің бірқалыптылығы

Реттеудің бірқалыптылығы берілген жылдамдықтан мүмкін болатын маңайындағыға өтуі кезінде жылдамдықтың қарғуын сипаттайды. Бұл қарғу төмен болған сайын бірқалыптылық жоғары болып келеді. Оны реттеудің бірқалыптылық коэффициентімен бағалауға болады, ол реттеу кезіндегі екі көршілес бұрыштық жылдамдықтардың мәндерінің қатынасымен анықталады

$$\phi_{\text{пл}} = \omega_i / \omega_{i-1},$$

мұндағы ω_i және ω_{i-1} - i -дағы және $(i-1)$ реттеу сатыларындағы сәйкесті бұрыштық жылдамдықтар.

Бір қалыпты реттелу кезінде $\phi_{\text{пл}} \rightarrow 1$. Реттеудің бірқалыптылығы көптеген жағдайларда өнімнің сапасын анықтайды. Реттеудің жоғары бірқалыптылығына бүгінде ТТҚ және АҚ арналған жартылай өткізгіштік түрлендіргіштерді пайдалану кезінде қол жетеді.

5.2.4 Реттеудің үнемділігі

Реттеудің үнемділігі электржетектерді пайдалану және ғимаратқа кететін шығындармен сипатталады. Реттелетін электржетекті қолдану қосымша бастапқы шығындар және пайдалану шығындарымен байланысты, бұл шығындардың орнын қондырғылар жұмысының өндірістігі мен сенімділігін арттыру арқылы, сондай-ақ өнімнің сапасын жақсартумен толтыру керек. Реттеудің түрлі тәсілдерін салыстырулар кезінде шығындар туралы болжамды пікірлерді қосымша жабдықтардың массогобаритты көрсеткіштерін бағалай отырып құруға болады, ал энергия шығындарын сипаттайтын, энергияны пайдалану шығындарын - ПӘК арқылы

$$\eta = P_2 / P_1,$$

мұндағы P_1 – тораптан тұтынылатын қуат; P_2 – қозғалтқыштың білігіндегі қуат және реттеу кезінде активті қуатты тұтынуды сипаттайтын $\cos \varphi = P / S$ мәнімен.

Желдеткішті түрлендіргіштері бар реттелетін электржетектер үшін маңызды энергетикалық көрсеткіштер болып қуат коэффициенттері табылады:

$$k_m = k_n \cos \phi_1,$$

мұндағы ϕ_1 – тораптың тұтынылатын тогы мен кернеуінің алғашқы гармоникалары арасындағы фаза бойынша жылжу бұрышы; k_n – жоғары гармоникаларды құрайтын, нақты қисық тұтынылатын токтың тиімді мәніне токтың алғашқы гармоникасының тиімді мәнінің қатынасын сипаттайтын бұрмалау коэффициенті.

Заманауи реттелетін жетектер үшін берілген көрсеткіштердің сипаттамалық мәндері келесілер: $\eta = 0,8 \div 0,95$; $\cos \phi = 0,9 \div 1$; $k_n = 0,85 \div 0,95$. Берілген көрсеткіштердің ең таңдаулы мәндеріне жету үшін сүзгіш құралдар жиі қолданылады, синхронды машинаны қоздыру тогын реттейді,

вентильдерді ауыстырып қосу жиіліктерін оңтайландыады, ауыстырып қосуға аз шығын кететін жартылай өткізгішті құрылғыларды қолданады.

5.2.5 Бұрыштық жылдамдықтың тұрақтылығы

Аталған тұрақтылық жүктеме моментінің берілген ауытқуларында бұрыштық жылдамдықтың өзгеруімен сипатталады және механикалық сипаттаманың қаттылығы түсінігімен тығыз байланысты. Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының қаттылығы көп болған сайын, электржетек жылдамдығының тұрақтылығы соншалықты жоғары болады. Ең жоғарғы тұрақтылыққа синхронды қозғалтқыштар ие, оларда МС қаттылығы $\beta \rightarrow \infty$ болғандықтан.

5.2.6 Жылдамдықты реттеу бағыты

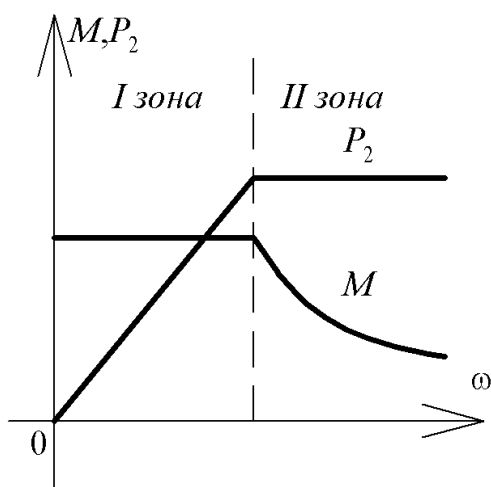
Көрсеткіш оның номиналды мәнге қатынасы бойынша кемуі немесе артуы мүмкіндігін анықтайды, ол реттеу тәсілдеріне байланысты. Тұрақты токтың жетектері үшін бір және екі зоналы реттеу айрықшалаанады.

Бірінші жағдайда реттеу номиналды мәннен төмен қарай зәкірдегі кернеуді өзгерту жолымен магниттік ағынның тұрақтылығы кезінде атқарылады. Мұндай реттеуді моменттің тұрақтылығымен реттеу деп атайды ($M = k\Phi I_a, \Phi = const$).

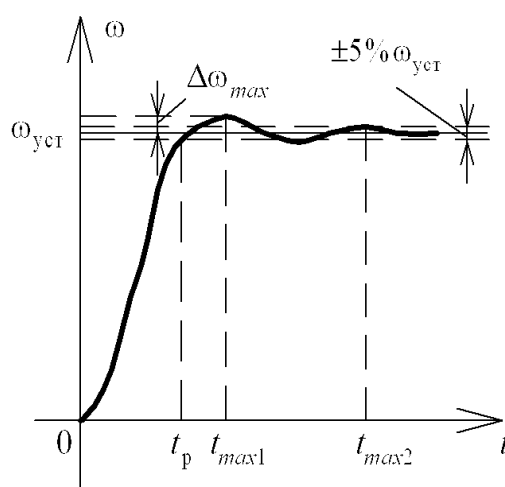
Жетекті екінші зонаға ауыстыру үшін қозғалтқыштың магниттік ағынын азайтады (номиналдыдан төмен қозу орамасындағы кернеуді өзгертеді), сондықтан ($\lambda_M \downarrow = k\Phi \downarrow \lambda_l$) момент бойынша қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеттілігі төмендейді және жылдамдығы артады. Мұндай реттеуді қуат тұрақтылығымен реттеу деп атайды.

$$\left(P = \omega \cdot M = \frac{U_a - IR_{a\Sigma}}{k\Phi} \cdot k\Phi I = (U_a - IR_{a\Sigma})I, \Phi = \text{var} \right).$$

5.3 - суретінде ТҚ бар ТТҚ реттеудің екі зонасының сипаттамалары келтірілген.



5.3 - сурет. ТҚ бар ТТҚ реттеудің екі зонасының сипаттамалары



5.4 - сурет. Реттеу сапасының динамикалық көрсеткіштері

5.2.6 Қозғалтқыштың рұқсат етілетін жүктемесі

Берілген көрсеткіштер деп реттегіш сипаттамалардағы жұмыс кезінде қозғалтқыш ұзақ уақыт жұмыс істей алатын моменттің ең үлкен мәнін түсінеді. Қозғалтқыштың қызуымен анықталады және реттеу тәсіліне байланысты ерекшеленеді. Механизмге байланысты жылдамдықтан статикалық моменттің өзгеруі әр түрлі болуы мүмкін. Қозғалтқыштың сәйкес қуатын принципіалды таңдау жолымен жүктемелік моменттің кез келген өзгеруін немесе жылдамдықты реттеу кезіндегі қуаттың өзгеруін қанағаттандыруға болады. Алайда жиі жағдайда реттеу үнемді емес болып шығады, және қозғалтқыш әр түрлі жылдамдықтар кезінде жүктемеленбеген болып шығуы мүмкін.

Қозғалтқышты жеткіліксіз жүктеу жетектің пайдалану көрсеткіштерінің нашарлауына әкеліп соғады, себебі осы кезде қозғалтқыштың ПӘК кемиді, ал АҚ үшін қуат коэффициентінің мәні де төмендейді. Сондықтан реттеудің осындай тәсілін барлық бұрыштық жылдамдықтар кезінде қозғалтқыш мүмкіндігінше толығымен жүктелген кезінде қолданған жөн.

Рұқсат етілетін жүктеме қызудың дәрежесімен анықталады, ол өз кезегінде қозғалтқыштағы шығындарға және қозғалтқышты салқындату шарттарына байланысты. Сонымен, қозғалтқышты толық жүктеу үшін қозғалтқыштағы ток барлық жұмыс режимдерінде номиналдыға тақау болуы қажет деп тұжырымдауға болады. Қозғалтқышты салқындату шарттары реттелетін жетектерде нашарламауы үшін еріксіз желдетуі бар қозғалтқыштарды пайдаланады. Осындай қозғалтқыштардың құрылысы желдеткіштің жеке қосымша қозғалтқышынан тұрады, ол қозғалтқыш білігінің айналу жиілігіне тәуелсіз тұрақты жиілікпен айналады.

5.2.7 Электржетек жұмысының динамикалық режимдеріндегі реттеу сапасының көрсеткіштері

Электржетектің динамикалық сапасын көптеген жағдайларда қондырғының өнімділігі, механикалық жабдықтың тозуы, шығарылатын өнімнің сапасы анықтайды. Сондықтан, өтпелі кезеңдердің сапасы маңызды мәнге ие. Өтпелі кезеңнің сапасын жылдам әрекеттілікпен, қайта реттеу шамасымен және процесстің тербелісімен бағалауға болады.

Жылдам әрекеттілік әсер етулерге өзгеруіне электржетек реакциясының жылдамдығын анықтайды. Механизмдердің өнімділігіне тікелей ықпал ететін жылдам әрекеттіліктің басты көрсеткіші өтпелі кезеңдердің уақыты мен реттеу уақыты болып табылады. Автоматты реттеу жүйелерінде жылдам әрекеттілік бірлік қарғу тәрізді басқарушы әсер етуді өтеу кезінде өтпелі кезеңдердің көрсеткіштерімен сипатталады. Әдетте реттеу уақыты деп берілген мәннен реттелетін координатаның ауытқуы 5% аспайтындай жетекке қажет етілетін уақыт түсініледі.

Қайта реттеу деп динамикалық қателік түсініледі және орнатылған мәннен $\omega_{уст}$ максималды ауытқуымен ω_{max} сипатталады. Ережеге сәйкес, қайта реттеу σ салыстырмалы бірлікте немесе пайыздарда өрнектеледі:

$$\Delta\omega_{1max}^* = \frac{\Delta\omega_{1max}}{\omega_{уст}} \cdot 100\%$$

Электржетектің *тербелісі* дәлдікке, динамикалық жүктемеге және технологиялық процесстің сапасына ықпал ететін фактор болып табылады, оның жалпы көрсеткіші ретінде сөнудің логарифмдік декрементінің мәні қызмет атқарады

$$\lambda = \ln \frac{A_1}{A_2} ,$$

мұндағы A_1, A_2 - алғашқы және келесі максимум амплитудаларының шамасы.

5.4 - суретінде өтпелі процесс түрі келтірілген және қайта реттеу σ мен жылдам әрекет ету шамасы t_p көрсетілген.

5.3 Тәуелсіз қозуы бар тұрақты ток қозғалтқыштарының жылдамдықтарын реттеу

5.3.1 Қозғалтқыштардың жылдамдықтарын реттеу кезінде қолданылатын түрлендіргіш құрылғы

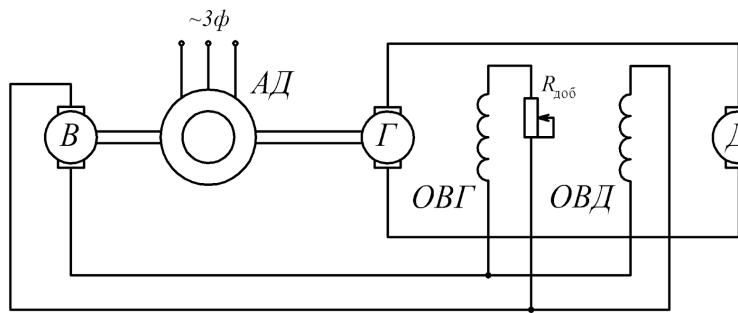
Жоғарыда қарастырылғандай, жылдамдықты реттеудің әр түрлі тәсілдері болуы мүмкін: қозғалтқыш зәкіріндегі кернеудің өзгеруі, зәкірдің тізбектеріндегі кернеудің өзгеруі, қозғалтқыштың қозу орамасындағы кернеудің өзгеруі. Реостатты реттеу үнемді емес болып табылады және мүмкіндіктері бойынша жылдамдықты реттеудің басқа үнемді болатын тәсілдері қолданылады.

Жылдамдықты реттеу түрлендіргіш құрылғыларды қолдану кезінде болуы мүмкін, бұл шығыс энергия параметрлерін өзгертуге мүмкіндік береді. Мысалы, ТТҚ арналған түрлендіргіштер шығыстағы кернеу мәндерін өзгертуге мүмкіндік береді, АҚ арналған түрлендіргіштер бұдан басқа шығыс кернеуінің жиілігін өзгерте алады. Алғашында басқарылатын түрлендіргіштер ретінде (ТТҚ арналған басқарылатын түрлендіргіштер) электрмашиналық түрлендіргіштерді қолданды. Мұндай түрлендіргіш бір бірімен механикалық жалғасқан АҚ және тәуелсіз қозудың тұрақты ток генераторынан тұрады. Қазіргі уақытта жартылай өткізгішті техниканың қарқынды дамуына байланысты ЭМТ экономикалық тиімсіздігіне байланысты пайдаланылмайды.

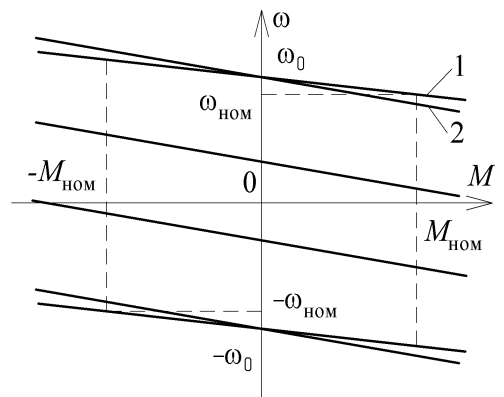
Қазіргі уақытта жартылай өткізгішті түрлендіргіштерді басқарылмайтын түзеткіштер (мысалы, бір зоналы АРЖ өзғалтқыштың қоздыру орамасын қоректендіруге арналған), шығысында кернеудің орташа мәнін өзгертуге мүмкіндік беретін басқарылатын түзеткіштер; бірінші гармоника жиілігін өзгертетін тікелей жиілік түрлендіргіштері; шығысында жиілігі мен кернеуі жиіліктік басқарудың қандай да бір заңымен өзгертетін жиіліктік түрлендіргіштер.

5.3.2 Генератор-қозғалтқыш жүйесі

Генератор-қозғалтқыш (Г-Қ) жүйесінің негізгі қасиеттерін қарастырамыз. Г-Қ жүйесінің принципіалды сұлбасы 5.5 - суретінде келтірілген. Ол Қ қозғалтқыш жетектен тұрады (асинхронды немесе синхронды қозғалтқыш), бұл Г тұрақты токтың генераторымен механикалық байланысты. Генератордың ЭҚК шамасы генератордың қозу орамасындағы кернеудің өзгеруі жолымен реттеледі. Қозғалтқыш пен генератор зәкірлері бір бірімен электрлік байланысты. Параметрмен реттелетін болып бұл жағдайда қозғалтқыштың ЭҚК шамасы табылады. Генератордағы және қозғалтқыштағы магниттік ағынды қамтамасыз ету үшін аз қуатты ТТҚ $P_B = 0,05 \div 0,1 P_D$ деп танылатын қоздырғыш қолданылады. Қазіргі уақытта қоздырғыштар ретінде жартылай өткізгішті түрлендіргіштер қолданылады.



5.5 - сурет. Г-Қ жүйесінің принципіалды сұлбасы



5.6 - сурет. Г-Қ жүйесінің механикалық сипаттамасы

Кернеудің тепе-теңдігі теңдеуінен Омның екінші заңы бойынша ЭҚК теңдеуін құруға болады

$$E_{\Gamma} - E = I(R_{\Gamma} + R_{\text{Д}}),$$

мұндағы E_{Γ} – генератордың ЭҚК, R_{Γ} – генератор зәкірінің кедергісі.

Бұл теңдеуге ЭҚК мәнін $E = k\Phi\omega$ және қозғалтқыш тоғын $I = M / k\Phi$ қоя отырып, Г-Қ жүйесінің механикалық сипаттамасының теңдеуін табуға болады:

$$\omega = \frac{E_{\Gamma}}{k\Phi} - \frac{M(R_{\Gamma} + R_{\text{Д}})}{(k\Phi)^2}.$$

Механикалық сипаттаманың түрі 5.6 - суретінде көрсетілген. Г-Қ жүйесі үшін МС алынған теңдеуін талдай отырып, бұл жүйедегі кернеудің салыстырмалы құлауы (5.6 - суретіндегі 2 түзу) қозғалтқыштың табиғи сипаттамасына (5.6 - суретінде 1 түзу) қарағанда екі есе жоғары деп қорытуға болады. Бұл машиналардың қуаты мөлшермен бірдей болғандықтан, қозғалтқыш зәкірінің кедергісіне тең генератор кедергісінің бар болуымен шартталады.

Реттеудің берілген тәсілінің басты артықшылығы болып қозғалтқыш жылдамдығын реттеудегі жоғары бірқалыптылық табылады.

Кемшіліктерге келесілерді жатқызуға болады: Г-Қ жүйесінде энергияны екі мәрте түрлендіру болады: жетекті қозғалтқышта электрліктен механикалыққа, генераторда механикалықтан электрлікке, сондай-ақ тікелей қозғалтқыштың өзінде электрліктен механикалыққа. Себебі әрбір құрылғы өзінің ПӘК-не ие болғандықтан, берілген жүйеде түрлендіргіш

құрылғылардың жүйесіне барлық кіретін ПӘК туындысына тең жалпы ПӘК $\eta_{\Sigma} = \eta_{ад}\eta_{Г}\eta_{д}$ жоғары мәнге ие болмайтыны анық болады.

Бұдан басқа, ЭМТ жұмысы кезінде қосымша шуыл пайда болады, бұл қызметкердің жұмыс жағдайын нашарлатады, қызмет көрсетуге шығындарды көбейтеді, ал жетекті қозғалтқыш пен генератордың қуаты қозғалтқыш қуатынан біраз жоғары болғандықтан, жүйенің өзі жоғарылатылған массагабаритты көрсеткіштерге ие. Көрсетілген кемшіліктер себебінен қазіргі уақытта бұл жүйе тиристорлы түрлендіргіш-қозғалтқыш (ТТ-Қ) деп аталатын, жылдамдықты реттеудің нақты жүйесінен ығыстырылған.

5.3.3 Тиристорлы түрлендіргіш-қозғалтқыш жүйесі

Күштік электрониканы дамыту айнымалы кернеуді реттелетін тұрақтыға түрлендіретін, статикалық түрлендіргіштерді құру мен дамытуға мүмкіндік берді.

Тұрақты кернеудің шамаларын өзгерту айнымалы кернеудің өткізгіш бөліктеріндегі вентильді ашу бұрышын реттеумен жүзеге асырылады. Түзетулі кернеу тұрақты U_d және айнымалы құраушылардан тұрады. Түзелген кернеудің пульсациясының болуы қозғалтқыштарды коммутациялау шарттарын нашарлатады және олардағы шығынды арттырады, сондықтан түзегіштің шығысында қозғалтқыш зәкіріндегі ток пульсациясының рұқсат етілетін деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін, зәкір тізбегімен тізбектеле қосылған және осындай реактивті кедергіге ие, реактор деп ұсынылатын сүзгіштер жиі орнатылады. Пульсацияны азайтудың басқа құралы болып жоғарылатылған пульстіліктің сұлбасын қолдану табылады, бұл түзетілген кернеу мен токтың ток пульсацияларын айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді, бірақ жабдыққа үлкен шығындар талап етіледі. Реверсивті ТТ сұлбасы 5.7 суретінде келтірілген.

ТТ-Қ жүйесі үшін электрмеханикалық сипаттаманың тендеуі келесі түрге ие:

$$\omega = \frac{U_{d0} \cos \alpha - IR}{k\Phi},$$

мұндағы $U_{d0} = \frac{m}{\pi} \sqrt{2} U \sin \frac{\pi}{m}$ – толық ашылған тиристорлардағы ($\alpha = 0$) және түзегіштің бос жүрісі кезіндегі түзелген кернеудің орташа мәні; U – айнымалы кернеудің әрекет етуші мәні; m – түзегіш фазаларының саны; $R_{\Sigma} = X_T m / 2\pi + R_T + R_L + R_{\Sigma}$ – зәкір тізбектерінің эквивалентті кедергісі; R_T, X_T – трансформатордың активті және реактивті кедергісі; R_L – тегістейтін реактордың активті кедергісі.

ТТ-Қ жүйесінің механикалық сипаттамасын қозғалтқыш моменті арқылы ток мәнін көрсете отырып, электрмеханикалықтан алуға болады,

$$\omega = \frac{U_{d0} \cos \alpha}{k\Phi} - \frac{MR}{(k\Phi)^2}$$

МС түрі 5.8 - суретінде келтірілген. Сипаттамалар табиғи МС салыстырғанда зәкір тізбектеріндегі қосымша кедергілердің есебінен аз қаттылыққа ие. Көлбеу қосудың түрлі бұрыштарында сипаттама өзгеріссіз қалады.

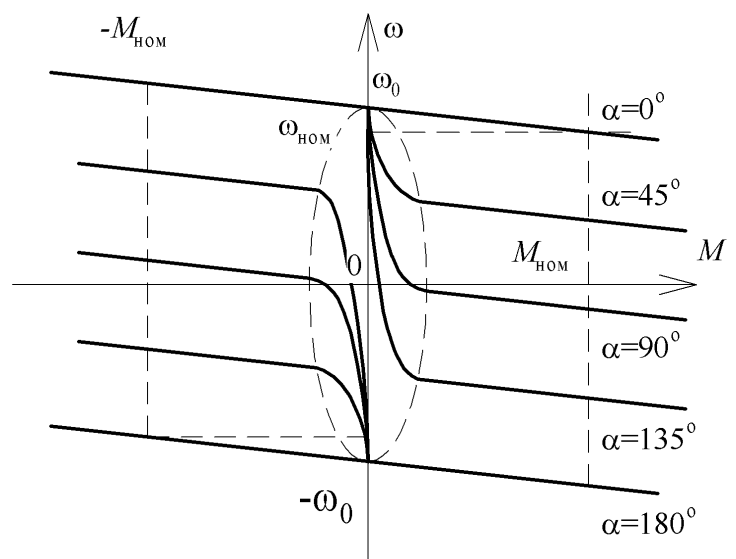
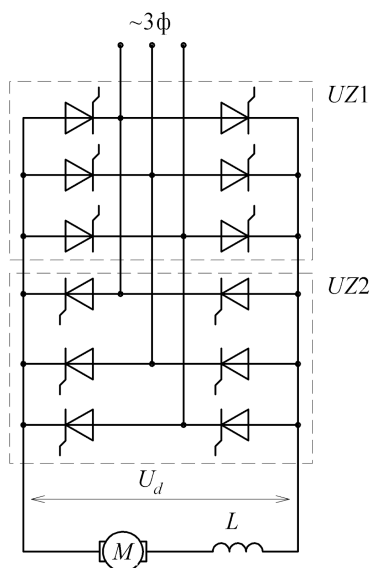
Жинақтарды жеке басқаратын ТТ-Қ жүйесінің сипаттамалары аз жүктеме аймағында сызықты емес болып табылады. Сипаттаманың сызықты болмауы жүйенің МС сызықтандыруды орындауға жұмылдырылған, реттеу жүйелерінде қосымша буындардың бар болуына әкеледі.

ТТ көпірлерінің екі жинақтарының болуы кезінде энергияны торапқа рекуперациялау мүмкіндігі туады. Бұдан басқа, мұндай түрлендіргіштер жылдам әрекет етеді. 50-100 кВт қуат үшін ТТ пайдалы әсер коэффициенті 0,9-0,94 құрайды, яғни Г-Қ жүйесінің ПӘК-нен айтарлықтай басым.

Сондықтан, ТТ-Қ жүйесінің артықшылықтарына жылдамдықты реттеудің кең диапазонын, МС қаттылығын, жоғары ПӘК, аз массагабаритты көрсеткіштер мен аздаған пайдалану шығындарын, жоғары сенімділікті, Г-Қ жүйесімен салыстырғандағы аса жоғары жылдам әрекетті жатқызуға болады.

Мұндай жүйелердің кемшіліктері болып түзетілген кернеудің пульсациялары, қуат коэффициентінің төмендеуі, тиристорларды басқару бұрышының шартталған кемулері табылады. $\cos \varphi = \cos \alpha$ деп, жуықтап есептейді.

Қазіргі уақытта ТТ-Қ жүйесі қуаттардың кең диапазонында қолданылатын тұрақты токтың реттелетін электржетегінің негізгі түрі болып табылады: металл кескіш станоктардың жетегінен ірі тегістеу станоктарының жетегіне дейін.



5.7 - сурет. ТТ-Қ жүйесінің
реверсивті ЭЖ сұлбасы

5.8 - сурет. ТТ-Қ жүйесінің механикалық
сипаттамалары

5.4 Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын реттеу

Соңғы 10-25 жылда күштік электрониканы дамыту мен айнымалы токтың қозғалтқыштарын басқару заңдарын жүзеге асыру арқасында, тұрақты ток жетегінен айнымалы ток жетегіне өтудің айқын беталысы орнады.

Айнымалы токтың қозғалтқыштарын қолдану, олардың қарапайымдылығымен, арзандығымен, жоғары сенімділігімен, аз габариттарымен және тұрақты ток қозғалтқыштарымен салыстыру бойынша массамен шартталған. Жылдамдықты реттеудің кемшіліктеріне түрлендіргіш құрылғыларға бекітілген, басқару алгоритмдері мен айнымалы ток машиналары теорияларының өте күрделілігін жатқызуға болады.

Асинхронды қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығын реттеудің келесі тәсілдері кең таралымға ие болды: 1) реостатты; 2) статордағы кернеудің өзгеруі; 3) жұп полюстердің сандарын ауыстырып қосу; 4) қоректенуші кернеудің жиілігін өзгерту және т.б.

5.4.1 Реостатты реттеу

Реттеудің осы тәсілі кезінде АҚ қосу сұлбасы 5.9 - суретінде келтірілген. Реостатты сипаттамаларды ротор тізбегіне үстеме кедергіні енгізу жолымен алады. Сондықтан кедергінің өсуімен МС қаттылығы құлайды.

Берілген тәсіл кезінде жылдамдықты реттеудің рұқсат етілетін диапазоны

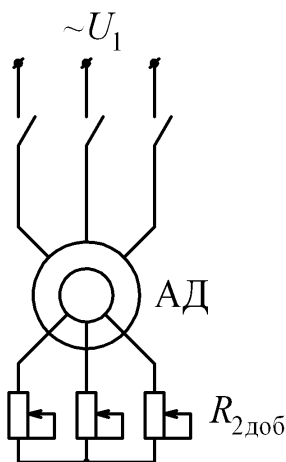
$$D = (1 - s_{ном})(\Delta\omega_p^* / \Delta M_c^* + 1)$$

$s_{ном} \ll 1$ болса, онда жуық

$$D = \Delta\omega_p^* / \Delta M_c^* + 1$$

мұндағы $\Delta\omega_p^*$ – жылдамдық өзгеруінің салыстырмалы шамасы; ΔM_c^* – момент өзгеруінің салыстырмалы шамасы.

Алынған формуладан жүктеме моменті мен жылдамдық бұрышының тең салыстырмалы ауытқулары кезінде реттеу диапазоны $D = 2:1$ болатыны көрінеді. Бұрыштық жылдамдықтың аса төмен рұқсат етілетін ауытқулары кезінде диапазон одан да аз болады.



5.9 - сурет. Реттеудің реостатты тәсілі кезіндегі қозғалтқышты қосу сұлбасы

Реостатты реттеулер кезіндегі қуаттың шығындары статор мен ротордың мысындағы және роторлық тізбектің сыртқы резисторларындағы шығындарды, және жүктемеге тәуелсіз – тұрақтыдан жиналады. Қозғалтқыштағы жинақталған тұрақты шығындар қозғалтқыш жылдамдығы мен жүктемесіне қарамай, шамамен бірдей болып қалады.

АҚ үшін электрмагнитті және механикалық қуат

$$P_{\text{эл}} = P_{\text{синхр}} = M\omega \quad ; \quad P_{\text{мех}} = M\omega ,$$

Бұл жерден ротордағы шығындарды анықтауға болады

$$\Delta P_{\text{мех}} = P_{12} - P_c = M(\omega - \omega_c) \Big|_{\frac{\omega_c}{\omega_c}} = M\omega s$$

Шығындар сырғанаудың шамасына пропорционалды екендігі көрініп тұр және қозғалтқыш роторының кедергілеріне және ротор тізбегіндегі қосылатын кедергінің қатынасына пропорционалды таратылады, сондықтан реостатты реттеу кезінде қозғалтқыш номиналдыға тең моментке дейін үдеуі мүмкін.

Жылдамдықты реостатты реттеудің кемшіліктері болып жылдамдықты сатылы реттеу және қосымша аппараттарды пайдалану, төмен жылдам әрекеттілік және реттеулер кезінде энергияның көп шығындары табылады.

5.4.2 Статордағы кернеудің өзгеруімен АҚ бұрыштық жылдамдығын реттеу

Бастапқы гармониканың шамаларының өзгерулері кезінде, тұрақты критикалық сырғуларда критикалық моменттің шамасы өзгереді (2.28 - сурет). Мұндай өзгеріске кернеудің тиристорлы түрлендіргішін (КТТ) қолданумен жетеді.

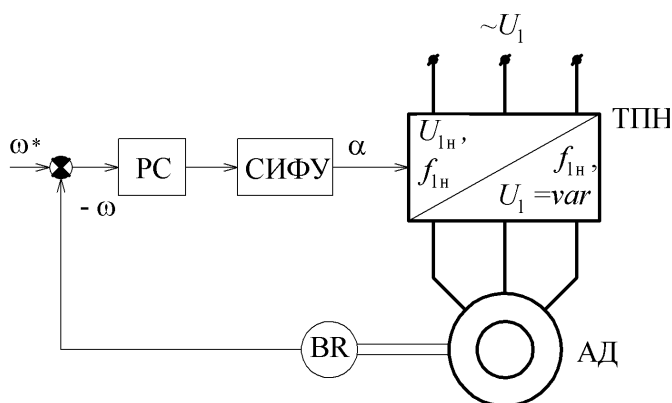
Кернеудің азаюы кезіндегі максималды момент кернеу квадратына пропорционалды төмендетіледі:

$$M_{к.и} = M_{к} \left(\frac{U_{и}}{U_{ном}} \right)^2,$$

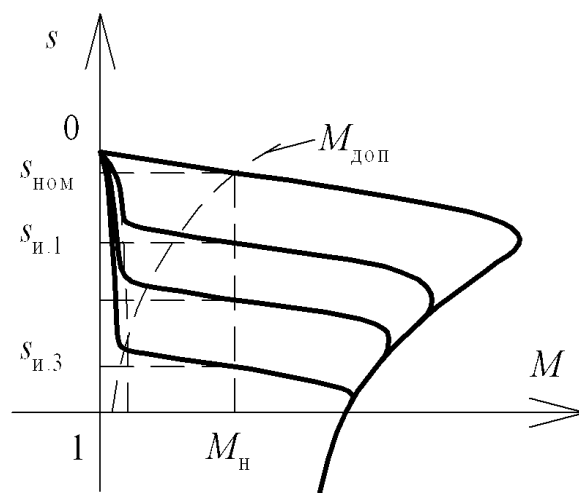
мұндағы $M_{к.и}$ – азайған кернеудегі критикалық момент; $U_{и}$ – төмендетілген кернеу.

5.11 - суретінен жылдамдықты реттеу шектері айтарлықтай шектелгендігі көрінеді, тіпті желдеткішті жүктемелер кезінде де.

Диапазонды кеңейту үшін жылдамдығы бойынша тұйықталған АРЖ пайдаланады, оның құрылымдық сұлбасы 5.10 - суретінде берілген. Мұндай АРЖ құрамына жылдамдық датчигі (BR) мен жылдамдықты реттегіш кіреді, өйткені жылдамдықтардың берілген ω^* және ағымдағы ω мәндері арасындағы айырмашылық болады. Жылдамдықты реттеу шығысында дабыл жасалынады, ол импульсті-фазалық басқару жүйесінің кіре берісіне дыбыс береді, бұл КТТ үшін басқарылатын импульсті орнатады. Мұндай реттеудің ерекшелігі барлық сипаттамалар синхронды жылдамдықтың ω_0 нүктесіне жинақталады, сондықтан жылдамдық қаншалықты төмен болса, қозғалтқышта соншалықты сырғулар мен шығындар жоғары болады. Жылдамдықтың тұйықталған АРЖ фазалық басқару кезіндегі қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы 5.11 - суретінде келтірілген.



5.10 - сурет. Фазалық басқару кезіндегі АҚ жылдамдығының тұйықталған АРЖ құрылымдық сұлбасы



5.11 - сурет. Фазалық басқару кезіндегі АҚ жылдамдығының

тұйықталған АРЖ механикалық сұлбасы

Реттеудің мұндай тәсілдері кезінде қозғалтқыш төмендегі шарт бойынша ұзақ уақыт жұмыс істеуі мүмкін

$$\Delta P_{\text{ном}} \leq \Delta P_2 .$$

Рұқсат етілген шығындарды номиналдыға теңестіре отырып, рұқсат етілген моментті табуға болады

$$M_{\text{доп}} \omega_0 s = M_{\text{ном}} \omega_0 s_{\text{ном}} ,$$

бұл жерден

$$M_{\text{доп}} \leq M_{\text{ном}} \frac{s_{\text{ном}}}{s} .$$

Қызуы бойынша қисық рұқсат етілетін момент 5.11 - суретінде көрсетілген.

Реттеудің бұл тәсілін тұрақты жүктемемен ұзақ режимде жұмыс істейтін механизмдер үшін қолдануға болмайды. Статикалық момент қозғалтқыштың жылдамдығына $M_c = f(\omega)$ тәуелді болатын механизмдер үшін фазалық реттеуді қолдану тиімді болып табылады, мысалы, сығымдағыштар, сорғыштар, желдеткіштер жетектері үшін. Бұл тәсіл қозғалтқыш төмендетілген жылдамдықта жұмыс істеген кезде қолданылады, мысалы лифттер. Бұл жағдайда қозғалтқыштың орнатылған қуатын арттыру үлкен емес.

Фазалық басқарудың артықшылығы қуаты тең жиілік түрлендіргішімен (ЖТ) салыстырғанда түрлендіргіштің (КТТ) төмен құны болып табылады, бұл көрсетілген механизмдер үшін қосымша шығындарсыз технологиялық процесстің қолжетімді сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

5.4.3 Полюстер жұптарының санын өзгерту

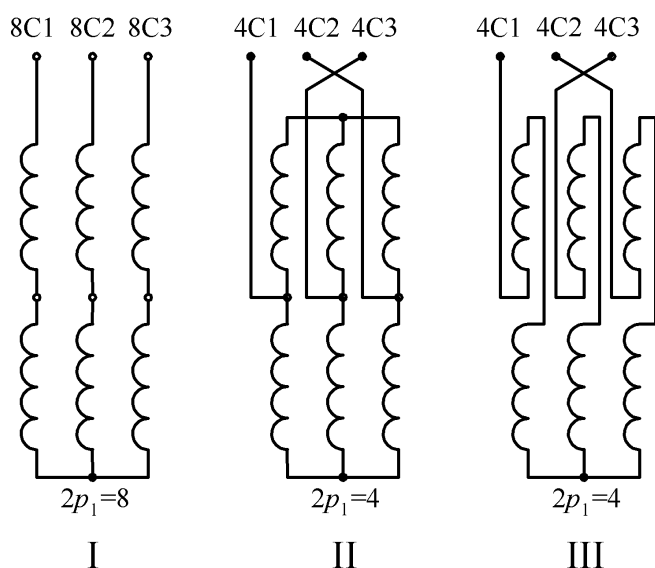
АҚ бұрыштық жылдамдығына арналған өрнектен :

$$\omega = \omega_0 (1 - s) = \frac{2\pi f_1}{p} (1 - s) ,$$

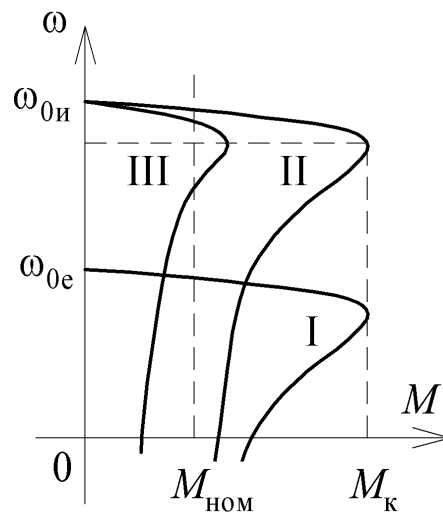
жылдамдықты реттеуді қозғалтқыштың статор орамалары полюстері жұптарының p санын өзгертумен жүзеге асыруға болатындығын көруге болады. Берілген шама толық сан болғандықтан, жылдамдық сатылы реттеледі.

Реттеудің берілген түрі үшін ҚТР бар көп жылдамдықты АҚ дайындалады. Статор жүрекшесінің пазаларында екі тәуелсіз орамаларды немесе бір полюсті ауыстырып қосу орамаларын орналастырады.

Ауыстырып қосудың екі негізгі сұлбалары бар. «Жұлдыз/қос жұлдыз» сұлбасы (5.12 - сурет, I-II) моменттің тұрақтылығын реттеуді қамтамасыз етеді. Мұндай сұлбаны айналу жиілігінің өзгеруі кезіндегі жүктеменің тұрақты әрекет етуші моменті бар электржетегінде қолдану орынды. «Жұлдыз/жұлдыз» сұлбасы (5.12 - сурет, I-III) полюстер жұптары санының екі мәрте өзгеруін береді, алайда реттеу қуаттың тұрақтылығы кезінде болады, яғни жоғарылатылған жылдамдыққа ауыстырып қосу кезінде моменткі есеге төмендейді. Мұндай сұлбаларды кедергі моменті айналу жиілігіне кері пропорционал болатын жетектерде қолданған дұрыс. Полюстердің жұпталған санын өзгертумен жылдамдықты реттеу кезіндегі АҚ механикалық сипаттамалары 5.13 - суретінде келтірілген.



5.12 - сурет. Статор орамаларының орауыштық топтарын біріктіру сұлбасы



5.13 - сурет. Полюстер жұптарының санын ауыстырып қосу кезіндегі АҚ механикалық сипаттамалары

Көп жылдамдықты АҚ айналу жиілігін сатылы реттеуде рұқсат етілетін электржетектерде кеңінен қолданылды (лифттер, желдеткіштер, станоктар жетектерінде). Мұндай тәсілдің артықшылығы бір айналу жиілігінен екіншісіне өту кезінде жоғары экономикалық көрсеткіштерді сақтау болып табылады, себебі ауыстырып қосудың барлық сатыларында қозғалтқыштың қуат коэффициенті мен ПӘК статор орамалары іс жүзінде өзгеріссіз қалады. Кемшіліктеріне әдеттегі АҚ салыстырғанда үлкен күрделілікті, көтерілген габариттерді, үлкен бағаны жатқызады. Бұдан басқа, статор орамасын полюстердің жұпталған әр түрлі санына ауыстырып қосу қажеттілігі коммутациялық аппаратураны күрделендіруді талап етеді, бұл электржетектің

бағасының өсуіне әкеледі. Қазіргі уақытта бұл тәсіл жиіліктік реттеумен ығыстырылады.

5.4.4 Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын жиіліктік реттеу

АҚ жылдамдығын реттеудің жиілікті тәсілі басты және басым болып табылады. Бұл немен шартталады? Қазіргі уақытта бірінші кезекте айнымалы ток машинасының теориясы дамыған, ол АҚ басқарудың оңтайлы заңын табуға мүмкіндік берді. Өнеркәсіптік электрониканың дамуы бұл заңды «темірде» толық көлемде жүзеге асыруға мүмкіндік берді.

Моментті тікелей басқару жүйесі, векторлы және скалярлы басқару жүйелері бар. Басқарудың тәсілі мен қағидасын таңдау асинхронды электржетекке статикалық, динамикалық және энергетикалық талаптардың жиынтығымен анықталады.

Жиіліктік-реттелетін асинхронды электржетекті скалярлы басқару қағидасы айнымалы АҚ модульдерінің ағымдағы мәндері (қозғалтқыш тізбектерінің ағындық тіркелістері мен токтары, магниттік ағыны, кернеуі) мен жиіліктерінің өзгерулеріне негізделген. Бұл қағида аса кең таралған болып табылады, себебі оған айнымалы АҚ өлшеу мен реттеудің техникалық қарапайымдылығы, сондай-ақ жылдамдықты басқарудың ажыратылған жүйелерін тұрғызудың мүмкіндігі тән. Негізгі кемшілік динамикалық режимдердегі АҚ жылдамдығы мен моментін реттеудің қалаулы заңдарын жүзеге асырудағы қиыншылықтармен тұжырымдалады.

Векторлық басқару қағидасы айнымалы АҚ ағымдағы мәндері мен жиіліктерінің өзгеруімен, сондай-ақ координаттың полярлы немесе декартты жүйесіндегі олардың векторларының өзара бағдарлануымен байланысты. Ауыспалылардың бұрыштарының орналасуын бақылау арқасында, мұндай тәсіл статикалық және динамикалық режимдердегі АҚ толық басқаруды қамтамасыз ету өтпелі процесстердің сапасы скалярлы басқарумен салыстырғанда айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді.

Моменттерді тікелей басқару жүйелері болып векторлық басқару жүйелерін жалғастыру және дамыту табылады. Моменттерді тікелей басқару тапсырмасы болып қозғалтқыштың электрмагнитті моментінің басқарушылық ықпалға жылдам реакциясын қамтамасыз ету табылады. Моменттің өзгеруі статор тогына ықпал ету жолымен жүргізілетін, векторлық басқарудан айырмашылығы моменттерді тікелей басқаратын жүйеде шаманы басқарушы болып статордың ағындық тіркелуі табылады.

Жиіліктік-реттелетін АҚ үшін арналған жиілік түрлендіргіштер, қоректенетін тораппен байланыстар түрлері бойынша тікелей емес ЖТ (ТЖТ) және тұрақты және айнымалы токтың аралық буындары бар екібуынды ЖТ (ТЖТ) бөледі.

АҚ моменті екіншілік токтың I_2' активті құраушылары мен магнитті ағынына Φ пропорционал:

$$M = k\Phi I_2' \cos \phi_2 ,$$

мұндағы k – құрастырылған тұрақты АҚ; Φ_2 – ротор тогы мен ЭҚК арасындағы ығысу бұрышы;

$$\cos \phi_2 = \frac{R_2'}{\sqrt{(R_2')^2 + (X_2')^2 s^2}} .$$

Моментке арналған формуладан жиіліктің артуы салдарынан магниттік ағынның төмендеуі I_2' өсуіне әкеледі, сондықтан ротордағы шығын ΔP_2 мен қозғалтқыштың рұқсат етілген моментінің бір уақытта төмендеуі шарт бойынша қозғалтқыштың салқындауына әкеледі. 4.3.3 т. көрсетілгендей, кернеудің U_1 амплитудасының тұрақтылығы кезіндегі жиіліктің төмендеуіне, машинаның магниттік жүйесінің қанығу шарты бойынша рұқсат етілмейді. Олай болса, қозғалтқыш моментінің тұрақты шарты кезінде қоректенуші кернеудің жиілігінің өзгеруімен қозғалтқыштың жылдамдығын реттеу тек қана қоректенуші кернеудің амплитудасының бір уақытта өзгеруі кезінде тиімді, яғни $U_1 / f_1 = const$ заңының орындалуы қозғалтқышта тұрақты магниттік ағынның болуын қамтамасыз етеді.

Аталған басқару заңын жүзеге асыру үшін торап пен қозғалтқыш арасында қозғалтқышта кернеу амплитудасы мен жиіліктің бір уақытта өзгеруін қамтамасыз ететін, жиілік түрлендіргіш (ЖТ) қосылады. Төмендетілген жылдамдықтар кезінде өздігінен желдетілетін қозғалтқыштарда жылудың қоршаған ортаға бөлінуі төмендейді, сондықтан мұндай жағдайларда қозғалтқыштағы рұқсат етілетін моментті төмендету қажет.

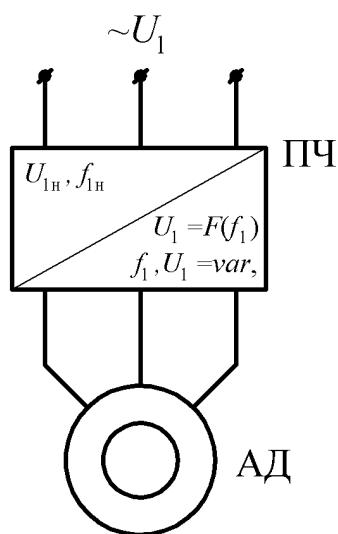
Жиілік реттеулер кезінде мойынтіректің механикалық беріктігі және ротор элементтерімен шартталған себептер бойынша жиілікті $(1,5 \div 2,0) f_{ном}$ жоғары көтеру керек. Сондықтан жылдамдықты реттеудің негізгі тәсілі кернеудің жиілігін төмендетумен қорытындыланады.

Механикалық сипаттамалардың үлгілік түрін тұрғызу үшін $R_1 \cong 0$ деп қабылдаймыз, сонда критикалық момент үшін теңдеуді келесі түрде жазуға болады:

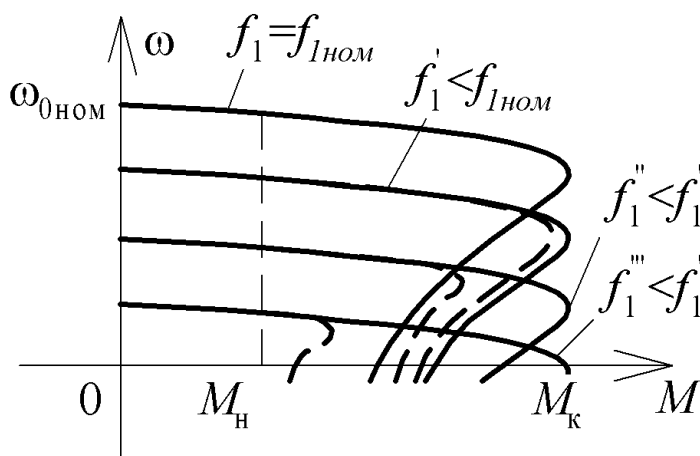
$$M_k = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 X} = \frac{3U_1^2}{2 \frac{2\pi f_1}{p} f_1 2\pi (L_1 + L_2')} = \frac{3U_1^2}{\frac{8\pi^2 f_1^2}{p} (L_1 + L_2')} = K_A \left(\frac{U_1}{f} \right)^2 .$$

Формуладан $U_1 / f_1 = const$ заңы орындалуы кезінде критикалық момент тұрақты болып қалатыны көрінеді. Статордың активті кедергісін ескермеу шарты қозғалтқыштың жоғары жылдамдығында орынды, $U_1 \cong E_1$ болғанда. Статордың активті кедергісінде R_1 кернеудің құлауы төмен жылдамдық кезінде, статор қыспағындағы кернеудің шамасымен салыстырылатын болады, бұл қозғалтқыштың λ_M асқын жүктемелік қабілеттілігінің төмендеуіне әкеледі. Айнарудың төмен жиілігі аумағында жиілік реттеу кезінде бірдей асқын жүктемелікті жүзеге асыру үшін аталмыш «IR-қарымталағыш» пайдаланылады, ол $\Delta U_{R1} = I_1^2 R_1$ қарымталайтын, аз жылдамдықта статорда кернеу толықтырылады деп қорытындыланады.

Ажыратылған жүйелерде жылдамдықты реттеу диапазоны $D_\omega = 15 \div 20$ құрайды. Тұйықталған жүйелерде диапазон айтарлықтай кеңейген.



5.14 - сурет. Жиілік реттеулер кезіндегі АҚ қосу сұлбасы



5.15 - сурет. ЖТ-АҚ жүйелерінің механикалық сипаттамалары

Жиілік басқаруды жүзеге асыру кезінде туындайтын негізгі қиындықтар төмендегілермен бекітіледі:

- 1) ЖТ-АҚ жүйелерінде ТТ-ТТҚ жүйелерінің қасиеттеріне ұқсас (немесе тіпті одан асып түсетін) қасиеттерді алу үшін АҚ әр түрлі параметрлері жайлы ақпаратты алу қажет;
- 2) жүйелер өте сызықсыз болып табылады және жоғары сапалы жүйені алу үшін реттеу объектісінің сызықсыздығын қарымталайтын буындарды енгізу қажет;
- 3) $U_1 / f_1 = const$ заңы оңтайлы болып табылмайды, және қозғалтқыш білігіндегі M_c есептелетін заңға түзетулер енгізіледі;

4) Шамасы машинаны сызықсыз толықтыру сатыларына тәуелді болатын X_0, X_1, X'_2 параметрлері АҚ кіреді. Бұдан басқа қозғалтқыш орамаларындағы температураның өзгеруі кезінде ротор мен статордағы активті кедергінің мәндері өзгереді, сондықтан мұны ескеру қажет.

Аталған қиындықтарға қарамастан, заманауи жиіліктік жетектер жылдамдықты реттеу процесінің жоғары сапасын қамтамасыз ете отырып, моментті функционалдайды.

6 ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ҚУАТТАРЫН ТАҢДАУ НЕГІЗДЕРІ

Электр қозғалтқыштарды таңдаудағы негізгі талап болып, оның жұмыс машинасының технологиялық процесінің шарттарына сай болуы табылады. Қозғалтқышты таңдау есебі іске қосу, асқын жүктемелеу және қыздыру шарттары бойынша тізбектей тексерумен қозғалтқышты алдын - ала таңдау, талап етілетін қуатты есептеумен қорытындыланады.

6.1 Электржетектердегі энергия шығындары

Қозғалтқыштардың жылулық режимін дұрыс бағалау үшін, жұмыс кезеңінің әр түрлі этаптарында, қызуды шарттайтын энергия шығынын табу маңызды болып табылады. Қозғалтқыштағы жиынтық шығындар ΔP_{Σ} екі құраушылардан тұрады: жүктемеге тәуелді емес, тұрақты ΔP_{const} , және жүктемеге тәуелді айнымалы ΔP_{var} . Бұл жағдайда тұрақты ток қозғалтқышы үшін

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{const} + \Delta P_{var} = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + I_{я}^2 R_{я\Sigma},$$

мұндағы $\Delta P_{ст}$ – болаттағы шығындар; $\Delta P_{мех}$ – механикалық шығындар; $I_{я}^2 R_{я\Sigma}$ – зәкір тізбектеріндегі шығындар.

Асинхронды қозғалтқыш үшін

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + 3(I_1^2 R_1 + I_2'^2 R_2'),$$

мұндағы $3(I_1^2 R_1 + I_2'^2 R_2')$ - ротор мен статор орамаларындағы шығындар.

Ауыспалы шығындарды электрмагниттік момент пен жылдамдық (немесе сырғу) арқылы анықтауға болады. Тәуелсіз қозуы бар тұрақты токтағы қозғалтқыштар үшін

$$\Delta P_{var} = P_{эм} - P_{мех} = M(\omega_0 - \omega),$$

мұндағы $P_{эл}$ – тораптан тұтынылатын электрмагнитті қуат; $P_{мех}$ – қозғалтқыш білігіндегі механикалық қуат.

Асинхронды қозғалтқыш үшін

$$\Delta P_{var} = M\omega_0 s(1 + R_1 / R_2'),$$

мұндағы s – қозғалтқыштың сырғуы.

6.2 Қозғалтқыштарды қыздыру және салқындату

Энергияны электрмеханикалық түрлендіру процесі машинаның өзіндегі энергия бөліктерінің біруақытты шығындарымен қатар жүреді, бұл жылу энергиясына түрлене отырып, оның элементтерінің қызуын анықтайды. Жылу шығындарының қуаты ΔP_T қозғалтқыш білігіне берілетін механикалық энергиясы $P_{\text{мех}}$ мен электр энергиясының тұтынылған қозғалтқышы $P_{\text{эл}}$ араларындағы әр - түрлілікпен анықталады және энергияны түрлендірудің нақты режимдеріне тәуелді. Сондықтан функцияларды $\Delta P_T(t)$ анықтау болып нақты режимдегі машиналардың жылулық күйін бағалау кезіндегі міндеттердің бірі табылады; екінші міндет болып $\Theta_{\text{вд}}$ қозғалтқыштың температурасын бағалау табылады.

Электржетек есептерін шешу кезіндегі қызу теориясы келесі жіберулерге негізделеді:

- қозғалтқыш шексіз жылу өткізгіштігі бар, біртекті дене ретінде қарастырылады;
- сыртқы ортаға жылу берілісі қоршаған орта мен қозғалтқыштың температурасының әр түрлілігінің алғашқы деңгейіне пропорционал;
- суытқыш ортаның температурасы тұрақты.

Айтылған жіберулер кезіндегі қозғалтқыштағы жылу энергиясы балансының теңдеуі келесі түрге ие болады:

$$\Delta P_T(t)dt = A\tau dt + Cdt, \quad (6.1)$$

мұндағы $\Delta P_T(t)$ – жылулық шығындар қуаты; A – жылу берілісі; C – қозғалтқыштың жылу сыйымдылығы; τ – қоршаған орта температурасындағы қозғалтқыш температурасының артуы, $\tau = \Theta_{\text{дв}} - \Theta_{\text{с}}$.

Операторлы формада (6.1) жаза отырып

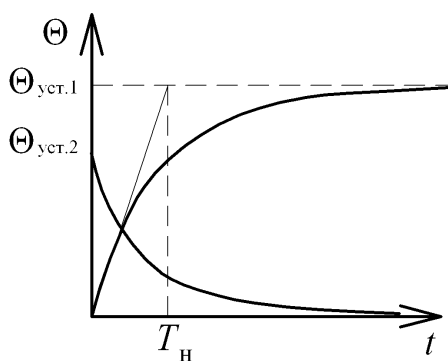
$$\Delta P_T(p) = A\tau(p) + Cp\tau(p),$$

Қозғалтқыштың температурасының өзгеруінің динамикалық сипаттамасын бейнелейтін, ауыстырылатын функцияны аламыз:

$$W_{\tau}(p) = \frac{\tau(p)}{\Delta P_T(p)} = \frac{k_{\tau}}{T_{\text{н}}p + 1}, \quad (6.2)$$

мұндағы $k_{\tau} = 1/$ – беріліс коэффициенті; $T_{\text{н}} = C/A$ – тұрақты қызу уақыты.

6.1 - суретінде қозғалтқышты қисық қыздыру және салқындату келтірілген.



6.1 - сурет. Қозғалтқышты қыздыру және салқындату процесстерінің графиктері

Бір серия шегіндегі қызудың тұрақты уақытының мәні қозғалтқыштың габариттеріне байланысты 10 минуттан 2-3 сағатқа дейін өзгеруі мүмкін.

Беріліс функциялары (6.2) әділетті, егер A және C параметрлері өзгеріссіз қалады. Өздігінен желдетілетін қозғалтқыштардағы жылу бергіш ротордың жылдамдығына тәуелді және оны жылу берілісінің төмендеу коэффициентімен сипаттайды $\beta_{Ai} = A_i / A$.

6.3 Қолданылатын оқшаулау класстары

Машиналарды жасау кезінде қолданылатын материалдар анықталған қызуға төзімділікке ие, сондықтан ЭМТ кез келген жұмыс режимдеріне арналған шарт, оның бөліктерінің температурасы шектік рұқсат етілген мәннен аспау үшін сақталуы керек. Электрлік машиналардың қызу шегі оқшауланған материалдардың рұқсат етілген температурасымен анықталады, ол өз кезегінде оқшаулау қызметінің қажетті мерзімінен шыға отырып орнатылады. Электр машиналарды жасауда оқшаулаудың бірнеше класстары қолданылады, олардың әрқайсысы қызудың анықталған, рұқсат етілетін температурасына ие (6.1 кесте).

6.1 кесте

Оқшаулаудың қызуға төзімділік класстары

Оқшаулау класы	Негізгі компоненттер	Қызудың рұқсат етілетін температурасы, °C
Ү	Целлюлозадан, мақтадан, табиғи жібектен жасалатын талшық материалдар	90
А	м/қ маталар, иірілген жіп, қағаз, целлюлоза, жібек	105
Е	Синтетикалық органикалық материалдар (кабықшалар, шайырлар және т.б.)	120
В	Слюда, асбест, байланыстырғыш органикалық, шыны талшық	130
Ғ	Тура солай; байланыстырғыш синтетикалық	155
Н	Тура солай; байланыстырғыш кремнийорганикалық, кремнийорганикалық эластомерлер	180
С	Слюда, керамика, кварц; байланыстырғыш органикалық емес	>180

Орамалардың оқшаулау температурасы тек ішкі жылу бөлгіштік деңгейімен емес, сондай-ақ қоршаған орта температурасымен анықталады. Электрлік машинадағы рұқсат етілетін жылу шығындарының деңгейін 40 °C тең, орта температурасының есебінде көрсету мақұлданған, сондықтан ораманың температурасының артуы түсінігін қоршаған ортаның температурасымен τ пайдаланады.

Электрқозғалтқыштың орамаларының максималды температурасы электрқозғалтқышты оқшаулау класстарына байланысты. Электрқозғалтқыштың оқшаулау класы оның биркасында көрсетілген.

Оқшаулау класстары қозғалтқыштың температурасы қоршаған ортаның әр түрлі жағдайларында орын алатын талаптарға сай болу үшін, Электржабдықтарды Өндірушілердің Ұлттық Қауымдастығы (NEMA)

бекіткен стандарттар бойынша анықталады. Қоршаған температураның суммасы 40°C және қызудың рұқсат етілетін температурасы қозғалтқыштың орамасының максималды температурасын береді. Сонымен бірге температурасы жоғары, орама орталығындағы нүктеге арналған қор жіберіледі. Сол стандарттарға сәйкес орамалардың ұсынылған температурасы (абсолютты шамада) мөлшерленеді, осы кезде оқшаулау қызметінің мерзімі 20 000 сағатты құрайды. Оқшаулау температурасының рұқсат етілген шамадан 10 градусқа артуы оқшаулау қызметінің мерзімін екі есеге қысқартады.

6.4 Қызуы бойынша қозғалтқыштардың жұмыс режимдерін топтастыру

Электржетектердің мүмкін болатын жұмыс режимдері сипатымен және циклдерінің ұзақтығымен, жүктемелердің мәні, салқындату шарттары және т.с.с. бойынша ерекшеленеді, сондықтан әрқайсысы үшін режимдерден қозғалтқыштарды дайындау мақсатты емес. Нақты режимдерді талдау негізінде сериялық қозғалтқыштарды жобалайтын және дайындайтын режимдердің арнайы класы - номиналды режимдер бөлінген.

183-74 (2001) МЖМС S1-S8 белгілеулеріне ие 8 номиналды режимдерді қарастырады. Төменде жиі кездесетін режимдердің қысқаша сипаттамасы берілген.

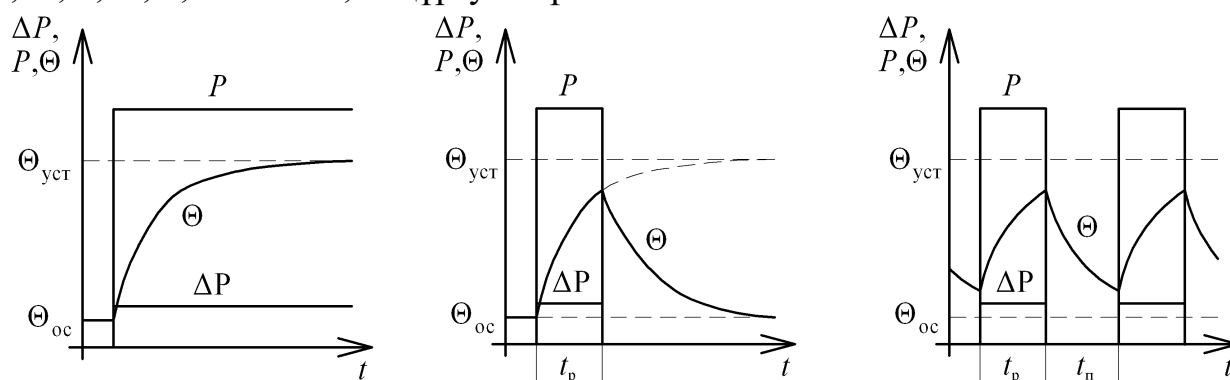
1. *Созылмалы* номиналды режим (S1) – бұл электрлік машинаның барлық бөліктерінің температурасының жоғарылауы орнатылған мәнге дейін жетпегенше жалғасатын, өзгермейтін жүктеме кезіндегі жұмыс режимі (6.2, а - сурет).

2. *Қысқа уақытты номиналды жұмыс режимі* (S2) – бұл өзгермейтін номиналды жүктеме кезеңі t_p машинаны ажырату кезеңімен кезектесетін режим, сондықтан жұмыс уақыты ішінде қозғалтқыш орнатылған температураға дейін қызып үлгермейді, ал үзіліс уақыты ішінде қоршаған орта температурасына дейін салқындайды (6.2, б - сурет). Қосу уақытының ұзақтығы N 10, 30, 60 немесе 90 минутты құрауы керек.

3. *Қайталама-қысқа уақытты* номиналды жұмыс режимі (S3) – бұл өзгермейтін номиналды жүктеме кезеңі үзіліс кезеңдерімен кезектесетін режим, олай болса қозғалтқыш жұмыс уақыты ішінде орнатылған температураға дейін жетпейді, ал үзіліс уақыты ішінде қозғалтқыш қоршаған орта температурасына дейін суып үлгермейді (6.2, в - сурет). Бұл жұмыс режимі қосылу ұзақтығымен ε сипатталады

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_p + t_n}$$

Бір циклдің ұзақтығы 10 минутты құрайды. Стандартты ε мәндер 0,15; 0,25; 0,40 және 0,60 құрауы мүмкін.



6.5 Қызуы бойынша қозғалтқыштың тексеру және қуатын есептеу

6.5.1. Созылмалы жұмыс режимі

Бірмассалы жүйелер үшін электржетек қозғалысының теңдеуіне сәйкес, жұмыстың әр түрлі кезеңдеріндегі қозғалтқыш моменті электржетектің статикалық және динамикалық жүктемелерінің ағымдағы мәндерімен анықталады:

$$M(t) = M_c(t) + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} .$$

Қозғалтқыш моментінің уақытқа $M(t)$ тәуелділігі қозғалтқыштың жүктемелік диаграммасы деп аталады және электрқозғалтқыштың қуатын таңдаумен байланысты есептеулер кезінде қолданылатын басты сипаттама болып табылады. Жүктемелік диаграммаларды есептеу үшін жұмыстың әрбір кезеңіндегі механизмнің жүктемелік диаграммасы $M_c(t)$ деп аталатын статикалық момент туралы ақпарат, және электржетектің тахограммасы $\omega(t)$ деп берілетін технологиялық процесстегі электржетек қозғалыстың сипаттамасы туралы мәлімет негіз болып табылады.

Өндірістік механизмдерді электржетектің жұмыс режимдері көзқарасымен екі топқа бөледі: үзіліссіз әрекеттегі және циклдік әрекеттегі механизмдер. Қозғалтқышты қызуға таңдау мен тексеру сәйкесті ерекшелік пен әдістемеге ие.

6.5.1.1. Өзгермеген жүктеме кезіндегі қуатты есептеу

Үзіліссіз әрекеттегі механизмдердің ерекшелігі болып $\omega_{cp} = const$ өзгеріссіз орташа жылдамдықтағы қозғалтқыштың созылмалы жұмыс режимдері табылады. Осы кезде динамикалық режимдердің уақыты (іске қосу, тежеу, реверс) әрбір қосудағы жұмыстың жалпы уақытымен салыстырғанда тіптен аз, ол қозғалтқыштың қызуына динамикалық режимдер маңызды әсер етпейді және жүктемелік диаграммаларды тұрғызу кезінде оларды есептемеуге болады.

Қозғалтқыштың есептік моментін төмендегі қатынастан табуға болады

$$M_p \geq k_3 M_{c.3} ,$$

мұндағы $k_3 = 1,1 \div 1,3$ – электрқозғалтқыштың динамикалық режимдерін есепке алатын қор коэффициенті; $M_{c.3}$ – жүктеменің баламалы моменті.

Онда қозғалтқыштың есептік қуатын P_p формула бойынша анықтауға болады

$$P_p = M_p \omega_p .$$

Алынған мәндер бойынша тізімдемемен жуық қуат мен жылдамдықтағы қозғалтқыш таңдалады, осыдан соң таңдалған қозғалтқыш асқын жүктемелік қабілеттілікке тексеріледі. Осы үшін жүктемелік диаграммада максималды динамикалық моменттің $M_{д.мах}$ учаскесін анықтайды және оны қозғалтқыштың рұқсат етілген моментімен салыстырады

$$M_{д.мах} < M_{дв.доп} = \lambda_M M_{ном} ,$$

мұндағы λ_M – момент бойынша қозғалтқыштың асқын жүктемесінің рұқсат етілетін коэффициенті қозғалтқыштың паспорттық мәліметтерінде көрсетіледі.

Әдеттегі орындаулар мен синхрондық қозғалтқыштардың ТТҚ үшін $\lambda_M = 1,5 \div 2,5$, ал АҚ үшін қозғалтқыштың максималды моменті критикалыққа тең деп қабылдануы мүмкін. ҚТР бар АҚ таңдау кезінде іске қосу шарты бойынша қозғалтқышты тексеру қажет:

$$M_{дв.п} > M_{с.п} .$$

6.5.1.2 Айнымалы жүктеме кезіндегі қозғалтқышты қызуы бойынша тексеру

Қозғалтқыш шартты орындауда рұқсат етілетін жұмыс режимінде жұмыс істейді

$$\tau_{раб} < \tau_{доп} , \tag{6.3}$$

мұндағы $\tau_{раб}$ – жұмыс кезіндегі қозғалтқыштың қатты қызуы; $\tau_{доп}$ – оқшаулау класстарымен анықталатын, қозғалтқыштың рұқсат етілетін қатты қызуы.

Қызуы бойынша қозғалтқышты тексеру түзу немесе жанама әдістермен орындалуы мүмкін. Түзу әдісті қолдану жұмыс кезеңінде, қозғалтқышты есептеу мен қисық қатты қызуын $\tau(t)$ тұрғызу болжамдалады. Түзу әдісті қолдану қозғалтқыштың жылулық режимінің математикалық үлгісінің болуын талап етеді, қозғалтқышты қыздыру және салқындату процесстерінің дәл сипаттамасы айтарлықтай күрделі болғандықтан, бұл көп еңбекті қажет ететін есеп болып табылады. Сондықтан әдетте графикті тұрғызу талап етілмейтін $\tau(t)$, тексерудің жанама әдістерін қолданады.

6.5.1.2.1 Орташа шығын әдісі

Әдіс өте дәл және әмбебап болып табылады. Әдістің түсінігі қозғалтқыштың жұмыс кезеңі ішінде қуаттың орташа шығынын $\Delta P_{\text{ср}}$ анықтаумен және оларды қуаттың номиналды шығынымен $\Delta P_{\text{ном}}$ салыстырумен тұжырымдалады. Ақырғы қатынасты алу үшін орнатылған сынайлы режимдегі жұмыс кезеңі ішінде энергияны сақтау заңын жасаймыз. Кезең ішінде барлық бөлінген жылу қоршаған ортаға беріледі, демек

$$A\tau_{\text{ср}}t_{\text{ц}} = \int_0^{t_{\text{ц}}} \Delta P(t)dt.$$

Онда кезең ішіндегі қозғалтқыштың орташа қызуы $t_{\text{ц}}$ мынаны құрайды

$$\tau_{\text{ср}} = \int_0^{t_{\text{ц}}} \frac{\Delta P}{At_{\text{ц}}} dt = \frac{\Delta P_{\text{ср}}}{A} \quad (6.4)$$

Үйлестік бойынша қозғалтқыштағы қуаттың номиналды шығынын оның рұқсат етілетін қызуы анықтайды

$$\tau_{\text{доп}} = \frac{\Delta P_{\text{ном}}}{A} \quad (6.5)$$

(6.4) және (6.5) - ны (6.3) - ке қоя отырып орташа шығынның негізгі есептік қатынасын аламыз:

$$\Delta P_{\text{ср}} \leq \Delta P_{\text{ном}}$$

(6.2) және (6.5) есепке ала отырып, орташа шығын әдісінің тұжырымдамасын алуға болады: егер кезең үшін шығынның орташа қуаты шығынның номиналды қуатынан асып кетпесе, онда температураның орташа жоғарылауы рұқсат етілетін жоғарылау температурасынан аспайды.

Егер кезеңнің жеке учаскелерінде жүктеме тұрақты болса, онда орташа шығындар формула бойынша анықталады

$$\Delta P_{\text{ср}} = \sum_1^n \Delta P_i t_i / t_{\text{ц}}$$

Қозғалтқыш қуатының номиналды шығындары тізімдемелік мәліметтер бойынша мына формуламен анықталады

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

Орташа шығын әдісі температураның орташа жоғарылауы бойынша қозғалтқыштың жылулық жұмыс режимін бағалауға мүмкіндік береді. Әдістің анықталған кемшілігі, кезеңнің жеке учаскелерінде қозғалтқыштың максималды қызуы τ_{cp} артуы мүмкін екендігімен тұжырымдалады. Осы әдіспен қызудың уақыт тұрақтысы T_n және қозғалтқыш жұмысы циклінің ең көп жалғасатын учаскесінің ұзақтығы t_{max} шамаларының арасындағы айырмашылық көп болса, қызуды бағалау дәлдігі де жоғары болады, яғни бұл әдісті тек төмендегі шарт орындалған кезде ғана пайдалану мүмкін болады

$$t_{ц} \ll T_n .$$

Орташа шығын әдісі оның жүктеме функциясында қозғалтқыш ПӘК қисықтарын білуді және жүктемелік диаграмманың әрбір учаскелеріндегі шығындарды алдын ала анықтауды талап етеді, бұл есептеуді қиындатады.

Баламалы шамалар әдісін пайдалану көп жағдайда ұтымды болып шығады, ол қызу бойынша қозғалтқышты тексеруді қарапайым жүргізуге мүмкіндік береді. Мұндай әдістерге баламалы ток, момент және қуат әдісін жатқызуға болады.

6.5.1.2.2 Эквивалентті шамалардың әдістері: токтың, моменттің, қуаттың

Егер жүктемелік диаграмманы тұрғызу нәтижесінде уақыт функциясында қисық ток туралы мәліметтер болса, онда бірқатар шарттарда баламалы ток әдісін қолдана отырып, шығындардың есебінсіз қызуы бойынша қозғалтқышқа тексеру жүргізуге болады.

Қозғалтқыштағы шығынды ауыспалы шығынға және жүктемеге тәуелді емес, жүктемемен анықталатын тұрақты шығынның сомасы ретінде қарастыруға болады.

Баламалы ток – бұл өзгермейтін ток, онымен жұмыс істеу кезінде электрлік қозғалтқышта жүктеменің ауыспалы графигіндегі орташа шығындарға тең шығындар бөлінеді, яғни

$$\Delta P_{cp} = \Delta P_{const} + I_{экр}^2 R . \quad (6.5)$$

Созылмалы жұмыс режимінде және қозғалтқыш жүктемесінің ауыспалы графиктерінде кезең үшін шығынның орташа қуаты

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} . \quad (6.5)$$

(6.6) – ға (6.5) қоя отырып, түрленуден кейін эквивалентті тоқты анықтау үшін мына формуланы аламыз:

$$I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_{\text{ц}}}}$$

немесе жалпы жағдайда

$$I_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \sqrt{\int_0^{t_{\text{ц}}} i^2(t) dt}$$

Қозғалтқыш қыздыру шарттары бойынша жүреді, егер мына шарт орындалса

$$I_{\text{ЭКВ}} \leq I_{\text{НОМ}}$$

Баламалы ток әдісі болаттағы шығындар мен механикалықтардың жүктемеге тәуелсіздігі ұйғарымынан шығады және берілген жүктеме графигінің барлық учаскелерінде қозғалтқыштың басты тізбегі кедергісінің тұрақтылығын болжамдайды. Демек, тұрақты шығындар осындай болмаса (АҚ кернеудің өзгеруі) немесе кедергі тұрақты шама болып қалмаса (ауыспалы сырғу режиміндегі терең пазы бар АҚ), балама ток әдісі елеулі қателікке әкелуі мүмкін.

Уақыт функцияларында күшейтілетін қозғалтқышты қызуы бойынша тексеру үшін момент графигін пайдалану ыңғайлы болып табылады. Егер қозғалтқыштың ағыны тұрақты болса, онда момент пен ток арасында пропорционалды байланыс бар. Сондықтан сатылы график үшін қозғалтқышты баламалы момент әдісімен тексеру мүмкін болады, бұл мына формула бойынша есептеледі

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}}$$

мұндағы M_i, t_i – жүктемелі диаграмманың i учаскесінің сәйкесті моменті мен ұзақтығы.

Қозғалтқыш қыздыру шарттары бойынша өтеді, егер мына шарт орындалса

$$M_{\text{ЭКВ}} \leq M_{\text{НОМ}}$$

Әдіс ағыны тұрақты жұмыс шарттарында барлық қозғалтқыштарды қызуы бойынша тексеру үшін қолданылады.

Егер қозғалтқыштың жүктемелік диаграммасы қуат графигі түрінде берілсе, онда қозғалтқышты қызуы бойынша тексеру тікелей қуат графигі бойынша орындалуы мүмкін, тек қуат пен токтың арасында тұрақты ағын мен жылдамдықтағы қозғалтқыштың жұмысы кезінде орынға ие болатын тікелей пропорционалдылық болған жағдайда.

Жүктемелердің сатылы графиктері үшін эквивалентті қуат формула бойынша есептеледі

$$P_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

6.5.2 Қайталама-қысқа уақытты жұмыс режимі

Қозғалтқыш қайталама-қысқа уақытты режимде жұмыс істеген жағдайда қыздыру бойынша тексеруді, нақты режим үшін қосудың созылмалылығын ε стандартты режимге $\varepsilon_{\text{НОМ}}$ келтіргеннен кейін, жоғарыда берілген әдістермен орындауға болады. Шаманың баламалы мәні мына формулалар бойынша есептеледі

$$I_{\text{ЭКВ}} = I_{\text{ЭКВ}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{k_{\text{П}}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{НОМ}}) + \varepsilon_{\text{НОМ}}}};$$

$$M_{\text{ЭКВ}} = M_{\text{ЭКВ}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{k_{\text{П}}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{НОМ}}) + \varepsilon_{\text{НОМ}}}};$$

$$P_{\text{ЭКВ}} = P_{\text{ЭКВ}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{k_{\text{П}}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{НОМ}}) + \varepsilon_{\text{НОМ}}}},$$

мұндағы $k_{\text{П}} = \Delta P_{\text{const}} / \Delta P_{\text{var}}$ – шығын коэффициенті.

Егер тұрақты шығынның шамасы ауыспалы шығыннан айтарлықтай аз болса, онда қосылғыштарды $k_{\text{П}}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{НОМ}})$ елемеуге болады, сонда баламалы шамаларға арналған формулалар ықшамдатылады.

Тұрақты шығындарды елемеу кезінде ($k_{\text{П}} \ll 1$) және созылмалы жұмыс режимдері үшін тағайындалған қозғалтқыштарды қолдануларда ($\varepsilon_{\text{НОМ}} = 1$), аламыз

$$I_{\text{ЭКВ}} = I_{\text{ЭКВ}} \sqrt{\varepsilon}; M = M \sqrt{\varepsilon}; P = P \sqrt{\varepsilon}.$$

Формулалар үзілістер кезеңіндегі (мысалы, мәжбүрлі салқындатқыштары бар қозғалтқыштар) жылу беру тұрақтылығының шарттары кезінде әділетті.