

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университеті

М. А. Нұрлыбаев, А. П. Кругликов, С. А. Юсупова

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЭЛЕКТРЖЕТЕГІ

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2014

ЖОК 621. 31(075.8)

ББК 31.2я73

Н 83

Н 83 Нұрлыбаев М. А., Кругликов А. П., Юсупова С. А., Автоматтандырылған электржетегі. Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2014 – 188 б.
Сурет-137. Кесте-8. Библиографиялық тізім – 24 атау.
ISBN 978-601-228-618-2

Оқу құралы «Автоматтандырылған электржетегі» курсының бағдарламасына сай «Электр энергетикасы» мамандығына арналған. Ол үш тараудан тұрады. Бірінші тарауда қондырғылар, электржетегінің негізгі элементтерінің статикалық сипаттамасымен динамикалық қасиеттері, іске қосу принципі қарастырылған. Екінші тарауда реттегіштің тиімді баптау әдістері, статикалық сипаттамалары мен динамикалық қасиеттері қарастырылған. Үшінші тарауда өндірістік механизмдердің автоматтандырылған электржетектерінің жүйелері қарастырылған: олардың жасаған жұмыстарының талдауы, өндірістік механизмдердің спецификасын ескере отырып әртүрлі типтердің салыстырмалы бағасы берілген.

Оқу құралы автоматтандырылған электржетек оқитын басқа мамандарға да, сонымен қатар электржетектер жүйелерін пайдалану және жобалау бойынша мамандарға да қажет болуы мүмкін.

ЖОК 621. 28(31)

ББК 32.844я73

Пікір берушілер:

1. *И. Н. Столповских* тех. ғыл. докторы, профессор
2. *Н. К. Қожаспаев* тех. ғыл. докторы, профессор
2. *Е. К. Едыгенов*. Д.А Қонаев атындағы Тау-кен институтының «Кен жыныстарын бұзу және жеткізу» зертханасының меңгерушісі, тех. ғыл. докторы
3. *Р. В. Ваганов*. Д. А Қонаев атындағы Тау-кен институтының басқарушы ғылыми қызметкері

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігінің 2014 жылғы жоспары бойынша басылды.

ISBN 978-601-228-618-2

© Нұрлыбаев М. А., Кругликов А. П.,
Юсупова С. А.
© ҚазҰТУ, 2014

КІРІСПЕ

Реттелінетін электржетегінің дамуы, күштік түрлендіргіш техника саласында жетістіктерге жетуі, ауыл шаруашылығының түрлі салаларының дамуымен байланысты. Электроника саласындағы жетістіктер өздерінің қажеттілігін электржетегінің қорғау құралдарында, басқару мен бақылау жүйелерінде және электрмен қамтуда тапты. Бірнеше шетелдік фирмалар және отандық электр техникалық өнеркәсіптер заманауи жаңа коммутациялық аспаптар, микропроцессорлық техникаға негізделген 1000В төмен және 1000В жоғары кернеулі қорғау жүйесі бар таратқыш кешендік қондырғылар жасалуда. Күштік толығымен басқарылатын жартылай өткізгіштік аспаптарды құру электржетектерінде ыңғайлы түрде электр энергиясын түрлендіруге және бұл техникалық заманауи реттелінетін электржетектерін құруға кеңінен мүмкіндік туғызады. Электржетектері мен басқару жүйелерінің функционалдық мүмкіндіктері мен элементтік базасын жасауды, микропроцессорлық техниканың жетістігін қолдану түбегейлі өзгерістерге алып келеді.

Басқа ерекшелігі, реттелінетін электржетегінің сипаттамасына деген талаптардың өсуі, технологиялық процестерді басқарумен байланысты оның функцияларының қиындауымен кеңейуі және басқару жүйелерінің соған сәйкес күрделенуі болып саналады.

Ғылыми және техникалық тұрғыда автоматтандырылған электржетек практикалық түрде өзіндік сала ретінде баяғыда рәсімделген. Ол автоматты реттеу теориясы, электроника, электротехника, механика сияқты бірнеше ғылыми пәндердің түйіспесінде, олардың әдістерін алып және әдістемелерін зерттеу арқылы талдай отырып, нәтижесінде практикалық есептері пайда болған.

Оқу құралының материалдары үш тараудан тұрады. Оқу құралының бірінші бөлімінде қондырғылар, электр қозғалтқыштарының механикалық сипаты мен жұмыс жасау қағидалары, сонымен қатар әртүрлі бергіштер мен реттегіштердің сипаттама қондырғылары қарастырылған.

Екінші бөлімде электржетек жүйелері қарастырылған. Күрделі және шынайы жүйелерге: тұрақты ток қозғалтқышы (ТТ-Қ), тұрақты ток жиілігінің асинхронды қозғалтқышы (ТТЖ-АҚ) және бұрандалы (вентилді) қозғалтқышы бар электржетектерге негізгі назар аударылған.

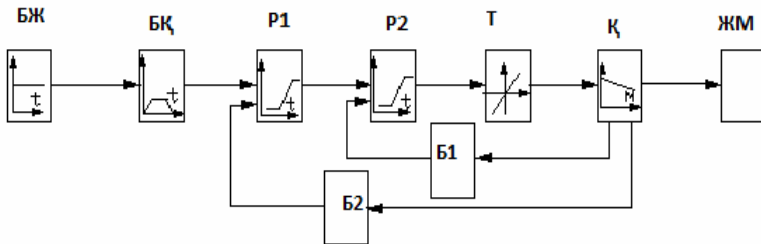
Электржетектерінің статикалық сипаттамалар мен динамикалық қасиеттері сызбалық материалдарда көрсетілген.

Үшінші бөлім ауыл шаруашылығының түрлі салаларында қолданылатын өнеркәсіптік қондырғылардың автоматтандырылған электржетектеріне арналған.

Оқу құралдағы материалды толық жеткізу үшін, механикалық сипаттарды құру мен есептеуге, автоматтандырылған реттеу жүйелерін жобалау мен өңдеуге байланысты практикалық есептерді шешуге көп назар аударылған.

1. АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЭЛЕКТРЖЕТЕК ЭЛЕМЕНТТЕРІ

Электр қозғалтқыш Қ, түрлендіргіш Т, және реттеу жүйелерінен (реттегіш, бергіш) тұратын (жалпы жағдайда) электр механикалық жүйені (1.1-сурет) электржетек деп атайды. Электржетектегіне қойылатын негізгі талап механизмдермен машиналардың ең жақсы жұмыс жасауын қамту. Мұндай жүйелерді құру кезінде бірінші кезекте: электрмен қамдау шарттары, жұмыс жасау сипаты, нұсқауы, электржетектердің элементтері мен іске қосылған механизм элементтерінің статикалық сипаттарымен динамикалық қасиеттері сияқты көптеген факторлар ескеріледі. Іске қосылған механизмдердің талаптарына сай келетін электржетектің құру, электржетектерінің негізгі элементтерінің статикалық сипатымен динамикалық қасиетін түзету жолымен, сондай-ақ қажетті қасиеттерге ие түзеткіш жаңа қондырғыларды енгізу жолдарымен жүзеге асырылады.



1.1-сурет. Электржетектің функционалдық сызбасы

1.1. Тұрақты ток машиналары

1.1.1. Тұрақты ток машиналарын іске қосу қағидалары мен қондырғылары

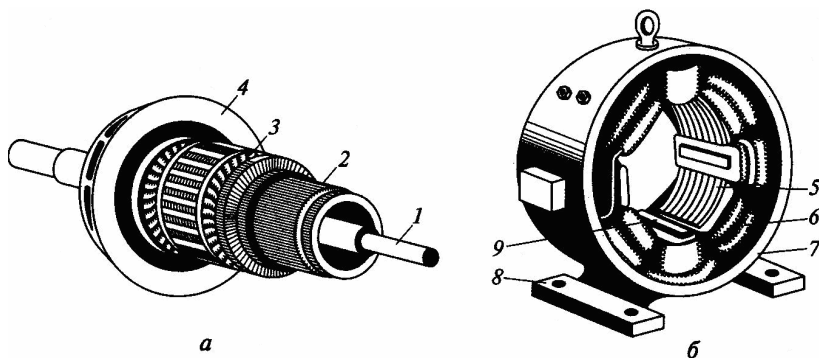
Генераторлар [5], қозғалтқыштар, тұрақты ток машиналары (1.2-сурет) бірдей құралдардан тұрады. Олардың негізгі

бөлшектері: статор (басты 5 және қосымша полюстары бар станина) және зәкір. Басты полюстарында қоздыру орамы 6 орналасқан. Басты полюстар электр техникалық болат табақтарынан токтардың жоғалымын азайту үшін жасалады. Түзу бұрышты немесе шеңберлі формалы оқшауланған мыс жетегі бар катушкалардан тұратын қоздырғыш орамдары басты полюстің өзекшесінде орналасқан.

Полюстар арасындағы кеңістікте айналатын цилиндр-зәкір 3. Ол щеткалы аппарат және коллектор 2, зәкір орамы орналасқан (сызбада келтірілген) тісі бар өзекшеден тұрады. Зәкір орамының секциясының түйіні коллекторлы пластиналармен жалғанған.

Тұрақты ток қозғалтқышының зәкір тізбегін қорек көзіне қосу шеңбер бойынша щеткаларды орналастыра алатын щетка ұстағыштарда орналасқан щеткалардың көмегімен жүзеге асады.

Қатты миканиттан жасалған төсемелер мен бір-бірінен оқшауланған трапециялық қималы (ламельдер) бөлек-бөлек мыс пластиналардан 8 коллектор (1.3-сурет) жиналады.



1.2-сурет. Тұрақты ток машинасы:

- 1 – білік; 2 – коллектор; 3 – зәкір; 4 - алдыңғы мойын тірек қалқаны;
- 5 – басты полюстар; 6 – қоздырғыш орамы; 7 – станина;
- 8 – қолдар; 9 – қосымша полюс.

Жинап болған соң баспалы фланц 6, «айыр құйрығы» 7 және коллектор пластинасының шпилькасы 5 көмегімен болатты

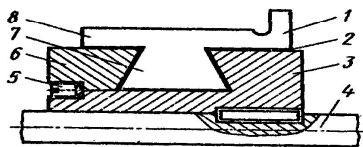
төлке 3 бекітіледі, одан олар формалы миканиттан жасалған арнайы манжеттер 2 оқшауландырылады. Болатты төлке білікке 4 орнығады. Щеткалар дірілдемес үшін коллектор қатаң түрде цилиндрлік формаға ие болып, ал пластиналардың арасына орналасқан миканитті төсемелер сыртқа шығып тұрмауы керек. Сондықтан да коллектордың пластиналар арасындағы төсемелерге коллектор беткейінен 0,8-1,5мм төмен жоңғылау жүргізеді. Зәкір орамының секциялары коллекторлы пластина 1 шығып тұрған бөлшегі бар кескінге дәнекерленеді. Пластинаның бұл бөлшектері «түйін» (петушками) деп аталады. Щеткаларды ұстағыштың 3 ішінде орналасқан тік бұрышты қайрақша 4 тәрізді (1.4-сурет) щеткаларды дайындайды. Коллектордың сырқы тізбекпен қатынасын жақсарту үшін, щеткалы қанат 1 бар серіппе 2 коллектор беткейіне жапсырылады.

Траверсаны бұруға болады, сондықтан машина полюстарына қарасты щеткалардың жағдайларын да өзгертуге болады. Коллекторды ауыспалы ток өтетін, зәкір орамымен тұрақты ток торабын байланыстыратын жиілік түрлендіргіші ретінде қарастыруға болады.

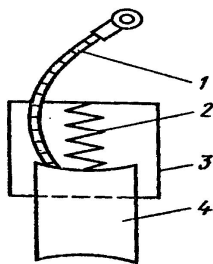
Щетка ұстағыштардың ең танымал екі типі (1.5-сурет): тік (а) және көлденең (ә) щеткалардың орналасуы.

Басқа полюстарда екі қоздырғыштан орналасқан. Тұрақты ток машинасының зәкір орамына қатысты, қоздырғыш орамын қосу әдісіне байланысты олар параллельді, тізбекті, тәуелсіз және аралас қоздырғышқа ие болулары мүмкін. Қоздырғыштар орамдарын қосудың түрлі әдістері тұрақты ток машинасының сызбалы түрі 1.6-суретте көрсетілген.

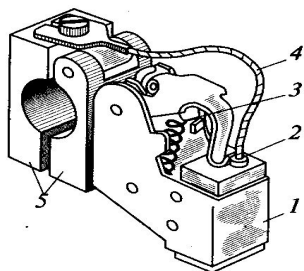
Тұрақты ток машинасы айнымалы болып келеді. Қоздырғыш орамында ток барда және зәкір айналғанда ол механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіреді, яғни генератор ретінде жұмыс жасайды. Қоздырғыш орамынан пайда болатын магнит ағымы мен зәкір тогының арасында зәкір тізбегіне кернеуді келтіргенде, айнымалы момент пайда болады, және электр машинасы электр энергиясын механикалыққа түрлендіреді, яғни қозғалтқыш ретінде жұмыс жасайды. Тежегіш және қозғалтқыш режимдерінде жұмыс жасау кезінде қозғалтқыштардың электр механикалық қасиеттерін бағалау үшін механикалық және электр механикалық сипаттамалар қолданылады.



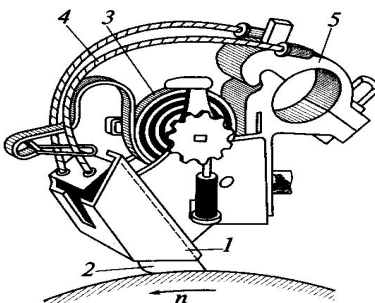
1.3-сурет



1.4-сурет

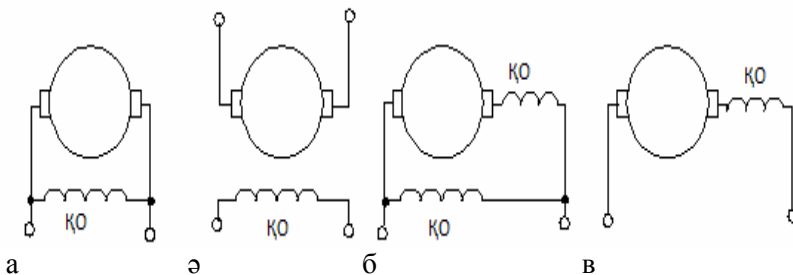


а



б

1.5-сурет Щетка ұстағыштағы щеткалардың орналасуы:
а – радиалды; б – еңкіш



1.6-сурет. Қоздырғыштың орамдарын қосу әдістері:
а – параллельді; б – тәуелсіз; в – аралас; г – тізбекті

1.1.2. Тұрақты ток қозғалтқыштарының электр механикалық қасиеттері [2]

Қозғалмалы режимде электр машинасы жұмыс жасау кезінде қозғалтқыш сипаттамаларының аналитикалық түрі зәкір тізбегі кернеуінің тепе-теңдік теңдеуінен алынуы мүмкін.

$$U_d - I_3 R - E = 0 \quad (1.1)$$

мұнда I_3 – зәкір тізбегінің тогы; $R=R_3+R_{\text{ко}}+R_{\text{дп}}$ – зәкір тізбегінің соммалық кедергілері; $E = c\Phi \omega$ – қозғалтқыштың электр қозғалтқыш күші (ЭҚК).

(1.1) теңдеуіне E мәнін қойып, оны ω бұрыштық жылдамдық теңдеуіне қатысты шығарсақ, зәкір тогының шамасынан бұрыштық жылдамдықтың қатынасының аналитикалық формуласын аламыз:

$$\omega = \frac{U_d}{k\phi} - \frac{R}{k\phi} I \quad (1.2)$$

Бұл қатынас электр механикалық сипаттама деп аталады.

$\omega=f(M)$ аналитикалық формуланы алу үшін (механикалық сипат) магнит ағымы Φ және I тогымен момент M қатынасын қолданамыз.

$$M = k\Phi I \quad (1.3)$$

(1.3) теңдеуінен токтың мәнін (1.2) теңдеуіне қойсақ теңдеудің механикалық сипатын аламыз:

$$\omega = \frac{U_d}{k\phi} - \frac{R}{k^2 \phi^2} M \quad (1.4)$$

(1.2) және (1.4) теңдеулер бойынша құралған қозғалтқыштар сипаты 1.7-суретте келтірілген түрге ие.

Қозғалтқыштар сипаты табиғи және жасанды болып бөлінеді. ($U = U_n$) зәкір орамындағы номиналды кернеу, ($\Phi = \Phi_n$) номиналды магнит ағымы кезінде және зәкір тізбегінде

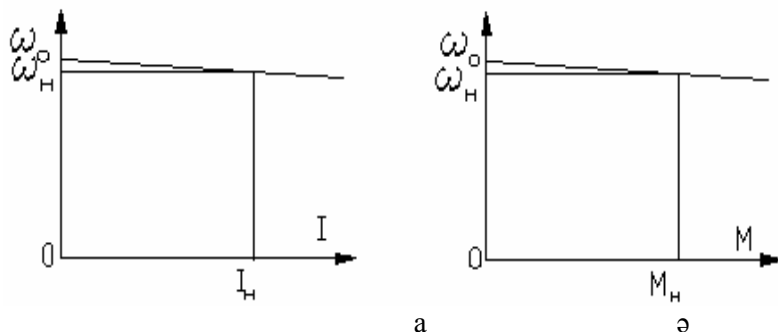
қосымша резисторлар жоқ кезде алынған сипаттар табиғи деп аталады.

(1.2) және (1.4) теңдеулеріндегі кез келген шама-шарттың (параметрлердің) өзгеру кезіндегі қозғалтқыштың сипаты табиғидан ерекшеленеді. Тұрақты ток қозғалтқышының бұл қасиеті қажетті сипат пен олардың айналым жиілігін реттеуді жасанды түрде алу үшін қолданылады.

Қозғалтқыштардың айналым жиілігін реттеудің үш түрлі әдісі бар:

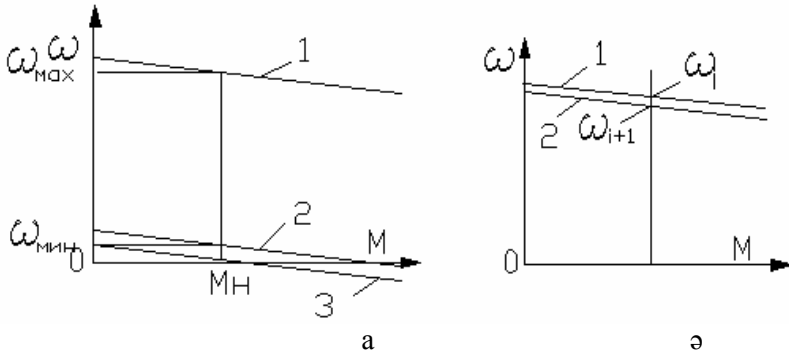
- зәкір тізбегіне келтірілетін кернеудің өзгеруімен;
- негізгі полюстардағы магнит ағымының өзгеруі;
- зәкір тізбегіне қосымша резистор енгізу (реостатты әдіс).

Электр қозғалтқыштың барлық типтерінің айналу жиілігін реттеудің түрлі әдістерінің тиімділігін бағалау үшін, бірнеше жалпы көрсеткіштер: диапазоны, ырғақтығы, бағыты және реттеу үнемділігі қолданылады.



1.7-сурет. Тәуелсіз және параллель қоздырғышы бар тұрақты ток қозғалтқышының сипаты: *а* – электр механикалық; *ә* – механикалық

Реттеу диапазоны. Статикалық жүктеменің моментінің номиналды мәні мен берілген қатты жүктелу қабілеттілігі кезіндегі ($D = \omega_{\max} / \omega_{\min}$) максимальды жылдамдықтың минимальдыға қатынасын реттеу диапазоны деп атау қажет. Реттеу диапазонын анықтау 1.8 а-суретте келтірілген механикалық сипатпен түсіндіріледі.



1.8-сурет. Жиілік айналымының реттеу көрсеткіші:
a – реттеу диапазоны; *б* – реттеу ырғақтығы

$M=M_H$ кезінде реттеу диапазонының үстінен шектейтін 1-ші сипатында ω_{\max} қозғалтқыштың максимальды айналу жиілігі қолданылады. Реттеу диапазоны астынан ($K_M=M_{\max}/M_H$) көп жүктемелі қабілеттігі бар сипатпен шектелген. $M_{\max}=2M_H$ берілген шамада ω_{\min} айнарудың минимальды жиілігі 2-ші сипатында. Осы сипаттан төмен орналасқан барлық сипаттар берілген аса жүктемелі қабілеттерін қамтамасыз ете алмайды.

Айналым жиілігінің реттеу диапазонын қатынастар ретінде көрсетеді, мысалы 5:1, 80:1 және басқалар.

Реттеу ырғақтығы. Қозғалтқыштың айналу жиілігінің реттеу ырғақтығы (1.8 б-суреттегі) жасанды механикалық екі көршілес сипаттардың бұрыштық жылдамдықтарының қатынасы болып саналатын $K_{пл,} = \omega_{i+1} / \omega_i$ ырғақтылық коэффициентімен қозғалтқыштың айнымалы жиілігінің реттеу ырғақтығы бағаланады, мұнда $\Delta\omega = (\omega_i - \omega_{i+1})$ – қозғалтқыштың айналу жиілігінің минимальды сатысы және де ω реттелмейді. $K_{пл}$ 1-ге жақын болған сайын реттеу ырғақтығы мен электржетегінің жүйесінің сапасы жоғары болады.

Реттеу бағыты. Негізгі сипаттан реттеу «Жоғары» және «Төмен» бағытқа бөлінеді. Тек қана «Жоғары» немесе «Төмен» реттеуді бір аймақты реттеу деп атайды. Екі аймақты реттеу кезінде номиналды бұрыштық жылдамдықтан «Жоғары» және «Төмен» бағытта қозғалтқыштың айналым жиілігі реттеледі.

Реттеу үнемділігі. Бұл көрсеткіш электржетек жүйелерін құруға және оны пайдалану кезеңінде оны іске жарамдылық жағдайда ұстауға кеткен шығындармен анықталады.

Пайдалану шығындарының негізгі құраушысы жабдықтарды алуға кеткен қосымша шығындар және реттеу кезіндегі электр энергиясының шығындарының құны болады. Аталған көрсеткіштер көбінесе қозғалтқыштардың барлық типтерінің айналу жиіліктерін реттеудің түрлі әдістерін салыстыра бағалау кезінде қолданылады.

1.1.3. Тұрақты ток қозғалтқыштарының айналу жиілігін реттеу әдістері

(1.2) және (1.4) теңдеулерден тұрақты ток қозғалтқышының жасанды сипатының үш шартын: зәкірге келтірілген U кернеуді, Φ магниттік ағымы, зәкір тізбегінің кедергісі R_{zt} (зәкір тізбегіне қосымша резисторды енгізу жолымен) өзгерту жолыменен алуға болады.

Қозғалтқыштың айнымалы жиілігін реттеу шама-шартына байланысты үш тәсілге бөлінеді: зәкірдегі кернеудің өзгеруі, магнит ағымының өзгеруі және зәкір тізбегіне қосымша резисторлар енгізу (реостат тәсілі). Жылдамдықты реттеу кезінде шама-шарттың бірінің өзгергенде, басқа шама-шарттар өзгеріссіз қалатынын ескерейік.

Зәкірдегі кернеудің өзгеруімен ω қозғалтқышындағы айналым жиілігі реттелінеді.

$$U = \text{Var } \Phi = \text{const}, R_{\text{дон}} = 0.$$

(1.2) және (1.4) сипаттары сызықты және оларды құру үшін екі нүкте болғаны жеткілікті. Сол нүктелер ретінде әдетте мыналарды алады.:

$$1. \omega = \omega_0; I = 0. \quad 2. \omega = \omega_n; I = I_n$$

электр механикалық сипаттарын құру үшін.

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

механикалық сипаттарын құру үшін.

Идеалды бос жүріс кезінде ($M=0$) қозғалтқыштың бұрыштық айналым жиілігі

$$\omega_0 = U / k\Phi_n. \quad (1.5)$$

(1.5)-тен, айналым жиілігімен зәкірдегі кернеу тікелей байланыста деуге болады. Яғни қозғалтқыштың айналым жиілігі зәкірдегі кернеу сияқты өзгертін болады. $k\Phi_n$ шамасы былай анықталады:

$$k\Phi_n = (U_n - R_{я} I_n) / \omega_n. \quad (1.6)$$

U_n , I_n , n_n , η_n және R_3 шамалары қозғалтқыштар мәліметтері каталогінде келтірілген. Қозғалтқыштар жайындағы әдебиет анықтамасында жоқ шама-шарттар теңдеулер бойынша анықталады:

$$R_{я} = 0,5 (1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n}. \text{ Ом}, \quad (1.7)$$

$$\omega_n = \pi n_n / 30, \text{ рад/с}, \quad (1.8)$$

$$M_n = 9550 P_n / n_n \cdot \text{Н}\cdot\text{м}. \quad (1.9)$$

0-ден I_n -ге немесе M_n -ға дейін жүктеменің өзгеруі кезінде айналым жиілігінің төмендеу шамасы зәкірге келтірілген (тұрақты магнит ағымындағы) кернеудің шамасына тәуелді емес.

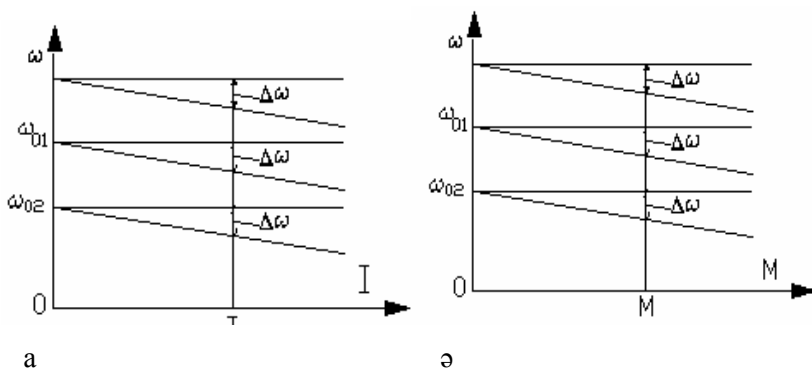
$$\Delta \omega = R I_n / k\Phi_n \text{ и } \Delta \omega = R M_n / k\Phi_n$$

Сондықтан да зәкірдегі кернеуден алынған әртүрлі шамаларда барлық сипаттар бірдей еңкіштікке ие (1.9-сурет).

Магниттік ағымның өзгеруімен қозғалтқыштың айналым жиілігінің реттелуі. Осы әдісті бағалау үшін тағы да (1.2) және (1.4) теңдеулеріне назар аударайық, яғни бұл реттеу әдісінде де қозғалтқыштың сипаты сызықты және оларды құру үшін екі белгілі координаттар: 1. $\omega_0 = U/k\Phi$; $I = 0$; 2. $\omega = 0$; $I = I_k$ (электр механикалық сипат) және 1. $\omega_0 = U/k\Phi$; $M = 0$; 2. $\omega = 0$; $M = M_k$. (механикалық сипат) болғаны жеткілікті.

$\omega_0 = U/k\Phi$ теңдеуінен магниттік ағымның өзгеруімен екі аймақтық реттеуді жүзеге асыруға болатындығы белгілі олар: $\Phi > \Phi_n$ айналым жиілігінде «Төмен» реттелінетін болады және керісінше болады.

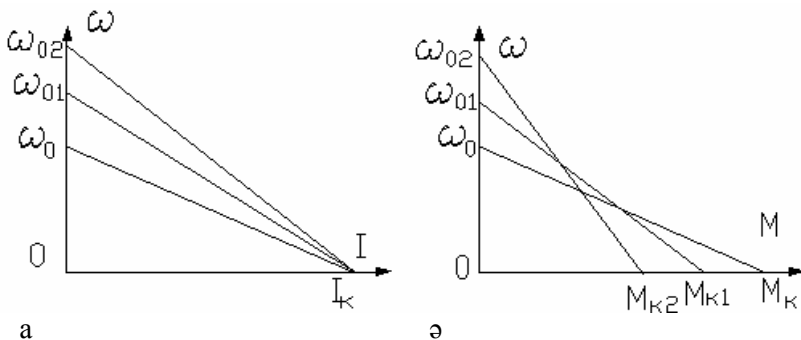
Дегенмен «Төмен» айналым жиілігін магниттік ағымның өзгеруімен екі себеп бойынша реттемейді: 1) номиналды ток қозуында магниттік ағым қанығу аумағындағы магниттелу қисығында орнығады; 2) козу орамы қозудың номиналды тогына есептелінеді. Қысқа уақытқа ғана аса жүктеме кезінде де ток бойынша орамдардың қызып кетуі оның оқшауларының зақымдануына келтірілуі мүмкін. Сондықтан да қозғалтқыштың айнымалы жиілігін тек қана бәсеңдетілген магнит ағымында, яғни «Жоғары» номиналды жиілікпен реттеуге болады. Екі аймақтық реттеу қажет кезінде екі әдіс қолданылады: зәкірдегі кернеудің өзгеруі және магниттік ағымның бәсеңдеуі.



1.9-сурет. Зәкірде кернеу мен реттеу кезіндегі қозғалтқыштардың сипаты:

а – электр механикалық; б – механикалық

Магниттік ағымның бәсеңдеу кезіндегі алынған қозғалтқыштардың сипаты 1.10-суретте келтірілген.



1.10-сурет. Қозғалтқыш сипаты:
а – электр механикалық; ә – механикалық

Электр механикалық сипаттардан (1.10 а-сурет): 1) I_k қысқа тұйықталу тогының шамасы тек қана зәкірдегі кернеу шамасымен зәкір тізбегіндегі кедергімен анықталады; 2) алаңы бәсеңсіген бұрыштық жылдамдықты кез келген жүктемеде жоғарылатуға болады. Механикалық сипаттар (1.10 ә-сурет) төмен магниттік ток кезіндегі айналым жиілігінің жоғарылауы тек қана бос жүріспен төмен жүктеме (15%-ға дейін) кезінде болатынын көрсетеді. Бұл әдістің жақсы жағы жүзеге асуының қарапайымдылығы және айналым жиілігінің екі аймақтық реттеуін ұйымдастыру мүмкіндігі болып келеді. Қысқа уақыттық қайталану режимінде жұмыс жасайтын механизмдердің электржетегінде бұл әдіс кеңінен таралған. Бұл жерде аз жүктеме кезінде және бос жүріс кезінде қозғалтқыштың жұмыс жасау интервалы үлкен.

Магнит ағымының бәсеңдеуімен бұрғылау қондырғыларының түсіріп-көтеру агрегаттарының жетектерінде жұмыс тұрақты қуатпен жүзеге асырылады, яғни қозғалтқыштың қуатын толығырақ қолданады.

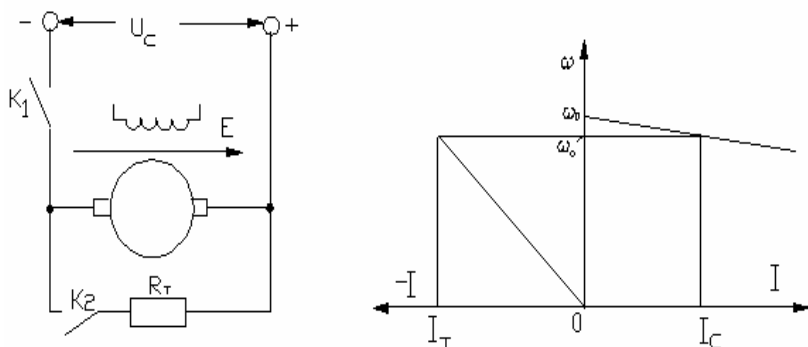
Өзінің көптеген кемшілігін ескере отырып, тәуелсіз қоздыруы бар тұрақты ток қозғалтқышының *айналым жиілігін реостатты реттеу* практикалық тұрғыда кеңінен таралмаған. Бұл әдісті қолданудың негізгі саласы – ретелінбейтін тұрақты токпен қоректенетін: кен электровозы, трамвай, троллейбус машиналар мен механизмдер.

1.1.4. Тұрақты ток қозғалтқышының тежеу әдістері

Тәуелсіз қоздырғышы бар тұрақты токтың электр қозғалтқыштарының электрлік тежеуінің үш әдісі бар: қарсы қосу арқылы, динамикалық, рекуперативтік.

Тежеудің бұл әдістерінің кез келгенінде электр машинасы генераторлы режимде жұмыс жасайды. Тұрақты ток машинасын қозғалтқыш режимінен тежеудің динамикалық режиміне ауыстыру 1.11-суретте келтірілген сызбалармен және сипаттармен түсіндірілген. Сызбаның бастапқы жағдайы: K_1 кілті тұйықталған, K_2 кілті ашық. I_c – ток жүктемесі және ω_c – айналым жиілігі бар қозғалтқыш режимінде машина жұмыс жасайды. Ауыстырылып қосудың алдында ток жүктемесі былай анықталынады:

$$I_c = \frac{U - E}{R + R_t}, \quad (1.10)$$



1.11-сурет. Динамикалық тежеу:
a – электр сызбасы; *б* – сипаттамалары

Қозғалтқышты тежеудің динамикалық режиміне ауыстырғаннан соң (K_1 кілтінің ашылғаны және K_2 кілтінің тұйықталуы) зәкір тізбегендегі ток бағытын өзгертеді:

$$I_T = \frac{-E}{R + R_t}, \quad (1.11)$$

мұнда, $E = k\Phi \omega$, R_T – қозғалтқышқа жалғанған қосымша резистордың кедергісі. E мәнін (1.11) теңдеуіне қойып және оны ω қатысты шешсек мынадай болады:

$$\omega = - \frac{R + R_T}{k\Phi} I \quad (1.12)$$

I зәкір тогынан айналым жиілігінің ω тәуелділігі (1.12) теңдеуінде көрсетілініп, тежеудің динамикалық режимінде қозғалтқыштың электр механикалық сипаты болып саналады. $\omega = f(M)$ сипатын (1.12) теңдеуіне $I = M / k\Phi$ мәнін қойып табамыз.

$$\omega = - \frac{R + R_T}{k^2 \Phi^2} M. \quad (1.13)$$

Айналым жиілігі төмендеген сайын тежеу моментінің төмендеуі бұл әдістің негізгі кемшілігі болып келеді.

Тежеудің түрлі әдістерін салыстырмалы бағалау мен бейнелеу үшін, түсіріп-көтеру агрегатының терең бұрғылау қондырғысының негізгі механизмі пайдаланылады. Бұл агрегат тежегіш режимінде негізгі жұмыс уақытын атқарады. Жүктемені түсіру кезіндегі тежеу моментін құру үшін тежеудің барлық үш әдісі де қолданылуы мүмкін.

Жүктемені түсіру кезіндегі (колонналар, құбырлар және басқалар) жұмыс жасауының электр тежеуін қамту сызбалары 1.12-суретте келтірілген. 1.12, а-суретінің сызбасында тиристорлық түрлендіргіш (ТТ) инверторлы режимде жұмысын атқарады және тежеу моментін құратын зәкір тізбегіндегі ток былай анықталады:

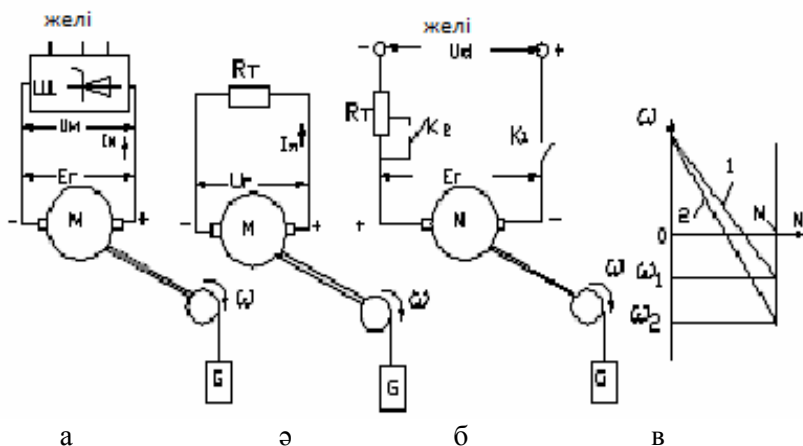
$$I_{и} = (U_T - U_{и}) / R_{э}, \quad (1.14)$$

мұнда, $U_{и}$ – инверторлы режимде жұмысын атқаратын ТТ шығыскернеуі; $R_{э} = R_T + R_{я}$ – күштік тізбегінің кедергісі.

$I_{и}$ – инвертор тогымен құрылатын M_T тежеу моментін кең шектеулікте инвертор кернеуін реттеумен өзгертуге және жүктемені түсіру жылдамдығын ақырын реттеуге болады. Қарастырылғандар бастаушы тораппен инверторда жұмыс

жасай алатын, реттелінетін қорек көзін қолдануы қозғалтқыштың айналым жиілігінің кең диапазонының торабында энергияны берумен тежеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

1.12, ә-суретінде келтірілген сызбада, механизмді тежеуді тоқтатқаннан соң, жүктеме әсерімен генератор жоғарыланатын жиіліктің төмендеу жағына қарай айналады. Осындай жылдамдықпен генератор тогы $I_T = U_T/R$ және тежеу моменті $M_T = k\Phi I_T$ өседі. Момент шамасына M_T қол жеткізгеннен соң жүктеме $M_G = r_6 G$ тұрақты жылдамдықпен түседі. R_T резистор кедергісі көбейген сайын тежеу моменті азаяды, $M_G = r_6 G$ теңдеуі жоғары жылдамдықта пайда болады, яғни жүктемені түсіру жылдамдығы өседі. Қазіргі кезде генератордың зәкір тізбегінің кедергісінің шамаларын байсалды реттеуді қамтитын қондырғылар жартылай жетекті аспаптарда бар. Қарастырылған әдіс динамикалық тежеуге қатысты, генератор шығаратын энергия, зәкір орамдарында және тежеу резисторына шығын болады.



1. 12-сурет. Тежеу режимдерін түсіндіру үшін:
а – рекуперативті; ә – динамикалық; б – қарсы қосу, в – қарсы қосу тежеуі кезіндегі қозғалтқыш сипаттары

1.12, б-суретінің сызбасында қарсы қосудың тежеу процесі жүзеге асырылады. Қосу кезінде және зәкір тізбегінде жүктеме астында айналым жиілігін реттеу қажеттілігінде реттелмейтін қорек көзінен тұрақты ток қозғалтқышы қоректенген кезде реостаттар (реостатты реттеу әдісі) қосылады. Бұл әдісте қатаңдық (еңкіштік) сипаттары және қосу моментінің шамасы зәкір тізбегіне қосылған қосымша резистордың кедергісінің шамасына тәуелді. 1.12, в-суретінде екі сипаттама көрсетілген 1- K_2 кілті тұйықталған және 2- кілт ашық кезінде.

Егер қозғалтқыштың қосу моментінен асатын моментті құратын ауыр жүктеме көтеріліміне электр машинасын қосса, онда қозғалтқыш оның ықпалымен $M_T=M_G$ тепе-теңдігі орнатылғанға дейін қарама-қарсы жаққа өспелі жылдамдықпен айналатын болады. Бұл жағдайда зәкір тогының шамасы былай анықталады:

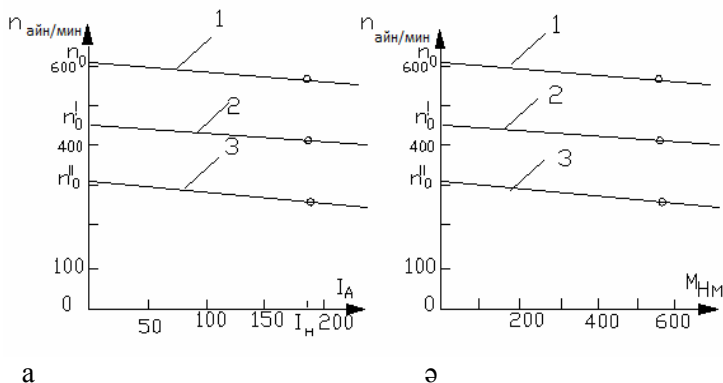
$$I = (U_T + U_n) / (R_T + R_r) \quad (1.15)$$

Генератор режимінде жұмыс жасайтын, қозғалтқыштың айналымының орныққан режиміндегі жұмысы 1 сипатында ω_1 айналым жиілігімен өтеді. Егер қозғалтқышты сипат 2-ге K_2 кілтін ашық кезге ауыстырса $M_T=M_G$ моменттер тепе-теңдігі ω_2 қозғалтқыштың айналым жиілігінде орын алады және жүктемені түсіру, 1 сипаттағы атқарылған жұмысқа қарағанда, үлкен жылдамдықпен жүзеге асырылады. Жүктемені түсіру ырғақтығы – резистор R_T кедергісінің шамасын ақырын реттеуге байланысты.

Тежеудің бұл әдісінің кемшілігі электр энергиясының үлкен шығыны. Динамикалық тежеуге қарағанда кедергінің шамасы көбірек болатын қосымша резисторге R_T тежеу кезінде генератор мен тораптардың энергиясы шығындалады.

1.1. Мысал. Тәуелсіз қоздырғыштың тұрақты ток қозғалтқышының сипатын есептеу және құру $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$:

- 1) табиғи;
- 2) $U=0,7U_n$; $U=0,5U_n$ кезінде жасанды;
- 3) $\Phi=0,5\Phi_n$. Магнит ағымы бәсең кезінде. Қозғалтқыштың паспорттық мәліметтері: $P_n = 35$ кВт; $U_n = 220$ В; $I_n = 185$ А; $n_n = 575$ айн/мин.



1.13-сурет. Қозғалтқыш сипаттары:
 а – электр механикалық (1 – табиғи; 2,3 – кернеу төмендегенде);
 б – механикалық (1 – табиғи; 2,3 – кернеу төмендегенде)

$$\eta_{H} = 1000 P_{H} / U_{H} I_{H} = 1000 \cdot 35 / 220 \cdot 185 = 0,86, .$$

$$R_{я} = 0,5(1-0,86)U_{H} / 185 = 0,0835 \text{ Ом},$$

$$M_{H} = 9550 \cdot P_{H} / n_{H} = 9550 \cdot 35 / 575 = 585 \text{ Н} \cdot \text{м} (59,63 \text{ кг} \cdot \text{м}),$$

$$K\Phi_{H} = \frac{U_{H} - I_{H} R_{я}}{n_{H}} = \frac{220 - 185 \cdot 0,0835}{575} = 0,36$$

$$0,5 K\Phi_{H} = 0,18.$$

$$n_0 = U_{H} / K\Phi_{H} = 220 / 0,36 = 611 \text{ айн} / \text{мин.},$$

$$n_0^I = 0,75 U_{H} / K\Phi_{H} = 458 \text{ айн} / \text{мин.},$$

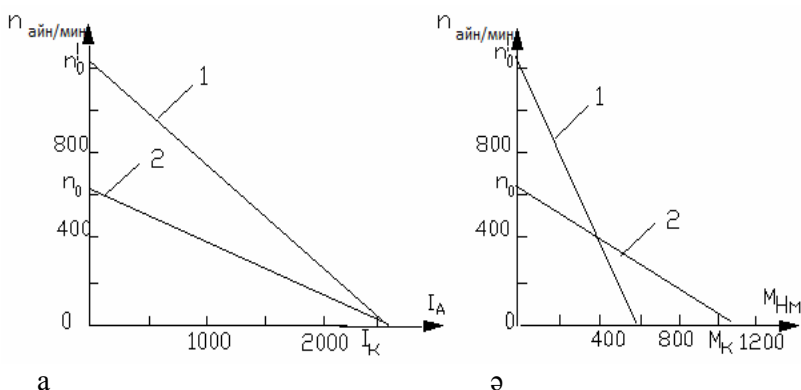
$$n_0^{II} = 0,5 U_{H} / K\Phi_{H} = 305 \text{ айн} / \text{мин.},$$

$$I_T = U_{H} / R_{я} = 220 / 0,0835 = 2634 \text{ А}$$

$$M_k = K\Phi_{H} I_T = 0,36 \cdot 2634 = 948 \text{ кг} \cdot \text{м} (9302 \text{ Н} \cdot \text{м})$$

$$n_j^I = U_{H} / 0,5 \cdot K\Phi_{H} = 220 / 0,18 = 1222 \text{ айн} / \text{мин.}$$

1.13 және 1.14-суреттеріндегі сипаттар есептеу мәліметтері бойынша құрылған.



1.14-сурет. Қозғалтқыш сипаттары: а – электромеханикалық ($1-\Phi = 0,5\Phi_n$ кезінде, 2-табиғи); э – механикалық сипаттар ($1-\Phi = 0,5\Phi_n$ кезінде, 2 – табиғи)

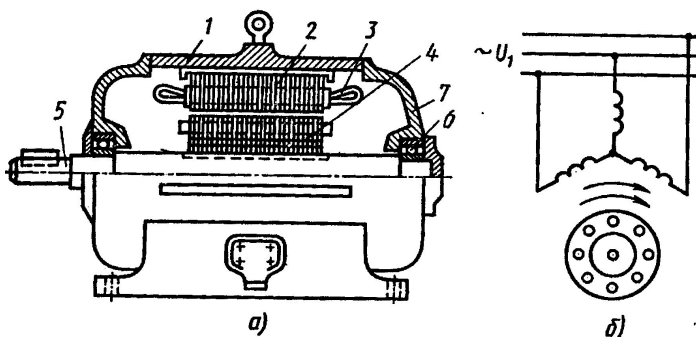
1.2. Асинхронды қозғалтқыштар

1.2.1. Құрылымы және жұмыс істеу қағидасы

Асинхронды қозғалтқыштар дәл тұрақты ток қозғалтқыштар сияқты статор деп аталатын қозғалмайтын бөліктен және айналып тұратын ротор деп аталатын бөліктен тұрады.

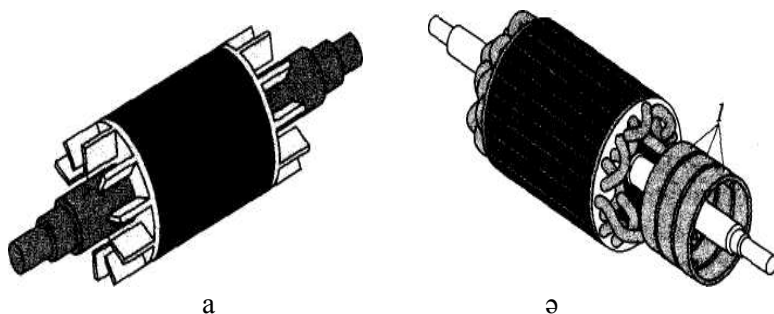
Асинхронды қозғалтқыштар ротор құрылымымен айрықшаланатын екі типті болып шығарылады. 1.15-суретте қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштардың көлденең қимасының құрылымдық сызбасы келтірілген. Оның статоры станина 1, өзекше 2-ден және статор орамы 3-тен тұрады. Ротор өзекшесі 4 білікке 5-ке престелген.

Статор өзекшесі ішкі беткейінде ойығы бар толық цилиндр болып келеді. Ойықтар 120° бір-бірінен алшақтатылған (1.15, а-суреті) 2 үш фазалы орамдар орнатылған.



1.15 -сурет. Қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыш:
а – көлденең қимасы; *б* – қосу сызбасы

Ротор орамы екі типті болады: (1.16, а-сурет) тор тәрізді қысқа тұйықталған және оқшауланған мыс жетектерінен тұратын фазалы. Алюминий ерітіндісінен жасалған қысқа тұйықталған ротор орамы пазалармен бірге оның сырт жағындағы желдеткіш күрекшелері мен қысқа тұйықталатын шығыршықтарға кұйылады.



1.16 -сурет. Ротор құрылымы: *а* – қысқа тұйықталған; *ә* – фазалы

Ротордың фазалы орамы үш фазаға ие. Бұл орамдардың бір шығыстары жұлдызша болып жалғанса, екіншісі бір-бірінен оқшауланған түйіспе сақинаға қосылған.

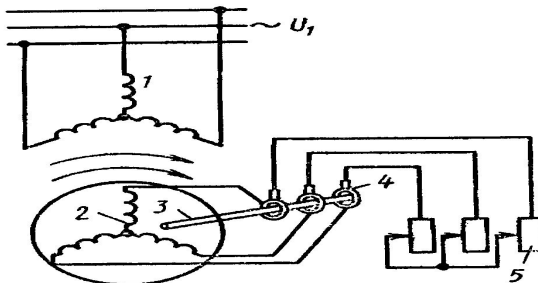
Қозғалмайтын щеткалармен бірге бұл сақиналар фазалық орамдарды сыртқы тізбекпен: қосу реостаттары, жартылай

жетекті түзеткіштермен немесе басқа да қондырғылармен (1.17-сурет) жалғануға мүмкіндік туғызатын сырғыма түйіспелерді туғызады.

Асинхроды қозғалтқыштардың қимыл принципі. Статор орамында үш-фазалы ток ротор орамының тұйық жетектерімен қиылысатын және оларда ЭҚК келтіретін айнымалы магнит ағымын туғызады. Осы ЭҚК әсерімен ротор орамынан ток өтеді.

Ротор тогы статордың айнымалы алаңмен қатынасы жетектерге ықпал ететін электр магниттік күш F туғызады. Бұл күштер роторды статордың айнымалы магнит ағымының бағытына қарай бұруға тырысады.

Кейбір жетектерге қойылған F күштер жиынтығы, статордың айналым өрісінің жиілігінен аз айналым жиілікпен роторды қимылдататын электр магниттік момент M роторда туғызады.



1.17-сурет. Фазалы роторы бар асинхронды қозғалтқыштың сызбасы:
 1 – статор орамы; 2 – ротор орамы; 3 – білік; 4 – түйіспе шығыршықтар; 5 – қосу реостаттары

Асинхронды қозғалтқыштар өзінің қарапайымдылығы, сенімділігі және құнының төмендігінің арқасында электржетектерінде кеңінен қолданылады. Барлық жерде қолдануға қиындық туғызатын олардың реттелу қабілеттерінің төмендігі асинхроды қозғалтқыштардың негізгі кемшіліктерінің бірі болып саналады. Бұл қозғалтқышқа деген көзқарас сенімді жиіліктің жартылай өткізгіш түрлендіргішін құрғаннан кейін өзгерді.

1.2.2 Асинхронды қозғалтқыштардың электромеханикалық қасиеттері

Асинхронды қозғалтқыштың электромеханикалық қасиеттерін көбінесе механикалық сипаттың теңдеуімен анықтайды $\omega = f(M)$.

Оны шығару үшін 1.18-суретте келтірілген жеңілдетілген ауыстыру сызбасын қолданады. [5,10]

Ауысу сызбасында келесі белгіленулер қабылданған:

R_{μ} , X_{μ} – магниттелу контурының активті және индуктивті кедергісі, Ом;

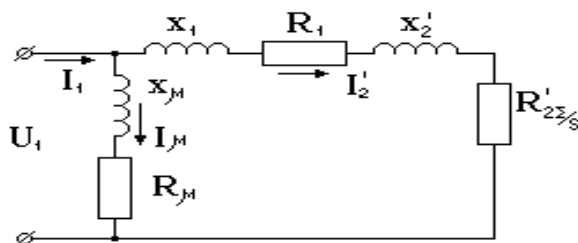
X_1, X_2' – статормен ротордың орамдарының сейілу алаңдырымен шартталған индуктивті фазалы кедергісі, соңғысы статор орамына келтірілген, Ом;

$R_1, R_{2\Sigma}'$ – статордың орамына келтірілген статор орамындағы активті кедергі және ротордың соммалық кедергілері, Ом;

U_1 – желідегі кернеудің фазалық іске қосылған мәні, В;

I_{μ} , I_1 , I_2' – магниттелудің, статордың және келтірілген ротордың фазалық тогы, А; S – қозғалтқыштың сырғуы

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (1.16)$$



1.18-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың
жеңілдетілген ауысу сызбасы

Келтірілген ауысу сызбасына сай екінші реттік токтың формуласын аламыз:

$$I_2' = \frac{U_\phi}{Z} = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_1 + R_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (1.17)$$

ω – статордың өрісінің бұрыштық жылдамдығы, рад/с;

$$\omega_0 = 2 \pi f/p$$

мұнда, f – көрек желісінің жиілігі, Гц; p – қозғалтқыштың жұп полюстарының саны.

Желіден тұтынатын қуат:

$$P_1 = \Delta P_0 + \Delta P M_1 + P_{ЭМ} = 3(I_1^2 R_\mu + I_2'^2 R_1 + I_2'^2 R_{2\Sigma} / S), \quad (1.18)$$

Қуаттар балансын және ауысу сызбасын ескере отырып, қозғалтқыштың электромагниттік қуатын анықтауға болады:

$$P_{ЭМ} = \frac{3 I_2'^2 R_{2\Sigma}}{S} = \frac{3 U_1^2 R_{2\Sigma}' / S}{(R_1 + R_{2\Sigma}' / S)^2 + X_K^2}, \quad (1.19)$$

мұнда $X_K = X_1 + X_2'$ – қысқа тұйықталудың индуктивтік фазалық кедергісі,

$P_{ЭМ} = M_{ЭМ} \cdot \omega_0$ ескере отырып табамыз:

$$M_{ЭМ} = \frac{P_{ЭМ}}{\omega} = \frac{3 U_1^2 \cdot R_{2\Sigma}'}{\omega_0 S \left[\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}'}{S} \right)^2 + X_K^2 \right]} \quad (1.20)$$

(1.20) механикалық сипатының теңдеуінен $M=f(s)$ максимумға ие екені анық. Дамып келе жатқан қозғалтқыштың M_K моментінің максималды мәнін ауыспалы деп атайды да, оған сай S_K сырғуын – критикалық дейді. (1.20) теңдеуіне $dM/dS=0$ қабылдап, табамыз:

$$S_K = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}}; \quad (1.21)$$

(1.20) – ға (1.21) қойып, табамыз:

$$M_K = \frac{3U_{\Phi}^2}{2\omega_0 (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2})}, \quad (1.22)$$

мұнда “+” белгісі АҚ ($\omega < \omega_0$) қозғалу режиміне сай, “-” белгісі – генератор режиміне ($\omega > \omega_0$).

(1.20) мен (1.22)-ден (1.21) ескере отырып механикалық сипатты мына түрде алуға болады:

$$M = \frac{2M_K(1 + aS_K)}{S/S_K + S_K/S + 2aS_K}, \quad (1.23)$$

мұнда $a = R_1/R'_{2\Sigma}$.

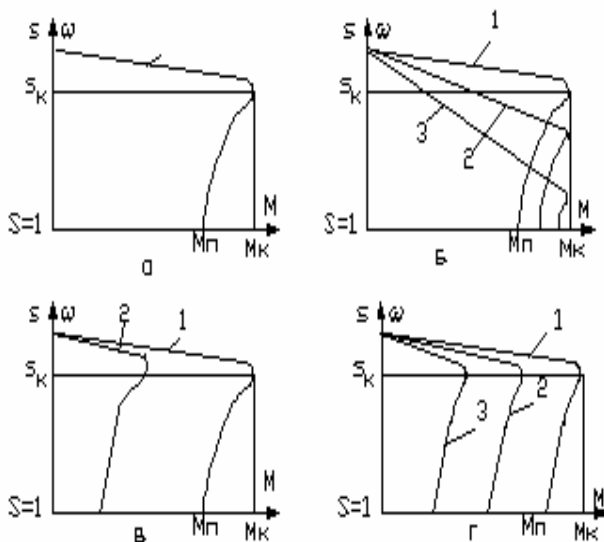
Егер (1.21) теңдеуінде статордың активті кедергісіне мән берсек, есепке ыңғайлы формула шығады.

$$M = \frac{2M_K}{S/S_K + S_K/S} \quad (1.24)$$

Статордағы кернеу мен жиіліктің номиналды мәндері кезіндегі алынған механикалық сипат және асинхронды қозғалтқыштар (АҚ) орамдарында қосымша кедергілердің (активтік және реактивтік) жоқ болуы табиғи деп аталады. U, f және басқа да шама-шарттардың номиналдық мәндерінен ауытқу кезіндегі барлық қалған сипаттар жасанды деп аталады. Бұл сипаттардың мысал ретіндегі түрі 1.19-суретте көрсетілген.

Аталып кеткен сипаттар қасиеттері асинхронды қозғалтқыштың айналым жиілігін реттеу және қатаңырақ механикалық сипаттар құру үшін қолданылады.

Асинхронды қозғалтқыштарды, дәл тұрақты ток қозғалтқыштарындай тежеуінің аттас үш тәсілі бар: энергияны торапқа беріп тежеу, динамикалық және қарсы қосу.

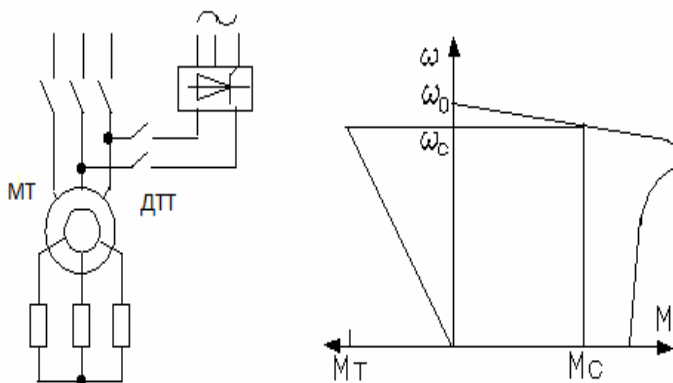


1.19-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттары:
 а) табиғи; б) 1 – табиғи, 2,3 – ротор тізбегіне қосымша резисторлар енгізген кезде; в) 1 – табиғи, 2 – статор тізбегіне қосымша резистор енгізген кезде; г) 1, 2,3 – статорға келтірілген төмендетілген кернеу кезінде

Рекуперативті тежеу. Асинхронды қозғалтқышты рекуперативті тежеу ауыр жүктемені түсіру кезінде жүзеге асырылады.

Жүктеме туғызатын момент әсерімен жүкті түсіру жылдамдығы $M_{ж}$ -ғы M_T қозғалтқыштың тежеу моментінен көп болғанына дейін ұлғая береді. $M_{ж} = M_T$ кезде жүктеменің түсірілуі тұрақталған жылдамдықпен өтеді. Айнымалы магнит өрісін құру үшін, желіден энергияны тұтыну мен бірге желіге энергия бере отырып, генераторлы режимде жұмыс жасайды. Терең бұрғылау қондырғыларында статоры желіге тікелей қосылатын асинхронды қозғалтқыштар қолданылмайды.

Динамикалық тежеу. Асинхронды машина қозғалтқыш режимнен динамикалық тежеу режиміне (1.20-сурет) түйіспе МТ-ден статор орамын сөндіру және оның екі фазасын ДТТ түйіспелерімен тұрақты ток көзіне жалғау.



1.20-сурет. Қозғалтқышты тежеудің динамикалық режимінде ауыстыру және сол режимдегі қозғалтқыш сипатының сызбасы

Статор орамында өтетін тұрақты ток кеңістікте қозғалмайтын магнит ағымын құрады. Инерциямен айналатын ротордың орамына, ротор тізбегіне ток пайда болатын, ЭҚК келтіріледі.

Статордың қозғалмайтын магнит ағымымен ротор тогының арақатынасы тежегіш момент туғызады, оның мәні былай анықталады [2].

$$M' = \frac{3I_{\text{ЭКВ}}^2 X_{\mu} R'_{2\Sigma} S'}{\omega_0 [R'_{2\Sigma} + (X_{\mu} + X'_2)^2 S'^2]}, \quad (1.25)$$

мұнда $I_{\text{ЭКВ}}$ – статор орамының эквивалентті тогы, ол орамды қосудың берілген сызбасы үшін:

$$I_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sqrt{2}}{3} I_d = 0,427 I_d,$$

I_d – статор орамының тұтынатын тұрақты тогы;

$S^1 = \omega / \omega_0$ – динамикалық тежеу кезіндегі сырғудың мәні.

(1.25) теңдеуден статор орамынан өтетін $I_{\text{ЭКВ}}$ тогына, динамикалық тежеу кезіндегі моментке байланысты және ротордың айналу жылдамдығына $S' = \omega^*$ қатысты функция болып келеді.

(1.25) экстремумды зерттей отырып, $M_{\text{К ДТ}}$ орнын табамыз,

сонда:

$$S_k' = \frac{R_{2\Sigma}^1}{X_\mu + X_2'} \quad (1.26)$$

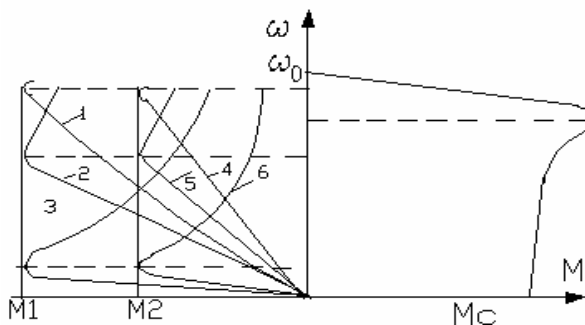
ал критикалық момент мәні

$$M_{кДТ} = \frac{3I_{\text{ЭКВ}}^2 X_\mu^2}{2\omega_0 (X_\mu + X_2')} \quad (1.27)$$

(1.24) ескере отырып, (1.25) және (1.27) теңдеулерден динамикалық тежеу режиміндегі механикалық сипаттардың теңдеуін алуға болады:

$$M = \frac{2M_{кДТ}}{S/S'_k + S_k/S'} \quad (1.28)$$

1.21-суретте ротордағы түрлі кедергілері бар үш қосымша резистордағы және статор тізбегінің тұрақты тогының екі және үш динамикалық тежеу кезіндегі механикалық сипаты салынған.

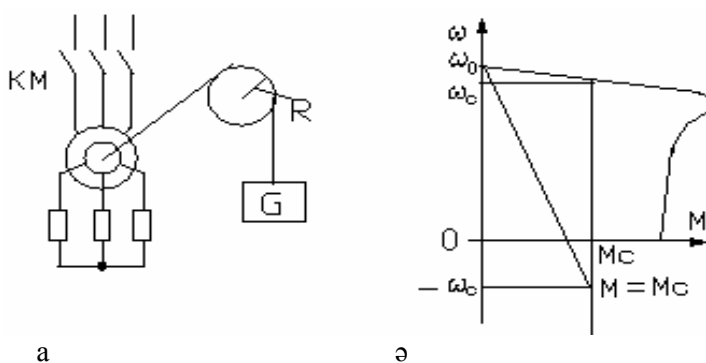


1.21-сурет. Динамикалық тежеу режиміндегі қозғалтқыштың сипаттары: 1, 2, 3 – роторлы тізбектің түрлі кедергілеріндегі және статор орамдарындағы токтың бірдей мәніндегі сипаттар; 4, 5, 6 – сипаттар кедергілер резисторларының дәл сол шамаларында, бірақ статор тізбегінде ток азырақ кезінде алынған сипаттар

Бұл сипаттардан, ротор тізбегінде қосымша резистордың кедергісінің өзгерген кезінде тежеу моментінің орта мәні өзгередіндігі көрініп тұр. Демек, тұрақты токтың берілген шамасындағы максимальды тежеу моменті орын алатын кедергінің тиімді мәні және тежеудің минимальды уақыты бар. Статор орамдарындағы тұрақты токтың мәні жоғары болған сайын, орташа тежеу моменті жоғары және қозғалтқыштың тежеуі тиімдірек.

Қарсы қосып тежеу. Егер қозғалтқыш айнарудың бір бағытына ғана қосылып, кез келген күштің (инерция немесе түсіріліп жатқан жектеме) әсерімен қарсы бағытта айналатын режим – қарсы қосып тежеу деп аталады. Тежеу кезінде токты шектеу үшін, ротор тізбегіне қосымша резистор қосады. Тежеу процесі 1.22-суретте көрсетілген. G жүктемесі түсірілу кезінде $M_c = GR$ моментін туғызады. Жүктемені көтеруге қосылған қозғалтқышта $\omega_c - (-\omega_c)$ интервалында $M < M_c$ және жүктеме білікті қарама қарсы бағытқа айналдыра отырып, төмен түседі.

Орнатылынған қозғалыс $M = M_c$ кезінде пайда болады. Жүктемені түсіру жылдамдығының өзгеруі (ұлғайуы немес төмендеу) ротор тізбегіндегі резисторлардың кедергісінің ұлғайуы немесе төмендеуі мүмкін. Бұл әдістің кемшіліктері – ротор тізбегінің резисторларында энергияны көп жоғалтуы және қозғалудың жылдамдығын байсалды реттеудің төменділігі.



1.22-сурет. Қарсы қосып тежеу: а – сызба; ә – сипаттар:
1 – табиғи; 2 – ротор тізбегінде қосымша резисторлармен

Мысал 1.2. 4А2 асинхронды қозғалтқышының: 1) қозғалғыш режимінде табиғи механикалық сипаттарды; 2) ($U=0,8 U_n$) статорда кернеудің төмен кезін; ($f=(45 \text{ Гц})$ кернеуінің жиілігінің төмендеген кезін есептеу және құру.

Қозғалтқыштың паспорттық мәндері: $U_n = 380 \text{ В}$; $P_n = 13 \text{ кВт}$; $S_n = 7\% (0,07)$; $K_M = 3$; $E_{2n} = 205 \text{ В}$; $I_{2n} = 42 \text{ А}$; $\eta \% = 83,5$, $\cos \varphi = 0,81$; $n_0 = 1000 \text{ айн/мин}$.

Қозғалтқыштың номиналды моменті

$$M_{n=} 975 P_n/n_n = 975 \cdot 13/930 = 13,63 \text{ кГ} \cdot \text{м} (133,7 \text{ Н} \cdot \text{м}).$$

Қозғалтқыштардың паспорттық мәндерінде айналым жиілігінің номиналды мәні жоқ. Оның шамасын теңдеу арқылы анықтауға болады

$$n_n = n_0(1-S_n) = 1000(1-0,07) = 930 \text{ айн/мин}.$$

Максимальды (критикалық) момент

$$M_k = K_M \cdot M_n = 3 \cdot 13,63 = 40,88 \text{ кГм.} (401 \text{ Нм}).$$

Критикалық сырғу

$$S_k = S_n(K_M + \sqrt{K^2 M - 1}) = 0,07(3 + \sqrt{3^2 - 1}) = 0,4$$

S_k және M_e мәндерін (1) теңдеуіне қойсақ, табамыз:

$$M = 2M_k / (S / S_k + S_k / S) = 2 \cdot 40,88 / (S/0,4 + 0,4/S).$$

0 ден 1–ге дейінгі шектеулерге S мәнін беріп және оларды табиғи сипаттың теңдеулеріне қойып, сырғудың S әр мәніне жүктеме моментінің M шамасын табамыз. Есеп 1.1-кестеде келтірілген.

Асинхронды қозғалтқышпен дамидың момент, тораптағы кернеу шамасынан квадратты байланыста болады.

$$M_n = (U/U_n)^2 M_e.$$

мұнда, M_n , M_e – сырғудың бір шамасындағы жасанды (кернеу төмендегенде) және табиғи сипаттар.

Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттарын құру үшін мәндерді (1.28) теңдеуге сай моменттерді қайта есептеу жолымен табуға болады. Мысалы, қозғалтқыштың статорындағы кернеуінің 20% төмендеген кезде критикалық моменттің шамасы 36% - ға төмендейді.

$$M_{кр.пони} = (0,8U_n/U_n)^2 \cdot M_{кр} = 0,64 M_{кр}.$$

Қауіпті сырғудың шамасы желідегі кернеу жиілігімен кері пропорционалды байланыста

$$S_{кр}' = s_{кр} f / f', \quad (1.29)$$

мұнда, f – желідегі кернеу жиілігі (50 Гц); f' – желідегі стандартты кернеу жиілігінен (50 Гц), айырықшаланатын кернеу жиілігі.

Қозғалтқыштың критикалық моменті дәл сондай байланыста, бірақ квадратты

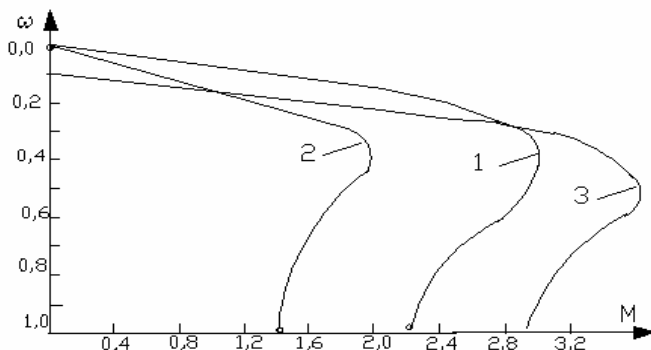
$$M'_{кр} = M_{кр} (f/f')^2 \quad (1.30)$$

Яғни, кернеумен қоректенетін жиіліктің өзгеруімен момент $M_{кр}$ дереу төмендейді (жиіліктің ұлғайуымен) немесе дереу өседі (төмендеуімен).

Асинхронды қозғалтқыштың аса жүктелу қабілеті тұрақты болып қалу үшін бір мезетте жиіліктің ұлғайуымен (төмендеуімен) бірге тораптағы кернеудің де ұлғайуы (төмендеуі) керек. Есеп 1.1-кестеге келтірілген. Қозғалтқыштың есеп бойынша құрылған механикалық сипаты 1.23 - суретте келтірілген.

1.1-кесте

S	0,07	0,12	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
M, кГ·м	13,63	22,5	32,7	39,3	40,88	39,88	37,8	32	32
M/M _н	1,0	1,65	2,4	2,88	3,0	2,92	2,77	2,35	2,35
M _{0,8U_н}	8,72	14,4	20,9	25,15	26,16	25,5	24,19	20,5	18
M _{0,8U_н} / M _н	0,64	1,06	1,53	1,85	1,92	1,87	1,83	1,5	1,32



1.23-сурет. Қозғалтқыштың сипаттары:
 1 – табиғи; 2 – $U = 0.8U_n$ кезінде; 3 – $f = 45$ Гц кезінде

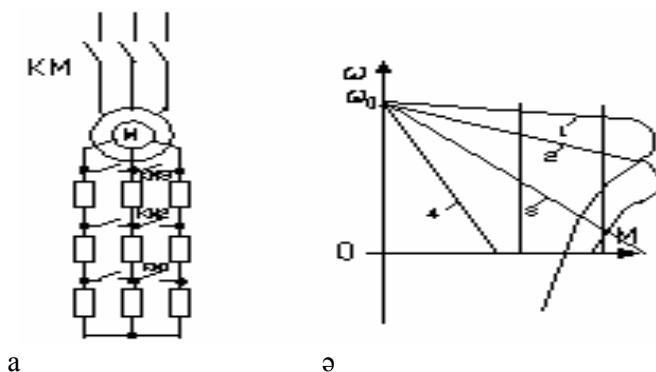
1.2.3. Асинхронды қозғалтқыштардың айналым жиілігін реттеу әдістері

1.18-суретте және (1.17) – (1.24) теңдеулерде көрсетілген байланыстарға түрлі шама-шарттардың әсері оларды асинхронды қозғалтқыштардың айналу жиілігін реттеу үшін қолдануға мүмкіндік береді. Асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігін қандай шама-шарттың өзгеруімен реттелінетіне байланысты реттеу әдістері мынадай болып бөлінеді:

- ротор тізбегіндегі кедергі шамасының өзгеруімен;
- статор орамдарына келтірілген кернеудің өзгеруімен;
- статордағы кернеу жиілігінің өзгеруімен;
- ротор тізбегіне қосымша қорек көзін енгізумен (каскадты сызбалар);
- серпінді реттегіштердің көмегімен ротор тізбегін реттеу.

Ротор тізбегінің кедергісінің өзгеруімен айналым жиілігін реттеу. Бұл әдіс «реостатты» деп аталады. Айналым жиілігін және қосу тогын реттеу магниттік қосқыш МТ (магниттік түйіспелер) контактілерінің көмегімен ротор тізбектерінен резисторлы сатыларды енгізу және шығарумен жүзеге асыруға болады. Бұл әдістің мүмкіндігін (1.24-сурет) электр сызбасы және оның сипаттары мысалы ретінде қарастырамыз. Суретте

көрсетілгендей резисторлардың кедергілерінің ұлғайуымен механикалық сипаттың қатандығы төмендейді, айналым жиілігінің реттеу диапазоны 3:1 аспайды, бос жүріс кезінде айналым жиілігі практикалық тұрғыда реттелмейді, негізгі айналым жиілігінен тек қана «Төмен» реттелуі мүмкін, реттеу ырғақтығы реостат сатысының санына байланысты.



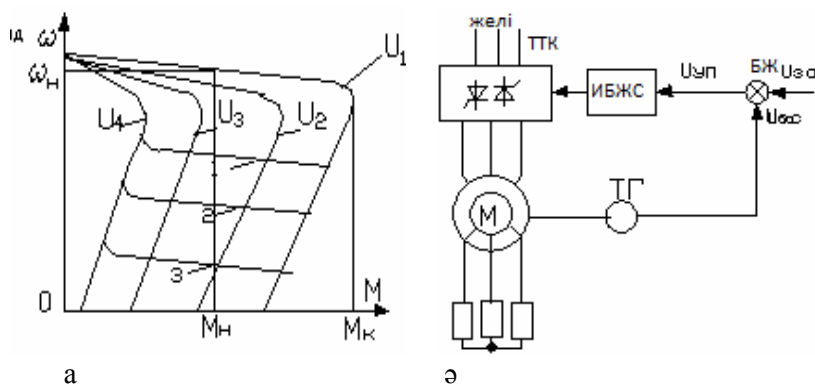
1.24-сурет. а – электр сызбасы; б – реостатты сипаттар

Ротор тізбегіндегі кедергі шамасын ырғақты реттеуге мүмкіндік туғызатын жартылай өткізгіштік күштік техника негізінде жүзеге асырылатын көптеген сызбалық шешімдер қазіргі уақытта бар. Реттеудің реостатты әдісінің кемшілігі: қосу реостаттарында энергияның көп жоғалуы; жұмсақ механикалық сипаттамалары; қозғалтқыш жүктемесімен ғана жылдамдықты реттеу мүмкіндігі. Бұл әдістің негізгі жетістігі ол сызбаның және қызмет көрсетудің қарапайымдылығы. Қазіргі кезде реостатты әдісті қолданудың негізгі саласы болып кранды механизмдердің электржетектері саналады. Реостатты әдісті реттелмейтін жетектерде – қосу тогын шектейтін қосу реостаттарында және механизмдердің екпін процесінің ырғақтығын қамтуда қолданған дұрыс.

Статорда кернеу шамасын өзгертумен қозғалтқыштардың айналым жиілігін реттеу. (1.20) [10] теңдеуінен критикалық момент M_k шамасы статордағы кернеудің шамасынан квадратты байланыста екені белгілі. Критикалық сырғудың шамасы тек

қана қозғалтқыштың орамдарының активті-индуктивтік кедергілеріне байланысты (1.21). Сондықтан да статордағы кернеудің түрлі шамаларында механикалық сипат 1.25, а-суретінде келтірілген түрге ие, мұнда $U_4 < U_3 < U_2 < U_1$. $U_1 = U_H$. Көрініп тұрғандай, кернеудің төмендеген кезінде сипаттамалар табиғидан айрықшаланады.

Айналымның синхронды жиілігі ω_0 статордағы кернеу шамасына байланысты емес. Сондықтан да номиналдан айрықшаланатын торап кернеуленген кезінде алынатын сипаттама, бір нүктеде $\omega = \omega_0$ ординат кіндігімен (осімен) қиылысады. Момент максимумы табиғида және барлық жасанды сипаттамаларда бір мән s_K кезінде болады.



1.25 –сурет. а – сипаттар; б – электрлік сызбасы

Номиналдан айрықша желі кернеуі кезінде алынған жасанды сипаттамаларды құру үшін, ең алдымен табиғи сипаттама құру керек, кейін табиғи сипаттамалардың момент мәндерін жасандыға арнап қайта есептеу керек: $M' = M(U/U_H)^2$.

Қозғалтқыштың максимальды және қосу моменттерінің еселенулері желіге кернеудің квадратына тіке пропорционалды түрде өзгеріледі.

Қозғалтқыштың моментінің желі кернеуінің шамасынан квадратты тәуелділігі төмен айналым жиілігінде жұмыс жасау кезінде салыстырмалы қатаң сипаттама туғызуға мүмкіндік

береді. Егер қозғалтқыштың табиғи сипаттамасы M_n жұмыс жасаған кезінде кернеуді төмендетсе, мысалы, U_3 шамасына дейін, онда қозғалтқыштың критикалық моменті жүктеме моментінен төмен болып қалады, және оның айналым жиілігі төмендейді. Төмендетілген айналым жиілігінің кез келген мәнінен кернеуді ұлғайту кезінде қозғалтқыш үлкен мәнді M_k сипатқа ауысатын болады. Егер $M=M_n$ кезінде статордағы кернеуді ұлғайтуды тоқтатса, қозғалтқыш төмендетілген айналым жиілігімен тұрақты жұмыс жасайтын болады. Сонымен кең диапазонда салыстырмалы тұрақты айналым жиілігіне ие болуға болады.

Қатаң сипаттаманы құруды қамтитын сызбалардың жұмыс жасау принципі 1.25 ә-суретінде түсіндірілген. Сызба айнымалы кернеудің түрлендіргіші (реттегіш) және айналым жиілігі бойынша кері байланыс тізбегінен тұрады. Айналым жиілігі бергішінің кіріс сигналы (тахогенератор ТГ), қозғалтқыштың айналым жиілігіне пропорционалды болып, соммалау қондырғының СК кірісіне беріледі. Бұл қондырғының екінші кірісіне тапсырма сигналы $U_{зад}$ беріледі. Бұл сигналдардың айырымы $U_{зад}-U_{oc}=U_{уп}$ басқару кернеуі болып келеді және оның шамасына тиристорлардың ашылу бұрышы α мен статордағы кернеу шамасы тәуелді. Кері байланысты іске қосатын, қозғалтқыштың айнымалы жиілігінің шамасы тапсырманың кернеуімен анықталады $U_{зад}$. Мысалы, статордағы кернеу U_2 тең кезде қозғалтқыш номиналды жүктемемен жұмыс жасайды. Статордағы кернеу шамасы U_3 дейін төмендеген кезде ($U_{зад}$ шамасының өзгеруімен), қозғалтқыш критикалық моменті бар $M_k < M_n$ сипаттамаға ауысады. Қозғалтқыштың айналым жиілігі төмендей бастайды. Сонымен қатар, кері байланыс сигналы да U_{oc} төмендейді. $U_{зад} - U_{oc}=U_{уп}$ айырылымының пайда болғанынан бастап, ИФБЖ кірісіндегі кернеу өсе бастайды да, ал басқаратын импульстар статордағы кернеу ұлғаятын жаққа қарай ығысады. Кернеу ұлғайған сайын қозғалтқыш бір сипаттан екіншіге $M_d=M_n$ болғанға дейін ауыса береді. Егер жүктеме тұрақты болса, қозғалтқыш төмендетілген айналым жиілігінде тұрақты жұмыс істейді. Айналым жиілігін реттеудің кемшіліктері:

– жүктеме жоқ кездегі жұмысты реттеуге мүмкіндіктің жоқтығы;

– табиғи сипатта қосу моментінің шамасына реттеу диапазонының тәуелділігі.

Айналым жиілігінің қарастырылған әдісі бар электржетектің ең қолайлы қолдану саласы болып кран механизмі саналады.

Зәкірдегі кернеу жиілігінің өзгеруімен АҚ айналым жиілігін реттеу. Қоректенетін кернеудің f_1 жиілігінің өзгеруімен АҚ роторының айналу жылдамдығын Ω реттеу мүмкіндігі синхронды жылдамдықтың формуласынан шығады

$$\Omega_1 = \frac{2\pi}{p} f_1,$$

мұнда, p – АҚ полюс жұптарының саны.

Айналымның бұрыштық жылдамдығын жиілік реттеуді жүзеге асыру үшін, жартылай өткізгіш (тиристорлы немесе транзисторлы) түрлендіргіштер, тәуелсіз немесе кез келген бір заңмен өзгертін шығыс кернеуі мен жиілікті қолданады.

Жиілікті түрлендіргіштер (ЖТ) екі типті болады:

– қорек тораптарының және жүктеменің тікелей байланысымен (ЖТТ);

– тұрақты ток буынымен.

ЖТТ тек қана қорек желілерінің кернеу жиілігі жүктеме қорегінің кернеу жиілігінен көп жоғары болғанда мысалы, бұрыштық жылдамдығын (шар тәрізді диірмендердің жетегі, кранды электржетектері) ырғақтығы реттеуді қажет ететін редукторы жоқ төмен жылдамдыққа ие жетектерде, сонымен қатар екі еселеніп қоректенетін машиналарда қолданылады.

ЖТТ f_c қоректенетін желінің жиілігінен тек төмен жаққа қарай шығыс жиілікті реттеуге мүмкіндік береді, $f_{\text{вых. max}} = (0.3 \dots 0.5) f_c$.

Тұрақты ток буыны бар ЖТ кернеудің шығыс жиілігін қоректенетін желінің жиілігінен төмен және жоғары өзгертуіне мүмкіндік береді және түрлі өнеркәсіптік механизмдердің электржетектерінде қолданылынады.

Жартылай өткізгіш ЖТ жоғары ПӘК (0.92...0.98), сенімділікке, тез әрекеттенуге, сонымен қатар аз және үлкен салмаққа ие.

Жиілік басқарудың жүйелеріне қойылатын талаптарға байланысты, жиілік – реттегіш жетектерді ашық және тұйық жүйелермен басқару қолданылады.

Жиілік функциясындағы АҚ статорындағы кернеуді өзгертуді талап ететін заңды қамтамасыз ететін функционалды түрлендіргіштің көмегімен жүзеге асырылатын кернеу мен жиіліктің реттегіштерінің арасындағы қатаң байланысқа жиілік басқарудың ашық жүйелері әдетте ие болады. Жүктеме сипатына ($M_C = \text{const}$ кезінде $(0.2 \dots 0.3) \Omega_H$ -нен номиналды жылдамдыққа Ω_H дейін) [15] байланысты реттеудің шектелген диапазонындағы қозғалтқыштың аса жүктелу, қабілеттігін тұрақтандыру талаптарын ашық жүйелер қамтамасыз ететін мүмкіндік туғызады.

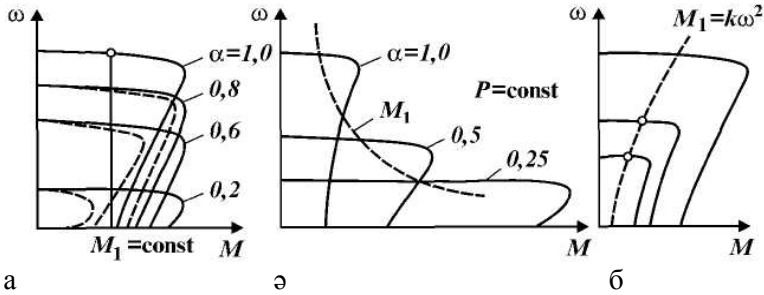
Жылдамдықты реттеудің тұйық жүйелерінде АҚ аса жүктелу қабілеттігі жиілік функциясының қорек кернеуінің өзгеру заңына сай таңдалатын тұрақты мәнге тоқталынады, ал механикалық сипаттың қатаңдылығы – ЭҚК (электр қозғалтқыш күш), жылдамдық және басқалар бойынша кері байланысқа тоқталады.

Ашық жүйелерде келесі реттеу заңдылықтары жүзеге асырылады: моменті тұрақты кедергілері $M_C = \text{const}$ бар механизмдер үшін, кернеудің жиіліктен өзгеру заңдылығы мына түрге ие $U/f_1 = \text{const}$, немесе $E/f_1 = \text{const}$, IR - компенсациясымен; желдеткіш жүктемелер үшін, жылдамдықты реттеу диапазоны $D=2:1$ кезінде кернеудің жиіліктен өзгеру заңдылығы мына түрге ие $U/f_1^2 = \text{const}$; тұрақты қуаты бар $P_C = \text{const}$ механизмдер үшін, кернеудің өзгеру заңдылығы мынадай болады $U/\sqrt{f_1} = \text{const}$.

Кернеу және жиілікпен реттелетін түрлі заңдылықтардағы асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттары 1.26-суретте келтірілген.

Жылдамдықтың жиілік реттелуі үнемді болып келеді, өйткені басқару аз сырғу кезінде өтеді.

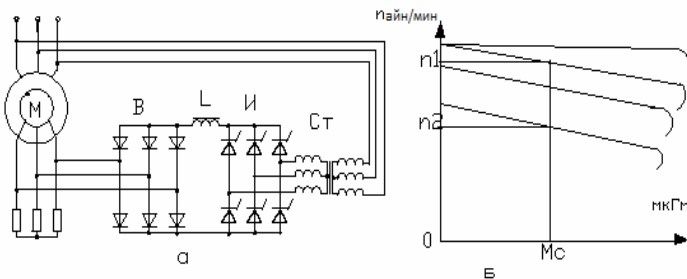
Зәкір тізбегіне қосымша ЭҚК енгізумен асинхронды қозғалтқыштардың айналым жиілігін реттеу. Көрсетілінген әдіспен қозғалтқыштың айналым жиілігін реттеу 1.27-суретте келтірілген сызбамен және сипаттармен түсіндіріледі.



1.26-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттары:
а – тұрақты моментте; ә – тұрақты қуатта;
б – желдеткіш жүктеме кезінде

Ротор тізбегіне қосымша электр қозғалтқыш күшін (ЭҚК) енгізу арқылы айналым жиілігі реттелетін асинхронды жетектің жүйелерін электржетектерінің каскадты жүйелері деп атайды. Алуан түрлі каскадты жүйелер бар. Ротор тізбегінде қарсы – ЭҚК реттелуімен және құрылу қорегінің типіне байланысты каскадты жүйелерді «Электр машиналы», «Желдеткіштік» және басқаға бөледі. 1.27-суретте келтірілген сызбаның нұсқауын асинхронды бұрандалы (вентилдік) каскад деп атайды (АЖК).

АЖК сызбасы (1.27, а-сурет) фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыштан М, үш фазалы көріп тәрізді сызба бойынша орындалған басқарылмайтын түзеткіштен В, тегістеуші дроссель L және тиристорлы көпірден тұратын және трансформатормен келісілген, торап арқылы жүргізілетін инвертордан И тұрады.



1.27-сурет АЖК: *а – сызба; б – сипаттар*

Асинхронды қозғалтқыш жұмыс жасаған кезде сырғуға ($U_p=U_{2н} s$) пропорционалды ауыспалы кернеу шамасы ротор орамына келтіріледі. Қозғалтқыштың айналым жиілігінің өзгеруімен басқарылмайтын түзеткіштің ($U_d= 1,35U_{2н} s$) шығыс кернеуінің шамасы да өзгереді. Түзеткіштің кернеуіне қарсы бағытталған инвертордың шығыс кернеуі, β ($U_{и}=2,34 U_{2ф} \cos \beta$) бұрышының өзгеруімен реттеледі, бұл ротор тогын және қозғалтқышты дамытатын, роторға пропорционалды моментті реттеуге мүмкіндік туғызады.

$$I_d=(U_d-U_{и0} \cos \beta)/R_{э}, I_p 0,78 I_d \quad (1.3.1)$$

мұнда, $U_{и0}$ – инвертордың максимальды шығыс кернеуі; $R_{э}$ – ротор тізбегінің эквивалентті кедергісі; U_d – ротор сырғуына пропорционалды түзеткіштің шығыс кернеуі.

Қозғалтқыш ($\beta =90^0$, $U_{и}=0$) 2 – сипатта n_1 айналым жиілігімен және M_c жүктеме моментімен жұмыс жасайтынын қабылдайық. β бұрышының төмендеуімен инвертордағы кернеу ұлғаяды, ротор тогы төмендейді және қозғалтқыш моменті жүктеме моментінен азаяды. Осының салдарынан қозғалтқыштың айналу жиілігі төмендейді, ал ротор орамындағы кернеу өседі. Бұл процесс қозғалтқыштың моменті жүктеме моментіне теңелгенге дейін жалғасады.

Сонымен, реттеу бұрышы β өзгере отырып, мысалы, 90^0 -нан 0^0 -ге дейін тұрақталып төмендетілген айналым жиілігімен жұмыс істейтін басқа сипатқа қозғалтқыштың жұмысын ауыстыруға болады, не ротор тізбегіне тасымалданатын энергия саны өседі. Айналым жиілігінің реттелуінің реостатты әдісінде, бұл энергияның барлығы көбінесе ротор тізбегіне енгізілген қосымша резисторлардағы, ротор тізбегінің элементтерін қыздыруға кетеді. Асинхронды қозғалтқыштың АЖК жүйесінде жұмыс істегенінде айналу жиілігі төмендеген сайын ротор тізбегіне берілетін энергия өседі. Бұл энергияның шамасы сырғуға s байланысты. Кейде бұл энергияны сырғу энергиясы деп те атайды. Бұл энергия басқарылмайтын түзеткішпен тұрақты ток энергиясына түрленеді, ал желілер жүргізілінетін инвертор оны қайтадан айнмалы ток энергиясына түрлендіріп желіге

жібереді. АЖК жүйесінде желіден тұтынылатын қуат жүктеме моментіне байланысты және де айналу жиілігіне тәуелді емес. Қозғалтқыштың айналу жиілігі төмендеген сайын осы қуат қайта бөлінеді: қозғалтқыш білігінде қуат төмендейді және ротор тізбегіне берілетін қуат ұлғаяды. Инвертордың көмегімен осы энергияның айналуы (ротордың болатымен орамдарындағы жоғалымды ескермесе) қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеудің кең диапазонында жоғары пайдалы істер коэффициентіне (ПӘК) ие болады.

АЖК жүйесінің жетістіктері:

– айналу жиілігін реттеудің кең диапазоны және жоғары ырғақтылық;

– реостатты басқару жүйелерімен салыстырғанда ең жоғары ПӘК;

– реттелетін жетектен реттелмейтінге жеңіл өту (реттеу жүйелері мен түрлендіргіштердің жұмысын бұзған кезде).

Бұл жүйенің айтарлықтай кемшіліктеріде бар:

– максимальды моменті 17% -ға дейін төмендету[13];

– төмен $\cos \varphi$;

– қоректенетін желінің кернеу формасын бұзу.

1.3-есеп. АЖК жүйесі бойынша электржетекке түзеткіш элементтері мен инверторді таңдап есептеу.

АКН–14-41-12с типті асинхронды электрқозғалтқыш мысал ретінде алынған.

Қозғалтқыштың техникалық мәліметтері

Статор жайындағы мәліметтер:

– номиналды қуаты $P_n = 400$ кВт,

– номиналды кернеуі $U_{1n} = 6000$ В,

– статордың номиналды тогы $I_{1n} = 51$ А,

– номиналды жылдамдық $n_n = 485$ айн/мин,

– номиналды ПӘК $\eta_n = 92,2$ %,

– номиналды $\cos \varphi$ 0,81,

– аса жүктелудің коэффициенті, K_M 2.

Ротор жайындағы мәліметтер:

– тоқтап қалған ротордың орамдарындағы кернеу... $E_{2n} = 640$ В,

- ротордың номиналды тогы..... $I_{2H} = 385 \text{ A}$,
- фазалы орамның кедергісі $r_2 = 0,0157 \text{ Ом}$,
- моменті $GD^2 = 0,68 \text{ т.м}^2$.

АЖК жүйесінің принципті сызбасы 1.27-суретте келтірілген.

Түзеткіштің элементтерін таңдау және есептеу үшін, бастапқы мәліметтер болып E_{2H} , I_{2H} , $S_{\text{макс}}$ (АЖК жүйесінде жұмыс істеу барысында қозғалтқыштың максимальды сырғуы) саналады.

Бұрандаларды (диодтар және тиристорлар) түзетудің сызбалары екі шама-шарт бойынша таңдалады: максимальды кері кернеу U_n және жүктеменің максимальды тогы $I_{d\text{макс}}$.

Диодтарға қойылатын максимальды қайталанатын кері кернеу

$$U_n = K_{zu} \cdot \sqrt{2} \cdot E_{2H} ,$$

мұнда, K_{zu} – кернеу бойынша қор коэффициенті (1,3–1,5 шектеуінде қабылданады).

$$U_n = 1,4 \cdot 1,41 \cdot 640 = 1257 \text{ В.}$$

Диодтардың ұзақ рұқсат етілетін тогы

$$I_n = K_{zi} \cdot K_{cx} \cdot K_{ox} \cdot I_{cp},$$

мұнда, K_{zi} – ток бойынша қор коэффициенті (1,3-1,5 шектеуінде қабылданады); $K_{cx}=1,1$ -сызба коэффициенті; K_{ox} – суыту жағдайларын ескеретін коэффициент (қыспақтап суыту кезінде $K_{ox} = 1$, табиғида $K_{ox} = 2,5$)

Қыспақтап суытуды былай деп қабылдаймыз.

$$I_{cp} = I_{\text{макс}} / 3 ;$$

$$I_{2,\text{макс}} = 2 \cdot I_{2H} = 2 \cdot 385 = 770 \text{ А. ;}$$

$$I_{d,\text{макс}} = I_{2,\text{макс}} / K_{I2} = I_{2,\text{макс}} / 0,8 = 770 / 0,8 = 962 \text{ А ;}$$

$$I_{cp} = 962 / 3 = 320 \text{ А.}$$

$$I_n = 1,4 \cdot 1,1 \cdot 320 = 492 \text{ А.}$$

Қондырғыға ВК-500, кл 13, ($U_n=1300\text{В}$, $I_n=500\text{А}$) бұранданы қабылдаймыз.

Инвертор. Инверторда бұрандалардың (вентиль) күштік сызбасы ретінде ең үздік үшфазалы көпірлік сызбаны

қабылдаймыз. Трансформатордың екінші реттік орамдарын жұлдызша түйінде жалғаған кезде оның негізгі шама-шарттары мен қатынастары мынадай:

$$K_u = 0,427; \quad E_{d0} / E_{\alpha\phi} = 2,34; \quad K_s = 1,045; \quad K_{I2} = 0,817; \\ U_H / E_{d0} = 1,045; \quad \lambda = 120^0; \quad K_\phi = 1,73; \quad K_\alpha = 3.$$

Келісілген трансформаторды таңдау және есептеу.

Келісілген трансформатордың екінші реттік орамдарындағы кернеуінің талап етілетін шамасы E_{2H} шамасына және S_{\max} сырғудың максималды шамасына ($S_{\max}=1$ АЖК жүйесінде қозғалтқышты қосу кезінде, $S_{\max} < 1$ аралас қосылу кезінде) байланысты.

Осыны ескере отырып, трансформатордың екінші реттік орамының ЭЖК талап етілетін шамасы формула бойынша анықталады:

$$E_{2\phi} = K_U * K_C * K_\alpha * \frac{E_{d0}}{\cos \beta_{\min}} = 0,427 * 1,1 * 1,1 * \frac{864}{0,96} = 465 \text{ В}$$

мұнда $E_{d0}=1,35$, $E_{2H} \cdot S_{\max}=1,35 \cdot 640=640\text{В}$ ($S=1$ - қабылданған мән); K_C – тораптағы кернеудің төмендеу мүмкіндігін ескеретін коэффициент (кернеудің 5-10% төмендеген кезінде, $K_C=1,05-1,1$); K_α – минималды реттеу бұрышында ($K_\alpha=1-1,5$) тиристорлардың толық ашылмайтындығын ескеретін коэффициент.

Қозғалтқыштың номиналды жүктелу кезіндегі трансформатордың екінші реттік орамдарындағы іске қосылған фазалық ток мәні:

$$I_{2\phi} = I_{2H} = 385 \text{ А.}$$

Трансформатордың есептелген қуаты:

$$S_{TP} = 3 * E_{2\phi} * I_{2H} = 3 * 465 * 385 = 537 \text{ кВа.}$$

Қондырғыға ТЗСПУ-527 трансформаторын қабылдаймыз. $S_{TP}=527$ кВА; $U_1 = 6\text{кВ}$; $\Delta p_k = 2320$ Вт.

Тиристорлар дәл диодтар секілді, суудың берілген шарттарында және қайталынатын кері максималды U_H кернеуінде, ұзақ тұратын токтары I_H бойынша таңдалады.

Көпірдің әр иығындағы, тиристор арқылы өтетін орта ток

$$I_{cp} = I_{max} / 3 = I_{dmax} / 3 = 962/3 = 320A.$$

Үшфазалы көпірлік сызбадағы тиристорлардың ұзақ тұратын тогы

$$I_{II} = K_{zi} \cdot K_{cx} \cdot K_{ox} \cdot I_{cp},$$

мұнда, K_{zi} – ток бойынша қор коэффициенті (1,3–1,4 шектеуде қабылданады); K_{ox} – суу шарттарын ескеретін коэффициент ($K_{ox}=2,5$ –табиғи суу кезінде, $K_{ox}=1$ – қыспақтап суыту кезінде).

Табиғи сууды былай деп қабылдаймыз.

$$I_{II} = 1,4 \cdot 1,1 \cdot 2,5 \cdot 320 = 1232 A.$$

Қайталанатын кері кернеудің амплитудасы

$$U_{II} = K_{zu} \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} E_{2\phi},$$

мұнда, K_{zu} – кернеу бойынша қор коэффициенті ($K_{zu} = 1,3 - 1,4$)

$$U_{II} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 465 = 1587 B.$$

Қондырғыға Т253 -1250, кл. 16 тиристорларын қабылдаймыз.

1.3. Синхронды машиналар

1.3.1. Құрылымы және әрекет принципі

Синхронды машинаның негізгі бөліктері болып зәкір және индуктор саналады. Статорда зәкір, ал одан ауа саңылауымен алыстаған роторда қозу орамы (индуктор) орналасан кездегі орындалу ең жиі болып саналады.

Зәкір айнымалы токтың бір немесе бірнеше орамынан тұрады. Қозғалтқыштағы токтар зәкірден торапқа өткізілінетін, индуктор алаңына қармалатын айнымалы магнит өрісін туғызады және осылайша энергия түрленеді. Бұл әрекет зәкір реакциясы деп аталады. Индуктордан зәкір орамында индукцияланатын айнымалы токпен генераторларда зәкір реакциясы пайда болады.

Индукторлар (1.28-сурет) тұрақты токтын немесе тұрақты магниттердің электр магниттерінен тұрады. Синхронды машиналарының индукторлары екі бір-біріне ұқсас емес құрылымға ие [10, 13]: анық полюстық (1.28, ә-сурет) немесе анық емес полюстық (1.28, а-сурет). Анық полюстық машинаның айрықшылығы полюстары айқын көрінеді және тұрақты ток машиналарының полюстарына ұқсас құрылымға ие. Анық емес полюстық құрылымда, фазалы роторы бар асинхронды машиналар роторларының орамдарына ұқсас, тек өткізгіштермен толықтырылмаған (үлкен тіс деп аталатын) полюстар арасындағы орынмен ғана айрықшаланатын, индуктор өзекшесінің пазында орнығады. Анық емес полюстық құрылымдар полюстарға механикалы жүктемені азайту үшін, тез жүретін машиналарда қолданылынады.

Синхронды машиналардың статорының және роторының магниттік өткізгішін электр техникалық болаттың бөлек парақтарынан жасалады. Олар шихталы құрылымға (бөлек парақтардан жиналған) ие. Электр техникалық болат көбінесе кремнийден тұрады, ол болаттың электрлік кедергісін ұлғайтады және құйынды токты төмендетеді.

Анық полюсты роторы бар синхронды генераторлар гидравликалық түтікшелермен тікелей жалғанады.

Төзімділікті нығайту үшін, анық емес роторлар кішкене диаметрге ие. 3000 айн/мин. жиілігі бар ротор айналған кезінде оның диаметрі 1250мм аспауы керек.

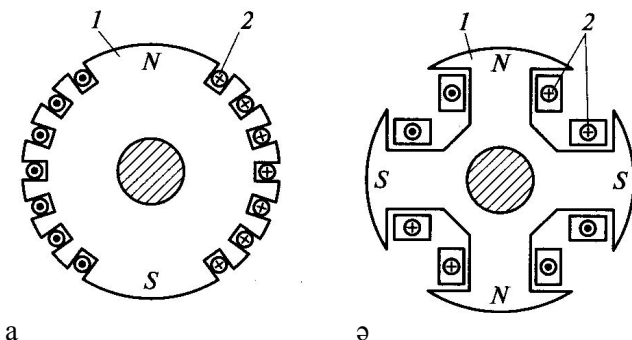
Анық емес полюсты роторлары бар синхронды генераторлар булы және газды түтікшелермен (турбо генераторлармен) іске қосылады. Олардың айналым жиіліктері 3000 айн/мин. дейін жетеді.

Ротор орамдарында магниттік ағым тұрақты ток қорегімен: тұрақты ток генераторымен немесе жартылай өткізгіштік түзеткіштерімен құрылады.

Бөтен қозғалтқышпен роторды айналдырған кезде магниттік өріс статор орамдарына қиылысып, $f=pn/60$ жиілігі бар ЭҚК әрбір орамына келтіріледі.

Айнымалы токты үшфазалы желінің статор орамын жалғаған кезде статор өзекшесінде айнымалы магнит өзекшесі пайда болады. Статордың айнымалы өрісімен ротор өрісінің

қарым-қатынасының нәтижесінде айнымалы момент пайда болады.



1.28-сурет. Көлденең кима а – анық емес полюсты және ә – анық полюсты роторлар: 1 – өзекше; 2 – қозу орамы

Асинхронды генератордың жұмыс жасау принципі.

Жетекті қозғалтқыш n_0 жиілігімен генераторды айналдыра отырып, $M_{нд}$ моментін дамытады. Ротор орамынан тұрақты ток I_B өтеді, оның МҚК $F_B=I_B$, ω ротордың магниттік ағымын Φ_B туғызады. Статорға қатысты ротормен бірге айнала отырып, ағым Φ_B электромагниттік индукция (ЭМИ) заңына сай ЭҚК E_B статорының орамдарының әрбір фазасында индукциялау жұмысын жүргізеді. Тұйық ішкі тізбекте статор орамы бойынша, статордың МҚК $F_{ст}$ туғызатын, жүктеме тоғы I өтеді. МҚК $F_{ст}$ статордың паздарына көлденең және статор орамдарының алдыңғы бөліктерінің айналасында тұйықталатын зәкір реакциясының магниттік ағымын $\Phi_{ря}$ және тарау ағымы Φ_d (асинхронды қозғалтқышқа ұқсас) құрылады. Φ_{pz} және Φ_d ағымдары статор орамдарына $E_{ря}$ және F_d сәйкес ЭҚК келтіреді. ЭҚК векторлы соммасы $E=E_0+E_{ря}+E_B$ және статор орамының активті кедергісіндегі кернеудің төмендеуі $Rя$ генератордың шығыс-тарындағы U кернеуге тең.

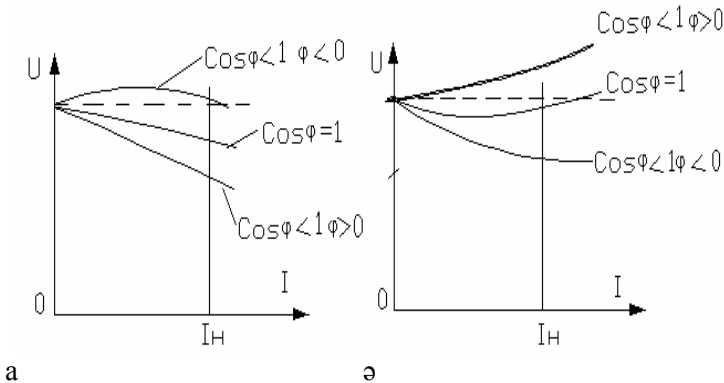
Статордың магниттік ағымдары Φ_{pz} және Φ_d статор тоғымен I қатынас жасай отырып жетекті қозғалтқыштың айналым моментіне $M_{вд}$ қарсы әрекет ететін, тежеу моментін M_T (кері байланыс) туғызатын ротордың магниттік ағымын құрады.

Генератор статорымен туындайтын активті қуат P электр жүктемеге түседі.

Синхронды генераторлар автономды жүктемеге немесе қорек желісіне параллельді жұмыс жасайды. Автономды жүктемеге синхронды генераторлар кәсіпорындық электрлік желілерде қажетті қуатқа ие болмаған немесе сол қуат тіпті болмаған жағдайларда ғана, мысалы, меншікті құрылыс алаңында, мұнай және газ кәсіптерінде, тал дайындау пункттерінде және сол сияқты жерлерде, автономды режимде жұмыс жасай алады. Автономды режимде жұмыс істейтін синхронды генератордың U шығыстарындағы кернеу көбінесе жүктемеге және оның сипатына байланысты.

$n_0 = \text{const}$, $I_b = \text{const}$ және $\cos\varphi = \text{const}$ кезіндегі $U(I)$ байланысы генератордың *сыртқы сипаты* деп аталады. Алуан түрлі $\cos\varphi$ кезіндегі синхронды генератордың сыртқы сипаттамалар тобы 1.29-суретте көрсетілген.

Активті-индуктивті жүктеме кезінде ($\varphi > 0$) генератор кернеуінің бірден төмендеуін сипаттар көрсетеді және бұл зәкір реакциясының маниттелмейтін әрекетімен түсіндірілінеді, ал активті-көлемді жүктеме ($\varphi < 0$) кезінде кішкене ғана өзгереді және ол осы жүктеме кезіндегі зәкір реакциясының магниттелетін әсерімен байланысты ұлғаюыда мүмкін.



1.29-сурет Синхронды генератордың сипаттамалары

Генераторды пайдалану кезінде кернеудің тұрақтануы, ток жүктемесі I ұлғаюымен ротор ағымы Φ_0 көбейетін, сонымен бірге ротордың қозуымен I_B тоғының ұлғаюының арқасында E_0 ЭҚК ұлғайтатын, қозу реттегішімен жүзеге асырылады.

Параллельді торабы бар синхронды генераторлардың жұмысы

Электр станциялары әдетте жалпы электр желілерінде параллельді жұмыс істейтін бірнеше синхронды генераторлар орнатылады, ал бөлек-бөлек электр станциялары кәсіби, коммуналды, тұрмыстық тұтынушыларға, қызмет ететін мықты энергожүйелерге (мысалы, РФ еуропалық бөлігінің бірлестік жүйесі) қосылады.

Синхронды генератордың желімен бірге бірігіп жұмыс істеген кезінде генератордың реактивті және активті қуаттарын реттеуді параллельді жұмысқа қосу мәселелері маңызды. Параллельді жұмысты талдау кезінде желінің кернеуі U_c және жиілігі тұрақты. Желімен параллельды жұмыс жасауға генераторды қосуды қарастырайық.

Желіге генераторды қосу кезінде, соққылы электромагнитті күш және электржелінің жұмысын бұза алатын, генератормен басқа да электр жабдықтарына механикалық зақым келтіре алатын моменттерді туғызатын ток толқуы болуы мүмкін. Осы қауіпті құбылыстардың алдын алу үшін, қосу кезінде ток генераторы нөлге тең болуы қажет. Бұл шарт, егер барлық үшфазаларда торап кернеуі генератор кернеуіне $U=U_c$ тең болғанында орындалады. Бұл жалпы шарт төрт жеке шарттарға бөлінеді:

– қосылатын генератордың фазалық кернеуінің іске қосылған мәні желідегі фазалық кернеудің іске қосылғандағы мәніне тең болуы керек: $U_A=U_{cA}$, $U_B= U_{cB}$, $U_C = U_{cC}$ (модуль бойынша) кернеулер теңдігі;

– генератор мен желінің кернеулері фаза бойынша сәйкес болу керек;

– генератор кернеуінің жиілігі f желі жиілігіне тең болу керек f_c ;

– генератор мен желі фазаларының кезектесу реті бірдей болуы тиіс.

Үш фазалы генератордың және үш фазалы желінің кернеулері арасында дұрыс қатынасы 1.30-суретте векторлы

диаграмма ретінде көрсетілінген

Параллельді жұмысқа қосу кезіндегі аталып кеткен шарттардың орындалу процесі *синхрондау* деп аталады.

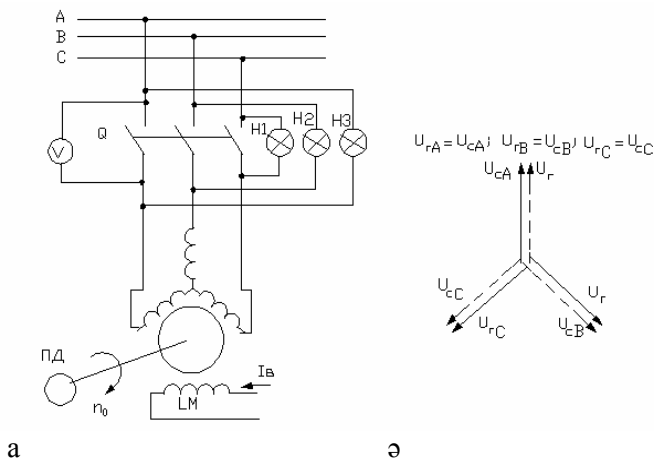
Синхрондау (1.30-суретте) сызба бойынша қосылған вольтметр және шамды $H1-H3$ қолдану арқылы жүзеге асырылады. Жиілік пен фазалар теңдігіне ротордың айналым жиілігін өзгертумен, яғни жетекті қозғалтқыштың $ЖҚ$ айналу жиілігін реттеумен қол жеткізуге болады. Генератор мен желі кернеуінің (модулінің) іске қосылған теңдігіне генератордың қозу тоғын I_v реттеумен қол жеткізуге болады. Фазалардың кезектілігінің дұрыстығы жалғанатын генератордың фазалық орамдарының, фазалар: A , B және C арасының біркелкі кезектесуін сақтай отырып тораптың аттас фазаларына жалғануымен қамтамасыз етіледі. Синхрондау шарттарын орындау барысында шамдар сөнеді, ал вольтметрдің таяқшасы нөлді көрсетеді. Бұл уақытта статордың орамы желіге жалғанады. Үлкен қуатты генераторларды параллельді жұмысқа қосу үшін, арнайы сызбалар және синхронизацияның автоматты қондырғылары қолданылады.

Синхронды генератордың реактивті қуатын реттеу қозу тоғының өзгеруі арқылы болады. Генераторды параллель жұмысқа қосқаннан соң статор орамындағы ток нөлге теңеледі (1.30, а-сурет). Бұл кезде, $U=E_0$ және генератор кернеуі желі кернеуіне тең болады, яғни $U=U_c$. Бұл жағдайда синхронды машина идеалды бос жүріс режимінде жұмыс істейді, ол қуатты желіге бермейді және оны желіден алмайды.

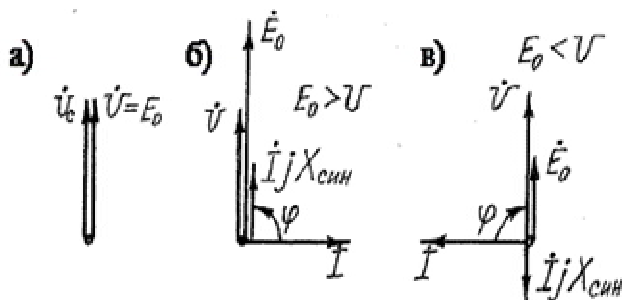
Егер генераторды параллель жұмысқа қосқаннан соң қозу тоғын өзгертсе I_v , онда ротордың магниттік ағымы Φ_0 және ЭҚК E_0 өзгереді, ал статор мен желі арасында теңелетін ток I пайда болады. Бұл токтың мәнін былай анықтаймыз:

$$I = (E_0 - U_c) / J_x \text{Син} \quad (1.32)$$

Үлкен қуатты торапқа генератор жұмыс істеген кезде оның кернеуі \dot{U} өзгермейді және торап кернеуіне тең болып қала береді, бұл генератордың нәтижелік магниттік ағымының тұрақты болуына жағдай жасайды. Қозу тоғының ұлғайған кезінде (генератор аса қозғанда) $E_0 > U$.



1.30-сурет. Генераторды параллель жұмысқа қосудың түсініктемесі



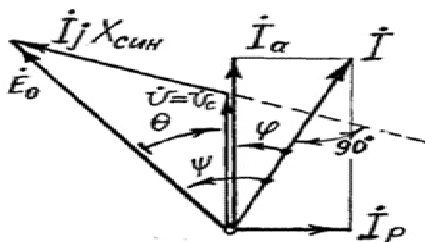
1.31-сурет

(1.30) ескере отырып, jX көбейтінді векторы \dot{U} кернеу векторына сай бағытталған (1.31, б сурет), ал теңдеу тогы \dot{I} фаза бойынша \dot{U} векторынан 90° қалады, яғни \dot{I} индуктивті ток болып келеді. Зәкір реакциясы жұмысының нәтижесінде индуктивті ток \dot{I} машинаны магнитсіздендіреді және нәтижелі магнит ағынын өзгертпей сақтайды. Генератор желіге реактивті қуатын Q_L береді, ол желіге қосылған басқа қабылдағыштармен қолданылуы мүмкін. Желіге ықпал етудің көз қарасымен реактивті қуаттың генератордан алынуы көлемдік токтан

тұтынуға сай, яғни аса қоздырылған синхронды генератор конденсаторға ұқсас.

Керісінше, егер қозу тогын азайтса (толық қоздырылмаған генератор), ток \vec{I} кернеу фазасы бойынша \vec{U} 90° -қа озады (1.31, в-сурет). Генератордың магниттік жүйесіне қозу тогы \vec{I} магниттелу әсерін тигізеді. Алдыңғы жағдаймен салыстырғанда ток фазасын 180° өзгеруі генератордың желіден реактивті қуатты алатындығын білдіреді, яғни оның желіге деген әсері индуктивті әсер секілді.

Екі жағдайда да ток \vec{I} пен ЭҚК E_0 арасындағы ығысу бұрышы ψ 90° тең, сондықтан да активті қуат $P=3E_0I\cos\varphi$. Сонымен, қозу тогының өзгеруімен синхронды генератордың тек қана реактивті қуатын реттеу мүмкіндігі бар, бірақ онда активті қуатты жүктеуге болмайды.



1.32-сурет

Бос жүріс кезінен бастап, генератордың жетекті қозғалтқышының айналу моменті ұлғайған жағдайда ғана, генератор активті қуатты береді, бұған оның тұтынатын энергия тасымалдаушысын (су, бу, мұнай, көмір және т.б.) көбейту жолымен қол жеткізуге болады.

1.3.2. Синхронды қозғалтқыштардың электромеханикалық қасиеттері

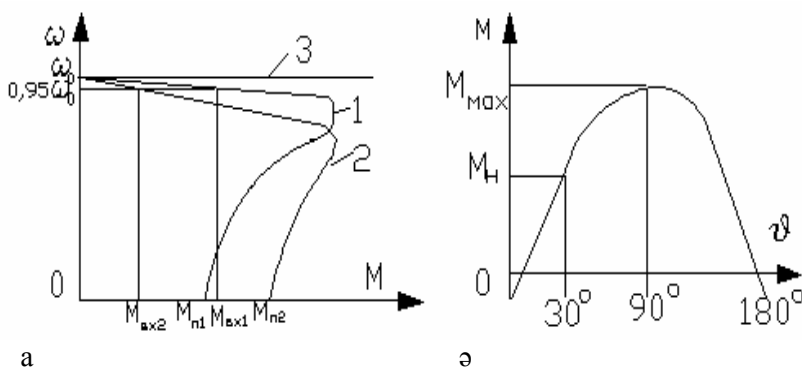
Синхронды қозғалтқыштың жұмыс жасау принципі зәкірдің айнымалы магнитті өрісімен индуктор полюстарының магнитті өрісінің қатынасына негізделген.

Синхронды қозғалтқыштардың электромеханикалық қасиеті (1.33-суретте) [13] келтірілген үш сипатпен анықталады: механикалық, қосу және бұрыштық.

Механикалық сипатта қозғалтқыш тұрақты синхронды айналу жиілігімен жұмыс істейді. Бұрыштық сипат ϑ бұрышының (статордағы кернеумен ротордың ЭҚК арасындағы бұрыш) жүктеме моментінен тәуелділігін анықтайды. Бұл сипаттың талдауынан, қозғалтқыштың айнымалы моменті жүктеменің белгілі бір шамасына M_{\max} дейін ұлғаюымен көбейеді. Жүктеме моментінің шамасы M_{\max} көбеюі статор мен ротордың синхронды айналым өрісінің бұзылуына (синхронизмнен түсіп қалуына) және қозғалтқыштың тоқтап қалуына келтіреді.

Қозғалтқыш моменті мен ϑ бұрышының байланысы былай анықталады:

$$M = M_{\max} \sin \vartheta . \quad (1.33)$$



1.33-сурет. Сипаттар: а – қосу 1,2, механикалық 3; б – бұрыштық

Қозғалтқыш моменті $\vartheta = 25-30^\circ$ кезінде номиналды ретінде қабылданады. Бұл жағдайда қозғалтқыштың аса жүктелу қабілеті мынадай шамада болады:

$$K_M = M_{\max}/M = 2 - 2,5.$$

Синхронды қозғалтқыштың жұмыс жасау режимінің ең

күрделісі оны іске қосу болып саналады. Қозғалтқыш синхронды режимде жұмыс жасау алдында, саңылаудағы магнитті өрістің айналу жиілігіне жақын жиілікке дейінгі екпінді қажет етеді. Мұндай жылдамдықта зәкірдің айнымалы магниттік өрісі индуктордың магниттік өрістерінің полюстарына қармалады.

Екпін үшін әдетте асинхронды режим қолданылады, бұл режимде дәл асинхронды машинадағыдай реостат арқылы немесе қысқа индуктордың орамдары тұйықталады, және мұндай іске қосу режим үшін ротор машиналарында қосымша мәселелерді шешетін, синхрондау кезінде ротордың «тербелуін» жоятын тыныштандырғыш орам болып келетін, қысқа тұйықталу орамын жасайды. Номиналдыға (>95%) жақын жылдамдық шыққаннан соң индукторға тұрақты ток беріледі.

Тұрақты магниттері бар қозғалтқыштарда қозғалтқыштардың сыртқы екпіні қолданылады.

Көбінесе білікке электромагниттерді қоректендіретін тұрақты токтың кішірек генераторын қояды.

Зәкір тогының жиілігін біртіндеп 0-ден номиналды шамаға дейін көбейткен кезде сондай-ақ жиілік қосуды қолданады. Немесе керісінше, индуктордың жиілігін төмендеткенде номиналдыдан 0-ге дейін, яғни тұрақты токқа дейін.

Ротордың айналым жиілігі n , айн/мин желі жиілігіне f , Гц қатаң байланысты, өзгермейтін болып қала береді.

1.33, а-суретте айналу жиілігі $0,95 \omega_n$ кезінде дамитын, момент деген түсінікке ие, үлкен «шығыс» моменті $M_{\text{вх1}}$ және бастапқы төмендетілген қосу моменті $M_{\text{п1}}$ бар қосуға бірі сәйкес келетін – 1 синхронды қозғалтқыштың екі сипаты көсетілген.

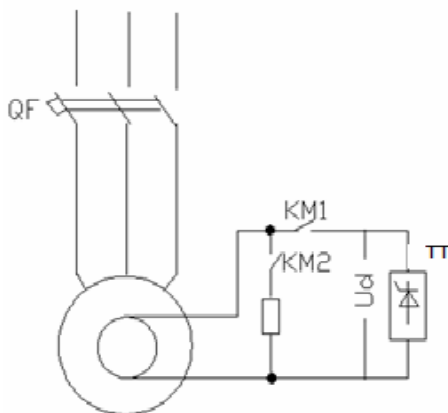
Әдетте синхронды қозғалтқыштың (СҚ) қосуы үш интервалдан тұрады: қосалқы синхронды айналу жиілігіне ω_n ($\omega_n = 0,95 \omega_0$) дейінгі қозғалтқыштың қимылы; ротор орамын қоздыру; желімен синхрондау.

Қазіргі таңда СҚ қоздыру жүйелерінің қорек көзі ретінде басқарылатын түзеткіштер қолданылады (1.34-сурет).

Бастапқы жағдайда КМ2 қосқыштың нормалды жабық контактілермен қозу орамы резисторға қосылған.

Қозғалтқышты желіге қосқан соң, қосалқы синхронды жылдамдыққа дейінгі екпін роторға қойылған қосу қысқа тұйықталған орамдар арқылы жүзеге асырылады.

Қозудың кернеуін беру моментімен басқару токпен немесе айналу жиілігімен бақыланады. Қозғалтқыштың қосалқы синхронды айналу жиілігіне ($\omega_{\text{н}}=0,95 \omega_0$) қол жеткізген моментте қозу орамы тұйықталған түйіспелер КМ2 ТТ қорек көзіне жалғанады. Ашық түйіспелермен КМ2 резистор қозу орамдарынан айырылады.



1.34-сурет.
Синхронды
қозғалтқыштың (СК)
қозу сызбасы

Ротор орамына қоздыруды берумен қоса статор орамдарына СҚ толық кернеу моментін беруге байланысты СҚ қосудың үш түрі бар: тікелей, күрделі және жеңіл. Тікелей қосу кезінде статор орамына желіден толық кернеу беріледі, ал ротор орамдарының тізбегі зәкір қоздырғышына берік (ажырамай) жалғанады. Тікелей қосу қоздырғышпен берік жалғануы үш шарттың болуы мүмкін: егер қорек желісінің қуаты мүмкіндік туғызса; егер, қосалқы синхронды жылдамдыққа қол жеткізгеннен соң роторға қозу тоғын беру үшін, қоздырғыштың өздігінен қозу уақытынан қосалқы синхронды жылдамдыққа дейінгі екпін уақыты аз болса; егер біліктегі статикалық кедергі моменті номиналды СҚ моментінің 40%-дан аспаса.

Дәл АҚ-дай қорек желісінің қуатына байланысты реакторларды, автотрансформаторларды және резисторларды

пайдалана отырып, толық және төмендетілген кернеу кезіндегі қосулар қолданылады. Жоғары кернеулі СҚ қосу кезінде түйіспелердің орнына жаңа айырып – қосқыштарды қолданады.

Қоректің төмендетілген кернеумен СҚ қосылу кезінде жеңіл және күрделі қосулар болып бөлінеді. Жеңіл қосу кезінде қозу кернеуі қоректің төмен кернеуінде беріледі. Жеңіл қосу жүктеменің аз статикалық моменттерінде қолданылады, өйткені синхронизмге кіру кезінде аз моменттермен қамтамасыз етеді. Күрделі қосу кезінде қозудың кернеуі, статордың орамында толық кернеу кезінде беріледі. Қосу статикалық кедергінің үлкен моменттерінде қолданылады, өйткені ол синхронизмге кіру кезінде үлкен моменттермен қамтиды.

Өндірістік механизмдерде орта және үлкен қуаты бар синхронды электржетектер кеңінен таралған. Синхронды қозғалтқыштар электрмен қамту жүйесінде дәл реактивті қуаты бар генератор сияқты қолданылуы мүмкін. Барлық мүмкін қоздырушы әсерлердің болуы, СҚ және қоректену желінің шама-шарттарының номиналды шамасынан ауытқуына әкеледі. Бұл синхронды электржетектерінің техника-экономикалық көрсеткішін төмендетеді және қорек желісінің жиілігі мен кернеуінің тербелісін туғызады.

Сондықтан да синхронды электржетектермен автоматты басқару жүйелері бір жағынан электржетегінің тұрақты жұмысын қамту керек, ал екінші жағынан – электрмен қамту жүйелерінің қорек желілерінің шама-шарттарын тұрақтандыруды қамтиды.

Сонымен қатар, жылдам ауыспалы жүктемемен жұмыс істейтін механизмдер үшін, синхронды электржетектерін қолдану СҚ қоздыру тоғын жылдамдатуды қолдану қажет, бұл электржетектің техника-экономикалық көрсеткіштерін жақсартады, қозғалтқыштың аса жүктелу қабілетін және тұрақтылығын көтереді және оның орнатылған қуатын төмендетеді.

Осының бәрі электржетектеріне және электрмен қамту жүйелеріне қойылатын талаптарға байланысты синхронды электр жетектерінде автоматты реттегіш қозуы (АРҚ) бар жылдам қоздырғыштарды қолдануды анықтады.

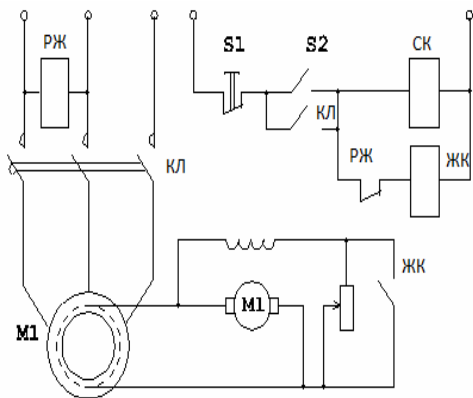
Синхронды жетекте жылдам қозатын қоздырғыштардың болғаны, желідегі кернеудің төмендеген кезінде немесе

қозғалтқыштың максималды моментінен асатын жүктеменің жылдам ауысу кезінде синхронизмнен синхронды қозғалтқышты шығаруға мүмкіндік туғызады. Көрсетілген жағдайларда синхронды қозғалтқыштың аса жүктелу қабілетінің ұлғаюына қозу тогын жылдамдату арқылы қол жеткізуге болады. Желідегі кернеудің төмендеген кезінде қозғалтқыштың синхронизмнен түсіп қалуының қорғаныс сызбасының бір нұсқауы 1.35-суретте келтірілген.

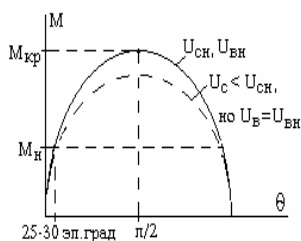
Желіде кернеуді бақылау сызықты кернеуге қосылған жылдамдық релесінің (кернеу релесі) көмегімен жүзеге асырылады.

1.36-суретте номиналды және төмендетілген (үзік сызықпен (пунктир) кернеулердің бұрыштық сипаттары көрсетілген. 1.36-суретте мынадай белгіленулер орын алған: U – статордағы кернеу; $\theta = (25 \div 30^\circ)$ M_H -ге сай.

$U_C < U_{CH}$; $U_{BH} < U_B$ – өте қысқа уақыт аралығында мүмкін.



1.35- сурет



1.36- сурет

Сызбаның бастапқы кезінде желідегі кернеу номиналды мәнге тең, жылдамдату релесі іске қосылатын жағдайда, блок түйіспе жону жұмыстарын (ЖЖ) жылдамдату релесі ашық.

Кернеуді 20%-ға төмендеткен кезде реле жоңғылау релесі (ЖР) өшеді, ал оның жақсы жабылған түйіспелері (контактор)

(ЖК) қорегінің тізбегіне тұйықталады. Іске қосылғаннан соң түйіспе ЖК тұйықталатын түйіспелермен ЖК қоздырғыш М1 козу орамдарының қорек тізбегіне жалғанған резисторды тұйықтайды. Бұл кернеудің ұлғаюына және қозғалтқыштың аса жүктелу қабілетін бастапқы деңгейге дейін орнына келтіруге ықпал етеді.

1.4. Күштік жартылай өткізгіш түрлендіргіштер [10]

Қазіргі таңда электржетектерде қолданылатын түрлендіргіштер күштік түрлендіргіш техниканың элементтерінде: диоттар, тиристорлар, өрістік және қос полярлы транзисторларда жүзеге асырылады. Ең белгілі түрлендіргіштер болып, басқарылмайтын және басқарылатын түзеткіштер, ауыспалы кернеу реттегіштері, тұрақты токтың импульстік реттегіштері және жиілік түрлендіргіштері (тікелей байланыспен және тұрақты токтың аралық буынымен) саналады.

1.4.1. Түзеткіштер

Айнымалы кернеуді (токты) тұрақты кернеуге (токқа) түрлендіретін құрылғыны түзеткіштер деп атайды. Тиристорлардың пайда болуымен оларды басқарылатын және басқарылмайтын деп бөледі.

Басқарылмайтын түзеткіштер. Бұл түзеткіштер тек қана бір функциялы – айнымалы кернеуді кірісі айнымалы және тұрақты шығыс шамалары арасындағы қатаң байланысы бар тұрақтыға түрлендіруді атқарады.

Түзеткіштердің типтік сызбасы 1.37-суретте келтірілген.

Түзеткіштер мынадай болып бөлінеді:

– қорек көзінің фаза санына байланысты – бір фазалы (1.37 а,ә-сурет) және үшфазалы (1.37 б,в-сурет);

– бұранда және трансформатор орамдарының жалғану сызбасына байланысты – жартылай бір периодты, бір фазалы көпірлік, үш фазалы нөлдік және үш фазалы көпірлік;

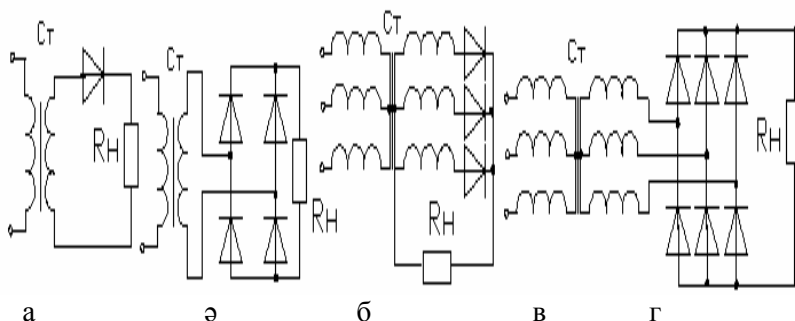
– басқарылу дәрежесі бойынша – басқарылмайтын және басқарылатын.

– түзеткіштерге орнатылынған білік типтері бойынша–

диодты, транзисторлы, тиристорлы және диодты-транзисторлы.

Түзеткіштердің жұмыстарына жүктемелердің сипаттары: активті, активті – индуктивті, жүктемедегі ЭҚК болғаны үлкен әсер етеді.

Түзеткіштердің қарастырылған сызбаларын шама-шарттарымен және сипаттарымен айыруға болады. Сызбалардың негізгі шама-шарттарымен сипаттары 1.2-кестеде келтірілген.



1.37-сурет. Түзеткіштер сызбасы: а – бір жартылай периодты; ә – екі жартылай периодты; б – бір фазалы көпірлік; в – үш фазалы нөлдік; г – үш фазалы көпірлік

1.2-кестеде келтірілген белгіленулер: I , I_d , U , U_d – жүктеменің токтары мен кернеулерінің орта және іске қосылған мәндері; I_b , $I_{op.b}$ – бұрандалар тогының орта және іске қосылған мәндері; U_k – бұрандадағы максималды кері кернеу; P_d , P – қуаттың орта мәні және жүктеменің тұрақты ток қуаты; S_T – трансформатордың есептік қуаты.

1.2-кестеде келтірілген түзеткіштердің шама-шарттарының сызбаларынан:

- бір фазалы сызбалардан ең үздік шама-шарттарға бір фазалы көпірлік сызба ие;
- үш фазалы сызбалардан – үш фазалы көпірлік екені көрініп тұр.

Басқарылатын түзеткіштер. Басқарылатын түзеткіштердегі тиристорлар дәл басқарылмайтын диодтардағындай

сызбалар бойынша жалғанады. Сызбалар (1.38-сурет) тиристорлармен екі режимде: түзеткіш және инвертор жұмыс жасай алады. Түзеткіш режимде желіден түсетін айнымалы кернеу тұрақты кернеуге түрленеді де (орта), шама бойынша реттеледі. Инверторлы режимде тұрақты ток энергиясы, күштік бөлшекте, айнымалы ток энергиясына түрленіп, желіге беріледі. Берілген энергия ағымы нөлден максимальды шамаға дейін ырғақты реттеле алады.

Екі режимде тұрақты және айнымалы ток жетектері кеңінен қолданылады. Қозғалтқыш режимде электр машинасының жұмыс жасау барысында, сызба түзеткіш режимде жұмыс істейді және мұнда тиристорларды басқару жүйелерінің көмегімен қозғалтқыштың айналым жиілігі және іске қосылған механизмнің қозғалу жылдамдығы реттеледі. Сызбаның инверторлы режимде жұмыс жасау мүмкіндігі желіге энергияны беру арқылы ең тиімді тежеу режимін жүзеге асыруға мүмкіндік туғызады.

1.2-кесте

Түзеткіштердің шама-шарттары және сипаттары

Түзеткіш сызбасы	Түзеткіш сызбаларының сипаттары						
	$K_{\Phi} = \frac{I}{Id} = \frac{U}{Ud}$	$\frac{U_d/U_2}{U_d/U_2}$	$U_{ог}/U_d$	$\eta = P_d/P$	S_{Φ}/P_d	I_{Φ}/I_{cp}	$K_{\pi} = \sqrt{k_{\Phi}^2} - 1$
Жартышай кезеңді бірфазалы	1,57	0,45	3,14	0,405	3,1	1,57	1,21
Жартышай екі кезеңді бірфазалы	1,11	0,9	3,14	0,81	1,48	1,57	0,482
Бірфазалы көпір тәрізді	1,11	0,9	1,57	0,81	1,21	1,57	0,482
Үшфазалы нөлдік	1,04	0,67	2,09	0,97	1,345	1,76	0,286
Үшфазалы көпір тәрізді	1,001	1,35	1,045	0,998	1,045	1,735	0,045

1.38-суретте келтірілген сызбада, тиристорға түзу ($0 - t_2$ интервалында) және кері ($t_2 - t_3$ интервалында) кернеулер келтірілген. Диотқа қарағанда, тиристор түзу және кері кернеуде де жабық болады. Егер кернеу импульсін тиристордың

басқаратын электронына берсе, онда ол ашылады және бұл жағдайда ол анод-катод тізбегінде токтың үзілуіне дейін немесе ұстап қалу деп аталатын, орташа шамаға дейін оның төмендеуіне дейін тұрады.

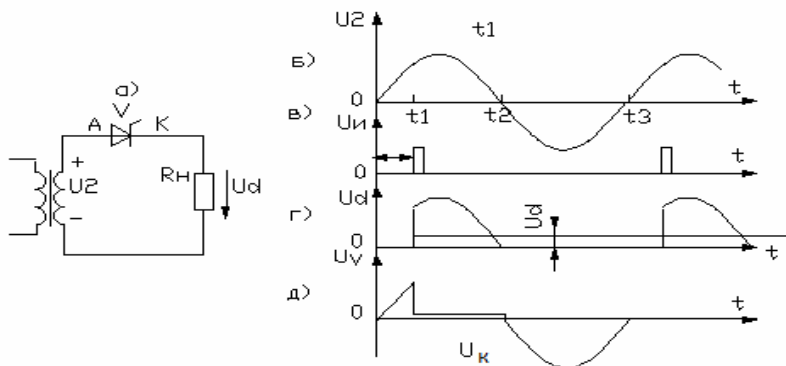
1.38-суретте келтірілген сызбада, басқаратын импульс тиристордың анодында түзу кернеу кезінде (момент t_1) берілген. Тиристор ашылады және импульс жоғалғанда, ұстап қалу тоғынан анод-катод тізбегіндегі ток көп болған шарт орындалған кезде де ашық түрде қала береді. Оң жартылай периодтың соңында, жүктеме тогы ұстап қалу тогының шамасына дейін төмендегеннен кейін тиристор жабылады және бұндай жағдайда ол келесі басқаратын импульс түскенге дейін болады. Процесс момент t_3 бастап қайталаанады. Басқаратын импульсті беру моментін өзгертумен жүктемеге өткізілетін оң жартылай синусоиданың бөлігі және түзетілген кернеудің орта мәні U_d өзгереді. Бұрыш α арқылы көрсетілген оң жартылай синусоидадан басталып импульс фронтына дейінгі уақыт интервалы басқаратын импульстер реттеу бұрышы деп аталады.

Түзетудің бір фазалы сызбаларында реттеу бұрышы α -дан түзетілген кернеудің тәуелділігі мына теңдеумен анықталады:

$$U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

мұнда U_{d0} – түзеткіштің максимальды шығыс кернеуі (бір жартылай периодты сызбада $U_{d0} = 0,45E_{2\phi}$, бір фазалы көпірлікте – $U_{d0} = 0,9E_{2\phi}$).

Желілермен басталатын инверторлар немесе тәуелді инверторлар. Жартылай бір периодты сызбаның инверторлы режимінде жұмыс істеуі 1.39-суретте келтірілген ток пен кернеу диаграммаларымен түсіндірілген. Сызба инверторлы режимде жүктеме тізбегінде тұрақты ток қорегі бар кезде және егер сол қоректің кернеуінің полярлығы тиристорға қатысты түзу бағытқа ие болған кезде жұмыс жасай алады.



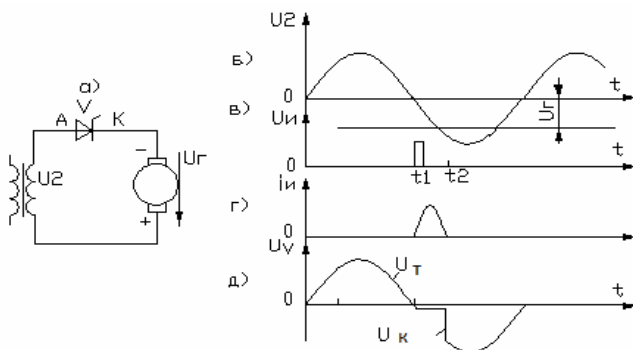
1.38-сурет. Сызба (а) және сызбаның жұмысын түсіндіретін кернеу диаграммалары (б, в, г, д)

Сызбаның жұмысы t_1 моментінен бастап қарастырылады. Бұл моментте тиристор ашылады және екінші орам арқылы қорек көзі генератор болып келеді, ток өтеді. Трансформатордың екінші орамындағы, күштік тізбектегі токтың өсуімен бірге қарсы кернеу U_2 ұлғаяды. Бірақ, t_2 моментінде индуктивтік кезде жиналған электромагнитті энергияның арқасында $U_2=U_r$, тиристордағы түзу кернеу және оның ашық жағдайы тағы да бірнеше уақытқа сақталады. Сондықтанда тиристор t_2 моментінде жабылмайды, сол нүктеден сәл оңға қарай жабылады.

Трансформатордың өзекшесі, қорек көзі генератор болып келетін, токпен аса магниттелу процесінде трансформатордың бірінші орамына желі кернеуінен асатын ЭҚК келтіріледі, яғни тиристордың ашық кезінде энергия генератордан қорек желісіне беріледі. Тиристордың ашылу моментінің өзгеру кезінде t_1-t_2 интервалында желіге берілетін энергияның саны және токтың орта мәні өзгеретіні анық.

Жартылай бір периодты сызбадан тұрақты ток энергиясының айнымалы ток энергиясына түрлену және желіге берілетін энергия ағынын реттеу процестерін айқын көрсететін мүмкіндік туғызады. Бірақ көрініп тұрған кемшіліктерден бұл сызба практикалық сұранысқа ие бола алмайды. Үш фазалы көпірлік сызбада бұл кемшіліктер жоқ. Бұнда басқаратын

импульстардың талап ететін реттеу диапазоны 90° аспайды, ал күштік тізбегіндегі ток үздіксіз сипатқа ие. Тұрақты токтың жетектеріндегі инверторлы режимнің көмегімен ең тиімді тежеу – желіге энергияны беріп тежеу жүзеге асырылады.



1.39-сурет. Сызба (а), инверторлы режимдегі жартылай бір периодты сызбалардың жұмыстарын түсіндіретін ток пен кернеу диаграммалары (б, в, г, д)

Тиристорлармен басқарылатын жүйелер. Тікелей байланысы бар жиілік түрлендіргіштердің, айнымалы кернеу түрлендіргіштері, желіден басталатын инверторлар басқарылатын түзеткіштердің шығыс шамаларын реттеу басқаратын импульстарды құрайтын және қорек желісінің кернеуін шектелген периодында олардың жағдайын өзгертетін қондырғылармен жүзеге асырылады. Олар импульсті-фазалық басқару жүйелері (ИФБЖ) деп аталады. Жалпы жағдайда бұл қондырғыда қорек желісімен синхрондау жұмысы, талап етілетін шама-шарттармен басқаратын импульстар құру және олардың фазаларын реттеу жүзеге асырылады. Сенімді жұмыс пен түрленудің басқа да көрсеткіштері көбінесе ИФБЖ борыштар болады. Оған бірнеше талаптар қойылады. Оның бірі тиристорлардың қасиеттерімен анықталады, ал басқалары түрлендіргіштердің жұмыс режиміне, жүктеме сипатына және тиристорлардың жалғану сызбаларына байланысты.

ИФБЖ-нің негізгі шама-шарттары болып: ток

амплитудасы, фронт тілігі, басқарылатын импульстардың реттеу диапазоны және ұзақтылығы саналады.

Басқарылатын импульстардың тоғы мен кернеуі, орнатылған сызбада берілген серияның барлық тиристорлары ашылатын шамаға ие болулары керек. Екінші жағынан басқаратын тізбекті қуат жоғалымы шектемелерден аспауы тиіс.

Басқарылатын импульстардың қажетті ұзақтығы тиристорлардың жалғану сызбасына және жүктеме сипатына байланысты. Активті-индуктивті жүктемесі бар схемаларда импульстардың ұзақтығы, ұстап қалу тоғының шамасына дейін өсетін ток уақытынан көбірек болуы тиіс. Үш фазалы көпірлік сызбада жүктеме тізбегі әртүрлі топтағы екі тиристордың бірдей ашылған уақытында тұйықталады. Бұл шарт ұзақтығы $65-70^\circ$ кең импульсті немесе тар екі еселенген 60° ығысқан тиристорларды басқару кезінде орындалады.

Басқарылатын импульстардың қажеттілігі $0,2-2$ А/мкс аралығында. Бұдан жоғары тіктілік бұрамаларды параллельді және тізбектей жалғау кезінде қажет.

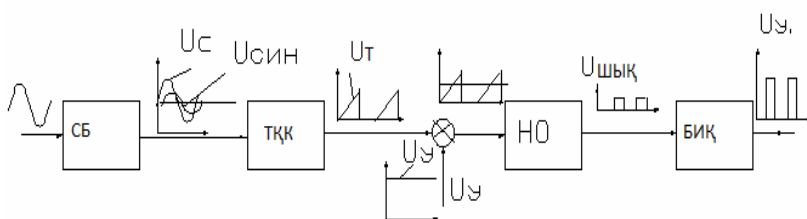
Басқарылатын импульстарды реттеудің қажетті диапазоны тиристорларды жалғау сызбасына және жүктеме сипатына байланысты. Бір фазалы түзеткіштерде түзетілген кернеуді нөлден максимумды мәнге дейін реттеу үшін α бұрышын реттеу диапазоны 180° қажет. Активті және активті-индуктивті жүктемесі бар үшфазалы нөлдік сызбада қажетті диапазон 150° және 90° сәйкес құрайды, үшфазалы көпірлік сызбада дәл сол шартта максимумды диапазон 120° және 90° құрайды.

Үшфазалы сызбаларды тиристорларға түсетін басқарылатын импульстар 120° ығысқан (үшфазалы нөлдік сызбада) немесе 60° (үшфазалы көпірлік сызбада). Тиристорға түсетін басқарылатын импульстардың ығысуы синхрондалатын трансформатордың екінші орамында жүзеге асырылады. ИФБЖ каналдарының шығыстық импульстарының арасындағы интервалдардың ауытқуы, көрсетілген мәндерден, басқарылатын импульстардың асимметриясы деп аталады. Ол тиристор жүктемелерінің теңсіздігіне және түзетілген ток пен кернеудің тербелуіне келтіреді. Теңелмеген жүктеме аса жүктелген тиристорды істен шығаруы мүмкін.

Тұйық автоматты реттеу жүйелерінде түрлендіргіштердің жұмыс жасау барысында, импульстар асимметриясы жойылмайтын тербеліске және жалпы жүйенің жұмыс жасау қабілетін жоғалтуға әкелуі мүмкін.

Қазіргі таңда ИФБЖ-нің көптеген нұсқасы бар, олардың негізгі айырмашылықтары: фаза ығысу буындарының құрылымы және басқаратын импульстарды құру. Көбінесе «тік» басқару принципке ие деп аталатын ИФБЖ қолданады. Компьютермен басқарылатын электржетектерде сандық ИФБЖ қолданылады.

Тік басқаруы бар ИФБЖ функционалды сызбасы 1.40-суретте келтірілген.



1.40-сурет. Тік басқаруы бар ИФБЖ функционалды сызбасы.

СБ – синхронизация буыны, ТКҚ – тіректі кернеуді құрушы, НО – нөл органы, БИҚ – басқарылатын импульстерді құрушы

СБ – синхронизация қондырғысында, анодтың U_c қатысты синхронды кернеудің $U_{\text{син}}$ ығысуы және синхронды трансформатордан түсетін кернеудің бұрмалануы жойылады. Табиғи коммутация нүктесінде басқарылатын импульстерді реттеу диапазонының басы орналасқан үшфазалы түзеткіштерде ығысу пайда болады. ТКҚ – қондырғыда тірек кернеуі ара тәрізді немесе синусоидалы формада құралады. Тірек кернеуінің сызықты интервалы (іске қосылу интервалы) қорек кернеуінің бір фазасымен синхрондалады. Бір фазалы түзеткіштерде бұл нүкте анодты кернеудің оң жартылай периодының басында орналасқан. Үшфазалы түзеткіштерде іске қосу фронтының басы бұрланданың табиғи коммутациясының нүктесінде орныққан. НО – кірісіне тірек кернеуі $U_{\text{оп}}$ және басқару кернеуі U_y түседі. Оларды салыстыру моментінде НО

шығыс сигналы БИҚ-ті күту режимінен басқарылатын импульсті құру режиміне ауыстырады.

Басқаратын импульстардың фронты салыстырмалы басқаратын және тірек кернеулерінің моменттерімен сәйкес келеді. Басқаратын кернеуді U_y өзгерткен кезде кернеудің желідегі шектік периодындағы тірек кернеуімен оны салыстырғанда момент және де басқарылатын импульстер фазасы да ығысады.

Басқаратын импульстарды реттеу бұрышының α басқару кернеуінің шамасы U_y тәуелділігі тірек кернеуінің іске қосу фронтының формасымен анықталады. Сызықты іске қосу фронтында $\alpha = K \cdot U_y$. Іске қосу фронты ретінде синусоиданың бөлігін қолданған кезде реттеу бұрышы α басқаратын кернеу шамасына тәуелділігі мына теңдеумен анықталады:

$$\alpha = \arcsin \frac{U_y}{U_m},$$

мұнда, U_m – тірек кернеуінің амплитудасы.

Байланыс $\alpha = f(U_y)$ басқарылатын түзеткіштің $U_d = f(U_y)$ реттеу сипатына ықпал етеді. Сызықты тірек кернеу кезінде реттеу сипаттамасы сызықты емес және керісінше болады.

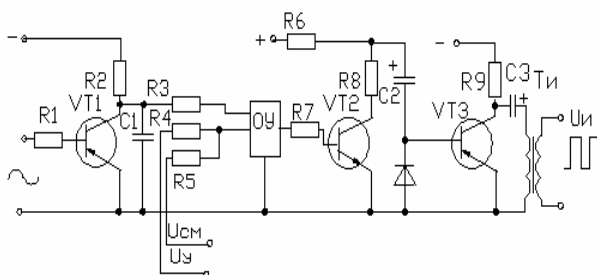
1.41-суретте «Тік» басқаруы бар алты каналды ИФБЖ бір каналының жүзеге асу сызбасы келтірілген.

Сызба жұмысы синхрондау кернеуінің U_c оң жартылай периодының басынан қарастырылады (1.42-сурет). Бұл моментке дейін компаратор режимінде жұмыс атқаратын, күшейткіш басқарушы объекті (БО) шығыс кернеуі теріс потенциалға ие және VT_3 , VT_4 транзисторлары жабық. C_2 және C_3 конденсаторлары сызбада көрсетілген полярлықпен қуатталған. Оң жартылай синусоиданың басында транзистор VT_1 жабылады және C_1 экспонент бойынша резистор R_2 арқылы қуаттанды. Конденсатордан алынатын тірек кернеуі күшейткіштің БО реверсивті кірісіне беріледі. Реверситі емес кіріске теріс басқару кернеуі U_y беріледі. Тірек $U_{оп}$ және басқарылатын $U_y(t_1)$ кернеулерін салыстыру кезінде компаратордың шығыс кернеуінің полярлығы өзгереді,

транзистор VT_2 ашылады және конденсатор C_2 разрядты тоғымен транзистор VT_3 ашық жағдайға ауысады. Орын алған тұйық тізбекте конденсатор C_3 және импульсті трансформатордың бірінші орамы бар.

Конденсатордың разрядталуы кезінде екінші орамға ЭҚК келтіреді және ол басқарушы импульс болып келеді. Транзистор VT_3 базасы диод арқылы ИФБЖ мен жапсарласқан каналында аналогты тізбекке қосылады. Басқару импульсін құрау моментінде жапсарлас каналда диод арқылы транзистор VT_3 кірісіне ашу кернеуі беріледі де бекітілген импульс құралады.

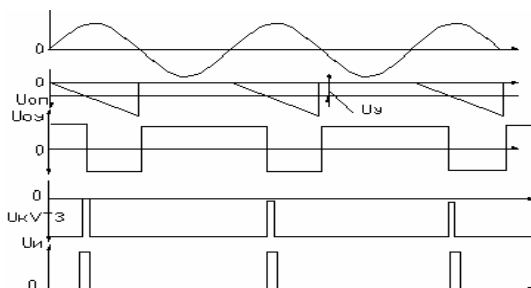
Басқаратын кернеудің шамасын U_y өзгерткенде, басқару импульстарының фазасы және тірек кернеуімен оны салыстыратын момент өзгереді. Қарастырылған сызбада бұрыш α реттеу диапазоны 180° болады.



1.41-сурет. Тік басқаруы бар ИФБЖ каналының сызбасы

Импульстарды құраушының сызбалық шешімі бекітілетін тиристорларды басқару үшін қолданылуы мүмкін. Конденсатор C_2 және C_3 жиналған ішкі энергияның арқасында импульстардың құралуын, салыстырмалы түрдегі аз ғана қорек көзінің қуатында мықты импульстарды туғызу үшін қолданады.

1.4-мысал. Тұрақты ток қозғалтқышы (ТТ-К) жүйесіндегі түрлендіргіштің күштік бөлігінің элементтерін таңдау және есептеу: келісілген трансформатор, тиристорлар.



1.42-сурет. ИФБЖ-нің жұмысын түсіндіретін кернеу диаграммалары

Қозғалтқыштың негізгі техникалық мәліметтері: $U_n = 220$ В;
 $I_y = 745$ А; $I_{max} = 2,5 I_y$.

Үшфазалы көпірлік сызбаның негізгі арақатынастары және шама-шарттары: $K_U = 0,427$; $K_S = 1,045$; $K_{I2} = 0,817$; $K_a = 3$.

Түрлендіргіштің есептік сызбасы 1.43-суретте келтірілген.

Трансформатордың екінші орамындағы ЭҚК $E_{2ф}$

$$E_{2ф} = K_u \cdot K_c \cdot K_{\alpha} \cdot K_R \cdot U_n, \quad (1.34)$$

мұнда, K_c – қорек желісіндегі кернеудің төмендеу мүмкіндігін ескеретін коэффициент (кернеудің 5–10% төмендеген кезінде $K_c = 1,05 - 1,1$); K_R – түрлендіргіштің ішіндегі кернеудің төмендеуін ескеретін коэффициент ($K_R = 1,05 - 1,1$); K_{α} – реттеудің минимальды бұрышында тиристорлардың жартылай ашылатынын ескеретін коэффициент ($K_{\alpha} = 1 - 1,15$). Коэффициенттерді қойғаннан соң аламыз:

$$E_{2ф} = 0,427 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 220 = 125 \text{ В.}$$

Трансформатордың екінші орамының іске қосылған фазалық тогы

$$I_{2ф} = K_i \cdot K_{I2} \cdot I_n, \quad (1.35)$$

мұнда, K_i – тік бұрыштыдан ток формасының ауытқуын ескеретін коэффициент ($K_i = 1,05 - 1,1$). $K_i = 1,1$ деп алсақ, онда:

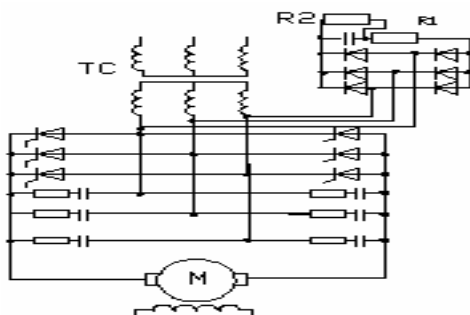
$$I_{2ф} = 1,1 \cdot 0,817 \cdot 745 = 669 \text{ А.}$$

Трансформатордың бірінші орамындағы қызмет ететін ток мәні

$$I_{1\phi} = 1,1 \cdot 0,817 \cdot 745 / 34 = 19,7 \text{ А,}$$

мұнда, $K_{тр} = 0,95 U_{1\phi} / E_{2\phi} = 0,95 \cdot 4468 / 125 = 34$ трансформатордың есеп қуаты

$$S_T = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,45 \cdot 220 \cdot 745 = 250 \text{ кВА.}$$



1.43-сурет. Тиристорлы түрлендіргіштің бір комплектісінің есептік сызбасы

Қондырғыға техникалық мәліметтерімен ТЗСП-250 трансформаторын қабылдаймыз.

Бос жүріс тогы % номиналдыдан 3 құрайды.

Трансформатордың техникалық мәліметтері бойынша анықтаймыз:

$$R_{тр} = \Delta p_k / 3 \cdot I_1^2 \cdot K_{тр} \quad (1.36)$$

$$R_{тр} = 3000 / 3 \cdot (19,7)^2 \cdot 34 = 0,015 \text{ Ом}$$

$$X_{тр} = \sqrt{(U_k \% \cdot U_{1a} / 100 \cdot I_{1\phi} \cdot K^2 m_p)^2 - R^2 m_p} \\ = \sqrt{5,4 \cdot 4468 / 100 \cdot 19,7 \cdot 34^2} - 0,03^2 = 0,03 \text{ Ом.}$$

$$L_{тр.} = 0,5 X_{тр} / \omega = 0,5 \cdot 0,03 / 314 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$$

Трансформатордың шама-шарттарының алынған шамалары статикалық сипаттын құру үшін және реттеу жүйелерін жобалау кезінде қажет.

Тиристорларды таңдау және есептеу. Үшфазалы көпірлік сызбадағы рұқсат етілген созылмалы ток формула бойынша анықталады:

$$I_{\Pi} = K_{zi} \cdot K_{cx} \cdot K_{ox} \cdot I_{cp}, \quad (1.37)$$

мұнда, K_{zi} – ток бойыша қор коэффициенті (1,3–1,4 шамасында); K_{ox} – салқындату шарттарын ескеретін коэффициент ($K_{ox}=2,5$ –табиғи салқындату кезінде, $K_{ox}=1$ еріксіз салқындату кезінде).

Орта ток шамасын қозғалтқыштың максималды аса жүктелу кезін ескере отырып анықтаймыз

$$I_{op} = I_{max} / Ka = 2,5 \cdot 745/3 = 680 \text{ A}$$

Еріксіз салқындатуды былай қабылдаймыз.

$$I_{\Pi} = 1,4 \cdot 1,1 \cdot 680 = 1047 \text{ A.}$$

Қайталанатын кері кернеудің амплитудасы

$$U_{\Pi} = K_{zu} \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} E_{2ф}, \quad (1.38)$$

мұнда, K_{zu} -кернеу бойынша қор коэффициенті ($K_{zu} = 1,3 - 1,4$)

$$U_{\Pi} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 125 = 469 \text{ В.}$$

Қондырғыға Т171-1250, кл. 5 тиристорларды қабылдаймыз. Бұл тиристордың $I_{\Pi} = 1250 \text{ A}$, $U_{\Pi} = 500 \text{ В}$.

1.4.2. Реверсивті түрлендіргіштер

Тиристорлардың типтік сызбаларында шығыс кернеуін қосу (1.44-сурет) бір полярлы болады: катодтарды жалғау нүктесінде оң және анодтарды жалғау нүктесінде теріс. Бұндай қасиеттерге ие түзеткіштерді реверсивті емес деп атайды. Реверсивті емес түзеткіштерден қоректенетін жүтемедегі ток тек қана бір бағытта ағады. Көптеген тұтынушының (тұрақты ток қозғалтқыштары және басқалар) жұмыс жасау сипаты жүктемедегі ток бағытын өзгерту қажеттілігімен байланысты. Реверсивті түрлендіргіш белгілі түрде жалғанған екі реверсивті емес (кешендер) сызбалардан құралады (1.44- сурет).

Қозғалтқышқа қосылған басқарылатын түзеткіштердің жеңілдетілген сызбасы және оның сипаттары 1.45-суретте келтірілген. Бұл шындап келсе электржетегінің ашық жүйелерінің жеңілдетілген сызбасы, тиристорлы түрлендіргіш – тұрақты ток қозғалтқышы (ТТ-Қ).

Жетек тұрақты ток қозғалтқышынан және тиристорлы түрлендіргіштен тұрады. Жалпы алғанда тиристорлы түрлендіргіш келісілген синхронды трансформатор (СТ), бір типтік сызба бойынша орындалған бұранда блогынан (ББ) және ИФБЖ-дан тұрады.

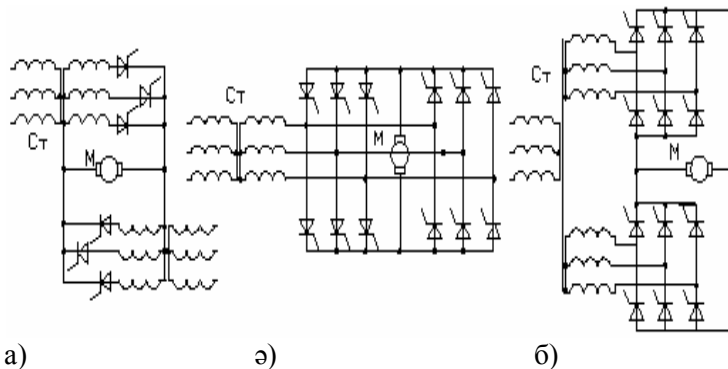
Түрлендіргіштің негізгі сипаттары болып реттеу ($U_d=f(U_{yn})$) және сыртқы ($U_d = f(I_d)$) сипаттар саналады.

Үш фазалы сызбаларда активті-индуктивті жүктемесі бар реттеу сипаты мына теңдеумен анықталады:

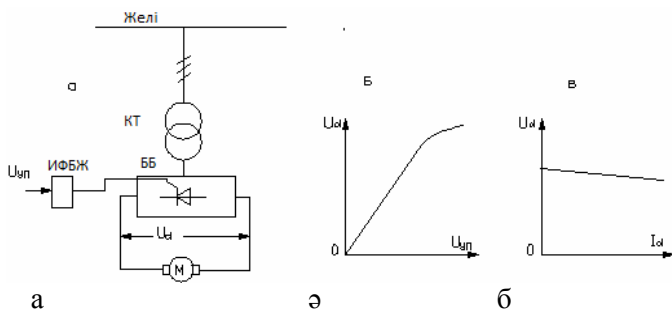
$$U_d = E_{d0} \cos \alpha ,$$

мұнда, $E_{d0} = 2,34 E_{2ф}$ – үш фазалы көпірлік сызбада;

$E_{d0} = 1,17 E_{2ф}$ – үш фазалы нөлдік сызбада.



1.44-сурет. Бөлек-бөлек басқарылынатын реверсивті түрлендіргіштер:
а – үш фазалы нөлдік сызба; б – үш фазалы көпірлік қарсы-параллелді сызба; в – үш фазалы қиылыстық көпірлік сызба



1.45-сурет. Электржетек:

а – сызба; ә – реттеу сипаты; б – сыртқы сипат

Сыртқы сипаттар теңдеулері

$$U_d = E_{d0} - (2r_T + 3x_T / \pi) - \text{үш фазалы көпірлік сызба;}$$

$$U_d = E_{d0} - (r_T + 3x_T / 2\pi) - \text{үш фазалы нөлдік сызба,}$$

мұнда, r_T және x_T трансформатор орамының активті және индуктивті кедергісі.

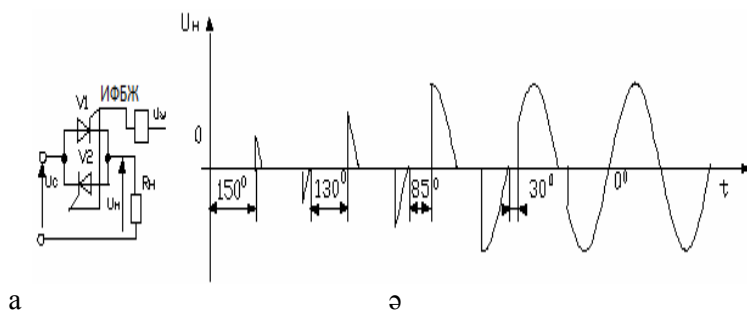
1.4.3. Айнымалы кернеудің тиристорлы реттегіштері

Айнымалы кернеудің реттегіштері деп реттелмейтін айнымалы кернеуді реттелетін айнымалы кернеуге түрлендіретін қондырғыны атаймыз. Күштік транзисторлар немесе тиристорлар мұндай реттегіштерді жүзеге асыратын элементтік база болып саналады. Айнымалы кернеудің тиристорлы реттегішінің (КТР) ең қарапайым сызбасы (1.46,а суретте келтірілген трансформатордан, қарсы-параллельді қосылған екі тиристорлардан және импульсті-фазалық басқару жүйелерінен (ИФБЖ) тұрады. Тура бір фазалы басқарылатын түзеткіштердегідей, шығыс (іске қосылған) кернеуін реттеу үшін, тиристордың анодында оң жартылай синусоиданың басына қатысты, тиристорларға түсетін басқаратын импульстардың берілісінің кідірісіне байланысты фазалық басқару қолданылады. Айнымалы кернеудің бір фазалы реттегіштеріндегі ИФБЖ-ға қойылған талап бір фазалы

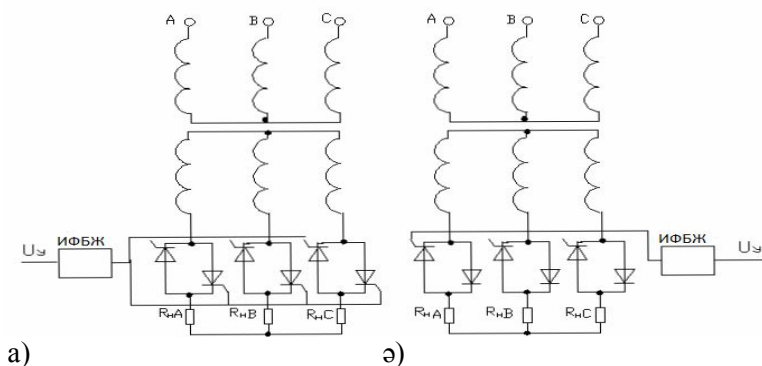
түзеткіштерге қойылған талаптарға сәйкес келеді. Шығыс кернеуін нөлден максимальды шамаға дейін реттеу α бұрышының 180° нен 0° дейін өзгеруімен қамтамасыз етіледі.

Үш фазалы жүктемеде айнымалы кернеуді реттеу үшін, үш фазалы симметриялы және симметриялы емес сызбалар қолданады (1.47-сурет).

КТР үш фазалы симметриялы сызбалары басқаратын импульстары 60° ығысуы бар алты каналды ИФБЖ қажет етеді. Сызбада келтірілген тиристорлардың белгіленулері олардың іске қосылу кезектеріне сәйкес. Әрбір фазаның сызбасы бір фазалы КТР сияқты жұмыс жасайды.



1.46-сурет. Бір фазалы КТР: а – сызба; ә – шығыс кернеуінің диаграммасы



1.47-сурет. КТР үш фазалы схемалары: а – симметриялы, ә – симметриялы емес

1.4.4. Тұрақты кернеудің импульстік реттегіштері

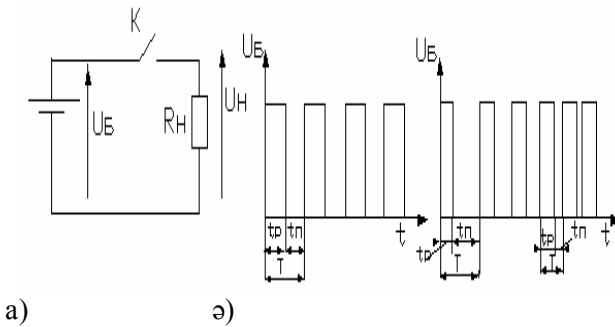
Реттеудің импульстік әдісінің мәні 1.48-суретте келтірілген кернеудің диаграммаларымен және сызбаларымен түсіндіріледі.

Сызбада кілт К жүктеменің қорек көзін периодты түрде қосып және айырып тұру үшін пайдаланады.

Жүктемедегі кернеудің орта шамасы U_H кілт К тұйық t_p және ашық t_n жағдайдағы интервал ұзақтығының өзгеруімен реттеледі

$$U_H = U_6 t_p / T, \quad (1.39)$$

мұнда, $T = t_p + t_n$ – период ұзақтылығы.



1.48-сурет. Импульстік реттегіш: а – сызба; ә – кернеу диаграммасы

Импульс ұзақтығын t_p немесе период ұзақтығын T өзгерте отырып, жүктемедегі орта кернеуді нөлден максимальды шамаға дейін реттеуге болады.

Импульстік реттеудің үш әдісі бар: ендік–импульстік ($t_p = \text{Var}$, $T = \text{const}$), жиілік-импульстік ($t_p = \text{const}$, $T = \text{Var}$) және уақыт импульстік ($t_p = \text{Var}$, $T = \text{Var}$).

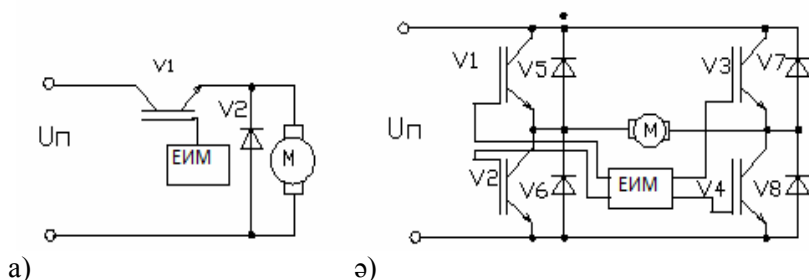
Реттеу әдісіне қарамастан жүктемедегі орта кернеу (1.39) теңдеумен анықталады.

Импульстік реттегіштердің негізгі көрсеткіштері – шығыс кернеуінің сапасы, жұмысының сенімділігі, энергетикалық қасиеттері және басқа да кілттік элементтердің реттеу қасиеттері мен шама-шарттарына байланысты.

Қазіргі таңда кілттік элемент ретінде толық басқарылатын элементтерді: басқару тізбегі бойынша жабылатын тиристорлар, оқшауланған бекітпесі бар өрістік немесе биполярлы транзисторлар қолданылады.

Биполярлы транзисторлардағы импульстік реттегіштердің күштік сызбалары 1.49-суретте келтірілген.

Реверсивті емес сызда (1.49, а-сурет) транзисторды басқару ендік-импульстік реттегішпен (ЕИР) жүзеге асырылады, ол транзисторды басқаратын екі полярлы импульстар туғызады. Оң интервалдарда транзистор ашық және қозғалтқыштың зәкіріне кернеу U_n келтіріледі. Қорек көзі тұтынатын электр энергиясы кинетикалық және жылу энергиясына түрленеді; оның бір бөлігі зәкірдің индуктивтігіндегі L_n электромагниттік өрісте сақталады.



1.49-сурет. Биполярлы транзисторлардағы импульсті реттегіштер:
а – реверсивті емес; ә – реверсивті

Индуктивтіктің L_n болғанының салдарынан токтың өсуі: экспоненциальды заң бойынша өтеді. Теріс импульстардың жұмыс жасау барысында транзистор V_1 жабық және зәкір тоғы өзіндік индукцияның $e_L = L_n \cdot di/dt$ ЭҚК әсерімен тұйықтаушы диод V_2 бойынша өтеді. Жабық транзистор кезінде токтың өту ұзақтығы жүктеме моментімен, тиристордың ашық жағдайындағы уақытпен және коммутация жиілігімен анықталатын индуктивтікте сақталған энергия санына байланысты.

Реверсивті емес сызбаның құндылығы болып күштік жартылай өткізгіш элементтердің аз саны саналады,

кемшіліктері – желіге энергияны берумен тежеу мүмкін еместігі, механикалық сипаттарда сызықты емес участкелердің болуы.

Реверсивті сызба бойынша (1.49,б-сурет) транзисторлар көпірлік сызба бойынша жалғанған. Мұнда тиристорлармен басқарудың үш әдісі қолданылуы мүмкін: диагональды, симметриялы және симметриялы емес.

Диагональды басқару кезінде көпірдің қарама-қарсы иықтарында (V1,V4 немесе V2,V3) орнатылған басқаратын импульстар транзисторларға беріледі. Басқаратын кернеумен импульстар ұңғымасы және қозғалтқыштағы кернеудің орта мәнінің шамасы (1.49-сурет) өзгереді. Қозғалтқышқа келтірілген кернеудің полярлығы басқаратын импульстің қандай транзисторға келтірілетініне байланысты. Мұнда зәкір тогы үздіксіз және үздікті болуы мүмкін.

Импульстік реттегіштердің негізгі қолдану саласы болып машиналар және түйіспелі желілерден: кендік электровоздардың, трамвайлардың, троллейбустардың және т.б қозғалтқыштары алынатын қорек механизмдері саналады. Ендік-импульстік модуляциясы тұрақты токтың аралық буыны бар жиілік түрлендіргіштерінде кеңінен қолданылады.

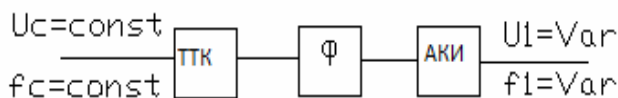
1.4.5. Автономды инверторлар және жиілік түрлендіргіштері

Автономды инверторлар – тұрақты ток энергиясын айнаымалы ток энергиясына түрлендіруге арналған жартылай өткізгіштік бұрандалардағы (тиристорлардағы немесе транзисторлардағы) қондырғылар. Инверторлар автономды жүктемеге жұмыс жасайды. Инверторларда өтетін электромагниттік процестердің сипатына байланысты олар ток, кернеу инверторлары және резонансты болып бөлінеді. Инвертордың шығысындағы фазалар санына байланысты олар бір фазалы және үшфазалы болып бөлінеді. Ток және кернеу инверторлары техниканың түрлі салаларында кеңінен қолданылатын жиілік түрлендіргіштерінің негізгі буыны болып келеді.

Тікелей байланысы бар жиілік түрлендіргіштері және тұрақты токтың аралық буыны бар жиілік түрлендіргіштері болып бөлінеді.

Тұрақты тоқтың аралық буыны бар жиілік түрлендіргішінің функционалды сызбасы 1.50-суретте келтірілген.

Сызба тұрақты ток көзінен (ТТК) (көбінесе басқаратын түзеткіш), фильтр (Ф) және автономды инвертор (АКИ) тұрады.



1.50-сурет. Тұрақты тоқтың аралық буыны бар жиілік түрлендіргіштің функционалды сызбасы

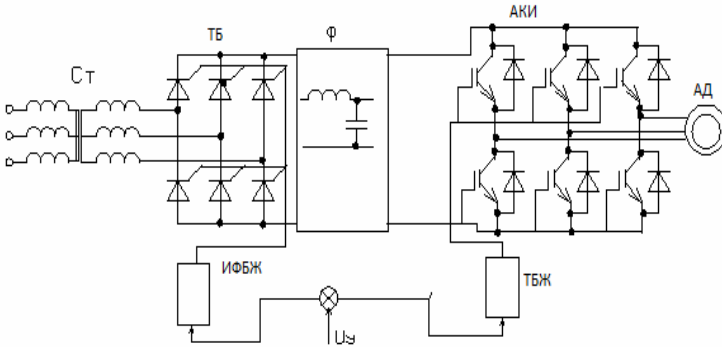
Түрлендіргіштердің ерекшелігі болып энергияны екі рет түрлендіру саналады. ТТК айнымалы ток энергиясы тұрақты ток энергиясына түрлендіреді. Сосын автономды инвертор тұрақты кернеуді тұрақты немесе реттелетін жиілігі бар айнымалыға түрлендіреді. Фазалы көпірлік сызба бойынша орындалатын АКИ жұмысының басқаратын түзеткішпен ұқсастығы көп: инвертордың шығыс кернеуінің әрбір периодында барлық бұрандалар кезек-кезек ашық жағдайдан жабыққа өтеді, олардың ашық жағдайының ұзақтығы 120° құрайды.

Тұрақты токтың аралық буыны бар инверторларының айрықша ерекшелігі бастапқы желінің инверторларындағы тиристорлардың табиғи коммутацияны қамтитын жүктеме жағындағы айнымалы кернеу көзінің жоқтығы болып келеді. Жабылмайтын тиристорлардың инверторларын пайдалану барысында еркінен тыс коммутация қолданылады. Бұл буындар жалпы жағдайда конденсаторлар мен индуктивтікті коммутациялайтын қосымша тиристорлардан тұрады. Конденсаторды коммутациялауды разрядтау процесінде кері жабылатын кернеу құралады. АКИ пайдалану барысында жабылмайтын тиристорларда көптеген кемшіліктер орнатылды. Олардың негізгілері: жұмыстың төмен сенімділігі, еркінен тыс коммутация буындарының салыстырмалы үлкен көлемі және бұл оларды кеңінен қолдануға кедергі болады. Жабылатын бұрандалардың көптеген түрлері құрғаннан соң, еркінен тыс коммутацияға ие инверторлардың конкуренттік қабілеттері жойылды.

Қазіргі таңда АКИ-де жабылатын бұрандалар қолданылады: оқшауланған бекітпесі (MOSFET) бар өрістік тиристорлар, оқшауланған бекітпесі (IGBT) бар биполярлы тиристорлар және жабылатын тиристорлар (GTO және IGCT).

1.51-суретте АКИ биполярлы транзисторлары IGBT бар жиілік түрлендіргіштердің сызбасы келтірілген.

Басқарылатын түзеткіштің (БТ) кірісіне f_c жиілігі бар желінің айнымалы кернеуі U_c түседі. БТ шығысында желі кернеуі тұрақты ток кернеуі U_n -ға түрленеді, оның шамасы басқарылатын түзеткіштің блогынан (ИФБЖ) БТ-ға түсетін басқару сигналдарымен реттеледі. БТ шығысы, кірісіне түсетін тұрақты ток кернеуін айнымалы ток кернеуіне түрлендіретін, АКИ инверторының кірісімен тікелей байланысқан.



1.51-сурет. Тұрақты токтың аралық буыны бар автономды инвертор

Шығыс кернеуінің U_1 жиілігі f_1 басқарылатын инвертор блогынан түрлендіргіштің биполярлы транзисторы бар жиілігі (ТБЖ) АКИ инверторына түсетін басқару сигналына байланысты. ТБЖ және ИФБЖ түсетін басқарылатын сигнал берілген жылдамдыққа сай келетін берілген жылдамдық блогында (БЖБ) кернеуімен U_3 құралады. Сонымен, қозғалтқыштың статор орамдарына жиілігі инвертормен, ал амплитудасы басқарылатын түзеткішпен құрылатын кернеу түседі, яғни қорек кернеуінің жиілігімен амплитудасын тәуелсіз реттеуге болады, КЖТ-мен салыстырғанда бұл үлкен жетістік болып саналады.

Түзеткіш сызбасы талаптарды қамту шарттарынан таңдалады: шығыс кернеуін реттеу бойынша; қорек жиілік түрлендіргігері (ЖТ) айнымалы кернеуінің көзіне әсері; түзетілген кернеудің және басқалардың рұқсат етілген пульсациясының деңгейімен ЖТ өнеркәсіптік желіден қоректендіру кезінде түзеткіш көбінесе үш фазалы көпірлік сызба бойынша орындалады. Кернеу пульсациясын төмендету үшін түзеткіш шығысында фильтр (Ф) оранатылады, оның негізгі функциялары шығыс кернеуінің бірінші негізгі гармоникасының минимальды әлсіреген кезінде кернеудің жоғары гармоникаларының максимальды төмендеуінен тұрады. Фильтрлердің көптеген түрлері бар: АКИ-де фильтр көлемдік, ал АИТ индуктивтік түрге ие болуы тиіс.

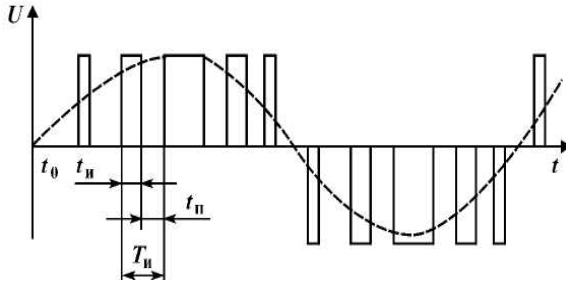
Асинхронды қозғалтқышты қоректендіруге арналған кең диапазонда шығыс кернеуінің жиілігімен реттелетін ЖТ-те инвертор буыны АКИ сызбасы бойынша орындалады.

ЖТ жиілікті реттеумен бірге шығыс кернеуінің деңгейін реттеу талап етіледі. ЖТ кіретін инвертор сызбаларына байланысты шығыс кернеуін реттеу сызбасының түрлері қолданылуы мүмкін. Оларды келесі топтарға бөлуге болады:

- кірісте кернеуді реттеу;
- шығыс кернеуіне ықпал ететін инвертордың процестеріне әсер ету жолымен реттеу.

Бірінші топтың әдістері инвертордың шығыс кернеуінің кіріс кернеуге пропорционалдығына негізделген. Олар тек тұрақты ток көздері басқаратын түзеткіш болған жағдайда ғана қолданылады.

АКИ шығыс кернеуін реттеуді мысалы, ендік-импульстік модуляция (ЕИМ) сияқты кернеу модуляциясының түрлі әдістерін қолдана отырып, инвертор кілттерінің өтпелі жағдайларының ұзақтығын өзгерту жолымен жүзеге асыру орынды. Бұл әдіс (1.52-суретте) келтірілген инвертордың шығыс кернеуінің қисығын туғызатын $t_n=1/T_n$ жиілігіне ие жоғары жиіліктік импульстар ұзақтығы (мысалы, синусоидалы) берілген заңы бойынша үздіксіз өзгеруге (модуляцияға) негізделген. Модуляция заңы шығыс кернеуінің негізгі гармоникасының берілген амплитудасын алуды қамтуы керек.



1.52-сурет. ИИМ бар жиілік түрлендіргішінің шығысындағы кернеу графигі

ИИМ қолдану кезіндегі инвертордың шығыс кернеуіндегі жоғарғы гармоникалардың болуы егер синусоидалы заң бойынша, модуляцияны қолданса, минимумға келтіріледі. Сонымен бірге шығыс фильтрлерінің рөлі кернеудің синусоидалығын қамту кезінде минимумға келтіріледі, өйткені құрамында жоғары гармоника өте аз болып келеді.

ИИМ әдісін қолданудың негізгі шектеуі басқару жүйелерінің кілттік элементтерінің күрделілігіне негізделген. Сонымен қатар, жоғары жиіліктерде әрекет ететін қабілеттері бар, яғни қосу және сөндіру кезінде аз ғана уақыт интервалына ие, толық басқарылатын кілттік элементтерді талап етеді. Бұндай техникалық шешімдер практикалық тұрғыда тым жоғары, тез әсер ететін (IGBT және басқа) және оларды басқаратын микропроцессорлік қондырғыларға ие болатын, кілттік элементтердің пайда болуымен жақында ғана жүзеге асырылды.

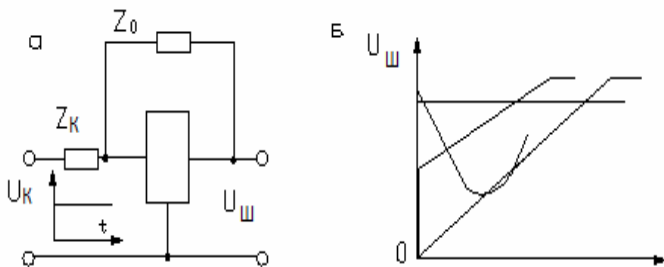
1.4.6. Реттегіштер

Басқаратын және түзететін әсерлерді, координаттар шектеулерін және басқаны құруға арналған қондырғыларды реттегіштер деп атаймыз.

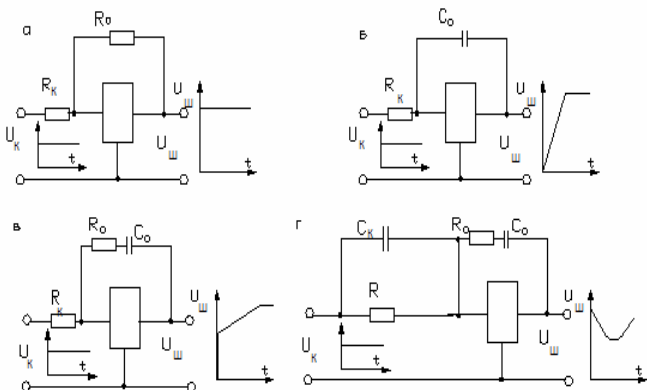
Аналогты реттегіштер (1.53, а-сурет) операциялық күшейткіштерде шешуші тізбектеріне (кіріс және кері) қосымша элементтерді $Z_{вх}$, Z_o қосу жолымен жүзеге асырылады. Қосымша элементтер ретінде резисторларды, конденсаторларды, жартылай өткізгіш элементтерді және т.б. қолданады.

Электр жетектерін АБЖ көбінесе пропорционалды (П), интегралды (И), пропорционалды-интегралды (ПИ) және пропорционалды – интегралды – дифференциалды реттегіштер (ПИД) қолданылады.

Бұл реттегіштердің сызбалары 1.54-суретте келтірілген. Пропорционалды реттегіш (1.54 а-сурет) $Z_{ВХ} = R_{ВХ}$, $Z_0 = R_0$ кезінде пайда болады.



1.53-сурет. Реттегіштер: а – реттегіш сызбасы; б – қосымша элементтерді (сатылы кіріс әсер кезіндегі) қосу сызбаларында және түрлі қасиеттердегі ауыспалы сипаттар



1.54-сурет. Операциялық күшейткіштердегі реттегіштердің сызбалары: а – П – реттегіш; б – И – реттегіш; в – ПИ – реттегіш; г – ПИД – реттегіш

Пропорционалды реттегіштің беріліс функциясы

$$W_{\text{пр}}(P) = \frac{Z_o}{Z_{\text{ex}}} = \frac{R_o}{R_{\text{ex}}} = K_p \quad (1.40)$$

Интегралды реттегішті табу үшін (1.54,б сурет) кері байланыс тізбегіне конденсатор C_0 қосу керек. Реттегіштің беріліс функциясы

$$W_{\text{ир}}(P) = \frac{Z_o}{Z_{\text{ex}}} = \frac{1}{pR_{\text{ex}}C_0} = \frac{1}{pT_i}, \quad (1.41)$$

мұнда, $R_{\text{вх}}C_0 = T_i$ – интегралдаудың тұрақтысы.

Кері байланыс тізбегіне резистор R_0 және конденсатор C_0 тізбектей жалғанған кезде (1.54 в суреті) мынадай беріліс функциясы бар ПИ – реттегіш жүзеге асырылады:

$$W_{\text{пир}}(P) = \frac{Z_o}{Z_{\text{ex}}} = \frac{1 + pR_0C_0}{pR_{\text{ex}}C_0} = \frac{1 + pT_1}{pT_i}, \quad (1.42)$$

мұнда, $T_1 = R_0C_0$, $R_{\text{вх}}C_0$, $T_i = R_{\text{вх}}C_0$ – уақыт тұрақтысы.

1.54-сурет сызбасында

$$Z_{\text{вх}} = \frac{R_3}{C_3R_3p + 1}, \quad Z_o = \frac{R_0C_0p + 1}{C_0p}$$

$$W_{\text{пид,р}}(P) = \frac{Z_o}{Z_{\text{вх}}} = R_0C_3p + \frac{R_3C_3 + R_0C_3}{R_3C_0} + \frac{1}{R_3C_0p} \quad (1.43)$$

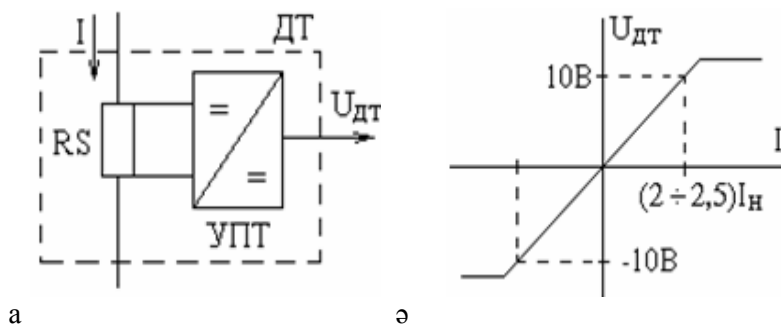
$R_0C_1 = T_d$, $(R_3C_3 + R_0C_0) / R_3C_0 = K$, $1 / R_3C_0 = T_i$ белгілей отырып, ПИД – реттегіштің беріліс функциясын аламыз.

$$W_{\text{пид,р}}(P) = K + T_dP + 1/T_iP. \quad (1.44)$$

КО күшею коэффициентінің үлкен болуына орай ($K_y = 3 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^3$) реттегіштердің шығыс кернеуі қанығу аумағына ие. Шығыс кернеуі бұл аумақта максимальды болып келеді және

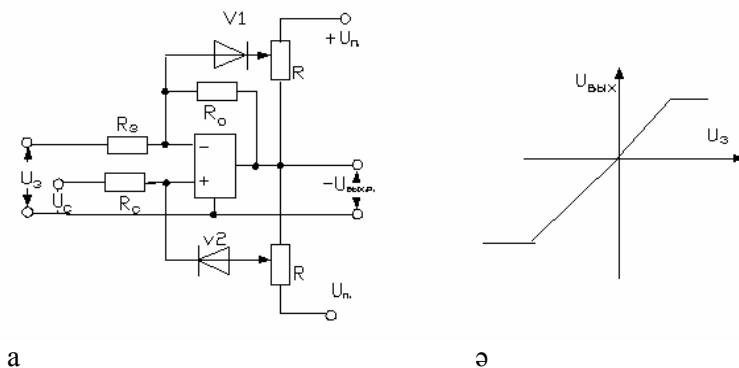
қорек көзінің кернеуінен аспайды. Максимальды шығыс кернеуінің берілген мәніне реттелетін тірек кернеуін немесе стабилитрондарды күшейткіштерінің кері байланыс тізбегіне жалғау асқылы қол жеткізуге болады. Пропорционалды реттегішті (П-реттегішті) алу үшін, КО кірісіне және кері байланыс тізбегіне резисторлар қосады. Интегралдаушыда (И-реттегіш) кіріс тізбегіне резистор жалғайды, ал кері байланыс тізбегіне – конденсатор; ПИ – реттегішке кіріс тізбегіне – резистор, ал кері байланыс тізбегіне – тізбектей жалғанған резистор және конденсатор.

Электржетегінің координат шектелуінің қажеттілігінде (ток, жылдамдық және басқа) реттегіш құрылымына қосымша түйін де жалғанады. Олар басқарылатын және басқарылмайтын болады. 1.55-суретте басқарылатын тірек кернеуі U_n және қиылыстың диодтары V_1, V_2 бар пропорционалды реттегіштің шығыс кернеуінің шектеу сызбасы келтірілген.



1.55-сурет. Ток бергіштері: а – сызба; ә – сипаттама

Сызбадан координат басына қатысты (1.55, ә-сурет) шектелген шығыс кернеуінің түрлі деңгейдегі симметриялы емес кіріс-шығыс сипатын көруге болады. Көптеген басқа нұсқалары да бар.



1.56-сурет. Реттелінетін шектелген шығыс кернеуі бар реттегіші:
a – сызба; я – сипаттама.

1.4.7. Тапсырма беру құрылғылары және бергіштер [20]

Электржетегінің көмегімен тапсырма беру құрылғылары машиналардың немесе оның механизмдерінің қозғалу жылдамдығының шамасын және бағытын тандайды. Жүзеге асыратын құралдарға байланысты тапсырма беру құрылғылары потенциометриялық, сельсиндік және басқа болып бөлінеді. Потенциометриялық тапсырма беру құрылғысының сызбасы 1.57-суретте келтірілген.

Бергіштер. Физикалық шамаларды (айналым жиілігі, температура және басқалар) электрлік сигналға түрлендіретін қондырғыларды бергіштер деп атаймыз. Электржетегінде қажет кезде бергіштер басқару сызбасы мен күштік бөлшегінің арасындағы гальваникалық шешімді жүзеге асырады.

Электржетек жүйелерінде ток, кернеу, айналым жиілігі және жағдай бергіштері колданылады. Бұл атаулардың негізінде бергіштердің кіріс шамалары жатыр.

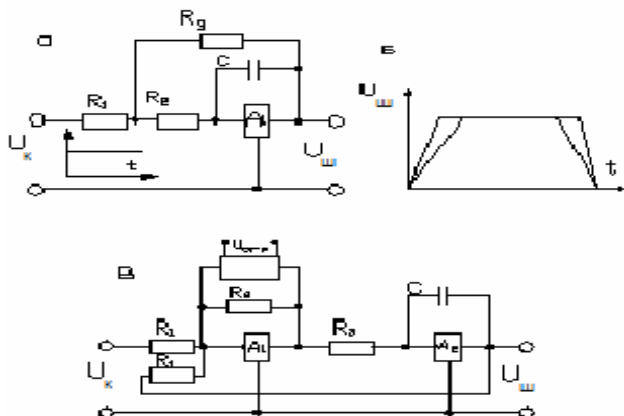
Ток бергіштері. Тұрақты ток бергішінің негізгі элементтері (1.57 а-сурет) болып операциянды күшейткіш (ОК) деп аталатын үлкен күшею коэффициенті бар тұрақты токтың күшейткіші және шунты саналады.

Ток бергішінің күшею коэффициенті:

$$K_{дт} = K_T K_{ок} = U_{в.маx} / U_{вх.маx}$$

мұнда, $K_T = U_T / I_T$ – тұйықтағыш коэффициенті;

$K_{ок}$ – операционды күшейткіштің күшею коэффициенті.



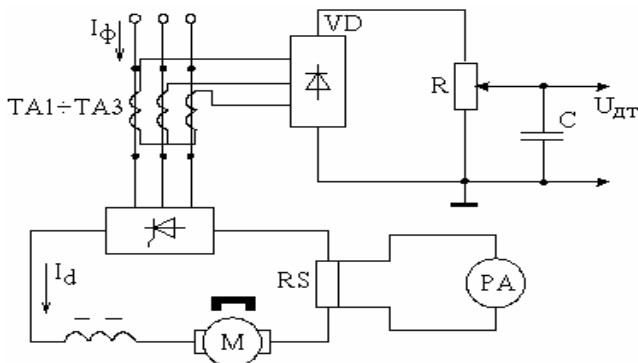
1.57-сурет. Қарқындылық тапсырма беру құрылғысы:
а – шығыс сигналының сызықты өсуі бар сызба; *б* – кернеу диаграммалары; *в* – реттелетін шектеуімен шығыс сигналының сызықты өсуі бар сызба

Бергіштің шығыс кернеуінің максимальды мәні $U_{в.маx} = 10-12$ В шектеу аралығында. $U_{вх.маx} = 2U_{н.т.} = 2 \cdot 0,0075 = 0,015$.

Бергіштің күшею коэффициенті

$$K_{дт} = (10 - 12) / 0,015 = 66 - 80.$$

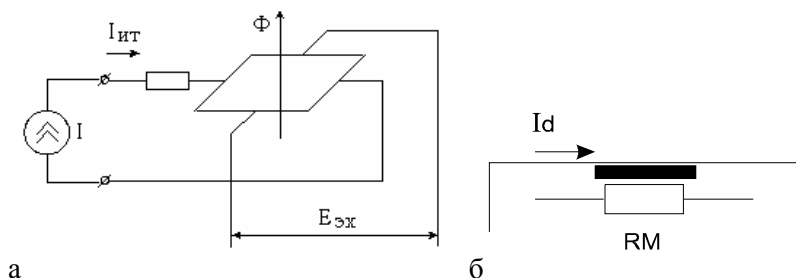
Ток трансформаторлары бар сызбалар кеңінен таралған (1.58-сурет). Трансформаторлардың шығыс кернеуі екінші орамнан өтетін токқа пропорционалды болады және үш фазалы көпірлік сызба бойынша орындалған түзеткіштің жүрісіне беріледі. $I_d = 1,22 \cdot I_{ф}$.



1.58-сурет. Ток бергіштері: ТА–ток трансформаторлары; UD–басқарылмайтын түзеткіш

Жетістіктерімен (гальваникалық шешім, күшейткіштің үлкен коэффициенті) қатар, бұл бергіштің үлкен кемшілігі де бар – инерциондығы.

1.59-суретте Холл элементі бар ток бергішінің схемасы келтірілген.



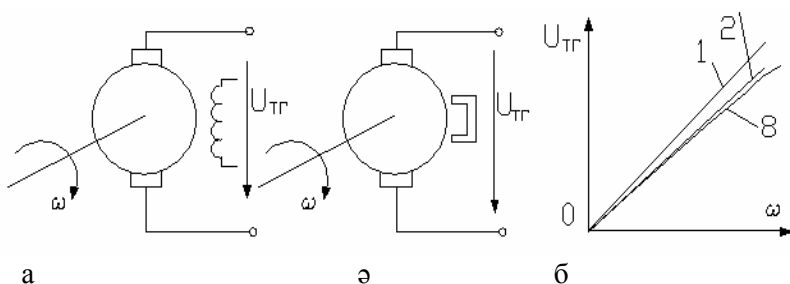
1.59-сурет. Холл элементі бар ток бергіші

Шинасы бойынша өтетін токты туғызатын $R_{RM} = f(\Phi)$ (1.59 б-сурет) магниттік өрістің шамасы бойынша токты жанама өлшейді. Магниттік резистордың өзі өлшеу көпірінің тізбегіне жалғанады.

1.4.8. Тұрақты токтың тахогенераторлары

Айналу жиілігінің бергіштері ретінде тұрақты және ауыспалы токтың микрошиналары (тахогенераторлары) қолданылады.

Тұрақты токтың тахогенераторлары тура тұрақты ток генераторлары сияқты екі негізгі бөлшектерден тұрады – статор және ротор. Айырмашылықтары щеткалы аппараттар және зәкір құрылымында болады. Магниттік өрісті құру үшін тұрақты магниттер немесе электромагниттер қолданылынады. Тахогенераторлардың сызбалары және сипаттары 1.60-суретте келтірілген.



1.60-сурет. Тұрақты токтың тахогенераторы: а – электр магниттік қозуы бар; ә – тұрақты магниттермен қозатын; б – шығыс сипаттары

Зәкірдің айналу процесінде магниттік өрістің орамдарына ЭҚК–Е келтірілген, оның шамасы зәкірдің айналым жиілігіне ω және магниттік ағым шамасына ϕ байланысты.

$$E = k \phi \omega = S \omega, \quad (1.45)$$

мұнда, k – құрылымдық коэффициент; S – коэффициент.

Көптеген жағдайда тахогенератордың жүтемесі активті кедергісі $R_{\text{яц}}$ бар элементтерді қолданады. Жүктемені қосқаннан соң зәкір орамында электр тепе-теңдігі мына түрге ие:

$$U_{\text{тг}} = E_{\text{тг}} - I_{\text{я}} R_{\text{яц}}, \quad (1.46)$$

мұнда, $I_{\text{я}}$ – зәкір тоғы; $R_{\text{яо}}$ – зәкір орамдарының кедергілерінен және щеткалы түйіспелердің өтпелі кедергілерінен тұратын зәкір тізбегінің кедергілері.

Зәкір тізбегінде кернеудің төмендеуін ескере отырып тахогенератордың сыртқы сипатын мына түрде көруге болады:

$$U_{\text{тг}} = \frac{S \omega}{1 + R_{\text{я}} / R_{\text{н}}}. \quad (1.47)$$

(1.46) және (1.47) теңдеулерінен тұрақты магниттік ағымда жүктеменің ұлғайюымен сипаттың тіктігі төмендейді, бірақ сызықтылығы сақталады. Шындығында жүктеменің ұлғайюымен зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсері өседі, магнит ағыны төмендейді және тахогенератордың сыртқы сипаттарының сызықтылығы бұзылады (1.60, б сурет).

1.4.9. Асинхронды тахогенератор

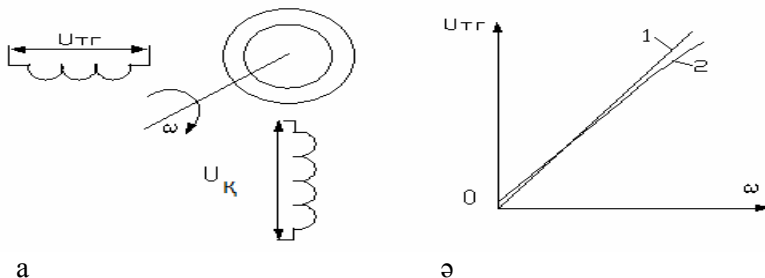
Асинхронды тахогенераторлар, тура асинхронды қозғалтқыштар сияқты екі түрге ие – екі фазалы және үш фазалы. Олардың құрылымдарында да көп нәрсе ұқсас.

Екі фазалы тахогенератордың сызбасы және оның сипаты 1.61-суретте келтірілген. Тахогенератордың статорында екі орам орналасқан – қозу және генераторлы. Тахогенератордың роторы толық цилиндрлік құрылымға ие. Қозу орамына амплитуда және жиілік бойынша тұрақты кернеу $U_{\text{пит}}$ келтірілген. Генераторлы орамнан тахогенератордың шығыс кернеу алынады. Қозу орамы бойынша өтетін айнымалы ток цилиндрлік роторда пульс беретін магниттік ағым туғызады. Ротордың айналған кезінде бұл ағым генераторлы орамдардың орамымен қиылысады және тахогенератордың шығыс кернеуі болып келетін ЭҚК келтіреді. Бұл ЭҚК шамасы ротордың айналым жиілігіне пропорционалды. Жорамалдарды ескере отырып, айналу жиілігінен шығыс кернеуінің тәуелділігі теңдеумен анықталады.

$$U_{\text{тг}} = K_{\text{тг}} \cdot \omega ,$$

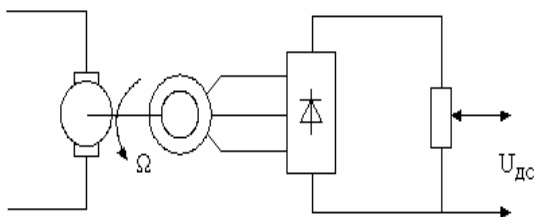
мұнда, $K_{ТГ}$ – тахогенератордың құрылымы және қозу орамының қорек кернеуінің шамасына тәуелді коэффициент, ω – тахогенератор роторының айналымының бұрыштық жиілігі.

Бұл байланыс тахогенератордың негізгі сипаты болып келеді.



1.61-сурет. Асинхронды тахогенератор: а – жеңілдетілген сызба; ә – сипаттар (1 – идеалды, 2 – реалды)

Тахогенераторды қозғалтқышқа жалғаған сызба 1.62-суретте келтірілген.



1.62-сурет

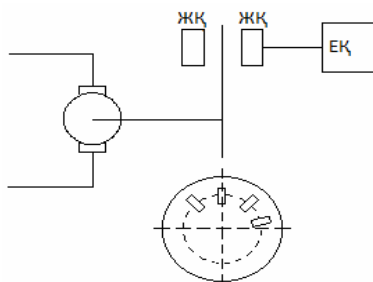
Реалды сипаттың идеалдыдан ең үлкен ауытқуы сипаттың басымен аяғында орын алған. Бұл айырмашылық көптеген факторлармен шартталған. Тахогенератордың жұмыс процесінде ротор температурасы және оның кедергісі өзгереді және бұл шығыс кернеуінің фазасымен шамасының өзгеруіне келтіреді. Статордың құрылымдық қателіктері көбінесе тахогенератордың класын анықтайтын жылжымайтын ротор кезіндегі қалдық ЭҚК пайда болуына келтіреді.

Тұрақты ток тахогенераторларымен салыстырғанда асинхронды тахогенераторлардың артықшылығы, сырғымалы түйіспелердің жоқтығымен шартталған ең жоғары сенімділік және радио кедергілерінің сипаттарына әсердің жоқтығы болып саналады.

Асинхронды тахогенераторды қолданудың негізгі саласы болып механикалық сипаттардың қатаңдығына аса жоғары емес талаптары бар автоматтандырылған электржетектер саналады.

1.4.10. Жылдамдықтың импульстік бергіші

Импульстік бергіштердің нұсқауларының бірінің сызбасы 1.63-суретте келтірілген. Бергіштің сызбасында ЕҚ – есептелетін қондырғы; ЖҚ – жарық қорегі (сәуледиодты сәуле шығарушылар); ПС – жарық қабылдағыштар.



1.63-сурет. Жылдамдықтың импульстік бергішінің сызбасы

Жарық қоректері көрінбейтін сәуле шығару спекторларына ие. Дисктағы саңылау саны 600, 3000, 6000.

Дисктағы айналымның бағыты жайында ақпарат алу үшін, кеңістікте 90° ығысқан бірнеше перфорация жасайды және фаза бойынша айналым бағытын анықтайды. Сол кезде жарық қабылдағышқа сай екінші қорекке ие болу керек.

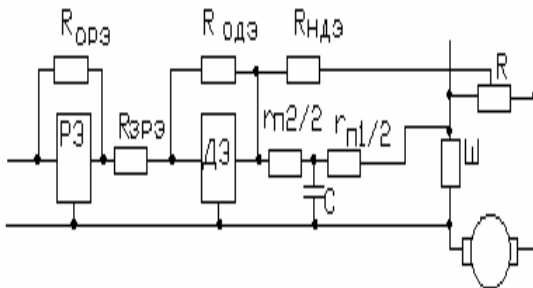
1.4.11. ЭҚК бергіштері

ЭҚК бойынша кері байланысы бар жүйе құру үшін, ЭҚК өлшегіш қажет. Сызбада келтірілген ЭҚК потенциометрдің көмегімен өлшенеді, ал қозғалтқыштың тоғына пропорционалды кернеу тұйықтағыштың көмегімен өлшенеді. (1.64-сурет). U_d және e_d арасындағы өтпелі процестегі байланысты келтірілген сызба қамтиды

$$e_d + (1 + T_a P) \cdot \gamma \cdot i \cdot R_{я}, \quad (1.48)$$

мұнда, U_d – зәкірдегі кернеу; i – зәкір тоғы; T_a – электро-механикалық уақыт тұрақтылығы ($T_a = L_a / R_a$); L_a және R_a – қозғалтқыш зәкірінің индуктивтігі және кедергісі; $\gamma = r_{п1} / (r_{п1} + r_{п2})$ – потенциометр коэффициенті; $r_{ш}$ – зәкір тұйықтағышының кедергісі.

ЭҚК бергішінің кірісіне екі сигнал беріледі: кернеу бойынша теріс және ток бойынша оң. Уақыт тұрақтылығы T_a бар инерциалық буынның функциясын орындайтын фильтр $R_{ндэ} - C_{ндэ}$, кернеу тізбегіне жалғанған.



1.64-сурет. ЭҚК реттегішінің сызбасы

Фильтр шама-шарттары теңдіктен анықталады:

$$C_{ндэ} \cdot R_{ндэ} / 4 = T_a,$$

мына шаманы береміз $C_{ндэ} = 1 \text{ мкФ}$ және $R_{ндэ}$ анықтаймыз.

$$R_{ндэ} = 4T_a / C_{ндэ}$$

Фильтрді ескере отырып, ЭҚК бергішінің сигналы кернеуі бойынша

$$\gamma U_D \cdot \frac{1}{1 + T_a p} = \frac{\gamma \cdot e_D}{1 + T_a p} + \gamma \cdot i \cdot R_a, \quad (1.49)$$

ЭҚК реттегішінің кірісіне берілетін ЭҚК бергішінің нәтижелі шығыс сигналы.

$$U_{дэ} = - \left(\frac{\gamma \cdot e_D}{1 + T_a p} + \gamma \cdot i \cdot R_a \right) \cdot K_{ндэ} + i \cdot R_{ш} \cdot K_{тдэ}, \quad (1.50)$$

мұнда, $K_{ндэ} = R_{одэ} / R_{ндэ}$; $K_{тдэ} = R_{одэ} / R_{тдэ}$ – ЭҚК күшейткіш бергіштерінің коэффициенттері кернеу тізбегі және ток тізбегі бойынша; $R_{ндэ}$, $R_{тдэ}$ – кернеу тізбегі және ток тізбегі бойынша ДЭ бергішінің кіріс кедергілері.

$$\gamma \cdot i \cdot R_a \frac{R_{одэ}}{R_{ндэ}} = i R_{шя} \cdot \frac{R_{одэ}}{R_{тдэ}} \quad \text{қабылдаймыз және аламыз}$$

$$U_{дэ} = - \frac{\gamma \cdot e_D}{1 + T_a p} \cdot K_{ндэ}, \quad (1.51)$$

ДЭ бергішінің кіріс кедергісі.

$$R_{тдэ} = r_{ш} \cdot R_{ндэ} / (\gamma \cdot R_a), \quad (1.52)$$

Сызбадан, интегралды буын $1/T_{мр}$ компенсацияланатыны көрініп тұр. Сондықтан да ЭҚК реттегіші пропорционалды типті болуы керек.

$$W_{рэ}(p) = \frac{R_{оэ}}{R_{зэ}} = \frac{T_M}{2T_{II} + T_a} \cdot \frac{K_i}{K_H}, \quad (1.53)$$

Реттегіштің кіріс кедергісін анықтаймыз

$$R_{3Э} = R_{0Э} \cdot (2T_{II} + T_a) \cdot K_H / T_M \cdot K_I, \quad (1.54)$$

мұнда, $K_H = U_{3Э \cdot MAX} \cdot / U_{Д \cdot MAX}$;

Кері байланыс тізбегі бойынша шығыс кедергі

$$R_{Э} = \frac{\gamma}{K_H} \cdot \frac{R_{0ДЭ}}{R_{НДЭ}} \cdot R_{3Э};$$

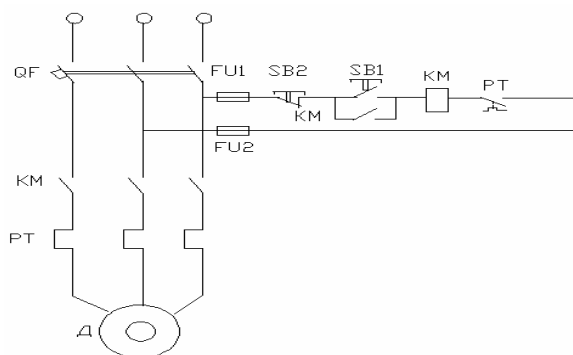
мұнда, γ – қозғалтқыштың потенциометрінің коэффициенті.

2. ЭЛЕКТРЖЕТЕГІ

2.1. Асинхронды қозғалтқыштармен басқарылатын типтік сызбалар

Басқарудың типтік сызбалары деп асинхронды қозғалтқышпен басқаратын қарапайым сызбалары аталады және олардың негізгі элементтері, релелі-түйіспелі аппаратурасы болып келеді. Электржетектердің бұл категориясына қысқаша тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштардың реверсивті және реверсивсіз басқару сызбалар және фазалы роторы бар асинхронды қозғалтқыштардың реостатты басқару сызбалары жатады.

Қозғалтқышты басқарудың реверсивті емес сызбасында (2.1-сурет) SB1 және SB2 батырмалары, жылулық реле түйіспелері РТ, магниттік қосқыштың катушкасы КМ асинхронды қозғалтқыш Д жалғанған электр желісінің (екі фаза арасындағы) сызықты кернеуіне қосылған бір тізбекті құрайды. Бастапқы жағдайға сызба автоматты айырып – қосқышты қосу арқылы келтіреді.



2.1-сурет. Асинхронды қозғалтқышты басқарудың типтік реверсивсіз сызбасы

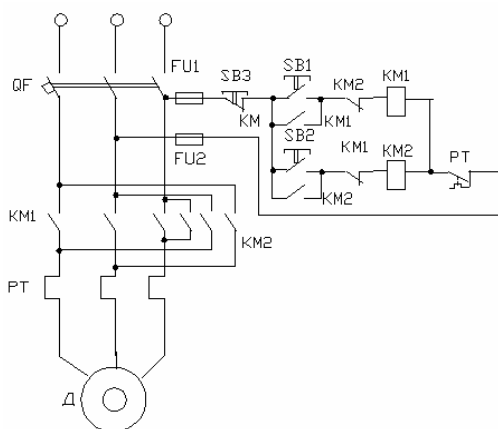
Қозғалтқыштың қосылуы магниттік қосқыштың КМ катушкасының қорек тізбегін өзінің түйіспелерімен тұйықтайтын SB1 батырмасын басу арқылы жүзеге асады.

Қосылғаннан соң қосқыш КМ өзінің күштік түйіспелерімен қозғалтқышты желіге қосады, ал КМ қосымша түйіспелері SB1 батырмасын тұйықтайды. Осымен КМ қосқышын қосылған жағдайда ұстап тұруды, сосын SB1 батырмасын жіберуді қамтамасыз етеді.

Қозғалтқышты сөндіру SB2 батырмасын басу арқылы жүзеге асады, содан кейін КМ катушқасының қорек тізбегі ажырайды және бастапқы жағдайға келеді.

Электр қозғалтқышын аса жүктеу кезінде қосқыштың қорек тізбегін ажыратқыш түйіспелер РТ ажырататын электромагниттік (жылулық) реленің РТ бірі қосылады. Сол кезде магниттік қосқыш сөнеді және қозғалтқыш тоқтап қалады.

Фазалы роторы бар асинхронды электр қозғалтқышты реверсивті түрде басқару екі қосқыштар КМ1 және КМ2 (реверсивті қосқыштар) арқылы жүзеге асады. Асинхронды қозғалтқышты реверсивті басқарудың сызбасы 2.2-суретте келтірілген.



2.2-сурет. Асинхронды қозғалтқышты басқарудың реверсивтік сызбасы

Басқару тізбегі электр қозғалтқышы қоректенетін желіден қоректенеді. Сөндіру батырмасы SB3 және жылулық реле түйіспелері бір тізбекте орналасқан. Электр қозғалтқыш Қ қосу

үшін бір жаққа айналдыра отырып SB1 батырмасын басамыз. Сол кезде KM1 қосқышының катушкасының қорек тізбегінде оның түйіспесі тұйықталады. Қосқыш KM1 басты түйіспелермен KM1 қосылғаннан соң қозғалтқышты желіге қосады, тұйықталған қосымша түйіспелердің бірімен KM1 қосқыш катушкасының тізбегі KM2 ашады, екінші қосымша түйіспелермен батырма SB1 тұйықталады. KM2 катушкасының қорек тізбегінде ажыратқыш түйіспелер KM1 бір дегеннен екі қосқыш KM1 және KM2 қосу мүмкіндігін жоққа шығарады. Бұндай қосу электрлік бағыттауды жүзеге асырады.

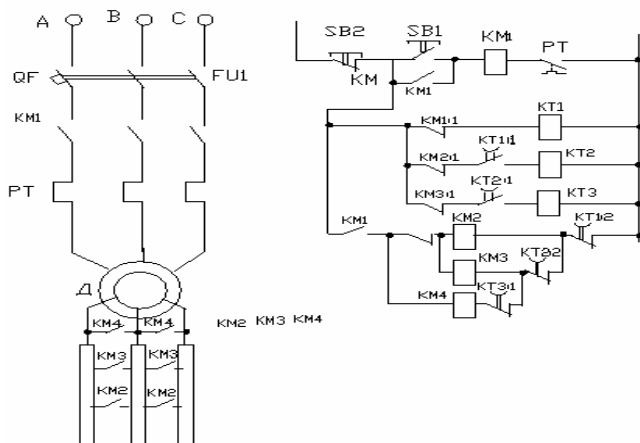
Реверсивті сызбада қозғалтқышты сөндіру дәл реверсивті еместегідей - SB3 батырмасын басу арқылы («Тоқта») жүзеге асырылады.

Қарсы жаққа айналатын электр қозғалтқышын қосу үшін SB2 батырмасын басады. Ары қарай сызба дәл алдыңғы жағдайдағыдай жұмыс жасайды. Қосылғаннан соң қосқыш KM2 қозғалтқыштың екі фазасын ауыстырып қосады және оның магниттік өрісі қарсы бағытта айналатын болады.

Фазалы роторы бар асинхронды қозғалтқыштың басқару сызбасы 2.3-суретте келтірілген.

Қозғалтқыштың күштік тізбегіне автоматты айырып қосқыш QF және магниттік қосқыштың KM1 басты түйіспелері кіреді. Қозғалтқыштың роторлы тізбегіне R резисторлары қосылған.

Басқару тізбектеріне: SB1 және SB2 батырмалары, PT электромагниттік реле түйіспесі, KM1, KM2–KM4 магниттік қосқыштарының катушкалары және KT1–KT3 уақыт релесі жатады. Қорек күштіктер жүзеге асатын желіден жүзеге асады. Барлық уақыт релесі уақытты ұстамастан қосылатыны, ал уақыт ұстанымымен қайтатынын ескеру қажет. Бастапқы жағдайда (айырып қосқышты қосқанға дейін QF) басқару тізбектеріне қорек түспейді, өйткені магниттік қосқыш KM1 және уақыт релесі KT1–KT3 сөндірулі. Айырып қосқышты QF қосқан кезде басқару тізбектеріне қорек келтіріледі. Сол кезде түйіспемен KM1:2 тұйықталған магниттік қосқыш KM1 бойынша ток уақыт релесінің катушкасы арқылы өтетін болады, ол қажетті тізбектерде түйіспе KT1.1 тұйықтап және түйіспе KT1:2 аша отырып, қосылады.



2.3-сурет. Фазалы роторы бар асинхронды қозғалтқышты басқару сызбасы

Қосылғаннан соң уақыт релесі $KT1$, түйіспе $KT2:1$ тұйықтап және түйіспе $KT2:2$ аша отырып қосылатын $KT2$ уақыт релесінің катушқасының тұйықталған тізбегінде болады. Қосылғаннан соң уақыт релесі $KT2$ өзінің түйіспесін $KT3:1$ ашып қосатын уақыт релесінің тұйықталған тізбегінде болады. Осылайша, автоматты айырып қосқышты қосқаннан соң басқару тізбектері электр қозғалтқышты M қосуға дайын жағдайға өтеді: уақыт релелері $KT1-KT3$ қосулы болады, олардың түйіспелері $KT1:1$, $KT2:1$ – тұйықталған, ал $KT1:2$, $KT2:2$ және $KT3:1$ – ашық.

Электр қозғалтқышын M қосу үшін қозғалтқышқа қорегін келтіретін өзінің күштік түйіспелерін тұйықтау және дайындаған тізбек-тегі $KM 1:3$ және тұйықталатын батырма түйіспесі $SB1$, қосымша түйіспе $KM1:1$ арқылы қосылатын магниттік қосқыштың $KM1$ тізбегін тұйықтатын $SB1$, батырмасын басу керек. Тізбекте бір сәтте түйіспе $KM1:2$ ашылады және электр қозғалтқышының айналым жиілігін ары қарай ұлғайту нормаға дейін процесі автоматты түрде өтеді.

Уақыт релесі $KT1$ магниттік қосқыш $KM1$ түйіспесі $KM1:2$ - мен өзінің катушқаларын ашудың салдарынан қажетті тізбектерде түйіспе $KT1:1$ ашып және түйіспе $KT1:2$ тұйықтап

бастапқы қалпына келеді. Контактор $KM2$ катушкасының тізбегі тұйық болғандығынан, контактор өзінің барлық күштік түйіспелерін тұйықтап және үлкен жиілікте айнала бастайтын электр қозғалтқыш M ротор тізбегіндегі резисторларының кедергісін жартылай төмендете отырып қосылады.

Уақыт релесінің $KT2$ катушка тізбегінде түйіспені $KTI:1$ ашу реле бір берілген уақыт аралығында $KT2:1$ түйіспесін ашып және $KT2:2$ P түйіспесін тұйықтай отырып бастапқы қалпына оралуына келтіреді. Сол кезде контактор $KM3$ қосылады, ол өзінің барлық күштік түйіспелерін тұйықтайды, бұл электр қозғалтқыштағы M жиілік айналымын ұлғайтуға және ротор тізбегінде резисторлар кедергілерін азайтуға келтіреді. Қарастырылған фазалы роторы бар асинхронды қозғалтқышты басқару көбінесе реостатты деп аталады. (2.1) және (2.2) суреттерде келтірілген қысқаша тұйықталған роторы бар қозғалтқыштарды басқару сызбасынан реостатты басқару сызбасының айырмашылығы қосу тоғының шектелуімен және жүктеме бар кезде бұрыштық жылдамдықты реттеумен қамтылған.

2.2. Тиристорлы түрлендіргіш электржетек – тұрақты ток қозғалтқышы

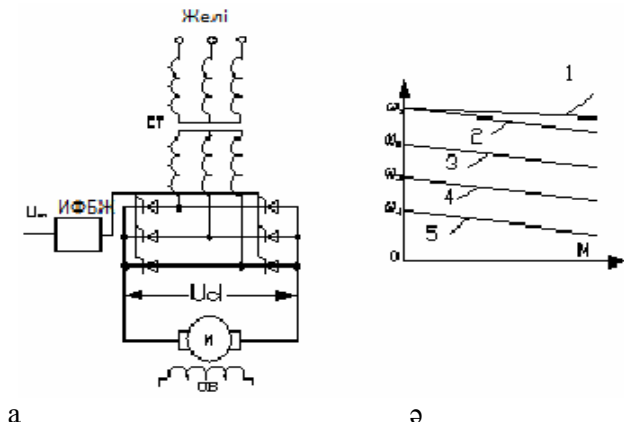
2.2.1. Электржетегінің жұмысын талдау

Тиристорлы түрлендіргіш электржетегінің тұрақты ток қозғалтқышының (ТТ-Қ) жеңілдетілген сызбасы 2.4-суретте келтірілген.

Сызба үш фазалы көпірлік схема бойынша орындалған тиристорлы түрлендіргіштен және тұрақты ток қозғалтқышынан тұрады. Бұл жүйеде жұмыс жасаған кезде қозғалтқыштың механикалық сипатының теңдеуі табиғи сипаттың теңдеуінен тек қана зәкір тізбегіндегі (түрлендіргіштің ішкі кедергісі) қосымша кедергінің бар екендігімен айрықшаланады.

$$\omega = \frac{U_d}{k\phi} - \frac{R_n + R_\alpha}{\kappa^2 \phi^2}, \quad (2.1)$$

мұнда, $U_d = E_{dc} \cos \alpha$.

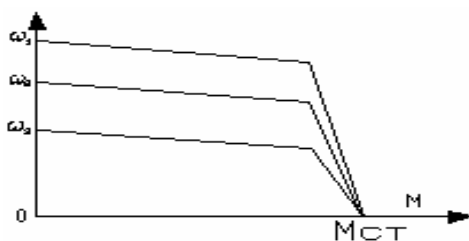


2.4-сурет. Электржетек ТТ-Қ: а – сызба; ә – сипаттар

Сондықтан да шығыс кернеуінің ТТ түрлі шамасында алынған ТТ-Қ жүйесіндегі барлық механикалық сипаттардың қатаңдығы табиғи сипаттан алынған қатаңдылықтан аз болады. Осындай сипатқа ие электржетек жұмыс механизмінің талаптарын қанағаттандырмайды. Жүктеменің көбеюімен жылдамдықтың төмендеуі өнімділіктің төмендеуіне, кейде өнім сапасының нашарлауына келтіріледі. Қозғалтқыштың жүктемесінің шамасы жетекпен шектелмейді. Механизмде тежегіш режим болғандығынан зәкір тоғымен біліктегі жүктеме шектелген шамадан біраз асуы мүмкін.

Егер жүктемені көбейткен сайын түрлендіргіштің шығыс кернеуін сонымен бірге ұлғайтсақ (бұл сызбада α реттеу бұрышын өзгерту), тым қатаң сипаттар алуға болатындығы (2.1) теңдеуінен көрініп тұр. Аса жүктелу аумағында зәкірдегі кернеуді төмендете отырып, тоқты рұқсат етілген деңгейде шектеуге болады.

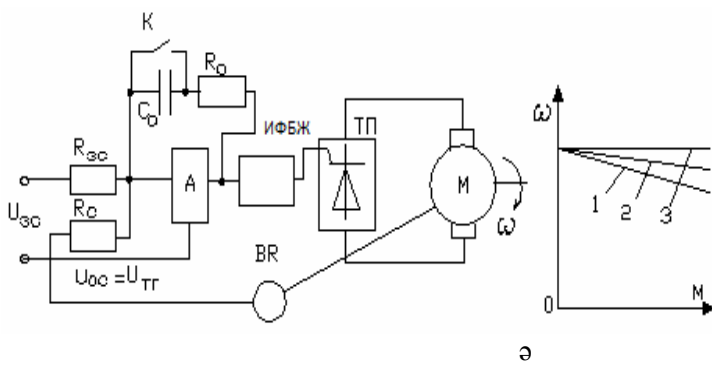
Бұндай сипаттардың мысал ретіндегі түрі 2.5-суретте келтірілген. Олар екі бөлімшеге ие: көлденең және түйіспе. Көлденең бөлімшеде қатаң механикалық сипат жүктеме ұлғайған сайын зәкірдегі кернеудің көбеюі арқылы жүзеге асырылады, ал аса жүктелу аймағында бұрыштық жылдамдықтың қарқынды төмендеуі – сол кернеудің қарқынды азаюымен жүзеге асырылады.



2.5-сурет. Қозғалтқыш зәкіріндегі кернеудің түрлі шамаларындағы мысал ретіндегі механикалық сипаттары

Электржетегінің жүйелерінде, соның ішінде ТТ-Қ жүйесінде, талап етілген статикалық және динамикалық қасиеттерді құрау, қажетті шама-шарттарды түзету үшін сигнал туғызатын бергіштер және реттеу жүйесіне түзеткіш қондырғылар (реттегіштер) енгізу жолымен жүзеге асырылады.

Қозғалтқыштың берілген айналым жиілігін түзеткіш қондырғыларының көмегімен тұрақтандыру мүмкіндігі 2.6-суретте айқындалған.



2.6-сурет. Электржетек ТТ-Қ: а – сызба; б – сипаттар: 1 – ашық сызбада; 2 – П-реттегішпен; 3 – ПИ-реттегішпен.

Сипаттардың қатаңдығын жоғарылату үшін көбінесе реттегіштердің екі типі (П-реттегіш және ПИ-реттегіш) және кері байланыс тізбегіне қосылған айналым жиілігінің бергіші

(тахогенератор) қолданылынады. Оның кіріс шамасы болып қозғалтқыштың айналым жиілігі ω , шығыс – кернеуі $U_{\text{ТТ}}$ саналады. Алдыменен жетектің П – реттегішпен жасайтын жұмысын қарастырайық (К кілті тұйықталған). Оның кірісіне тахогенератордан түсетін қозғалтқыштың $U_{\text{ТТ}}$ бұрыштық жиілігінің айналымы бойынша кері байланыс және берілген сигналдар айырымы U_3 беріледі. Реттегіштің шығыс сигналы $U_y = (U_3 - U_{\text{ТТ}})K_p$ ИФБЖ кірісіне түседі, яғни тиристорлы түрлендіргіш үшін басқару сигналы болып келеді. Жүктемені көбейткен сайын қозғалтқыштың жиілік айналымы ω және $U_{\text{ТТ}}$ төмендейтін болады, сигнал айырымы $(U_3 - U_{\text{ТТ}})$ және U_y шамасы соған сай өседі, яғни жүктеме көбейген сайын зәкірдегі кернеу түйіспе жылдамдығының $\Delta \omega = (R_g + R_z)I/k\phi$ шамасын жартылай өтей отырып, ұлғаяды.

П – реттегіші бар электржетегінің сызбасында сипаттар қатандығы реттегіштің күшею коэффициенті жоғарылаған сайын ұлғаятыны көрініп тұр. Бірақ күшею коэффициенті жоғары болған сайын электржетегінің жүйесі онша тұрақты емес болады.

Сипаттардың аса жоғары қатандығын алу үшін, ПИ – реттегіш (К кілті ашық) қолданылады. ПИ – реттегішінің шығыс сигналы U_y оның кірісінде кернеудің болуымен өседі. Бұл сигналдың кернеуінің айырымымен $U_3 - U_{\text{ТТ}}$ анықталады. Қозғалтқышты қосу моменті $U_{\text{ТТ}} - 0$ және U_{3c} үлкен шамасының ықпалымен ПИ – реттегішінің шығыс кернеуі қарқынды өседі. Осынған сай зәкірдегі кернеу U_d және қозғалтқыштың айналым жиілігі ω өседі. ω ұлғайған сайын айырым $U_3 - U_{\text{ТТ}}$ төмендейтін болады, қозғалтқыш берілген айналым жиілігіне қол жеткізген кезде тепе-теңдік болады $U_3 = U_{\text{ТТ}}$, ол кезде ПИ – реттегішінің кіріс кернеуі нөлге тең болады, ал шығысы – берілген мәнге. Қозғалтқыш ω сәл ғана төмендеген кезінде реттегіштің кірісінде кернеу айырымы пайда болады және реттегіштің шығыс кернеуі тепе-теңдік болғанға дейін өседі $U_3 = U_{\text{ТТ}}$, бұл кезде қозғалтқыш берілген жиілікпен қайта айнала бастайды. Статикалық сипаттың түзеткіш қондырғысы ретінде ПИ – реттегішті қолдану абсолюттікке жақын қатандығы бар сипатта алуға мүмкіндік беретіні қарастырылғаннан көрініп тұр.

Электржетек жүйесі талап етілетін статикалық сипаттардан бөлек өтпелі процестердің: реттеу уақыты t_p , аса реттеу $\sigma = (\omega_{\max} - \omega_{\text{уст}}) / \omega_{\text{уст}}$ және тербеліс (өтпелі сипаттағы тербеліс санымен), сапа көрсеткіштерімен анықталатын қажетті динамикалық қасиеттерге ие болуы тиіс. Барлық осы шамалар өзара байланысқан болып келеді. Бір көрсеткіштің жақсаруы екіншісінің нашарлауына және керісіншеге келтіріледі. Электржетекке деген жалпы талаптар:

- жүйе тұрақты болуы тиіс;
- берілген қозғалтқыштың нақты айналу жиілігінің ауытқуы берілген шамадан аспауы керек;
- жүйе өтпелі процестің қажетті сапасын қамтуы керек (тез әрекеттену, аса реттелудің шамасын және тербеліс санын).

Жетектердің статикалық және динамикалық қасиеттері электржетектің негізгі элементтерінің – қозғалтқыштың және түрлендіргіштің динамикалық қасиеттерін ескере отырып, реттегіштердің көмегімен құрылады. Немесе электржетек жүйесінің көрсеткіштер сапасы реттегіштер типіне, олардың динамикалық қасиеттері мен баптауына байланысты.

2.2.2. Электржетегінің статикалық сипаттары мен динамикалық қасиеттерін құру

ТТ-Қ жүйесіне талап етілетін статикалық сипаттар және динамикалық қасиеттерді реттеу жүйесіне қосымша элементтерді: бергіштер және реттегіштерді енгізу жолымен алуға болады. Электржетегінің динамикалық қасиеттері басқаратын және қоздыратын әсерлер кезіндегі өтпелі процестер сипаты бойынша анықталады. Реттегіштердің көмегімен қажетті статикалық сипаты алуға мүмкіндік беретіндігі 2.6-суретте келтірілген және мысалда қарастырылған. Ары қарай реттегіштің көмегімен және олардың түзеткіш қасиеттерімен электржетегінің қажетті динамикалық сипатын алу мүмкіндігін қарастырамыз.

Реттеу жүйелерінде екі канал бар: тура басқарып сигнал берілетін және кері байланыстар. Түзеткіш қондырғыларды қосу орындарына байланысты сызбалар тізбектей және параллельді түзетуі бар басқарулар деп бөлінеді.

Осы жүйелердің әрқайсысы өздеріне тән жетістіктерге

және кемшіліктерге ие. Параллельді түзеткіші бар жүйелердегі тұрақты сипатқа кері байланыспен қамтылған буындардың арқасында қол жеткізуге болады. Параллельді түзеткіші бар сызбалар кедергілерге төзімдірек болады. Параллельді түзеткіші бар жүйелердің негізгі кемшіліктері: есептің күрделілігі, баптау кезіндегі үлкен жұмыс атқарушылық (олардың шама-шарттарының бірінің өзгергенінде басынан есептеу қажет және басқаларды өзгерту керек).

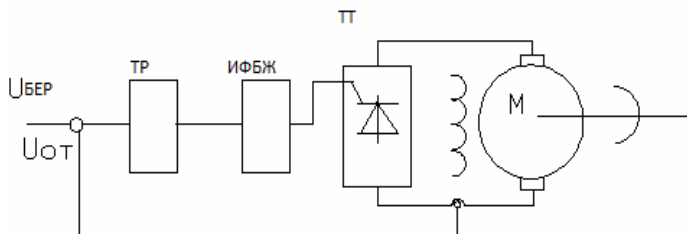
Тізбектелген түзетуі бар жүйелердің жетістіктері:

- қарапайым және ыңғайлы есептеу және баптау әдістері;
- әрбір контур басқа баптауларға қарамастан баптала береді;
- түрлі шама-шарттардың ыңғайлы шектелулері және мүмкіндіктері.

Тізбектелген түзетуі бар жүйелерде басты және қосымша шама-шарттар бар. Тұрақты ток электржетегінде көптеген жағдайда басты шама-шарт болып айналымның бұрыштық жиілігі саналады. Бұл шама-шарт сыртқы контурға шығыс және ішкі контурға берілген сигнал болып келеді. Көп контурлы жүйелерде әрбір сыртқы контурдың шығыс сигналы ішкі контурдың берілген сигналы болады. Осы белгі бойынша тізбектелген түзеткіші бар жүйені көбінесе қол астында басқаруы бар жүйе деп атайды.

2.2.3. Электржетектің шама-шарттарын баптау критеріі

Баптау әдістерін ток контуры бар ТТ-Қ жүйесінің мысалында қарастырайық (2.7-сурет) [19].



2.7-сурет. Токты контуры бар ТТ-Қ жүйесінің функционалды сызбасы

Мысалы: ток реттегіші беріліс функциясы бар ПИ – реттегіш болғанда

$$W_{\text{пр}}(P) = \frac{K_p(T_P+1)}{T_P} \quad (2.2)$$

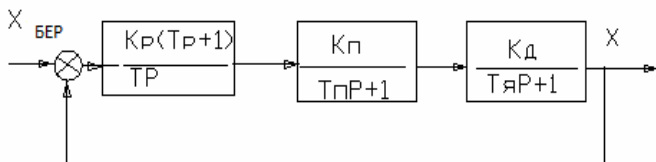
Реттеу объектісі болып электр қозғалтқыш саналады. Реттегіштің беріліс функциясынан бөлек реттеу контурына қозғалтқыштың электр бөлігінің беріліс функциясы (реттеу объектісі) кіреді.

$$W_{\text{эд}}(p) = \frac{K_d}{T_d p + 1}, \quad (2.3)$$

Түрлендіргіштің беріліс функциясы

$$W_{\text{п}}(p) = \frac{K_{\text{п}}}{T_{\text{п}} p + 1} \quad (2.4)$$

Ток бойынша кері байланысы бар электржетектің құрылымдық схемасы 2.8-суретте келтірілген.



2.8-сурет. Токты контуры бар ТТ-Қ құрылымдық сызбасы

Реттеу объектісінің контурына бір үлкен (T_d) және бір кішкене уақыт тұрақтылығы $T_{\text{п}}$ кіреді.

Реттеу объектісінің беріліс функциясы

$$W_o(p) = \frac{K_o}{(T_{\text{п}} p + 1)(T_d p + 1)}, \quad (2.5)$$

мұнда, $K_o = K_d \cdot K_{\text{п}}$.

$T = T_d$ деп алсақ, онда ашық жүйенің беріліс функциясы мынадай:

$$W_{\text{раз}}(P) = W_p(P) W_0(p) \quad (2.6)$$

Тұйық жүйенің беріліс функциясы

$$W_{\text{зам}}(P) = \frac{W_{\text{раз}}(P)}{W_{\text{раз}}(P)+1} = \frac{1}{TTE} P^2 + \frac{T}{KpKo} P + 1 \quad (2.7)$$

Тұйық контур динамикалық тұрғыда екінші реттік жүйе болып саналады.

Талдауға ыңғайлылау басқа формада 2.7-теңдеуі мына түрге ие:

$$W_{\text{зам}}(P) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_0^2} p^2 + \frac{2\xi}{\omega_0} p + 1} \quad (2.8)$$

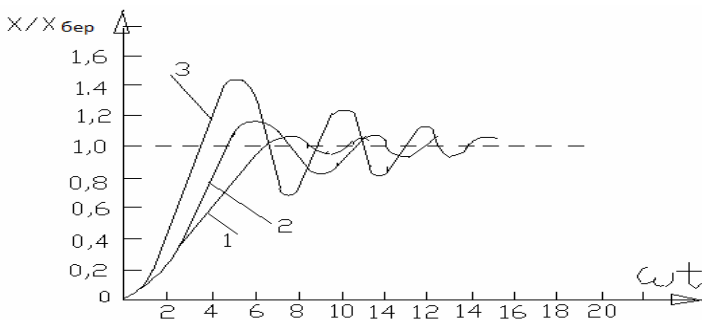
(2.7) теңдіктен бәсеңдетілмеген тербелістің ω_n шамасы және бәсеңдеу ξ коэффициентінің α және β коэффициенттеріне тәуелділігін табуға болады.

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}, \quad \xi = \frac{\beta}{2\sqrt{\alpha}} \quad (2.9)$$

$\xi < 0$ кезінде және сатылы кіріс сигналында (тербеліс жүйесінде) өтпелі процесстер теңдеумен анықталады [18]

$$X(t) = 1 - \frac{1}{\sin\varphi} e^{-\xi \omega_n t} \sin(\sqrt{1 - \xi^2} \omega_n t + \varphi) \quad (2.10)$$

(2.10) теңдеуі бойынша құрылған байланыстар $x(t)$ ($i(t)$ ток контурында) бәсеңдеу коэффициентінің ξ үш мәнінде де 2.9-суретте келтірілген түрге ие. Суреттен бәсеңдеу коэффициентін төмендетумен бірге тез әрекет ету және аса реттеу ұлғаятыны көрініп тұр.



2.9-сурет. Бәсеңдеудің түрлі коэффициенттеріндегі өтпелі сипаттар:

$$1 - \xi_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad 2 = \xi_2 < \xi_1; \quad 3 - \xi_3 < \xi_2.$$

Электржестектің жүйелеріндегі аса реттеуі бар $\delta = (X_{\max} - X_{\text{уст}}) / X_{\text{уст}}$ (4-5)% өтпелі сипатты тиімді болып қабылданған [10].

Бұл шешім екені көрініп тұр: бәсеңдеу коэффициентінің төмендеуімен тез әрекетті ұлғайтуға, ал ұлғаяуымен – аса реттеуді төмендетуге болады.

Сонымен, тиімдеудің мақсаты, аса реттеу 4-5% интервалында болған кезінде реттегіштің K_p күшею коэффициентің алуға келтіру болып саналады. (2.8) және (2.9) теңдіктерден мынаны табамыз:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_p K_o}{T D_1}}; \quad \xi = \sqrt{\frac{T_1}{K_p K_n T D_2}}. \quad (2.11)$$

$\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$ мәнін (2.11) теңдеуіне қоя отырып, табамыз

$$K_p = \frac{T}{K_o 2 T_1} \quad (2.12)$$

K_p мәнін (2.2) теңдеуіне қоя отырып, реттегіштің беріліс функциясының теңдеуін табамыз

$$W_{pr}(P) = \frac{K_p(IP+1)}{K_o 2T_{\mu}P} \quad (2.13)$$

(2.13) теңдеуі бойынша есептелген шама-шарттары бар ток контурына ПИ – реттегішін қосқан кезде, токтың өтпелі процесі стандартты аса реттеуге ие болады 4,3%. Контурдың мұндай баптауы техникалық немесе модульдық оптимум МО деп аталады.

2.2.4. Аз уақыт тұрақтылығы бар буынға және интегралдаушы буынға ие объект, МО контур тиімділігі

Контурлардың құрылымдық сызбалары 2.10-суретте келтірілген. Модульды оптимумға баптау:

$$W^P(p) = W_p(p)W_o(p) = W_p(p) \frac{k_o}{T_o p(T_{\mu}p + 1)} = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)};$$

$$W_p(p) = \frac{T_o}{2k_o T_{\mu}} = k_p - \text{П} - \text{типті реттегіш.}$$

П – реттегіші бар контур жалпы жағдайда статикалық болып саналады. Кейбір жағдайларда, егер, объектінің интегралдаушы буыны қозу әсерінің нүктесіне дейін орналасса, онда контур астатикалық болып саналады.

2.10, а, ә-суреттерінде қозу бойынша астатикалық контур және қозу бойынша статикалық жүйе келтірілген.

Екі нұсқада тапсырма бойынша жүйе астатикалық болып саналады, өйткені буындардың бірі интегралды бөлікке ие. Жүйені сапалы талдау кезінде тұрақталған режимде нөлге тең интегралды бөлігі бар буыннан бастау қажет.

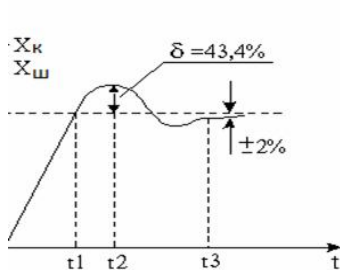
Қозу бойынша астатикалықтың екі нұсқауы ғана бар: а) бұл жағдайда объектінің интегралды бөлігі қозу әсерінің нүктесіне дейін орналасқан. Нұсқау ә) қозу бойынша статикалық, өйткені қозу әсері, яғни қателік бар кезде интегралдаушы бөліктің кірісінде нөлдік сигнал болуы мүмкін.

$$2a_0a_2 = a_1^2 \rightarrow 2k_p k_0 T_{\text{ИЗ}} T_0 = k_p^2 k_0^2 T_{\text{ИЗ}}^2 \rightarrow 2T_0 = k_p k_0 T_{\text{ИЗ}};$$

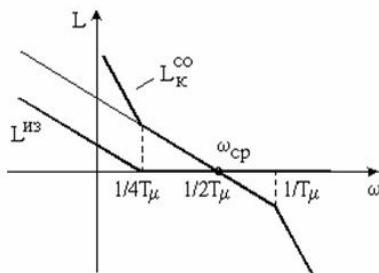
$$2a_1a_3 = a_2^2 \rightarrow 2k_p k_0 T_{\text{ИЗ}}^2 T_0 T_{\mu} = T_{\text{ИЗ}}^2 T_0^2 \rightarrow 2k_p k_0 T_{\mu} = T_0;$$

$$k_p = \frac{T_0}{2k_0 T_{\mu}}; \quad 2T_0 = \frac{T_0}{2k_0 T_{\mu}} k_0 T_{\text{ИЗ}}; \quad T_{\text{ИЗ}} = 4T_{\mu};$$

$$W^p(p) = \frac{T_0}{2k_0 T_{\mu}} \cdot \frac{4T_{\mu} p + 1}{4T_{\mu} p} \cdot \frac{k_0}{T_0 p (T_{\mu} p + 1)} = \frac{4T_{\mu} p + 1}{4T_{\mu} p} \cdot \frac{1}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)}.$$



2.12-сурет



2.11-сурет

2.11-суретке сай, ашық контурының симметриялы автоматты жиілік сипаттамасы (САЖС), автоматты жиілік сипаттамасының (АЖС) қысық жиілігіне қатысты симметриялы болады. Бұл симметриялы оптимум бойынша баптау деп аталады.

$$W_3^3(p) = \frac{1 + 4T_{\mu} p}{1 + 4T_{\mu} p + 8T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu}^3 p^3}.$$

Тұйық контурдың беріліс функциясы тек қана T_{μ} анықталады. Бұл беріліс функцияға 2.12-суретте келтірілген өтпелі процеске сай.

$$t_1 = 3,1T_{\mu}; \quad t_3 = 16,5T_{\mu}; \quad \delta = 43,4\%.$$

Аса реттелу беріліс функцияның алымында жылдамдатқыш мүшесінің болғандығымен іске асады. Мұнда аса реттелу рұқсат

етілмеген. Аса реттелудің төмендеуі үшін тұйық контурдың кірісіне фильтр жалғанады (2.13 суретке қара).

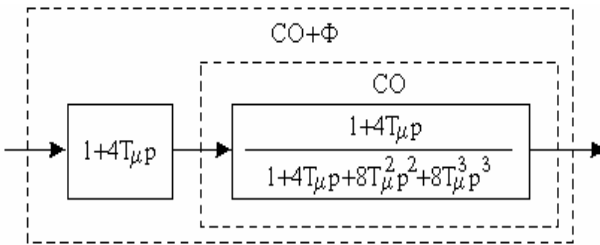
Фильтрдің беріліс функциясы

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{1 + 4T_{\mu}p};$$

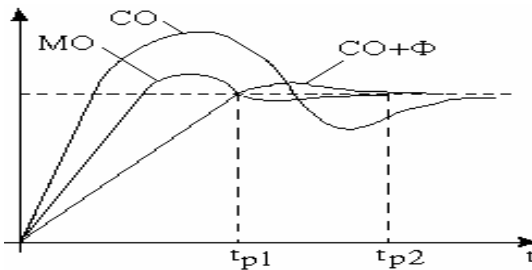
$$W_{z(\text{CO}+\Phi)}^3(p) = \frac{1}{1 + 4T_{\mu}p + 8T_{\mu}^2p^2 + 8T_{\mu}^3p^3} \approx \frac{1}{1 + 4T_{\mu}p}.$$

Контурдың түрлі баптау кезінде өтпелі процестердің сызбалары 2.14-суретте келтірілген. Контурды түрлі баптау кезіндегі өтпелі процестердің сипаттары 2.1-кестеде келтірілген.

СО мен МО баптауды салыстыра отырып, МО-ға баптау сәл көбірек реттеуге және аса тез әрекетке ие болады деген қорытындыға келуге болады, бірақ сонымен қатар жүйе статикалық болып саналады.



2.13-сурет



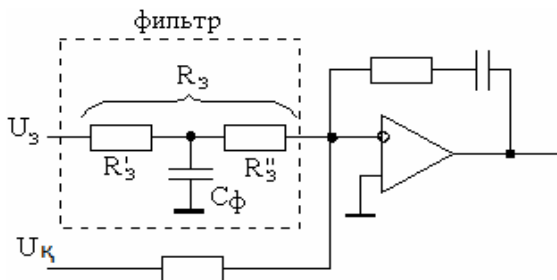
2.14-сурет

Баптау сипаттары

Баптау	СО	МО	СО+Ф
$\sigma, \%$	43,4	4,3	8,1
t_1	$3,1T_\mu$	$4,3T_\mu$	$7,6T_\mu$
t_3	$16,6T_\mu$	$8,4T_\mu$	$13,3T_\mu$

Симметриялы оптимум (СО) тиімделуі кезінде тез әрекеттелу және аса реттелу МО баптау кезінен қарағанда екі есе нашар, бірақ жүйе астатикалық болып кетеді.

Кірісіндегі фильтрмен аса реттеу шығыс фильтріндегі сигналдың секірісін ауыстыру себебімен, яғни контур кірісіндегі экспонентамен, төмендейді. Жүйенің кірісінде фильтрдің техникалық жүзеге асуы 2.15-суретте келтірілген.



2.15-сурет. Фильтрдің техникалық жүзеге асуы

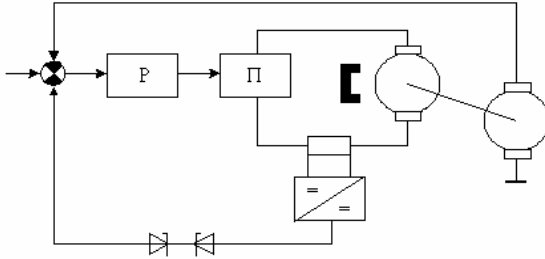
Аз ғана уақыт тұрақтылығы бар буыннан және интегралдаушы буыннан тұратын объекті үшін, ПИ – реттегішті қолдану, қозу және тапсырма бойынша астатикалық жүйені құруға мүмкіндік береді.

2.2.6. Көп контурлы жүйелерді құру принциптері

АЭЖ-дегі реттеу процесінде рұқсат етілген деңгейдегі (ток, кернеу және басқа) ЭЖ бірнеше координатын шектеуді және бақылауды талап етеді, сондықтан да АЭЖ заманауи жүйелері көбінесе көп контурлы.

АЭЖ көп контурлы жүйелерін құру принциптері:

- бір реттегішпен (2.16-сурет);
- n-санды реттелетін шама-шарттарымен.



2.16-сурет

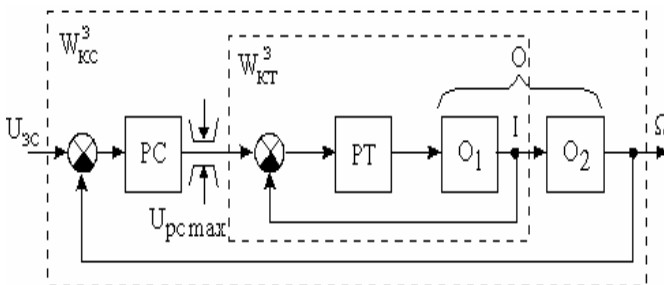
Бір реттегіші бар жүйелердің кемшіліктері:

- реттегішті ымыраласып баптау кезінде талап етілетін сапаға қол жеткізілінеді.

Жетістіктері:

- егер бірнеше реттегіштерді (бірақ олардың бірлескен жұмыстарын қамтитын буын бұл жағдайда қиындайды) қолданса, ең тез әрекеттілікке қол жеткізу.

Реттеудің екі контуры бар көп контурлы жүйелер 2.17-суретте келтірілген.



2.17-сурет

Әрбір контурда реттегіш бар кезде барлық шама-шарттар тиімді баптауға ие. Реттелетін сигнал $U_{зс}$ жылдамдықтың

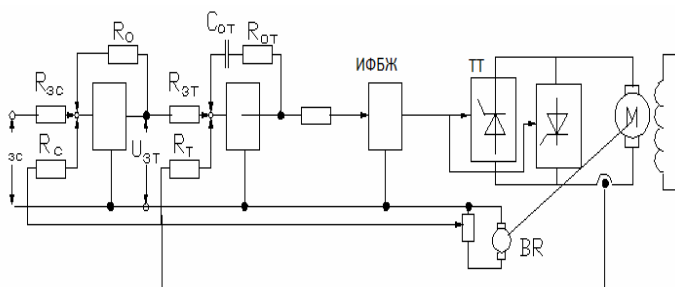
контурының кірісіне беріледі, бұл контурдың шығыс сигналы ішкі контур (ток контуры) үшін берілген болып саналады. Ток контуры жылдамдық контурына бағынышты болып келеді, (шама-шарттарды бағындырып реттейтін жүйе жүзеге асырылған).

Жетістіктері:

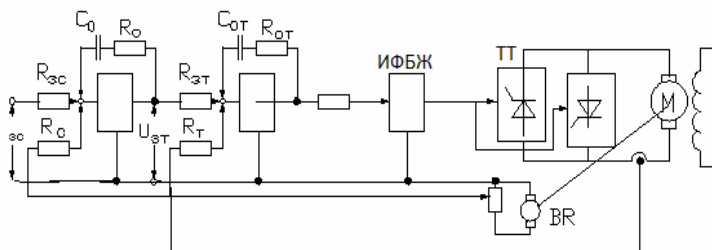
- әрбір шама-шартты басқарудың тиімді заңдылығын жүзеге асыру мүмкіндігі;
- қажетті реттегіштің кірісіндегі сигналды шектеу арқасында реттелетін шаманың максимальды мәнін шектеудің қарапайымдылығы.

Қарастырылған реттеу жүйелерінің контурларына реттегіштерді енгізу және қажетті олардың баптауынан электржетегінің қажетті динамикалық қасиеті мен статикалық сипаттарын алуға болады.

2.18 және 2.19-суреттерде ТТ-Қ жүйесінің ең танымал құрылымы келтірілген.



2.18-сурет. Бір рет интегралданатын реттеу жүйесі бар ТТ-Қ жүйесі



2.19-сурет. Екі рет интегралданатын реттеу жүйесі бар ТТҚ жүйесі

Келтірілген сызбалар кеңінен қолданылып, типтікке жатқызылуы мүмкін. Оларда екі тұйық контур бар: ішкі (тоқтық) және сыртқы (бұрыштық жылдамдық контуры). Бірінші ішкі контурда ток реттегішінің кірісіне (ПИ – реттегіш) екі сигнал беріледі: ток бойынша кері байланыс сигналы және зәкір тоғына тапсырма кернеуі. Ток бергішінің кіріс шамасы болып зәкір тоғы саналады. Зәкір тізбегіне жалғанған тұйықтағыштағы кернеудің түсуі ток бергішіне тікелей беріледі. Зәкір тоғына пропорционалды кернеу ток бергішінің шығыс шамасы болып келеді. Күшеюден бөлек, ток бергішінде басқару тізбектері мен күштік тізбектерінің гальваникалық шешімі шығарылады.

Ток контурының беріліс сигналы болып жылдамдықтың реттегішінің шығыс кернеуі саналады. Сыртқы контурдың кірісіне де екі сигнал келтірілінеді: қозғалтқыш жылдамдығына берілген сигнал және жылдамдық бойынша кері байланыс сигналы. Ток реттегіші механикалық сипаттың құлама бөлім-шесін туғызады, яғни аса жүктеме кезінде және қозғалтқышты қосу процесінде зәкір тоғын шектейді.

Айналым жиілігінің П – реттегіші бар механикалық сипаттың қатаңдығы табиғи сипаттың қатаңдығынан аспайды. Сондықтанда, бір рет интегралданатын реттеу жүйесі (реттеу жүйесіндегі интегралданатын реттегіштер саны бойынша солай аталатын) механикалық сипаттарының қатаңдығы бойынша онша жоғары емес талаптарға ие механизмдердің жетектерінде қолданылынады.

Екі рет интегралданатын реттеу сызбасы қозу және басқару бойынша астатикалық болады. ПИ – реттегішін қолданудың арқасында, зәкірдің ток шамасы екпін периодында берілген деңгейде тұрады. Екі рет интегралданатын басқару жүйелері бар ТТҚ жүйесі барлық өндірістік механизмдер үш талап етілетін сипаттарды туғызады.

*2.2.7. МО және СО-ға жүйені баптау кезіндегі
реттегіштердің шама-шарттарын
есептеу және таңдау*

ТТҚ жүйесі бойынша электржетектерге қатысты есеп жүргізілінеді (2.18), (2.19) суреттер.

Қозғалтқыштың электр бөлігінің беріліс функциясы

$$W_o(p) = 1/R_o(T_o p + 1) \quad (2.14)$$

Қозғалтқыштың механикалық бөлігінің беріліс функциясы

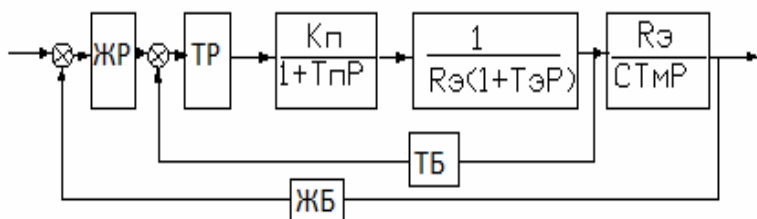
$$W_m(p) = R_o / C T_m p \quad (2.15)$$

Басқаратын түзеткіштің беріліс функциясы

$$W_g(p) = K_n / (T_n + 1). \quad (2.16)$$

мұнда, T_n —басқаратын түзеткіштің уақыт тұрақтылығы (аз уақыт тұрақтылығы); K_n – басқаратын түзеткіштің күшею коэффициенті.

ТТҚ жүйесі бойынша электржетектің құрылымдық сызбасы 2.20-суретте келтірілген. Сызба екі контурдан тұрады. Ішкі ток контуры (ТР) ток реттегішінің беріліс функциясынан, тиристорлы түрлендіргіштің беріліс функциясынан және қозғалтқыштың электр бөлігінің беріліс функциясынан тұрады. Кері байланыс тізбегіне ток бергіші қосылған. Екінші контурға аталынып кеткен элементтерден бөлек жетектің механикалық бөлігінің беріліс функциясы, реттегіш және жылдамдық бергіш қосымша кіреді.



2.20-сурет. ТТҚ жүйесінің құрылымдық сызбасы

Ток контурын баптау.

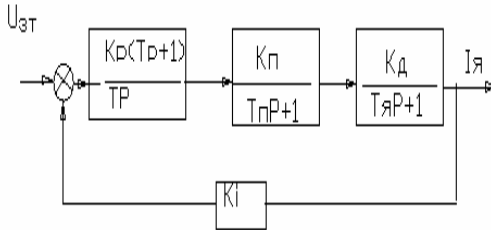
Шарт бойынша ТТҚ жүйесінде ток контуры модульды МО бапталады.

Ток контурына енгізілетін реттегіштің беріліс функциясы еріксіз реттеу кезінде мына түрге ие:

$$W_{гт}(P) = 1/(a_1 T_{п} \cdot P \cdot W_{ор}(P) \cdot K_I \cdot K_{п}) \quad (2.17),$$

мұнда, a_1 – реттегіштің баптау коэффициенті (ішкі контур үшін $a_1=2$); $W_{ор}(P)$ – ток контурына кіретін реттеу объектісінің беріліс функциясы; K_I – ток бойынша кері байланыс коэффициенті.

Ток контурының құрылымдық сызбасы 2.21-суретте келтірілген.



2.21-сурет. Ток контурының құрылымдық сызбасы

(2.17) -ден $W_{гт}(P)$ теңдеуге қойғаннан соң

$$W_{гт}(P) = \frac{K_D(T_D P + 1)}{T_P}$$

аламыз

$$W_{гт}(P) = R_{я} (T_{я} P + 1) / a_1 \cdot T_{п} \cdot P \cdot K_{п} \cdot K_I.$$

Тұрақты ток қозғалтқышының техникалық мәліметтері бойынша уақыт тұрақтылықтары мен коэффициенттерін табамыз.

Тұрақты ток қозғалтқышының техникалық мәліметтері:

Қозғалтқыш типі.....	МБП-85-1000-УХЛЗ
Номиналды қуаты,кВт	65
Номиналды айналым жиілігі, айн/мин ..	1000
Номиналды кернеу,В.....	440
Номиналды ток, А	160
Қозудың номиналды тоғы, А.....	15,7
Номиналды ПӘК,	0,95

$$R_{я} = (1 - \eta) U_{н} / I_{н} = (1 - 0,95) 440 / 160 = 0,14 \text{ Ом} .$$

Зәкір орамының индуктивтігі

$$L_{я} = 0,1 \cdot U_{н} \cdot 30 / \pi \cdot I_{н} \cdot n_{н} \cdot P_{д} = 0,1 \cdot 440 \cdot 30 / 3,14 \cdot 160 \cdot 1000 \cdot 6 = 0,04 \text{ Гн}$$

Электромагниттік уақыт тұрақтылығы

$$T_{э} = L_{э} / R_{э} = 0,04 / 0,14 = 0,29 \text{ с.}$$

$$T_{М} = GD^2 \cdot R_{э} \cdot n_{н} \cdot I_{н} / 375 \cdot E_{н} \cdot M_{н} =$$

$$205 \cdot 0,14 \cdot 1000 \cdot 160 / 375 \cdot 462 \cdot 63 = 0,42 \text{ с}$$

$$E_{н} = U_{н} + R_{яц} \cdot I_{н} = 440 + 0,14 \cdot 160 = 462 \text{ В.}$$

$$M_{н} = 975 P_{н} / n_{н} = 975 \cdot 65 / 1000 = 63 \text{ кГм.}$$

$$C = (U_{н} - I_{н} R_{яц}) / n_{н} = (440 - 160 \cdot 0,14) / 1000 = 0,418$$

Операционды күшейткіштегі ток реттегішін жүзеге асыру кезінде (2.19-сурет)

$$R_{от} = T_{я} / C_{от} = 0,29 / 10^{-6} = 290 \text{ кОм,}$$

мұнда, $C_{от} = 1 \text{ мкФ}$ – қабылданған мән.

$$R_{зт} = a_1 \cdot T_{п} \cdot K_{п} \cdot K_{I} / R_{э} \cdot C_{от}.$$

МО-ға жылдамдық контурын баптау

МО-ға баптау кезіндегі жылдамдық реттегішінің беріліс функциясы

$$W_{рс.}(P) = K_I / a_2 \cdot T_{п} \cdot P \cdot K_c \cdot W_{ор2}, \quad (2.18)$$

мұнда, $a_2=2$, a_1 – жылдамдық контурын баптау коэффициенті; K_c – жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенті; $W_{ор2}$ – реттеу объектісінің механикалық бөлігінің беріліс функциясы.

$W_{ор2}$ мәнін (2.18) теңдеуге қоя отырып, аламыз

$$W_{рс.}(P) = K_I \cdot C \cdot T_{м} / a_2 \cdot T_{п} \cdot K_c \cdot R_{э}$$

Қарастырылғаннан, МО-ға жылдамдық контурын баптау кезінде жылдамдықтың Π – реттегішін және басқару бойынша реттеудің статикалық жүйесіне ие болатынымыз көрініп тұр. Бұндай жүйе талап етілген механикалық сипаттың қатаңдығын қамтиды.

СО-ға жылдамдық реттегішін баптау.

Қатаң механикалық сипатқа ие болу үшін, СО-ға баптауды қолданады.

Бұл баптау кезіндегі жылдамдық реттегішінің беріліс функциясы

$$W_{pc}(P) = (8T_n P + 1) \cdot T_m C \cdot K_I / 32 \cdot T_n^2 \cdot K_c \quad (2.19)$$

Операционды күшейткіште жүзеге асырылған, реттегіш элементтерімен байланыстыратын беріліс функциясының теңдеуінен R_{zc} , R_{oc} , R_c шамалары анықталады.

$$C_{об} \cdot R_{об} = 8 T_n \quad (2.20)$$

(2.20) теңдеуіндегі шамалардың бірін беру керек. $C_{об}$ шамасын беру ыңғайлы. $C_{об} = 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ деп қабылдасақ, онда

$$R_{об} = 8 \cdot 0,01 / 10^{-6} = 80 \text{ кОм.}$$

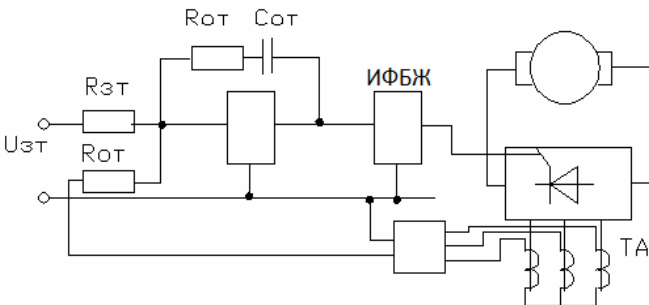
$$K_c = U_{zc, \text{max}} / n_{\text{max}} = 10 / 1000 = 0,01.$$

$$C = (U_n - I_n \cdot R_y) / n_n = (440 - 160 \cdot 0,14) / 1000 = 0,418$$

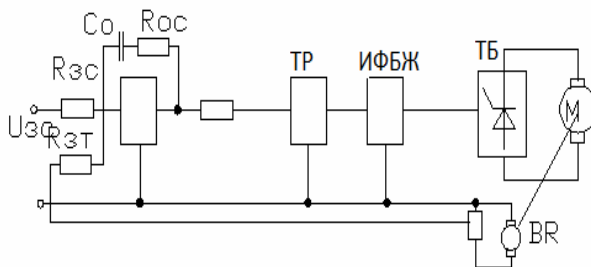
$$R_{zc} \cdot C_{об} = T_m \cdot C \cdot K_I / 32 \cdot T_n^2 \cdot K_c$$

$$R_{zc} = 0,42 \cdot 0,418 \cdot 0,025 / 32 \cdot 0,01^2 \cdot 0,01 = 137 \text{ кОм.}$$

Ток пен жылдамдық реттегіштерінің жалғану сызбалары 2.22 және 2.23-суреттерде келтірілген.



2.22-сурет. Ток реттегішін жалғау сызбасы

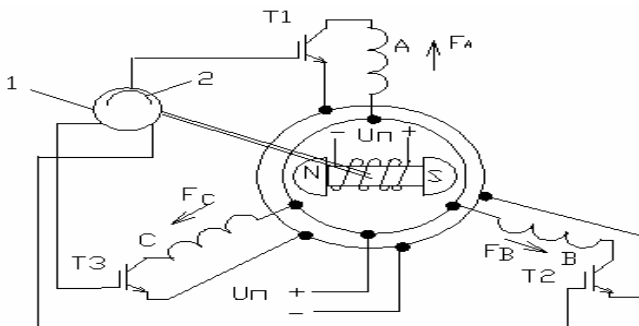


2.23-сурет. Жылдамдық реттегішін жалғау сызбасы

2.3. Бұрандалы қозғалтқышы бар электржетек

Жалпы алғанда электр қозғалтқыштың жұмыс жасау режимін реттеу электр энергиясының бұрандалы басқарылатын (жартылай өткізгіштік) түрлендіргіштердің: тиристорлы түрлендіргіш – тұрақты ток қозғалтқышы (ТТ-Қ); асинхронды бұрандалы каскад (АБК) және басқалардың көмегімен жүзеге асады. Былайша алғанда бұрандалы қозғалтқышы бар электржетек деп, тұрақты магниттерден немесе тұрақты токтан қозатын синхронды қозғалтқыштан, электронды коммутатордан және реттеу жүйелерінен тұратын электр механикалық жүйені атайды.

Жетекте өзіндік синхрондауы бар жиілік реттеудің принципі қолданылады. Жиілік түрлендіргішімен басқару ротордың жағдайының бергіштерінің жүйелерімен жүзеге асырылады, оның салдарынан жүктеменің $\theta < 90^\circ$ бұрышы кезіндегі қозғалтқыштың әрбір фазасына кернеу беріледі. Бұндай реттеу кезінде, қозғалтқыштың тұрақты жұмыс жасау шарты автоматты түрде қамтылады. Ротордың жағдайына байланысты, қозғалтқыштың фазалық орамдарына кернеуді беруді жүзеге асыратын инверторы бар синхронды қозғалтқыштарды көбінесе бұрандалы қозғалтқыштар деп атайды. Бұрандалы қозғалтқышы бар электржетектерінің жұмыс жасау принципі 2.24-суретте келтірілген сызбасымен түсіндірілген.



2.24-сурет. Бұрандалы қозғалтқыштың жұмыс жасау принципін түсіндіру

Қозғалтқыш роторы полюстардың бір жұбымен келтірілген. Статор шеңбер бойынша 120^0 ығысқан үш фазалы орамдарға А, В, және С ие. Қозғалтқыштың білігінде бұрыштық бергіш 1 ББ орнатылған. Бергіш басқару сигналдарын ротордың жағдайына сай кілттермен өндейді. Оқшауланған бекітпесі IGBT бар биполярлы транзисторлар ретінде көбінесе қолданылатын кілттік элементтер, статор орамдарына тұрақты кернеу беру үшін қызмет етеді.

Транзисторлардың біріне басқаратын кернеу түскен кезде қорек тізбегі тұйықталады және тиісті орамға кернеу беріледі де зәкір тоғы фаза бойынша өтеді. Статор фазасына қосылған НС F_a , және ротор полюстарының ағымдарының Φ_0 арақатынастарының арқасында роторды бұратын электромагниттік момент M_3 құралады. Ротордың ары қарай бұрылған кезінде бұрыштық бергіштің сигналдарымен қорек көзіне статордың басқа фазалары жалғанады.

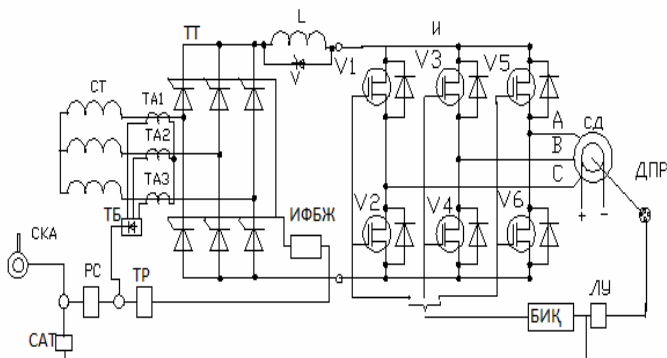
Қозу орамымен құрылатын, ротордың магниттік ағымы әрекетінің арқасында, ротор айналған кезінде зәкір орамына ЭҚК келтірілінеді, ол дәл тұрақты ток машинасындағындай қозғалтқыш қорегінің кернеуін теңестіреді. Кеңістікте статордың магниттелетін күшін секірмелі түрде ығыстыру, θ бұрышының секірмелі түрде өзгеруіне және қозғалтқыштың пульсациясының электромагниттік моментіне келтіреді.

$$M_3 = C_m \Phi_0 \sin \theta$$

Бұрандалы қозғалтқыштың (БҚ) автоматтандырылған электржетегінің жүйесінің элементі ретіндегі ерекшелігі, қуаттың реттегішінен қоректенетін токтың жиілігі ротордың жағдайына байланысты болған кезінде ғана, айқындалады. Ротордың айналуы, ЭҚК орамдарындағы айналымға келтіріледі, және ол ротордың айналым жылдамдығына және ағым Φ_0 пропорционалды болып келеді. ЭҚК қисығының формасын бірінші жанасуда синусойдалы деп санауға болады. БҚ айналымының ЭҚК тура коллекторлы және синхронды қозғалтқыштардың ЭҚК сияқты зәкірге келтірілген кернеудің орнын толтыруға тырысады. Кернеудің ұлғаюымен оның орнын толтыратын ЭҚК ұлғаятыны көрініп тұр, осыған орай ротор айналымының жылдамдығы да өседі. Осыдан айналым жылдамдығын реттеудің бірінші әдісі шығады – қорек кернеуінің өзгеруі. Жылдамдықты реттеудің екінші әдісі Φ_0 мәнін төмендетуге негізделген (мысалы, қозу орамы тоғының көмегімен). Сонымен бірге ЭҚК мәнін сүйемелдеу үшін қозғалтқыштың роторы айналым жылдамдығын ұлғайтуы керек. Реттеудің жоғары сапасына қол жеткізу үшін, статикалық және динамикалық режимдерде БҚ бар электржетектерде әртүрлі кері байланыстарды қолданады. Жылдамдығы бойынша қосымша кері байланысқа ие, БҚ бар жетек жүйесінен алуға болатын жылдамдықты реттеу диапазоны 1:50000-ге қол жеткізе алады.

Жиілік түрлендіргіштерімен қоректенетін асинхронды қозғалтқыштарға қарағанда, бұрандалы қозғалтқыш мына жігістіктерге ие: сырғуға кеткен жоғалымның жоқтығының салдарынан ең жақсы ПӘК ие болуы, инерцияның аз моменті және ең жоғары тез әрекет ету мен жақсы басқарылу.

Бұрандалы қозғалтқышы бар заманауи электржетегінде (2.25-сурет) тұрақты кернеу көзі ретінде кәдімгі тиристорлардағы басқарылатын түзеткіштер қолданылынады. Екінші желімен басталатын инверторларда, электронды коммутаторлар ретінде көбінесе оқшауланған бекітпесі IGBT бар, толық басқарылатын күштік биполярлы транзисторларды қолданады.



2.25-сурет. Бұрандалы қозғалтқышы бар электржетегінің принципалды сызбасы

2.4. Электржетек жиілік түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқышы (ТЖТ-АҚ)

Электржетегінде тиристорлы жиілік түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыштың (ТЖТ-АҚ) бұрыштық жылдамдығын реттеу статордағы кернеу жиілігінің өзгеруімен жүзеге асырылады. Электржетектің күштік сызбасы екі бөліктен тұрады: жиілік түрлендіргішінен және қысқаша тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштан тұрады. Жиілік түрлендіргіші дегеніміз – өнеркәсіптік жиіліктің ауыспалы тоғын тұрақтыға түрлендіретін түзеткіштерден және тұрақты токты талап етілетін жиілік пен амплитудасының ауыспалы тоғына түрлендіретін инвертордан (заманауи жетектерде ЕИМ) тұратын қондырғы. Шығыс тиристорлар (GTO) немесе транзисторлар IGBT электр қозғалтқышын қоректендіруге қажет токты қамтиды. Фидер үлкен ұзындыққа ие болған кезде түрлендіргіштің аса жүктелуін жою үшін түрлендіргішпен фидердің арасына дроссельдер қояды.

Жиілік реттегіші бар электржетегі екі түрге бөлінеді: тікелей байланысымен және тұрақты токтың аралық буынымен. Электржетегінің бірінші түрі көптеген кемшіліктерге байланысты кеңінен қолданысқа ие бола алмады.

Жиілік басқаруы бар электржетектерінің жұмыс жасау принципі токтар мен кернеулер диаграммаларымен түсіндірілінеді (2.26-сурет).

Суреттің оң жағында түрлендіргіштің әр элементінің шығысындағы токтар мен кернеулердің сызбалары көрсетілген.

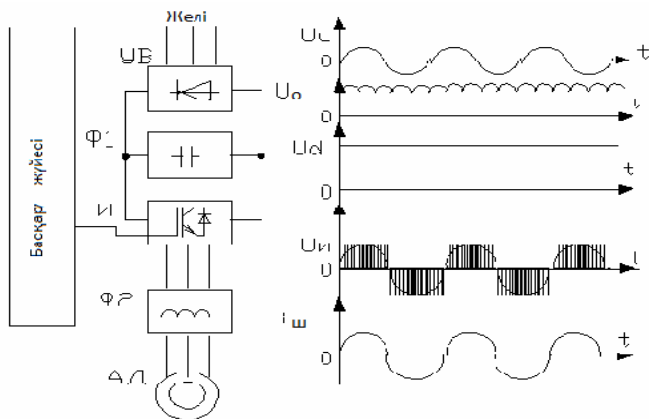
Желіден түсетін ауыспалы кернеу БТ түзеткішімен тұрақты кернеуге түрленеді. БТ шығысында орнатылынған фильтр екі функция атқарады – түзетілген кернеудің пульсациясын тегістейді және И инверторынан түсетін реактивті энергияны жұтады.

Фильтрдің шығысынан тұрақты кернеу Ud автономды инвертор И кірісіне түседі.

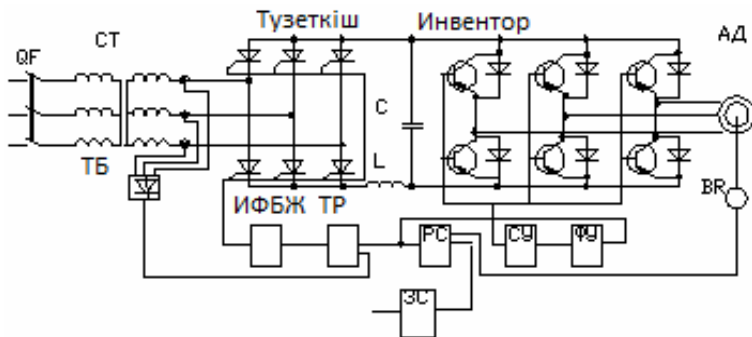
Қазіргі кезде инверторлар толығымен басқарылатын элементтерде, басқару тізбегі бойынша бекітілетін: оқшауланған бекітпесі бар өрістік транзисторларда, оқшауланған (IGBT) бекітпесі бар биполярлы транзисторларда, бекітілетін тиристорларында IGCT орындалады. Өнеркәсіптік қондырғыларда түзеткіш өнеркәсіптік жиілігі 50 Гц ауыспалы токтың желісінен қоректенеді. Инвертордың күштік бөлігінің ең танымал сызбасы болып үш фазалы көпірлік сызба саналады (3.27-сурет), ол екі жақты өткізгіштікке ие алты басқарылатын кілттерден тұрады, сондықтан да қорек көзінің плюсынан мину-сына тікелей бағытта токтың өтуін қамтитын транзисторларда орындалған. Кері өткізгіштік кері токтың диодтарымен транзисторларға параллельді жалғанумен қамтылады. Олардың көмегімен транзисторларды коммутациялау процесінде және қозғалтқыштың тежеу режимінде кері токтың өтуі үшін құрылған тізбек болады.

Инверторда тұрақты кернеудің Ud өзгерілетін жиілік пен амплитудасы бар үш фазалы (немесе бір фазалы) импульстік кернеуге түрленуі жүзеге асырылады. Басқару жүйесінің сигналдары бойынша электр қозғалтқышының әрбір орамы инвертордың қажетті күштік транзисторлары арқылы тұрақты ток буынының оң және теріс полюстарына жалғанады. Импульстардың жүру периодының шектеулерінде әр орамның жалғану ұзақтылығы синусойдалы заң бойынша модульданады. Импульстардың ең үлкен ені жартылай периодтың ортасында қамтылады, ал жартылай периодтың басы мен аяғында азаяды. Сонымен, басқару жүйесі қозғалтқыштың орамдарына

қойылатын кернеудің ендік-импульстік модуляциясын (ЕИМ) қамтиды. Кернеудің амплитудасы және жиілігі модульденетін синусойдалы функцияның шама-шарттарымен анықталады.



2.26-сурет. ТЖТ – АҚ электржетегінің жұмысының түсінігі



2.27-сурет. ТЖТ – АҚ электржетегінің күштік сызбасы

ЕИМ жоғары жиілігінде (2...15 кГц) қозғалтқыштың орамдары, өздерінің жоғары индуктивтіктерінің салдарынан фильтр сияқты жұмыс жасайды. Сондықтан да олардан практикалық тұрғыда синусойдалы ток өтеді.

Ауыспалы кернеуді тұрақтыға түрлендіргіш басқарылатын сондай-ақ басқарылмайтын болуы мүмкін. Басқарылатынын

түзеткіші бар түрлендіргіштердің сызбаларында инвертордың кірісіне берілетін кернеудің амплитудасының өзгеруіне тұрақты кернеудің U_d шамасын реттеу арқылы қол жеткізеді, ал жиіліктің өзгеруіне – инвертордың жұмыс режимімен.

Қажет кезінде автономды инвертордың шығысына фильтр (4) ток пульсациясын тегістеу үшін орнатады. (IGBT түрлендіргіштерінің сызбаларында жоғары гармоникалардың төмегі дәрежесіне сай, шығыс кернеуінде фильтр практикалық тұрғыда қажет емейді).

Сонымен, жиілік түрлендіргішінің шығысында өзгеретін жиілігі және амплитудасы ($U_{\text{вых}}=\text{var}$, $f_{\text{вых}}=\text{var}$) бар үш фазалы (немесе бір фазалы) ауыспа-лы кернеу құрылады.

ГЖТ–АҚ электржетегінде басқарудың екі түрі қолданылады: векторлы және скалярлы. Скалярлы басқару кезінде қозғалтқыштың фазаларының гармоникалық токтары құрылады. Векторлы басқару – тек қана фазалардың гармоникалық токтарын (кернеулерін) құратын емес сонымен бірге ротордың магниттік ағымын басқаруды қамтитын (қозғалтқыштың білігіндегі момент) синхронды және асинхронды қозғалтқыштарды басқару әдісі.

2.5. Жиілік басқаруы бар комплекті электржетектері

Қазіргі кезде электржетектерінің басыңқы жүйесі болып жиілік басқаруы бар асинхронды жетек саналады. Ескіріп кеткен жабдықтарды жаңғыртудың актуалды мәселелері көптеген жағдайларда жиілік басқаруы бар электржетектеріне ауысумен шешіледі. Қазіргі уақытта бұл жүйенің жетілдірілгені соншалықты, ол әртүрлі технологиялық процестерде жұмыс жасайтын машиналар мен механизмдердің ең жоғары талаптарын қанағаттандыра алады. Жиілік басқаруы бар электржетектері қолданылатын, объектілерінің тек қана тізімінің өзі көп нәрсені білдіреді.

Жиілік басқаруы бар электржетек көптеген еуропа елдерінде, АҚШ, Жапония, Қытай, Ресей және көптеген басқа елдерде шығарылады. Қазақстан нарқында Германия, Франция, Ресей және Қытай елдері үстем жағдайға ие.

Бұл елдерде қуаты бірнеше ваттан 1000 кВт-қа дейінгі

жиілік түрлендіргіштер шығарылады.

SIEMENS және Шнайдер Электрик компаниялары шығаратын аз қуатты жиілік түрлендіргіштердің сыртқы түрі 2.28-суретте келтірілген.

Корпустың ішінде күштік бөлек (түзеткіш және инвертор) және инверторды басқару жүйесі бар. Күштік бөлестің және басқару элементтерінің құрамын Алтивар типті жиілік түрлендіргішінің мысалында қарастырамыз.

Түрлендіргіштің күштік бөлегінің сызбасы типтік сызба бойынша орындалған (1.51-сурет). Инверторды басқару сызбасы анықтама әдебиетінде келтірілмеген. Түрлендіргішті, техникалық тұрғыда, сыртқы жалғаулар сызбасы бойынша жүзеге асырады (2.29-сурет).

Жиілік түрлендіргіштерін баптау және басқару дисплейде орнатылған элементтердің көмегімен жүзеге асырылады (2.30-сурет).

Типтік (зауыттық) баптауы дайындаған зауытта орындалады. Төменде сол баптаудың сырт пішіні келтірілген.

Баптаудың басқа сырт пішіні көмегімен жүзеге асырылады, 2.31-сурет. Келтірілген материалдың көмегімен жиілікті басқаруы бар электржетегін басқарудың және баптаудың сипаты, құрылымы жайында мәлімет аламыз.



а



ә

2.28-сурет. Жиілік түрлендіргіштер: а – SIEMENS фирмасы; ә – Шнайдер Электрик фирмасы

Зауыттық сырт пішіні.

ЖТ Altivar 31 ең көп қолданысқа ие зауыттық баптауларға ие:

• Диплейдегі көрініс: қозғалтқыш тоқтап тұрған кезде және қозғалтқыш іске қосылғандағы берілген жиілікте ЖТ дайын (rdY).

• Қозғалтқыштың қорегінің кернеу жиілігі (bFr): 50 Гц.

• Тұрақты моменті бар, бергіші жоқ ағымды векторлы басқаруды қолдану (UFt =n).

• Берілген бәсеңдету қабілетінің қалыпты (нормалды) түрде тоқтату әдісі (Stt= rMP).

• Бұзылу кезіндегі тоқтату әдісі.

• Екпін тежеу кезіндегі уақыт (ACC,dEC): 3с.

• Төменгі жылдамдық (LSP): 0 Гц.

• Жоғарғы жылдамдық (HSP): 50 Гц.

• Қозғалтқыштың жылулық тоғы (ItH) қозғалтқыштың номиналды тоғына тең (ЖТ типіне сай).

• Динамикалық тежеу тоғы (SdC1) түрлендіргіштің номиналды тоғына 0,7 – ге 0,5 с арасында тең.

• Тежеу кезіндегі аса кернеу жағдайындағы жылдамдықтың автоматтық бейімделуі.

• Бұзылу кезіндегі автоматты емес түрде қайта қосуда.

• Коммутация жиілігі 4 кГц.

• Дискретті кірістер:

– LI1, LI2 (айналымның 2 бағыты): жағдайдың өзгеруі бойынша 2 – жетекті басқару, LI1 =алға айналу, LI2= артқа айналу, ATV 31••••• А сериясы үшін активтелінбеген.

– LI3, LI4: берілген жылдамдықтар (жылдамдық 1=жылдамдықтың берілгені немесе LSP, жылдамдық 2=10Гц, жылдамдық 3=15Гц, жылдамдық 4=20Гц).

– LI5-LI6: активтелінбеген.

• Аналогты кірістер:

– AI1: жылдамдықтың берілгені 0-10В, ATV31••••• А сериясы үшін активтелінбеген.

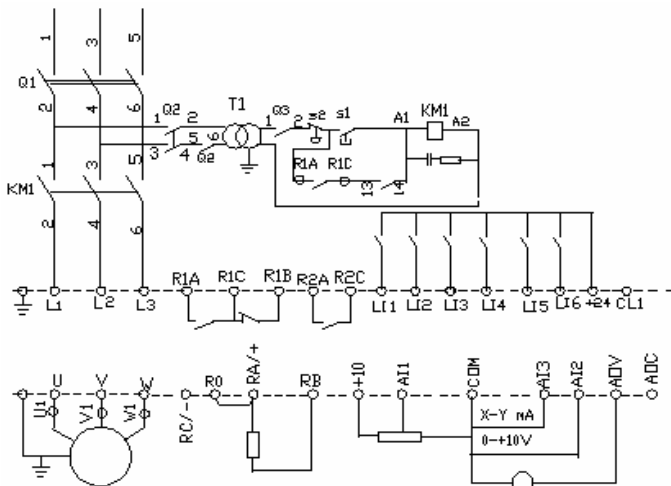
– AI2: жылдамдық бойынша соммаланған кіріс 0±10В.

– AI3: 4-20МА активтелінбеген.

• Реле R1: бұзылған кезде түйіспе ашылады (ЖТ қорегі жоқ кезде).

• Реле R2: активтелінбеген.

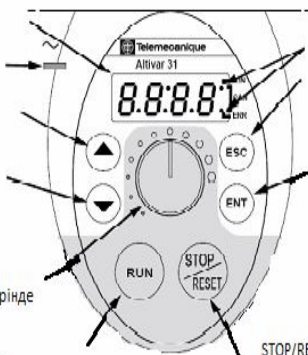
• Аналогты шығыс АОС: 0-20МА, активтелінбеген.



2.29-сурет. Алтивар типті түрлендіргіштегі сыртқы жалғанулардың сызбасы

Пернетақта және дисплей қызметтері

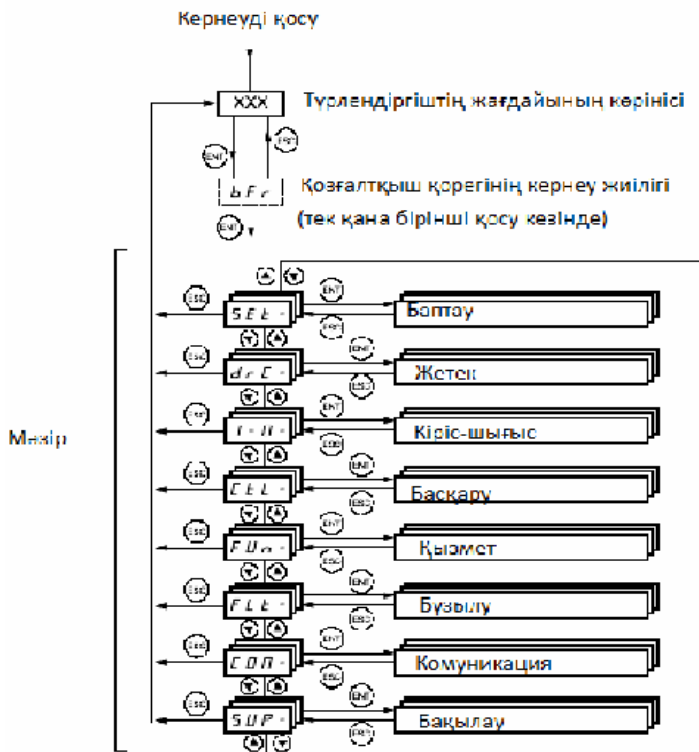
-4 жеті сегментті индикатор қызыл жарық диод
іс-іспісү іс-іспісүді тұрақты ток буыны
-мәзірге немесе алдыңғы шамаға өту, көрсетілген мәнді ұлғайту
-мәзірге немесе алдыңғы шамаға өту, көрсетілген мәнді азайту
Тек қана ATV 31 үшін
Берілген потенциометр активтелінген егер AIP CTL мәзірінде қалса
RUN батырмасы: қозғалтқышты алға қосуды басқарады, егер tCC I-O шама шарты мәзірінде LOC та кінфигурацияланған



-CANopen дағы 2 жарық диод жағдайы
-шама шарттан немесе мәзірден шығу, көрсетілген мәнісіні бастапқы сақталынған мәнге ауысу
-шама шарттан немесе мәзірден кіру, шама шартты немесе сақталынған мәнді тіркеу

STOP/RESET батырмасы
-қателіктерді өшіру мүмкіндігін туғызады
-қозғалтқыштың тоқтауын әрдайым басқара алады: егер tCC LOC та конфигурацияланбаған болса тоқталады; егер tCC LOC та конфигурацияланған болса берілген жылдамдықпен тоқталады бірақ егер динамикалық төлкеу ықпал етсе бірден тоқталады

2.30-сурет. Жілік түрлендіргіштерін баптау және басқару элементтерінің дисплейде орналасуы



2.31-сурет. Жілік түрлендіргішін баптау мәзірі

3. ӨНЕРКӘСІП МЕХАНИЗМДЕРІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЭЛЕКТРЖЕТЕГІ

3.1. Терең бұрғылау қондырғыларының электржетегі

Жалпы мәліметтер [14].

Терең бұрғылау қондырғысының негізгі механизмдеріне: бұрғылау сораптары, ротор және түсіріп көтеретін агрегат жатады. Түсіріп көтеретін агрегатта екі басқару жүйесі бар: түтік колонналарын көтеру кезіндегі электржетегінің басқару жүйесі және жалпы жағдайда өзіндік жүйе ретінде қарастырылатын, түтік колонналарын түсіру кезінде тежеуді қамтитын жүйе. Жетекті және оның кейбір технологиялық шама-шарттарын басты механизмдер үшін таңдау кешенді мақсат болып келеді және келесі жайттармен анықталады.

Басты жетектерді қоректендіру үшін, ылғи да бір энергия көздері: электр бұрғылау қондырғыларына арналған жоғары вольтты электр сымы және электрленбеген аумақтарға арналған автономды электр станциялары қолданылынады. Әрбір нақты қондырғыға арналған электр қозғалтқыштары ереже бойынша бірдей кернеуге орындалуы керек. Бұрандалы қозғалтқышы бар электр жетектерін, ең перспективті тиристорлы жетектерді (ТТ-Қ, ТЖТ – АҚ) қолдану кезінде бұның маңыздылығы артады.

Басты электржетектері бір уақытта жұмыс жасамайды. Негізі жұмыс режимдерінде бұрғылау сораптары мен ротор (бұрғылау режимі) немесе түсіріп-көтеру режиміндегі операцияда бұрғылау шығыры әрекет етеді.

Электржетектерінің тұтынатын қуаты көбінесе бұрғылаудың тереңділігіне байланысты. Осыны ескере отырып, басты электржетектерінің қуаты, СПО және бұрғылау режимінде максимальды тұтынылатын қуат бір реттік болып, энергия көзінің қуатынан аспайтындай болып, тұрақталуы керек.

Өндірісті және электр жабдықтарын пайдалануды жеңілдету үшін басты механизмдерге бірдей жетектерді қолдану және электржетектерінің электр жабдықтарын максимальды түрде бірыңғайлау орынды. Бір класты электр және автономды қондырғылардың және әртүрлі класты қондырғылардың электр жабдықтарын бірыңғайлауға мүмкіндік туғызатын техникалық

шешімдер ең перспективті болып саналады. Бір дәрежелі түрлі электржетектеріне құрылымдық талаптардың біршамасы жатады: электр жабдықтарының климаттық орындалуы, механикалық әсерлер бойынша орындалуы, тасымалдау, құрастыру және бұзу және тағы басқа әдістер.

Барлық басты механизмдер үшін, жылдамдықты реттеу мүмкіндігі нақты пайдалану кезіндегі артықшылығын көрсетеді. Барлық электржетектер үшін, жылдамдықты реттеу диапазоны қатаң берілмеген және де техника-экономикалық есептердің негізінде анықталулары керек.

Басты электржетектерінің кешендерін таңдаудың шешуші өлшемі болып жалпы барлық жүйе үшін максимальды техника-экономикалық тиімді болып саналады. Алғашқы нұсқаны жобалау кезеңінде жетектердің нұсқауларының ірі техника-экономикалық талдауын жүргізу керек, соның нәтижесінде жетектің түрі, басты механизмдерінің қуаты, негізгі агрегаттар және қозғалтқыштардың саны және электрмен қамтамасыздандыру (электр энергиясының және тұтынушының көзінің кернеуін таңдау) жайында шешім қабылданады. Сонымен, басты электржетегінен бөлек-бөлек әрқайсысын жобалау кезінде аталып кеткен шама-шарттарды берілген деп санауға болады.

3.1.1. Бұрғылау сораптарының (БС) электржетектері

Роторлы бұрғылау кезінде бұрғылама сораптарының технологиялық функциялары бұрғылама түтіктер арқылы ұңғыма түбіне дейін және түтікшеден төмен орналасқан кеңістік арқылы ұңғыманың түбінен басына дейін жуатын сұйықтықтың (бұрғылама ерітіндісі) ағымын құрудан тұрады. Бұл бұрғыланған жыныстың бөлшектерін түбірден беткейге шығару үшін қажет. Түтікшелі бұрғылауда жуатын сұйықтық, сонымен бірге аяғында майдалағышы бар түтікше бұрғыманы айналдыра түседі, яғни түтікше бұрғы түтікшесінің іске қосу агрегатының қызметін атқарады.

Бұрғылама сорапының гидравликалық P_r және келтірілген P_n қуаттарын формула бойынша анықтайды:

$$P_r = pQ ; P_n = kQ/\eta \quad (3.1)$$

мұнда, $\eta = 0,9+0,92$ – БС кезіндегі гидравликалық және техникалық жоғалымдарды ескеретін ПӘК.

Бұрғылаудың түрлі әдістерінде және ұңғымалардың түрлі шарттарында БС талап етілетін қуаты әртүрлі болады. Әрбір қондырғы роторлы бұрғылауды, сонымен қатар түтікше әдісімен бұрғылауды БС қуаты түтікшемен бұрғылаудың шарттарынан таңдалады, мұнда ең жоғары қуат қажет.

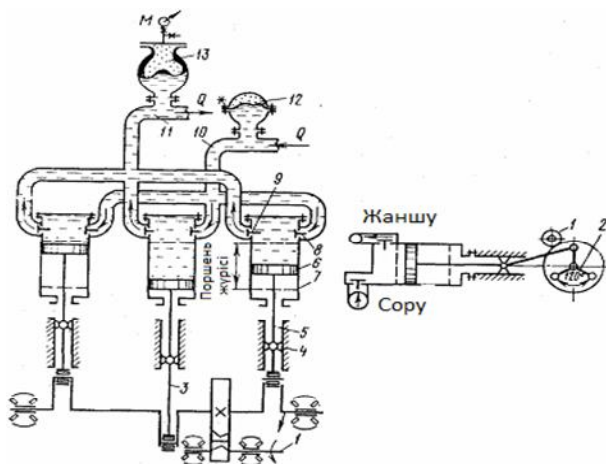
Түрлі кластың сериялық бұрғылау қондырғыларда бір БС номиналды жетектік қуаты 300 ден 950 кВт дейін болады, ал сирек кездесетін қондырғыларда 1180 кВт дейін және оданда көп [15,17]. Жетектің номиналды айналым жиілігі 500 ден 1000 айн/мин дейінгі шектікте болады. Сериялы қондырғыларда шарт бойынша екеуі орнатылынады, ал сирек және тездік қондырғыларда – үш сораптан орнатылады.

БС үшін отанды практикада бір қозғалтқыш электржетегін, ал шетелде – екі қозғалтқышты (сонымен бірге үш қозғалтқыш жетекті қолданатын жағдайлар белгілі) қолданады.

Бұл жағдайда шешімнің орындылығы, бұрғылау қондырғыларының барлық негізгі орындаушы механизмдерінің жетекті электр қозғалтқышының бейімдеу шарттарына байланыстылығында болып табылады. Бұрғылау сораптарының стандартталынған мәліметтері, кластары бойынша былай орналасқан: аз ғана қормен, қондырғының класына сай ұңғыманы бұрғылау тереңдігіне сораптардың қуаты жетерліктей болуы керек.

Поршеньді сораптар болып келетін бұрғылау сораптары бірнеше диаметрлі төлкелермен және ауыспалы поршеньдермен жабдықталған. Талап етілетін қысым ұңғыманың тереңдегені сайын өзгеруіне байланысты ауыспалы поршеньдер қажет. Поршеньдердің ауысуы келесі заңдылық-тарға байланысты: сорап механизмдерінің мықтылығының шарты бойынша (штоктар, мойын тіректер, беріліс механизмі) поршеньдердің түрлі диаметрлерінде олардағы күшею тепе-тең болуы тиіс; осыған орай, поршеньнің кішкене диаметрінде БС шығысында ең жоғары қысым рұқсат етіледі (поршеньнің алаңына кері пропорционалды).

Бір жақты әрекет ететін үш поршеньді сораптар ыңғайлы болып келеді (3.1-сурет).



3.1-сурет. Бір жақты әрекет ететін үш поршеньді бұрғылау сорапының кинематикалық схемасы: 1 – жетекті білік; 2 – білік; 3 – шатун; 4 – жылжыма; 5 – шток; 6 – поршень; 7 – цилиндр; 8 – сорғыш қақпағы (клапан); 9 – жаншу клапаны; 10 – сорғыш түтік сымы; 11 – жаншымыла түтік сымы; 12 – сорғыш пневмокомпенсатор; 13 – жаншу пневмокомпенсаторы

Поршеньнің диаметрінің және оның тұрақты жылдамдығының төмендеуімен БС төменгі берілісі поршеннің алаңына тікелей пропорционалды өзгереді (төмендейді); поршеньнің диаметрінің ауысу кезінде БС жетегінің тұрақты қуатының режимі сақталуы қажет.

БС тиімді режимі номиналдыға тең: $pQ = \text{const}$ болып саналатын, дамып келе жатқан қуаттың тұрақтылығымен сипатталады.

Реттелінбейтін жетекте осы режимге жанасуға түрлі диаметрлі цилиндрлік втулкаларды қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

Бұрғылау сорғысының жұмыс режимін қысымның P шығу кезіндегі және сорғы ауызының диаметріне D берілу Q сипаттайтын сызбадан (графиктен) қарастырамыз. Егер БС құрамына бес типті өлшемдегі ауыстыру поршені кіреді деп қабылдасақ, онда негізгі есептелген 2, 4, 6, 8, 10 нүктелері

әртүрлі диаметрдегі поршеньдерге сәйкес келеді, олар тұрақты қуаттың есептелген қиылысуында орналасады.

Осыған байланысты екі нүкте максималды, ал оныншы нүкте минималды поршень диаметріне сәйкес келеді. Ескереміз, поршеньнің өзгермеген диаметріне бұрғылау сорғы берілуі жетектің жылдамдығына пропорционалды, ал қозғалтқыштың білігінің *моменті қысымға пропорционалды* (3.1) формулаға сәйкес бұрғылау сорғысынан шыққан кездегі қысым P сұйықтың Q берілу квадратына пропорционалды, $p = kQ^2$ графигіне байланысты гидравликалық қарама-қарсылықтың K нақты мәндегі коэффициенті «Қисық жүктеме» деп атайды. K коэффициенттің мәні ұңғыманың терең-деуіне байланысты үлкейе береді. Есептеліп белгіленген нүктелерге тура келетін қисық жүктемелер 3.2-суретте аз тереңдіктегі бұрғылауға максималды диаметрдегі D_5 бұрғылау сорғысы бір нүктеде жұмыс істейді. Ұңғыманың тереңдігінің өсуіне байланысты БС берілуі Q_5 тұрақты болып қалады, ал қысым өседі жетектің қуатын өсіру мүмкін болғандықтан жұмыстың диаметрі D_5 поршенімен екі нүктеден жоғары жүргізу мүмкін емес. Сонымен қатар БС электржетекпен басқарылмайтын жағдайда және поршеньді ауыстыру кезеңдерінде процесс тік түзулердің бөліктерімен жүргізіліп есептелінеді. Сондықтан екі нүктеде D_5 диаметріндегі поршеньді D_4 диаметрдегі поршеньге ауыстыру қажет. Себебі жетектің сондай жылдамдығында, поршень диаметрін азайтсақ, берілу (подача) азаяды, БС жұмыс режимі үш нүктеде анықталады.

Ұңғыманың тереңдеу шарттарына байланысты 4 нүктеге ауысу болады, сол сияқты 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10. Графикте көрестілгендей 1,3,5,7,9 нүктелерде факт бойынша өсіп келе жатқан қуат номинальдыдан анағұрлым аз. Қуатты пайдалана алмау мәжбүрлігін идеалды қисық $pQ = \text{const}$. Салыстырғанда 4-5-6, 6-7-8, 8-9-10 үшбұрыштың есептелген ауданымен бағалауға болады. Енді БС жұмыс режимін электржетектің басқарылатын жағдайдағы сол шарттарда қарастырып көреміз. Номинальдыдан төмен жылдамдықтарды басқару мүмкіндіктеріне байланысты, сорғы жұмысының графигі **1-2-3'-4-5'-6-7'-8-9'-10**. Графикке жасалған талдауда көрсеткендей, басқарылмаған

жетектен қарағанда, берілген жағдайдағы қуатты пайдаланбау мәні анағұрлым аз. Басқарылатын электржетекті пайдалану арқылы ұнғыманы бұрғылау кезіндегі поршеньдерді ауыстыру санын азайтуды қамтамасыз етеді.

Басқару электржетектерін БС толықтай қуатын пайдалану тәжірибелік тұрғыда былай көрсетіледі. Басқарылмайтын электржетектен қарағанда сондай мәндегі өтетін қысым қысымдауыш жүйеде БС берілуі көбірек болады. Осыған байланысты бұрғылаудың барлық түрлерінде кенжарды та-зарту жақсы болады. Ол бұрғылаудың механикалық жылдамдығының өсуіне алып келеді. Сонымен қатар қашауға түсетін өте үлкен жүктемені қолдану кезінде бұрғылау жылдамдығын жоғарылату мүмкіндіктерін қамтамасыз етеді. Бір уақытта қашауды өту жұмыстары жоғарылайды, себебі жыныстарды қайталап бұзу қатары азаяды. Нәтижесінде қашауды өту жұмыстарының жоғарылауына байланысты түсіріп-көтеру және қатардағы көмекші операциялардың соммалық уақыты қысқарады. Түтікшелік бұрғылау кезінде, одан басқа механикалық бұрғылау жылдамдығы өседі нәтижесінде қашаудың айналу жиілігі және соған берілген орта қуат жоғарылайды.

БС берілуін басқару сонымен қатар күрделендірілген шарттардағы бұрғылауға қажетті.

Гидравликалық жүйеде ерекше терең ұнғымаларды бұрғылағанда бұрғылау ерітінділерінің циркуляциясын қалпына келтіріп отыру, жауапкершілігі мол операциялардың бірі болып келеді. Бұл операцияның басында ерітіндінің тұтқырлығы және гидравликаның қарама-қарсылығы жүйеде жұмыс режиміндегіден салыстырмалы түрде жоғары. БС төмен берілісінде жұмыс істеу мүмкіндігі кезінде, циркуляцияны қалпына келтіріп отыру анағұрлым жеңілдетеді. Бұрғылау режимі берілуінен циркуляцияны қалпына келтіру кезіндегі минималды қатыстағы беріліс 0,1 құрауы мүмкін.

Осыған байланысты бұрғылау сорғыларын электржетекті реттегішпен жабдықтаған жөн. Реттеуді тұрақты момент режимінде жүзеге асырған тиімді. Бұл момент (берілген қысымға) диаметрлері көршілес типті өлшемдегі поршеньдердің екеуінің арасындағы ауыстырым 0,85-0,9 құрайтын қатынастағыдай берілген қысымға бөлінеді. Гидравликалық

жүйеде айналу жиілігін басқару бұрғылау қондырғыларында номинальды бағыттың азаюынан 20-30% кем болмауға тиісті.

Берілген мәліметтердің негізінде БС электржетектері келесі талаптарға жауап бере алуы керек :

– түсу уақыты кезіндегі ырғақта, созылмалы мүмкіндік (60 секундқа дейін)

– түсу моменті номинальдыдан 10% аспауға тиісті

– жетек жылдамдығын реттеу мүмкіндігі бұрғылау режимінде 50%-ға дейін, ал циркуляцияны қалпына келтіру режимінде 80%-ға дейін және номинальды мәннен өте төмен;

– жылдамдықты номинальдыдан төмен басқарған кезде жетек БС-ғы тұрақты қысымды қамтамасыз етуге тиісті, ол өз білігінің момент тұрақтылығына сәйкес келеді.

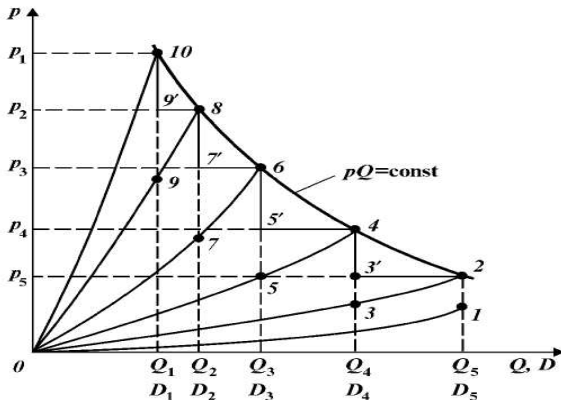
– жетекте бос жүрістен номинальды жүктеменің жылдамдығынын түсу реті 5% қатынасындай байланыстарын қатаң механикалық сипаттамаға ие болуға тиісті.

– жетек резервті емес, жұмыс режимі – тыныш жүктеме қатынасында жалғасады.

Келтірілеген талаптар электржетектің екі жүйесінде жүзеге асырылуы мүмкін: ТТҚ, ТТЖ-АҚ және желдеткіш қозғалтқышты электржетегі 3.3-суретте ТТҚ жүйесіндегі электржетектің сипаттамасы мен сызбасы келтірілген.

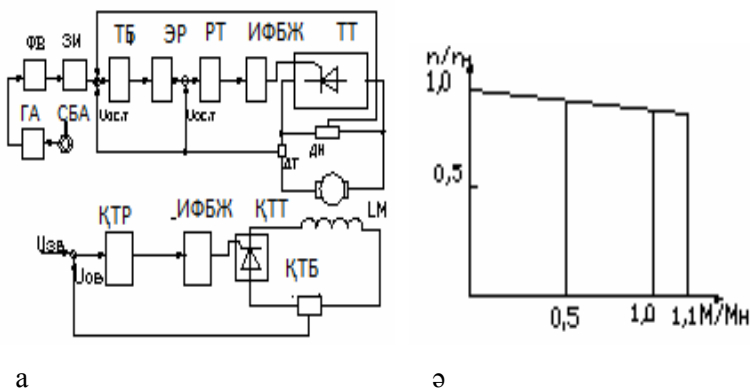
Реверсті жетектің жиі қажеттілігі болмағандықтан, түрлендіргіш реверсті емес сұлбада орындалған болуы мүмкін. Бұл электржетектің сұлбасын, оның қызметі мен сенімділігін маңызды түрде жеңілдетеді. Бұдан басқа реверсті түрлендіргіштің құны реверсті емес түрлендіргіштің құнынан едәуір жоғары. Осы мақсатта айналу жиілігінің қайтымды байланысымен бірге ЭҚК қайтымды байланысы қолданылады.

Реттеу блоктары гальваникалық тарам (ГА), фаза сезгіш түзегіш (ФСТ); қарқындық бастапқы бергіштен ҚБ, ЭҚК ЭР реттегіш шектеу түйіні мен ШТ ток реттегішінен тұрады. Бергіштер блогын ток бергіштерінен ТБ және кернеу бергішінен ҚБ құрайды. 3.4-суретте бұрандалы қозғалтқышты электржетектің сұлбасы келтірілген.

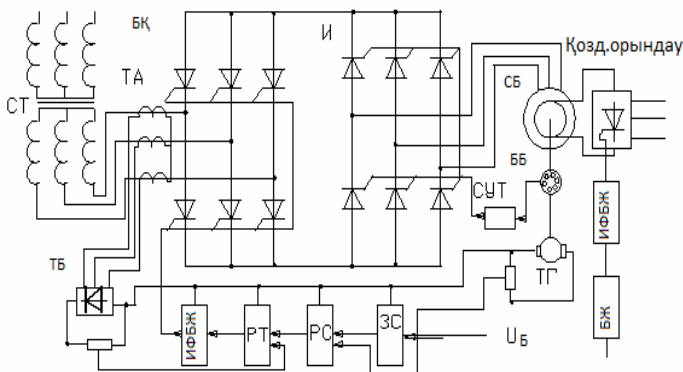


3.2-сурет. Өнімділікті реттеудің түрлі әдістеріндегі бұрғылау сорғыштарының жұмыс жасау режимдерінің сызбасы

Бұрғылау құрылғылары үшін, бұл жетектің түрі өте перспективтік болып келеді. Электрмагнитті қоздырғышы бар синхронды қозғалтқыш базасында құрастырылған бұрандалы қозғалтқышты электржетектің негізгі элементтері болып: басқарылымды түзеткіш, инвертор, екінші желідегі бастауыш, инверторды бұрыштық бергішпен басқару жүйесі жылдамдықты реттеу түзеткіш кернеуінің өзгеруі мен қоздыру тоғының өзгеруімен жүзеге асады.



3.3-сурет. Бұрғылау сормасының электржетегі
а – сұлба, ә – сипаттамасы



3.4-сурет. Бұрандалы қозғалтқышты электржетек

Бұл жетектің негізгі қасиеттері болып:

- ПӘК жоғарылығы, роторлы шынжырдың аз мерзімді жоғалымы.

- Қуат коэффициентінің жоғарылығы

- Магнитті ағынның өзгеруімен реактивті қуаты тұтыну мен берілуін реттеуге болады, демек кернеудің қоректенуші желідегі сапасына ықпал етуге болады.

Бұрғылау роторының электржетегі.

Бұрғылау роторы бұрғылау құбырларының колонналарының айналуын келтіруге арналған. Роторлы бұрғылауда жетек сындырғышты айналдыру үшін, ал турбиналық бұрғылауда көмекші мақсаттар үшін қолданылады.

Бұрғылау құбырының колоннасының соңында тұратын қашау айналу кезінде жыныстарды бұзады және ұңғыманың тереңдеуін қамтамасыз етеді. Жыныстың бұзылуына сондай-ақ, қашау қондырғысының саңылауларынан қысыммен шығатын бұрғылау ерітінділерінің гидромониторлық әсердегі ағыны мүмкіндік туғызып жатады.

Жер бетіндегі БҚК жетегі мен қашауларының маңызды ерекшелігі әртүрлі әдістермен жетектің жылдамдығын қарапайым түрде реттелуден (көп жылдамдықты механикалық беріліс, электржетекті реттегіш және т.б көмегімен) құралады. Осында жоғары мәндегі моменттердің төменгі жылдамдықтары алынуы мүмкін.

Соңғы жылдары гидравликалық машиналар көлеміндегі әсерлі бұранданы кенжарлық қозғалтқыштар қолданыс табууда. Олар сындырғыш құбыр бұрғылау өтуден қарағанда жоғары және өте жоғары жеткілікті механикалық бұрғылау жылдамдығын қамтамасыз етеді, біліктің аз айналу жиілігі маңыздылығымен сипатталады. Жер бетіндегі БҚК беріліс механизмі арқылы сындырғыш бетіне энергияның берілуі қуаттың маңызды жоғалымы мен барлық бұрғылау процесінің ПӘК айтарлықтай төмендетеді, әсіресе ұңғыма тереңдігі 4-5 мың метрге жеткенде болады.

Біркелкі емес жыныстарды бұрғылау процесінде кедергі моменті сындырғышта үзіліссіз өзгереді. Өте күшті тербеліс моменті сындырғышта берілген. Сындырғыштағы тербеліс моментінің кедергісі БҚК роторлы қозғалтқыш жетегіне бұрғылаудың серпінді толқын тербеліс түрінде жылдамдығы шамамен 3 км/с болат құбырда таралады.

Бұралу толқындары сындырғышты сынамалаумен шақырылған шағылысу нәтижесінде бұралу кернеуі БҚК сынуын шақыруы мүмкін.

Сындырғышты сынамалау кезінде қозғалтқыш моменті өзінің максималды мәніне ие болуы мүмкін, егер БҚК-ның төмен жағы қозғалыссыз, ал ротор құбырдың бұрала айналуын жалғастырса осы кездегі БҚК-ғы пайда болатын айналу кернеуін азайту үшін, ротордың қозғалтқышынан берілетін моментті азайту керек. Осыған байланысты салыстырмалы түрде үлкен емес еселіктегі максималды моменті $\lambda \leq 1,6+1,8$ қозғалтқышты немесе ротордың жетегіндегі моментті шектейтін құралды қолдана отырып қол жеткізуге болады. Сындырғыштан сынама алумен сонымен қатар ротор жетегінің қондырғысының беткі айналып тұрған бөлігінде жинақталған БҚК-ның кинетикалық энергияға берілу процесімен байланысты (БҚК берілісті болатын)

Кинематикалық энергияны төмендету үшін, айналу бөлшектерінің инерция моменті минималды ротор жетегін қолданған жөн.

Әртүрлі сынаптамадағы қондырғыларды роторлы жетектің қажетті қуаты 75-тен 400 кВт дейін құрайды. Бұрғылау

қондырғыларының стандарттары болып ротордың айналым столындағы қуатпен номиналды момент; сонымен қатар максимальды айналу жиілігі (аз жүктеме) және максимальды момент (айналу жиілігінде) реттеліп отырады.

Жетек түрін таңдау мен оның сипаттамаларын келесі талаптар мен технологиялық жұмыс ерекшеліктерін ескере отырып өңдеп алынуы керек:

– ротор жетегі реверсивті;

– негізгі жұмыс режимдерінде ротор бір бағытта (түзу) айналуы керек;

– кері бағыттағы айналым кейбір көмекші режимдерде ғана қажет, сондықтан қысқа мерзімді қоректену үзілісін оперативті ауыстырып қосу жолымен береміз.

Жұмыс режимі ұзақ және де жүктеме моменті тұрақты немесе кейбір шектерде тербелуі мүмкін.

Төменнен номинальдыға дейінгі айналу жиілігін реттеген кезде жетек номинальды жүктеме моментінде ұзақ жұмысты мүмкіндігінше қамтамасыз ету керек, номинальдыдан жоғары тұрақты номинальды қуатта, бірақ ротор жетегі тәжірибеде кіші моментте және қуатта жұмыс істейді, осыған байланысты автоматты қамтамасыз ету көрсетілген реттеу заңдарын қажет етпейді. Жетектің іске қосу сипаттамалары реттеліп жатпайды, тек қана қажеттісі, ротор моменті максимальдыдан аспауға тиіс, ол әдетте номинальды 1,5-1,6 құрайды.

Механикалық сипаттамаға қажетті статизм номинальды жүктеме шегі номинальды айналу жиілігінен 5-10% жоғары болмауға тиісті.

Айналу жиілігін ырғақты реттеу талаптары бұрғылаудың қондырғыларына қажет, ал басқа қондырғыларды айналу жиілігінің сатылы өзгеруі мүмкін.

Жетек номинальдыдан тоқтатқышқа дейінгі режимде учаскелердегі жұмсақ механикалық сипаттамаларға ие болуы керек.

Тоқтатқыш момент номинальды мәннен 1,6-1,8 деңгейінде шектелген болуы керек.

– ұтымды бұрғылау режимін іске асыру үшін, айналу жиілігінің кең диапазонын таңдаған жөн: ұңғымағының жоғарғы

интервалын өткен кезде 100-150 айн/мин және номиналдыдан төмен айналу жиілігіне реттелген кезде 20 айн/мин дейін;

– жетек номиналды момент жүктемесі кезінде ұзақ жұмыспен қамтамсыз етуге тиіс (тұрақты моментпен реттеуде), ал реттегенде, номиналдыдан артық болмайтын, тұрақты қуатпен реттеуді қамтамсыз ету керек;

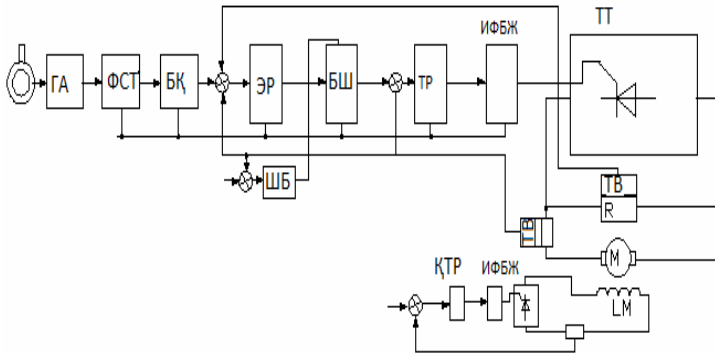
– түтікшелік бұрғылау кезінде роторды БҚК-ны аз айналу жиілігінде айналдыру үшін жиі қолданылады, ол БҚК-ның ұңғымадағы "тоқтап тұрудан" сақтап қалады және бұрғылау процесінің жақсаруына мүмкіндік туғызады.

Ротор көмегімен бұранды құрастырылған құбырларды босату және басқа жұмыс орындалады.

Көрсетілген талаптарды толық көлемде, ротор жетегіне кең диапазонын айналу жиілігінде ырғақты реттеуді қолданған кезде орындалады. Жоғарыда көрсетілген талаптарға бірнеше электржетек ТТ-Қ, ТТҚ-АҚ, жүйелері жауап бере алады.

Қазіргі уақытта жұмыс істейтін бұрғылау қондырғыларының негізгі механизмдері ТТ-Қ жүйесіндегі электржетектермен жабдықталған, бұл жүйенің негізгі белгілері болып тұрақты токтың қозғалтқыштарымен салыстырғанда өте арзан, кем асинхронды инерцияның қозғалтқышты қолданылуы болып табылады.

ТТҚ жүйесі бойынша орындалған, роторлы бұрғылау электржетегінің 3.5-суретте келтірілген. Ол көрсетілген талаптарға толықтай шарттарда жауап береді. Ротор жетегінің сызбасы бұрғылау сору электржетегінің басқару сызбасына ұқсас. Айырмашылығы ЭҚК реттеуішінің жүктемеге шығу деңгейі; ток буынын шектеу (БШ) шектеушінің басқаруының және сол деңгейді автоматты түрде өзгертетін шектеуші буынды (ШБ) басқару түйінінің болуы, яғни ротордың қозғалтқышының ток беру U_{3T} сигналы болып табылады. ШБ түйінінің арқасында жұмыс диапазонында электржетектің жұмсақ механикалық сипаттамасы жетеді. А нүктесінде сипаттамалар максимальдылығы, ал Q нүктесінде минимальдылығы сәйкес келеді.

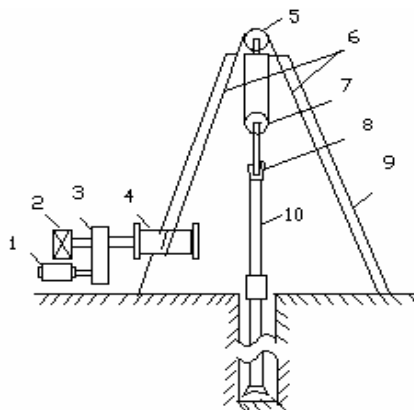


3.5-сурет. Бұрғылау роторы электржетегінің маңызды сұлбасы

3.1.2. Түсіріп-көтеру агрегатының электржетегі

Түсіріп-көтеру агрегаты деп қабылданған технологиялық сұлбаға сай келетін орын ауыстыру үшін арналған (көтеру және түсіру) бұрғылау колонкалары немесе құбыр сияқты бұрғылау қондырғыларының кешенді механизмдерін айтады. Дәстүрлі түсіріп-көтеру агрегаты жетекті бұрғылау жүк шығыры мен тежеуіш қондырғылары, бұрғылау белгісі, жүк көтергіштік жүйелер (кранблок және элеваторлы жүк көтеру блогы) механизмдер құбыр колонкаларын бекіту үшін және бұрап алу мен бұрап шығару құбырларынан тұрады. Бұрғылау және қапталған (обсадты) құбырлардың орнын ауыстыру процесі – дискретті (шырақтың ұзындығына). Терең бұрғылау қондырғылары ұңғыма аузынан жартылай автоматты шамға қарсылық білдіру үшін, механизмдермен жабдықталған және шамға қойылуы және ұңғымаға шамның берілуі, түсіріп-көтеру жүкшыңыр ТКЖ атауына ие болған (түсіріп-көтеру автоматы).

Бұрғылау шығырының көмегімен бұрғылау құбырының колонналарын көтеріп немесе түсіруден басқа жүктелмеген элеваторды көтеріп және түсіруге, қондырғыштың кенжарға берілуі және басқа көмекші операциялардың қатарын жүзеге асыруға болады.



3.6-сурет. Бұрғылау қондырғысының түсіріп-көтеру агрегатының құрылыс сұлбасы. 1 – жүкшығыр қозғалтқышы; 2 – тежеуіш машина; 3 – редуктор; 4 – жүкшығыр барабаны; 5 – кран-блок; 6 – жүккөтергіш арқан; 7 – жүк көтергіш блок; 8 – элеватор; 9 – белгі; 10 – бұрғылау колоннасы

Бұл операциялардың барлығы әртүрлі қуат-тағы және электржетектің сипаттамасын талап ететіндіктен, қазіргі заманауи бұрғылау қондырғыларында көмекші операциялар үшін, жеке электржетегі бар жекешеленген механизмдер қолданылады. Бұл жағдайда электржетекті бұрғылау жүкшығыры негізінен бұрғылау колонналарының түтікшелерін (БКТ) көтеру үшін айдаушы қозғалтқыш қызмет етеді, ал түсіру кезіндегі тежеуіш үшін, көмекші тежеуіштер немесе генераторлы режимде жұмыс істейтін айдаушы қозғалтқыш, қызмет етеді.

БКТ-ні көтеру жекеленген циклдерді құрайды, олардың саны шамның санына тең; бір цикл уақытында бір шамның (25–37м) биіктігіндей көтеру жұмыстары орындалады, содан соң оны бұрап алады, орнын ауыстырады және орнатады, кейіннен цикл қайталанып орындалады. Осыған байланысты көтеру шарасы бойынша БКТ салмағы дискретті азаяды және сонымен қатар айдаушы қозғалтқыш білігіндегі статикалық қарсылық моменті азаяды. Статикалық қарсылық моментінің өзгеру диапазоны максималды жүк салмағына жүктемесіз элеваторы

бар ілмек салмағының қатынасымен анықталады және 14:1-ден 20:1 дейін құрайды, сонымен қатар үлкен диапазон үлкен жүккөтергіш бұрғылау жүкшығырларына жатады. БКТ құбырларын көтеру кезінде жүкшығыр жетектерінің жұмыс істеу уақыты құбырларды бұрап алу орнын ауыстыру және орнату, сонымен қатар ілмекті жүктемесіз элеватормен түсіру үшін үзілістермен ауыстырылады, онда жүкшығыр жетегінің жұмыс режимі-жалғастырмалы қосу қатынасы 25-40% қысқа мерзімді қайталанбалы болады.

Жүкшығырдың кішігірім өнімділігі оның қозғалтқыштарының білігінің номинальды қуаттың статикалық қарсылық моменті азаюы бар кезде қол жеткізуге болады, егер құбырды көтеру шарты бойынша көтеру жылдамдығы көбейсе, демек мына шарт орындалса:

$$\xi = m_c \omega_o / \eta = const \quad (3.2)$$

мұнда, m_c – барабанды жүкшығыр білігіндегі қарсылық моменті;

ω_o – барабан жүкшығырдың бұрыштық жылдамдығы;

η – қозғалтқыштан барабан жүкшығырға КПД беріліс.

Беріліс сандары беру санын және электрқозғалтқышты айналу жиілігін реттеу диапазонын әдетте мына жағдайда жетектің механикалық сипаттамасын тұрақты қуаттың қисығына жақын етіп таңдап алады.

Айналу жиілігін кең диапазонды реттегіш электржетегі-нің көмегімен сатысыз немесе көп жылдамдықты трансмиссийдің көмегімен сатылап (3.2) шартты орындау үшін жүкшығыр барабанының айналу жиілігін өзгертуге болады.

Сатысыз көтеру жылдамдығының өзгеруі кезінде жүкшығыр жеңілдейді және арзандай бастайды, бірақ оның жетегі қиындай түседі және қымбаттайды; сатылы өзгеру кезінде қиындық және жүкшығыр бағасы жоғарылайды, бірақ қиындық пен жетек бағасы арзандайды. Техника–экономикалық есептеулермен белгіленген, бұрғылау тереңдігі өскен сайын электржетекті реттегішті қолдану тиімді.

Жетекті электрқозғалтқыштардың саны көптеген себептермен анықталады (қолданылатын электрлі машинасында

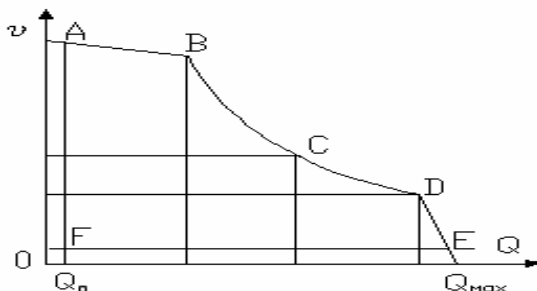
бірыңғайлау, шектеулі ауданда ыңғайлы жайластыру және т.б.), сондықтан бірқозғалтқышты, екі қозғалтқышты, үш қозғалтқышты және төрт қозғалтқышты сұлбалары кездеседі. Үш және төрт қозғалтқышты сұлбаның пайда болуы үлкен қуаттағы қондырғылардың қолданылатын электр жабдықтарын бірыңғайлау бағытымен түсіндіріледі.

Отандық және шетелдік тәжірибеде 2-қозғалтқышты жетек кең қолданылуда, 2-қозғалтқышты жүкшығыр жетегінің қозғалтқышын міндетті тексерісі бар тең қуатты БКТ-ны төмен берілістен бір қозғалтқышымен максимальды салмақта көтеру мүмкіндігіне байланысты таңдалады. Мұндай жетек қатарында бір қозғалтқышы істен шығып қалған жағдайда жұмысты төмен өнімділікпен қамтамасыз етеді, сонымен қатар жүктемені азайту кезінде қозғалтқыштардың бірін өшіруге рұқсат етеді, ол электр энергиясын үнемдеуді береді. Бірақ үлкен қуаттағы бір қозғалтқыштан қарағанда жарты қуатты екі қозғалтқыш 1,2 есе ауыр және қымбат; бір білікке және басқасына жұмыс істейтін екі қозғалтқыштың арасындағы жүктемені тең мөлшерде бөліп беру үшін қажет құрылғы.

Түсіріп-көтеру операцияларының (шамамен 50%) негізгі уақыты ілгектегі жүктеме Q түсіріп көтеру агрегатының ξ максимальды жүк көтерімділігінің Q_{\max} кейбір бөлігін құраған кездегі, яғни $\xi = Q/Q_{\max}$ болғандағы КБТ-мен орындалатын операцияларға кетеді. Сондықтан бұрғылау қондырғыларын жобалағанда жоғары жылдамдықта БКТ-ның орнын ауыстыру мен ерекше жүктелмеген элеваторды таңдауға көңіл бөледі.

Зерттеулермен белгіленген [14] шамның 25м ұзындығы кезінде жоғары жылдамдықтың рационалды ұзындығы 1,6-1,7 м/с құрайды. Барлық жағдайларда жүктелмеген элеватордың көтеру жылдамдығы 1,4-1,5 м/с төмен болмауға тиіс.

Бұрғылау жүкшығыры электржетегін реттеудің механикалық қажетті сипаттамасы 3.7-суретте келтірілген.



3.7-сурет. Түсіріп-көтеру агрегатының механикалық сипаттамасы:

v – ілгек жылдамдығының сызығы; Q – ілгектегі салмақ

Ілгектегі жүктеменің дискретті сипаттамадағы өзгеруіне байланысты және жетек қуатының тұрақты үлкендікте орналасуы беріліс сандарын рационалды таңдау нәтижесінде қажет және оларға сәйкес келетін беріліс қатынастарын жетектің шектелген қуатында өте жақсы қолдануды қамтамасыз етуге тиіс.

Осыған байланысты, БКТ көтеру режиміндегі түсіріп көтеру агрегаты электржетек келесі негізгі талаптарға жауап беруге тиіс:

- жылдамдықты реттеудің қажетті диапазоны (10:1) мен тұрақты қуат режиміндегі жылдамдықты реттеу мүмкіндігіне ие болуы тиіс;

- апаттарды жою және құбырлар колоннасының әрі-бері жүруімен байланысты операцияларды орындау үшін, қажетті деңгейдегі жүктемені қабылдау қабілеттілігі (1,8-2,2 номиналды моментке дейінгі) ие болуы тиіс;

- іске қосу сипаттамалары ырғақтықты, бірақ электржетектің жеткілікті қарқынды оталдыруын қамтамасыз етуге тиіс;

- механикалық сипаттаманың қаталдығы мынадай болуы тиіс, статизм номиналды айналу жиілігінің 5-8% аспауы керек;

- $\pm(30-40)$ мм дәлдіктегі жүккөтеру жүйесіндегі ілгектің тоқтау орнын қамтамасыз етуі керек.

Электржетектің жұмыс режимі циклден циклге жалғастырмалы қосу қатынасы өзгерімі бар қайталанбалы-қысқа мерзімді болады.

Көрсетілген талаптарға толық мөлшерде ТТ-Қ және ТЖ-АҚ жүйесіндегі электржетектер қанағаттандырады. Заманауи отандық жеке электржетекті негізгі механизмдері бар бұрғылау қондырғыларында екі аймақтағы жылдамдықты реттеу мен координатты бағынышты басқаруы бар ТТ-Қ жүйесіндегі электржетек кең қолданыс тапқан.

Электр қозғалтқыштың қоздыру тоғын тәуелді басқарымы бар бұрғылау жүкшығыры электржетегінің функционалды сұлбасы 3.8-суретте көрсетілген.

БКТ көтеру жылдамдығын басқару бірінші аймақта келесі реттегіштермен іске асады: ПИ – токты реттегіш (ТР); П – жылдамдықты реттегіш (ЖР) және қуатты реттегіш (ҚР); Осыған сәйкес электржетектің тұрақты қуаттағы режимін қамтамсыз ететін АБЖ жылдамдықты реттейтін қарапайым жүйе ретінде әсер етеді. БКТ көтеру жылдамдығы сельсинді бұйрық аппаратпен СБ беріледі.

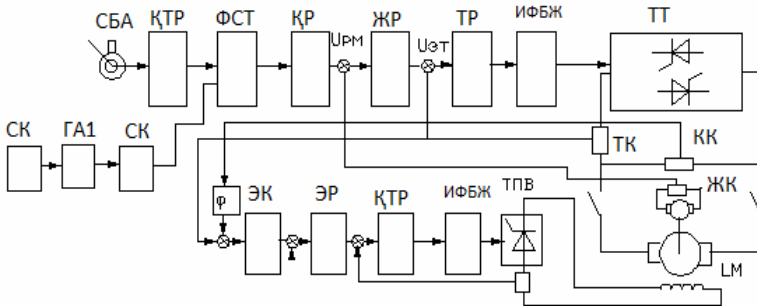
Жетекті басқару екі канал бойынша жүзеге асады: зәкір шынжыры және қазу шынжыры бойынша. СБА бұрылу бұрышы реттеу процесін 2 сипаттамадағы аймаққа бөледі.

Реттегіш параметрінің РС-ке қарсы тұруы, ол БКТ және ЭҚК қозғалтқышының номиналды жылдамдықта көтерілуі бұрылу бұрышының айналдырғышының командоаппаратына жетеді.

$\alpha = 0,5 \alpha_{\max}$. СБ бұрышының үлкен бұрылысқа ие болуы, оның жылдамдығының өсуі магниттің өрістік азаюына байланысты. Екінші зонада жылдамдықты басқару ПИ реттегішінің күшімен ток қоздырушы ҚТР және П – реттегіш ЭҚК ЭР, осыған байланысты АБЖ ЭҚК-ң қозғалтқышының жүйесінің стабилизациясы болады. Сигнал, ЭҚК-ң пропорционалды фактылы мағынасы, олар сигналдың таралу көрсеткішінің кернеуі (КК) және токтың көрсеткіші (ТК), сондықтан сигнал КК әртүрлі мәнге ие. ЭР реттегішінің кіруіне U_{33} сигнал тапсырмасы жиі беріледі, номиналдық мәнге ұқсас ЭҚК және қарама-қарсы байланыс сигналы ЭҚК U_{oc} э. Бірінші аймақта сигналдың реттелуі кезінде ЭР шығуы максималды және түйіннің шектеуіне тең реттегіш ЭР (реттегіш “қанығу” зонасында болады) сол себепті қоздырушы ток тұрақты тең номиналды. Содан кейін зәкірдің номиналды кернеулі шегі

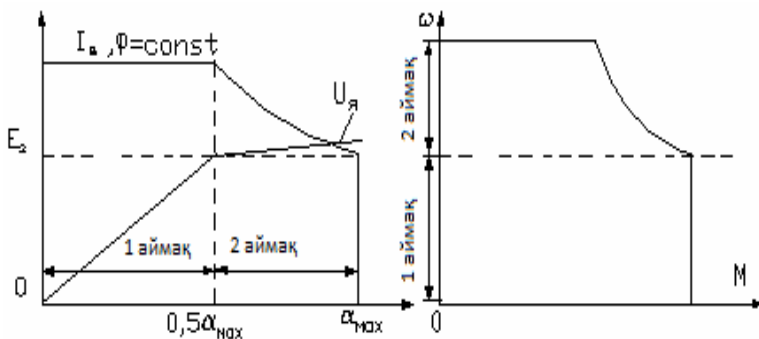
болады, ол бұрыштардың көбеюіне байланысты бұрыштардың ЖР бұрылысының нәтижесінде $0,5 \alpha_{\max}$ до α_{\max} дейін зәкірдің кернеуі және ЭҚК біраз артады.

Содан кейін зәкірдің номиналды кернеулі шегі болады, ол бұрыштардың көбеюіне байланысты бұрыштардың ЖР бұрылысының нәтижесінде $0,5 \alpha_{\max}$ до α_{\max} дейін зәкірдің кернеуі және ЭҚК біраз артады. Осы себепті ЭҚК өзіндік ұзындығын көбейтеді. Осыған байланысты ЭР реттегіш іске қосылады және ток қоздырғышты азайтады, ЭР реттегіш “қанығу” аймағынан шығатын болғандықтан және сызықтық алаңның жұмыс істеуіне сипаттама ЖР (сигнал $U_{эс}$) сигналының тапсырмаға кіруі толығымен сигналдың қарсы жылдамдықта болуымен байланысы. Екінші зонада жылдамдықтың артуына байланысты, онда номиналды және максимальды зәкірдің кернеуі біраз пайызға ғана артады.



3.8-сурет. СБА – сельсинді бұйрық аппарат; ТК, КК, СК, ДҚТ, ДЭ, ЖК–зәкір тоғы, кернеуге, БКТ салмағы, қозушы ток, ЭҚК, жылдамдыққа сәйкес бергіштері; ҚР, ЖР, ТР, ЭР, ҚТР – қуатқа, жылдамдыққа, зәкір тоғына, ЭДС, қозушы токқа сәйкес реттегіштер; ТШБ – зәкір тоғының шектеу түйіні, ГА1, ГА2–гальваникалық айырым, ҚБ – қарқынды бергіш, LM – қоздырғыштың қоздыру орамасы, К – контактор, ФСТ – фазосезімталдылық түзеткіш, Ф – фильтр, СБС – сигнал бөлудің салмағы БКТ, $U_{рс}$, U_{pnz} , U_{pnd} , U_p – сигналдың тапсырмаға байланысты жылдамдығы, зәкір тоғы және ток қоздырғыш, ЭҚК.

Сол себепті қоздырғышты басқару каналды басқарумен байланысты реттегіштің зәкір тізбегі болады, сигналдың кері байланысы ЭҚК-ң қосушы буыны, реттелген екі каналдың басқарылуын қарастырады. Қаралған АБЖ жылдамдықтың сызықтық сигналының тапсырмасын U_{zc} нөльдік және максимальдық диапазон мәнде қарастырады.



3.9-сурет. Басқарудың сипаттамасы (а) және электрқозғалтқыштың механикалық сипаттамасы (б)

Электржетектің бұрғы шығырының максимальды жылдамдығы КБТ салмағына байланысты өзгереді, осы себепті қуаттың жетекпен ұзаруы жиі қолданыста болады. Осы мақсатта реттеуіштің ҚР қуатының түйіні (анығырақ—шектеулі қуат) БКТ салмағында реттеледі. Түйін өзіне пропорционалды күшейткіш көрсетеді және шектеулі шығару кернеуімен басқарылады. Шектеулі деңгейдің реттелуі функционалды сызықты емес заңның көмегімен жүзеге асырылады, сигналдың U көрсеткішінің ілмек ұзындығына байланысты. БКТ-ң салмағының өсуі автоматты түрде кемиді, электржетектің қуатының режимін қалыптастырады. Ілмек күшінің артуына байланысты түйіннің қозғалу қуатының шектеулі, кернеудің кіруі ЖР U_{zc} , ретті, БКТ-ң көтеру жылдамдығы салмаққа қарағанда азаяды. Номиналды және жоғары күште ілмектің магниттік өрісінің қозғалтқышы азаймайды. Қашау (Долота) берімі кезекті түсірім кезінде БКТ-ң жоғарғы нүктесінде болады, жынысты бұрғылау процесінде жүзеге асырылады.

Бұрғылау режимі орындалғанда долотаның берілу жылдамдығы жынысты бұрғылаудың жылдамдығына тең болу керек. Егер долотаның берілу жылдамдығы жынысты бұрғылау жылдамдығынан артса, онда кенжарға түсетін жүктеме көбейеді, оқпан ұңғымасының қисаюуына және бұрғылау трубаларының бұзылуына әсер етеді. Егер долотаның берілу жылдамдығы жынысты бұрғылау жылдамдығынан аз болса, онда кенжарға түсетін жүктеме азайып, бұрғылау жылдамдығының азаюына әкеліп соғады.

Тау жынысын бұрғылау процесінде амперметр көрсеткіш бақылауында, зәкірдің тоғын өлшеу, көрсеткіш салмағында болады. Аспаптарды қолмен беру кезінде (бұрғылау қозғалтқышының статор орамындағы амперметрі және салмақ индикаторы) периодты түрде барабан шығырын тежейді, осы долота беріміне әкеліп соғады. Қолмен беру тәсілмен балқытылған және бір келкі долота алу қиындық туғызады. Бұл тапсырма автоматты реттегіштің долота берімі арқасында шешіледі.

3.1.3. Автоматтандыру жүйесін бұрғылау процесінде талдау

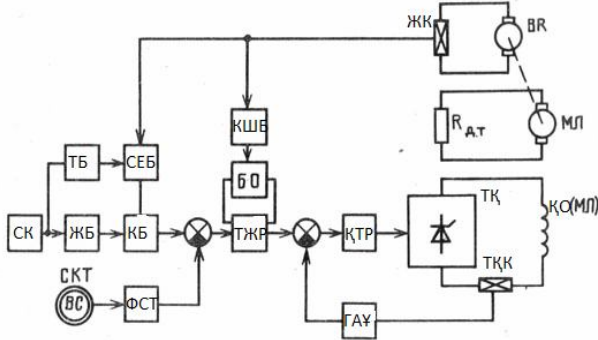
Долотаның автоматты реттегішін қолдағанда долота кенжарға басқа параметрлерге қарамай автоматты түрде беріледі, бұрғылау режимінің сипаттамасына, мысалы, кенжарға қысым және бұрғылау қозғалтқышының статор тоғына беріледі. Орналасуына байланысты долота берімінің автомат-ты реттегіші жерүстілік және тереңдік болып бөлінеді. Жерүстілік автоматты реттегіш берімінің конструктивті көрсеткіші түйін көрсеткішіне байланысты электрмашиналық, гидравликалық және фрикционды болып бөлінеді. Егер түйін күшінің конструкциясы БКТ-ны әртүрлі жылдамдыққа түсірсе, онда мұндай автоматты реттегіштер пассивті болады. Егер түсіру ғана емес, БКТ-ны көтерсе, онда мұндай реттегіштер активті деп аталады. Бұрғылау қондырғысының жұмыс әсерлілігі тежеуіш жүйесінің жұмысының өніміне байланысты болады. Бұл тапсырмаларды шешетін бірнеше құрылғылар бар.

Электржетектің тұрақты тоғының автоматты реттегіш берімінің жылдамдық сұлбасы 3.10-суретте келтірілген. Сұлбада

динамикалық тежеуіштің жүйесі қолданылған. Динамикалық тежеуіш жүйесі электржетектің тұрақты және әртүрлі ток түрінде құрылады. Практикалық қабылдау тек тұрақты ток жүйесінде ғана қабылданады.

Сұлба келесі элементтерден тұрады: ШЭ – шығырдың электрқозғалтқышы; ҚО – қоздыру орамасы; ВР – тахогенератор; ТҚ – тристорлы қоздыру; ЖК, ТҚК, СК – көрсеткіш жылдамдығы, ток қоздырушысы көрсеткіш, салмақ көрсеткіш; ГАҰ – гальваникалық айырым ұяшығы; РТЖ, РТҚ – реттегіштің тиісінше түсіру жылдамдығы және ток қоздырушысы; ФСТ – фазосезімталды түзеткіш; ТЖ, ТК, ТСЕ, ТК, ТШҚ – түйін жабу, коррекциясы, сызықтық емес, көбею және шекті қоздырушы; Қисық 1 номиналды жұмыс режимінің жүйесіне сәйкес (зәкір тоғы 1640А), қисық 2 номиналды – зәкір тоғының шектелуі (2600А).

Динамикалық тежеуішті басқару жүйесі үш контурдан тұрады. Бірінші (ішкі) – бұл ток қоздырғышты реттегіштің контуры, екіншісі – зәкір тоғының реттегіш контуры, үшіншісі (негізгі) – жылдамдық реттегіштің контуры. Реттегіш кіру түсірімінің жылдамдығының сигнал берілуі екі каналмен беріледі: басты режимде – каналдың кері байланыс жылдамдығымен, режимді баяулату – канал жонуының (форсировкасының) тежеуіші. Бірінші канал бойынша жылдамдық түсірімінің тапсырмасы автоматты салмақ функциясында болады. Екінші каналда оператор баяулатқыш жүйесінің түсірім циклын немесе кез-келген уақыт режимін басқарады. Екінші канал бойынша басқару сельсинді командоаппараттың тежеуіш (СКТ) арқылы жүзеге асады. Осы себебі токтың қоздырғыштық өсу форсировкасы және динамикалық тежеуіштің моменті қарастырылады.



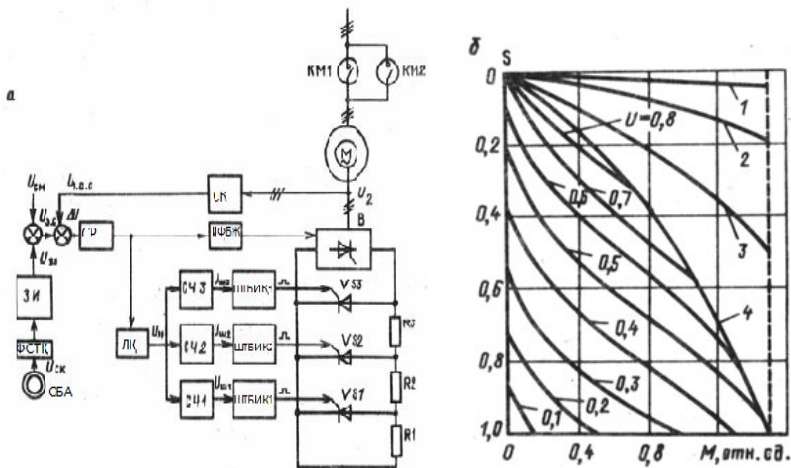
3.10-сурет. Автоматты реттегіштің БКТ процесі кезіндегі түсірімі және динамикалық тежеуіші

Жерүстілік бұрғылау қондырғысы ұңғыма тереңдігі 5000м дейін орталықталған электржабдығында асинхронды электржетектің бұрғылау шығыры тристорлы реттегіштің сырғуы қабылданады, тек қысқа уақытты жылдамдықты қабылдайды. АҚ-ТРС жүйесі өзіне асинхронды жетекті фазалық басқарумен тристорлы ротор қозғалтқышы (3.11-сурет). Ротор қозғалтқышының тізбегіне үшфазалық түзеткіш басқарылуы қосылған, көпірлік сұлбамен жиналған, жүктеменің іске қосқыш кедергіге жұмсалуды, тұйықтаулы тристорды таратып жіберу процесінде қолданылады. Реттегіш сипаттамасын таңдау сельсинді командоаппараттың сабымен іске асырылады.

ИФЖБ–импульсті-фазалық жүйені басқару; КМ–реверстің жоғарғы кернеуі; М–электрқозғалтқыш; ТТ–тристорлы түзеткіш; R–іске қосқыш кедергі; VS–тұйықталған тристор; СКАР–сельсинді командоаппарат; ҚБ–қарқынды бастапқы бергіш; ДСК–көрсеткіш сырғуы; РС–реттегіш сырғуы; ШТБЫҚ- шунтирлі тристормен басқару импульсті құрау; С–санағыш; ЛҚ–логикалық құрылғы; ФСК–фазосезімталды құрылғы; ; $U_{зн}$, $U_{к}$, $U_{ш}$, $U_{см}$, $U_{з.с}$, $U_{о.с}$ – сигналдың тиісінше интенсивті, сельсинді командоаппараттық, шунтирлі тристорды басқару, аралас, жылдамдық тапсырысы және жылдамдықтың кері араласуы (1-4 сипаттамалар).

БКТ-ң автоматты түсірілуін сапалы етіп, электрмашинаны реттегіштердің долота берімінің активті түрі РПДЭ-7, РПДЭ-8

қарастырады, бұрын шығарылған электржетек жүйесінің Г-Д реттегішінің долота берімінің түрі РПДЭ-3. Олар ұңғыма бұрғылау режимін түтікшелік және роторлы бұрғылау кезінде қадағалайды. Олар соңғы шыққан бұрғылау қондырғысының сериялы түріне кіреді (РПДЭ-7теңіз бұрғылау қондырғысы).



3.11-сурет. Функционалды сұлба (а) және бұрғылау шығырының тристорлы реттегіш сырғуының механикалық сипаттамасы (б)

Реттегіш күтіп ұстау режимінің белгіленген долотаның жүктемесін қарастырады (аспаптың салмағы) т.б. негізгі режим, күтіп ұстау режимінің белгіленген жылдамдық берімі немесе аспап көтерімі-көмекші режимдер. Долота берім реттегіш РПДЭ-7, РПДЭ-8 электржетектің ТП-Д жүйесімен жарактанған.

Реттегіш объектісінің автоматты долотаның берім жүйесі жыныстың тиіп кету бұрғылау аспабы болып табылады. Реттегіш объектісінің кіру ұзақтығына жылдамдық берімі қызмет етеді, ал шығуына-долотаның жүктемесі қызмет етеді. Реттегіш берімінің электрмашиналық түрі сериялық шығуы жүктеменің күтіп ұсталуы долотаның қалыптасу жылдамдығы жолының берім ұзақтығында қолданылған, пропорционалды арасындағы ағымдағы және топ қалған жүктеме. Осы себепті долотаға жүктеме әртүрлі толық салмақта БКТ және ілмек

күшінде болады. Реттегіштің долота берімінің сұлбасы 3.10-суретте көрсетілген.

Жүккөтерімге карағанда түсіріп-көтеру агрегатының бұрғылау қондырғысы екі қызметте түйіннің өлшеу көрсеткішінің салмағы – сакинаның серпімді кенеюі немесе тостағанды мембранаға байланысты. Крюк күшінің өлшеу диапазоны – 0-4000кН, көрсеткіштің шығу кернеуі – 0-10В, крюк күшінің өлшемдер қателігі $\pm 1,5\%$.

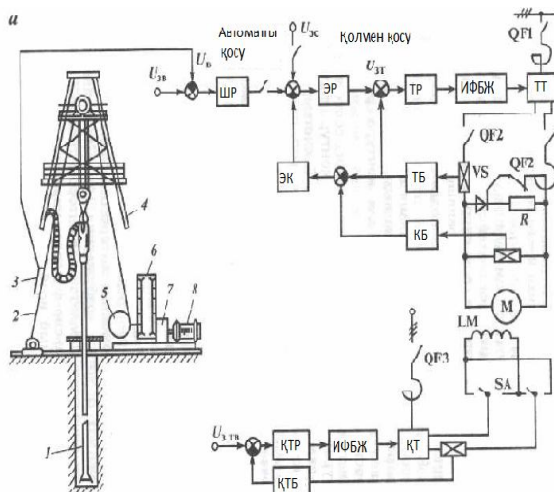
Тапсырма сигнал арасындағы айырым U3B және UB сигналы, көрсеткіштің салмағының реттегішке CP әсер етуі, шығу сигналы өз кезегінде тапсырма сигналының мағынасы ЭҚК болып табылады. Осы себепті крюк күшінің өзгеруі бұрғылау кезінде реттегіштің CP шығу сигналына әсер етеді, долота берімінің жылдамдық реттегішінің сигнал контуры болып табылады.

Электр жетекті басқару жүйесі екі контурлы реттегіштен тұрады: токты реттейтін ішкі контур өзіне реттегіш токты TP қосады, импульсті-фазалық басқару жүйесі (ИФБЖ) тристорлы түрлендіргіш және көрсеткіш тоғы КТ; ЭҚК-ң сыртқы реттегіш контуры өзіне ЭР ЭҚК реттегіш қосады, токты реттегіш контур және көрсеткіш ЭК ЭҚК. Сигнал, порпорционалды ЭҚК қозғалтқышы, әртүрлі сигнал бергішінің кернеуін БК және токты алады.

Реттегіш жүктемесінің автоматты жүйесі долотаның ауытқу принципі бойынша жұмыс атқарады. Жүктеменің ауытқу мәні электржетекті басқару жүйесінің долота берімі жылдамдығымен өзгереді және долота жүктеме мәні қайта қалпына келтіріледі.

М электрқозғалтқышын реверстеу SA ауыстырып қосуы арқылы жүзеге асады, осының арқасында полярдың қыспақ орамындағы қозғалтқыш LM өзгереді, токтың қоздыру тұрақтануы реттегіш ток ҚТБ арқылы реттеледі, импульсті-фазалық басқару жүйесі (ИФБЖ) арқылы тристорлы қозғалтқыш ТҚ әсер етеді. ҚТБ реттегішке кіру әртүрлі сигналдардың ток қозғалтқышы және көрсеткіштің ток қоздырушысы КТҚ арқылы түседі.

Электрлі тізбектің қысқа тұйықталу кезіндегі қорғаныста автоматты ажыратқыш QF қолданылады. Динамикалық тежеуіш режимінде зәкір қозғалтқышының тристоры VS кедергі R-ге қосылады.



3.12-сурет. Автоматты реттегіштің долота берімінің функционалды сұлбасы (а); электржетектің механикалық сипаттамасы; 1 – бұрғылау аспабы; 2 – белдік арқан; 3 – көрсеткіш салмағы; 4 – бұрғылау

РПДЭ электржетегіне негізгі техникалық талаптар:

- жұмыстар режимі ұзақ қалыпты жүктеме тұрарлық;
- іске қосқыш моменті жеткілікті ілмекте тиісті максималь жасау үшін крюкке жетуі керек;
- диапазонды реттегіштің жылдамдық мәні нөлден номиналды мәнге дейін, тұрақты моментте жылдамдық режимінің реттелуі;
- реверстелген электржетек;
- көп емес 5-10% номиналды жылдамдықтар статизмнің механикалық сипаттамасы.

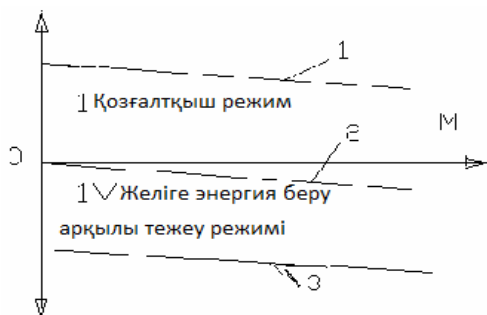
РПДЭ электржетегінің негізгі параметріне жетектің қойылған қуаты және максимальды айналудар жиілігі, БКТ максимальды жылдамдық берімі 80-90м/сағ.

Реттегіштің функциялары берімнің жетек апатымен қосарлануы, максимальды салмақты жылдамдықпен БКТ берімі есептелген, жеткілікті оқпан ұңғымаларының кедергілерінен сақтап қалу үшін, электржетектің параметрінің реттеуіші долота берімінің негізгісімен емес, апаттық режиммен таңдалады.

Сонымен қатар, электржетектің реттеуішінің долота берімі көтерімге және қысқа қуатты кедергінің максимальды жүктемесінің жөндеу және бұрғы қондырғысын сынау кезінде қолданылады.

Максимальды жүккөтеріміне қарағанда бұрғы қондырғысы жетектің электрқозғалтқышы 55;75 және 90кВ номиналды жиілік айырыммен 1000-1180 айн/мин қолданылады.

РПДЭ негізгі жабдығы болып электрқозғалтқыш және комплексті басқару қондырғысы. Долотаның берімі реттеуішінің дистанционды басқарылуына аппаратура, бұрғылаушының белгілеу пультімен басқарылады.



3.13-сурет. Жетектің түсіріп-көтеру агрегатының рекуперативті тежеуішінің механикалық сипаттамасы

3.2. Тау-кен машиналарының электржетегі

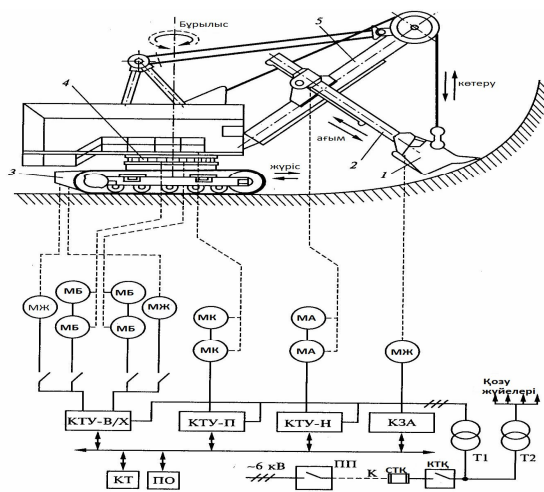
Жаңа біршөмішті экскаватор–ашық тау-кен жұмыстарында тиіп-тасымалдау жұмыстарының өндірістегі тау-кен машиналарының негізі болып табылады. Олар кең көлемде өндірісте тиіп-тасымалдау жұмыстарының ашық тау-кен қазуларында қолданылады. Экскаватордың үзіліссіз жұмысы тау өндірісінің жұмыс әсерлігімен байланысты болады.

Экскаватор-күрегінің механикалық құрылғысының құрамына (3.14-сурет) кіретіндер: жұмыс құрылғысы, бұрылыс платформасы 4 және жүріс бөлігі (арбаша 3).

Экскаватор электрленген механизмдердің комплектісінен тұрады, қиын жағдайда ұзақ жұмыс уақытша есептелген. Бұл машиналар, шөміштен бастап 2,5 м³, электрлі күрек ретінде

және драглайн сияқты құрастырылады. Экскаватор-күрек пен драглайынның негізгі айырмашылығы шөміш конструктивінің байланысының жұмыс құрылғысымен және жердің экскавациялық әдісі. Сонымен қатар, драглайндар ұзын бағыт беруші жебемен іске асырылады, ішіндегі ең үлкен шөміштің өнімділігі 6 м^3 және орын ауыстырулар механизмдердің қадамына байланысты.

Экскавация процесі тау-кен массивін қазумен шектеледі т.б. оның бұзылуы кенжарды қазуды циклдың режиміне және шөмішті транспорттау орнына түсіру. Кіші машиналардың циклінің жалғасы шөміш көлемі $2,5...5\text{ м}^3$ құрылуы $5...32\text{ с}$ және бір уақытта шөміштің геометриялық өлшемінің өсуі және жұмыс құрылғысында өсуі. Цикл өзіне тек келесі технологиялық операцияларды қарастырады: қазу, жүк тиелген шөміштің көтерілуі бір уақытта бұрылуының платформасын түсіру орнына, шөмішті кенжарға түсіру және қайта қайтару.



3.14-сурет. ҚП – қабылдау пункті; СТҚ – сақиналы токқабылдауыш; КТҚ –комплект таратушы құрылым; Т1 және Т2 – негізгі және көмекші трансформаторлар; КТУ-П, КТУ-Н және КТУ-В/Х– тиісінше комплект тристорлы құрылғының электржетегінің көтерімі, арыны және бұрылысы; КҚА – коммутациялық – қорғайтын аппарат; МК, МА, МБ және МЖ–электржетектің көтерімі, арыны, бұрылысы және тиісінше жүрісі.

3.2.1. Біршөмішті экскаватордың электржетегі

Экскаватор айналмалы үшфазалық токпен карьерлік және құрылыстың тізбектік электржабдығынан қоректенеді. Сақиналы токқабылдауыш арқылы электр энергиясы жоғары вольтты таратушы шкаф, бұрылысты платформада орналасқан.

Эксплуатациялық экскаваторлар электржетектің негізгі механизмінің магнит күш сұлбасы магнитті күшейткіш–генератор–қозғалтқыш (СМУ-Г-Д)–тұрақты ток–экскаваторлар массасы сериямен ЭКГ-5А және ЭКГ-8И. Басқа экскаватор сериялары ЭКГ-10 және ЭКГ-12,5 тристорлы қозғалтқышының генераторында қолданылған, сол себепті ТВ-Г-Д жүйесі шыққан. ЭКГ-20 экскаваторы түрлендіргіш зәкірлі тізбегінде ТП-Д сұлбасы қолданылған.

Электржетектің көтеру механизмі жылдамдықты басқару және шөмішті ауыстыру бағытының вертикальды жазықтығына арналған. Күректердің негізгі технологиялық функциялары келесідей: кенжарды қазу процесі кезінде шөмішті көтеру, шөміштің көтеріліп және түсірілуі, транспортқа түсіру немесе үйінді және шөміштің кенжарға қайта келіп түсуі.

Механизм көтеру шығырынан және арқаннан тұрады. Реверсті шығыр қозғалысқа индивидуалды қозғалтқышқа редуктор арқылы жүзеге асырылады. Қозғалтқыштың жұмыс режимі–интенсивті қайтарымды–қысқа уақытты. Конструктивті қозғалтқыштың атқарылуы–біліктің екі шетінің горизонталь муфта редукторымен қосылуы және шкивтің тежеуішінің орнатылуы.

Экскаватордың түрлері бар редукторсыз жай жүретін электржетекпен білік қозғалтқышында көтерім шығырлары барабанда тікелей қойылған. Тұрақты ток қозғалтқышын қолдану кезінде қозғалтқыш жылдамдығын реттеу кернеу өрісі зәкір орамының басқа индивидуалды түрлендіруінде болады.

Асинхронды қозғалтқышты қысқа тұйықталған ротормен қолданғанда реттегіштің жылдамдық жиілігі қолданылады. Жылдам түсіру сонымен қатар ағын ілінісінде баяулату орындалады. Жетектің оперативті тежеуіші – жүк тиелген шөміштің ұстап тұру режимін қосу электрлі болады.

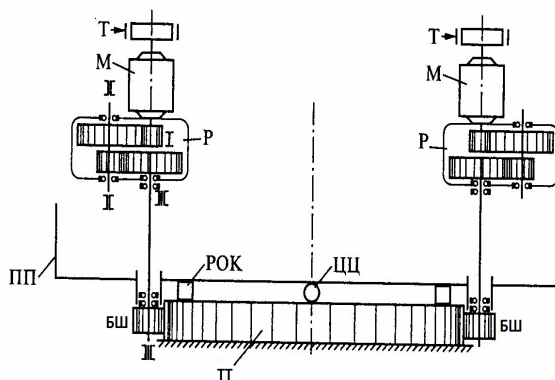
Электржетекті көтеру негізгі жүктемеге сәйкес мәнде болады, шөмішті көтеру жылдамдығы және экскаваторды шығару электржетектің негізгі тобына жатады.

Электржетектің арын механизмі күректің жылдамдық басқару және түсіп жатқан шөміш сабының горизонталь тегістігін қамтамасыз етеді. Жазықтыққа ауысып түсу бағыты қарастырылады. Ол шөмішті кенжар қазу кезінде басқаруды, кенжардан шығаруды, транспортты құрылғыға ауыстыруға немесе үйінді және кенжарға қайта келуге арналған. Электржетектің көмегімен оператор кенжарға керекті арында береді, өзіне керекті шөміш тереңдігінің дәрежесін және қазу трассасын таңдайды. Механизм арын шығырынан және арқандар (арқан түрінде) және тісті жазық берулерден тұрады.

Қозғалтқыштың жұмыс режимі және индуктивті атқарылуы аналогиялық электржетектің көтерімі. Механизмді басқа динамикалық жүктеменің жетегімен қорғау муфтаның толық моментімен құрылады, ол эластикалық және функционалды буындардың қосылуы.

Оперативті тежеуіш—электрлі тік тежеуіштің қысқыш түрі. Сап жүрісінің жұмыс шебі механикалық таянышпен қамтылады, ал соққының жеңілдеуі үшін, шөміштің кері оңтайлануына қосымша қарқынды тежеуіштің сигналының соңғы командоаппараты қолданылады.

Электржетектің бұрылу механизмі (3.15-сурет) жылдамдықты басқарумен қозғалтқыштың айналу бағыты толық бұрылыс плаформасының экскаваторының жұмыс құрылғысын қарастырады.



3.15-сурет. Механизм бұрылысы

Электржетек шөмішті кенжардан айналу платформасы арқылы шығаруға орнына түсіру және кері қоюға арналған. Шөмішті түсіру кезінде транспорттық құрылғы толық аялдама платформасын жасауы керек, үйіндіні түсіру жүріс кезінде орындалады және т.б. реверс платформа процесінде. Механизмнің ерекшелігі, ол момент инерциясының өзгеру мәнінен тұрады. Механизм редуктордан және үлкен беріліс санмен және білік тісті доңғалағының шығуы, жылжымайтын тістік тәждің (венцтің) айналуымен, күректің жүріс орналасқан немесе драглайнның арын базасынан тұрады. Жетек, ереже сияқты, көп қозғалғыш реверсті режимнің жұмысы жай өсу жылдамдығымен және жылдамдықты басқару индивидуалды қозғалтқышпен қарастырылады, индивидуалды түрлендіргішінің басқаруымен өткен драглайндардың қатары жай жүрісті электржетектің бұрылысымен жасалған. Электрқозғалтқыштың бұрылыс білігінің механизмінде қозғалтқыш құрылымының атқарылуы-біліктің екі соңғы тігінде электржетектің механизмнің экскаваторға ауысуы әртүрлі механизмнің құрылымды атқарылуымен, көп таратылған электржетек жеке қозғалтқышпен ерекшеленеді.

Электржетектің негізгі параметрі есептелген экскаватордың механизмдері келесідей: жұмыс режимі – S8, қосу жиілігі 1 сағатқа 1000 (бұрылу механизміне – 500, жүріс механизмі және электрмеханикалық жүріс – 100); жүк түсіру моменті бойынша 2...2,5; жылдамдықты реттегіш диапазоны – 10; жүріс механизмі 5:1) көптеген жұмыс экскаваторларға электржетектер орнатылған, Г-Қ (генератор-қозғалтқышының тұрақты ток) жүйесі қойылған.

Түрлендіргіш электрмашиналы агрегат синхронды және синхронды электрқозғалтқышты және үш генераторлы тұрақты токтан тұрады. Әр генератордан электрқозғалтқыштың тобы негізгі механизмнен қорек алады, тізбекті жалғанған, параллельді және аралас сұлба түрінде болады. Егер негізгі механизм жұмыс істемесе электрқозғалтқыштың жүрісі генератордың негізгісімен қоректенеді. Қозғалтқыштың жылдамдық бұрышының өзгеруі ток қоздырушы генератордың реттелуімен және тиісінше кернеуі, электрқозғалтқышқа берілуінен қамтылады. Генератордың кернеуі автоматты түрде

реттелуі керек, себебі кіші жүктемелерді электрқозғалтқыштың жылдамдық бұрышы өсуі үшін, ал жүктеме моментінің өсу жылдамдығы тез 0-ге дейін жетек тоқтатқышы болады. Осыған байланысты генератордың қозғалтқыш жүйесі жоғары тез қозғалтқыш болады, себебі қозғалтқыштың орамасы электромагнитті тұрақты уақытымен есептеледі. Электржетек негізгі механизмі экскаватордың жоғары өнімді жұмысты біруақытта шектеулі жүктемесінің механизм және электрлі құрылғысымен каралады.

Қазу механизміне қарай жүктеме жұмысының моменті білікте қозғалтқыштың жылдамдығы азаяды. Қозғалтқыштың моменті Мотс токкесерінің моментіне жетеді, қозғалтқыштың жылдамдығы тоқтатқыш режимі 0-ге дейін азаяды. Тоқтатқыш моменттің мәні $M_{ст}$ – статикалық момент мүмкін моменттің беріктік механизмі және қозғалтқыштың жүктеме қабілеттілігі. Бөлімше сипаттамасы, момент кіші Мотсты жұмысшы деп аталады, ал бөлімше, Мотстан көп бөлімшенің моменті шектеулі. Электржетектің Г-Қ жүйесі күш жүйесінің жетіспеушілігі:

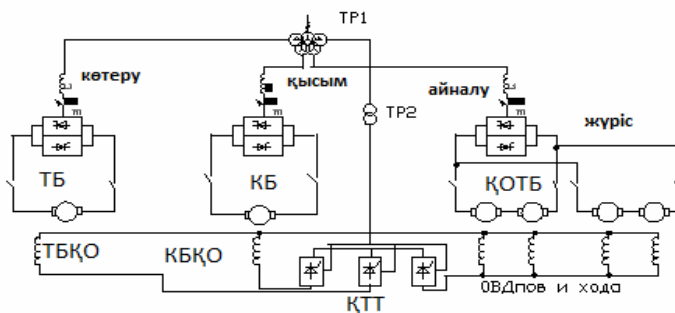
- электрлі машиналардың көп құралған қуаты;
- төменделген ПӘК;
- генератордың қоздырғыш тізбектерінің жоғарғы инерциясы.
- экскаваторды пайдалану кезінде техникалық жағдайын ескеретін оның жеке түйін және жүйелерін үздіксіз қарау және қажеттілікті қамтамасыз ету керек.

Электрлік сұлбада көрсетілгендей (3.16-сурет) негізгі электржетектер, мына жүйе бойынша орындалатын ТТ-Қ, бес орамалы күштік трансформатор қолданылған. Қозғалтқыштар тобы әрқайсысы негізгі механизмдер арқылы сәйкесінше қорек көзін тиристерлік шағын түрлендіргіштен алады. Электр қозғалтқыштардың жүрісі түйістіргіштер түрлендіргіш айналымына қосылғанда, ең соңғысы жұмыс істемейді.

Барлық электржетектермен басқару және де мына жүйедегідей Г-Қ, экскаватор машинисті басқару пульті арқылы жүзеге асырады.

ТТ-ны қолдану және электрқозғалтқыштың тұрақты токқа кішкене динамикалық инерциялы моментімен және

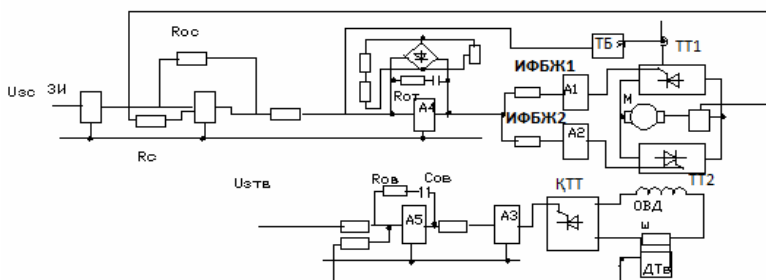
төмендетілген жиілікпен айналу мына қалыпта АРЖ мен қарастырылады, оптималды механикалық мінездемесін қамтасыздандыратын сипаттамаларын және ең жоғары тез әсер ететін, бұл сипаттамалар экскаваторға жаңа сапалар беруін қамтамасыз етеді. Тиристорлі түрлендіргіште кернеу азайғанда номиналды энергетикалық жүйе көрсеткіштері төмендейді: коэффициент қуаты төмендейді, желідегі гармоник кернеуінің жоғары құрамы көбейеді. Тиристорлық электржетектің тұрақты тоғы бұл негізгі кемшіліктері болып табылады. Көрсетілген әсер етуші факторлар қолданылған сүзгі-қарымтауыш жабдықтар арқылы бейтараптанады. ТТ-Қ жүйесінде қағидалы сұлбада көрсетілген көтергіш механизмде 3.17-суретте берілген. Механикалық сипаттамаларды қалпына келтіру үшін экскаватордың формасында қарастырылған контурлық жүйені реттеу керек.



3.16-сурет. Экскаватор жабдығының күштеп қосу сұлбасы

Экскаваторлық формада қарастырылған екі контурлық жүйенің реттеу сипаттамасы механикалық қалпына келтірумен көлденең участок қалыптасуына, ток контуры ЭҚГ реттегіші енгізілген. Тіптен ең ыңғайлы жағдайда қолданғанның өзінде тахогенератор ең ыңғайсыз бөлік екені белгілі. Кенжарға шөмішті түсіргенде өрістерді әлсірету үшін реле қарастырылған РОП, өзінің байланыстарымен резисторды тұйықтайды қоздырғы орамасының қорек көзі шынжыры енгізіледі. Қазу режимінде бұл контактор жабықтай күйінде болады. Реттеу жүйесі шынжырмен қоздырту тұрақтығына берілген токтың

қозу жоғарылығына байланысты. Сельсинді командоаппарат СКА көмегімен жетек басқарылады.



3.17-сурет. Көтергіш механизмнің электржетегі

Экскаваторға жиілік реттегіш электржетектің ауысымды тоғын қолданған өте ыңғайлы болып келеді, жекелей алғанда ТЖ басқарусыз кіруші тіктеуішпен, аралық буынымен тұрақты ток және шығу инверторымен реттелген жиілікті реттеп синусоидалы шығу кернеуі кең-импульсті модуляция-ны қолдануымыз керек. Басқарусыз кіру тіктеуішін қолдануымыз энергетикалық тұрақсыздықтың көрсеткіштерін жақсартуға түпкілікті мүмкіндік береді. Қуат коэффициентін алу, бірге жақын және жоғары гармониктердің минимальді құрамы. Жетектің кемшілігі ЕИМ мен орындалу қиындығы тежеуішті режим болып келеді, мысалға жүктерді түсірген кезде. Рекуперациялық энергияда токқа қосыша инвертор керек (аналогты тиристорлы тіктеуіш). Бұның шешімі рекуперативтік резисторлы тежеуіш, бұл жағдайда түсу энергиясы резисторда бөлініп және жылу түрленеді.

Қазіргі заманымызға сәйкес басқарылатын жартылай өткізгішті элементтер толықтай қолданылады, жиілікті түрлендіргіш активті тіктеуіш болып келеді, басқару жүйесі рекуперация режимдерін қамтамасыз ететін және қысымның мәнін сақтап қалатын және қуат коэффициентіне байланысты шешім болып табылады.

Негізгі кемшіліктері, экскаваторда жиілікті электржетектері кеңінен қолдануға кедергі келтіретін мыналар: жабдықтың

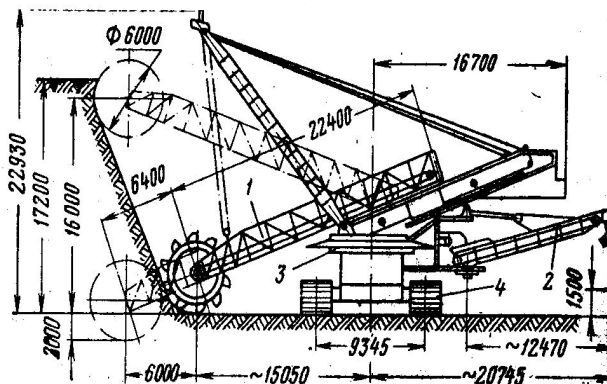
көтеріңкі қиындығы және жабдықтарды өңдеу жеткіліксіз ауыр жағдайда пайдалану, қосалқы қиындықтары тежеуіштердің режимдеріне керекті реверсті электржетектерде (жүктер түскендегі жиілігі), жоғарылатылған бағасын тұрақты токтармен салыстырғанда.

*3.2.2. Роторлы экскаватордың электржетегі
Жалпы мәліметтер[22]*

Ең ыңғайлы жолдардың бірі жер қазу машинасының комплекстерінің жұмысы болып табылатын жүйенің электржетектерде және роторлық экскаваторларға қатысты электржетектерде және роторлық дөңгелектермен байланысты болады. Платформа айналымы, жүру механизмдері және роторлы жебе жүкшығыры, пайдалы қазындыны тасымалдауға қатысады. Роторлы экскаватордың жалпы түрі 3.18-суретте берілген.

Роторлы экскаваторды қолдану үшін, карьерді өңдеу кезінде қиын гипсометриямен жүкшығыры роторлы жебе иілуіне тұрақты ток жетегі қолданылады.

Ротордың жетегі бізге көбірек тәжірибелік қызығушылық келтіріп және платформа айналуына жоғарғы құрамын реттеу, мына электржетектерді толықтай машиналық кешенге қолдануды, толықтай қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Жетектің айналуын автоматты басқару және компьютерлік басқару программаларының параметрлеріне жетек жүрісі көмегімен жүкшығыр иілімдері роторлы жебені қолданылуы конструктивті экскаватор параметрлері берілген өнімділікті, экскаватордың қолдану коэффициентінің жоғарылауы көмекші жұмыстардың қысқаруы арқасында жүзеге асады. Кері байланыс қалыңдығына немесе кесу радиусы енгізілуі өңдеудің тура жоғарылауымен, тез әсер ете АБЖ мақсатпен орындалады. Бұл жобада, шешім табуды қажет ететін сипаттамалар электржетектерді жоғарғы реттеу қасиеттерімен қамтамасыз етеді. Жұмыстың тиімділігі мынадай экскаваторлардың реттеу қасиетімен негізгі механизмнің жетектеріне байланысты.



3.18-сурет. Роторлы экскаватордың жалпы көрінісі

3.2.2.1. Роторлы экскаватордың негізгі тетігі жұмысының режимдері мен құрылымдары

Роторлы экскаватордың басты жетектеріне роторлы дөңгелектің тұғырнаманың айналмасының, жүріс механизмі және роторлы жебе электржетектержатады.

Сондықтан орташа өнімділікті экскаваторда селективті емес карьерлерді өңдеуге арналған, роторлы жебе жүкшығырына және жүрісті механизмге, асинхронды жетек қолдануға келеді.

Карьерлерді өңдеу кезінде роторлы экскаваторды қиын гипсометриямен экскаватордың роторлы жебесінің жүкшығыры иілуіне қолданылатын тұрақты тоқты жетек ТТ-Қ жүйесімен немесе ауыспалы ток жетегімен ТЖ-АҚ жүйесі қолданылады. Бұл жетектер программалық жабдықтардан ыңғайлы басқарумен қамтамасыз етіледі, көптеген жағдайларда қорғанысты пайдалы қазындыны алуда ең әрекет етуші құрал болып табылуы мүмкін, қанағаттанарлық қорғанысты, оптималды өнімділігін береді.

Роторлы жебенің жетегі айналуында бірқалыпты реттеу жылдамдығының қажеттілігі жоғалым қарымтадаушының өнімділігіне (салмағы мен көлемі бойынша) бүкіл әлемдік

тәжірибеде жақсы танылған. Бұл мәселені шешуде Г-Қ, ГТ-Қ, ТТЖ-АҚ каскадты сұлбасы қолданылуы мүмкін. Бұл бізге тиімді жүйені таңдау салыстырмалы бағалау берілуімен таңдап алуға болады.

Жекешеленген электржетек қолданылуы процесінің автоматтанылуына, өнімділіктің жоғарылауы ішкі жүйелердің резервтелуінен, механикалық сипаттамаларға қойылған талаптарды орындауға мүмкіндік береді. Статисти-калық және динамикалық құлау жылдамдығына, реттеу диапазонына және тез орындалуына байланысты.

3.2.2.2. Роторлы экскаватордың электржетектерінің негізгі механизмдеріне қойылатын талаптар

Негізгі роторлы экскаватордың механизмдер жүйесі негізгі жетектің оларға минимальды салмақ және габбариттері аз қорлы болуы және тасымалдау шығыны аз болуы керек, дірілге тұрақты, ылғалдылықтан және шаңнан қорғалған, қауіпсіз жұмысты қамтамасыз ету керек, автоматтық жіберіліс жасау мүмкіндігі, тежеу және реверсивтеу, технологиялық блоктау жүйесі болуы керек.

Қозғалтқышты қорғап және басқада қиыншылықтарды болдырмауға тиіс. Келтірілген талаптар роторлы экскаватор механизміне жалпылама болып келеді. Негізгі механизмдер тасымалдау процесімен байланысқанда қосалқы талаптармен қосарландырылады.

Тасымалдау процесін реттеу қуат тұрақты болғанда жүргізіледі $P_{\text{рот}} = \text{const}$ пен $M_{\text{рот}} = \text{const.}$, өнімділігі $Q_{\text{рот}} = \text{const}$ немесе қиылысу ауданымен $F_{\text{ст}} = \text{const.}$ Бұл әдістерді бағалау кезінде максимальды өнімділігі қамтамасыз етеді. Заңдылық бойынша реттеу $P_{\text{рот}} = \text{const}$ максимальды өнімділік алуына жол бермейді, экскаваторға және тасымалдау кезінде қозғалтқышқа қорғаныс жасайды. Бұл әдіс бізге тек минимальды электрсыйымдылық береді. $M_{\text{рот}} = \text{const}$ әдісі қолайлы, ол роторлы дөңгелек механизмін салмақ артып кетуінен сақтап, максимальды өнімділік алады тек нақты параметрлеріне нақтырақ $t/b=0,8/1,5$ t -түсірілген қалыңдығы, b - ені.

Үшінші әдіс қиын орындалады.

Төртінші әдіс реттеуші $F_{\text{ст}} = \text{const}$ максимальды өнімділікті

алуға әртүрлі қатынастарда t/b және әртүрлі жыныстарда қолдануға болады. Бірақ ол роторлы дөңгелектің қозғалтқыш жүктемесін қамтамасыз етпейді.

Эффективті әдістердің бірі болып төрт әдістің бірі табылады, жүк түсірілімін азайту үшін, кейбір түзетулерді қолдануға болады. Энерго-сыйымдылықты қазу процесі болып табылады. Бүкіл пайдаланылуда тіптен жұмсақ жыныстарда ол 60% қамтиды. Оның қатқылдылығы жыныстың 80%-ға дейін үлкеюі мүмкін. Сондықтан электржетекке қойылатын талаптар тек қазу процестеріне байланысты ғана қойылады, жоғарғы өнімділікті қамтамасыз ету үшін, роторлы экскаваторға бұрышты жылдамдық және диапазон реттеуіші роторлы дөңгелекті таңдап алынады, шөміштің түсірілуіне байланысты болады. Ең жоғарғы жылдамдық құмдарды өңдеу кезінде болады. Суглинктер өңдеу кезінде 20% төмен болуы керек. Бұл процеске жебенің жазықта болуы әсер етеді. Бұл жағдай жылдамдықты тағы 25% кемітуге мәжбүрлейді.

Реттеу диапазоны роторлы дөңгелек жылдамдығына шөміштердің тасымалдау реті 2:1 қатынасында болады.

Жетек жұмысы ротордың сипаттамалары егер статистикалық режимі үздіксіз қозғалтқыштың өзгерісі білікке түсетін салмаққа байланысты. Бұл кенжерға кіретін шөміштің жұмысы қайта қайталанады, әрине содан алынатын жыныстарда, басқада созылулар т.б. болуы да мүмкін. Жұмсақ тау жыныстарында кейбір сипаттамаларына байланысты бізге кейде тиімсіз де болып келеді.

Екінші фактор болып, механикалық қаттылық сипаттамаларына баға беріледі, бірқалыпты жыныстарда жоғалым пайда болады. Механикалық жұмыстардың сипаттамалары 5%-ға тең, өнімділіктің жоғалымы 3-4% құрайды қатқыл өнімділікті сипаттайды.

Экскаватордың өнімділігі роторлы дөңгелектің алдындағы қиындықтардан өтуіне бірдей емес жерлерде тез өтіп кетеді, сипаттамасы 6% аз. Сондықтан максималды өнімділікті алу үшін, динамиканың тіктігі 5% кем болуы керек.

Жетектің экскаваторлық сипаттамасы ротор механизмі егер оның айналым бұрышы 70^0 -тан 40% дейін болса шөміштің толу өнімділігі төмендейді. Өнімділікті жоғарылату мақсатында

қозғалтқыш айналымы жылдамдығын реттеу мына заңдылықпен анықталады:

$$\omega = \omega_0 / \cos \varphi;$$

ω – қозғалтқыштың айналым жылдамдығы; ω_0 – қозғалтқыш $\varphi=0$ айналым жылдамдығы; φ – экскаватордың қиғаш осінен сызықшаның айналым бұрышы.

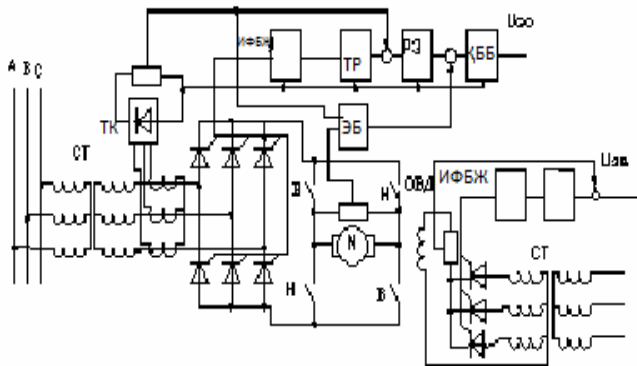
Тәжірибеде көрсеткендей, айналу жылдамдығын реттеу қозғалтқыштың айналуын біріктіре өндіреді, егер $\varphi=60^0$ оның жылдамдығы екі еселенген жылдамдықпен ω_0 теңеседі және $\varphi=90^0$ бұрышқа дейін тұрақты болып қалады. Өнім жоғалымы сонда да 7% аспайды. Тұрақты қимасын жоңқасын сақтау үшін $\omega_{\text{рот}}/\omega_0 = \text{const}$ қолданылады. Қажет етілетін реттеу диапазоны жылдамдығы айналымды механизм 4:1 кем болмауы керек.

Қарастырылған талаптарға көбіне ТТЖ-АҚ, ТТ-Қ және электржетектің желдеткіш қозғалтқыштарымен бірге мына жүйелер жауап береді.

ТТ-Қ жүйесі бойынша электржетек сұлбасы қанағаттанарлық талаптарға сәйкес берілген 3.19-суретте келтірілген. Сұлбада реверсивті емес тиристорлі түрлендіру үшфазалық көпірлі сұлба қоздыру жүйесі тиристорларда және реттегіш жүйесін қосатын реттегіштер мен қабылдағыштар арқылы жасалған.

В связи с небольшим диапазоном регулирования, для стабилизации заданной частоты вращения двигателя использован регулятор ЭДС Қозғалтқыштың берілген айналу жиілігін азғана реттегіш диапазонмен тұрақтандыру үшін, ЭҚК реттегішімен қолданған. Тахогенераторды жүйеден алып тастауы жетектің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Осындай ток қабылдағышы ретінде ток трансформаторы қолданылады, сығылу қысымында, тіктеуішке берілетін үшфазалық көпір сұлбасы арқылы орындалған.

Қолданыстағы басқару жүйесін электржетектермен салыстырғанда, оның алдында қолданылған жүйелер, жалпы суммарлық күштендіргіштер кіруге берілген белгі қайтымды байланысы, жылдамдық, қысым, ток және т.б перспективалары бар.



3.19-сурет. Роторлы дөңгелектің электр жетегінің қағидалы сұлбасы

Осыларды атап өтсек:

– Әртүрлі басқару жүйелерін салу мүмкіндігі агрегаттық принципі бойынша, стандартты элементтер санына байланысты (ұяшықтар мен блоктарда және т.б.);

– Түйіспесіз логикалық орындалу электржетегі және есептеу құрылымдарымен қиын технологиялық процестермен басқару жүргізу үшін;

– Басқару қуатының аздығы;

– Жоғары тиімділігі комплектті элементтер қолданылады;

– Сұлбасының қарапайымдылығы, басқарылатын, қамтамасыз етілетін кезеңдері бойынша берілген (ток, жылдамдылық және т.б.);

– Бағаның айтарлықтай төмендеуі және жобалау уақытының азаюы, монтаждау және пайдалануға электржабдықтарды енгізу т.б.

Жүйедегі басқару мақсаты координаталарда электржетек арқылы басқару жүйесіне реттеу қолданылатын есептеуіш техникалармен және соңғы электрониканың жетістіктеріне де байланысты. Қолдану аясына қарай элементті базалы басқару жүйесі қолданылады, техникалық микропроцестік базасында пайдаланылады.

Басқару жүйелері аналогты элементтерден салынған, белгіленген бір мәселелерге байланысты қызметті блоктар арқылы орындалады.

Ең соңғылары қайталануы мүмкін өзінің бағыттарына,

электржетекте қолдану аясына да байланысты. Номенклатурасына мыналар кіреді: қорек көздері, кіруші сигналдар, бастапқы бергіштер, басқару қабылдағыштары (тоқтың және қысымның).

3.2.3. Қадамды экскаватордың электржетегі

Қадамды экскаватордың жалпылама түрі 3.20-суретте берілген. Негізгі механизмдері, айналу механизмдері тұғырдың ауырлық механизмдері және шөміш көтеру механизмі. Экскаватордың электрлі жабдықталуы екі көтеру қозғалтқыштарынан, екі жүріс қозғалтқышынан, төрт айналым тұғыры қозғалтқышынан және екі ауырлық қозғалтқышынан тұрады. Әрқайсысының ауырлық сипаттамасы негізгі экскаватор механизмімен анықталады.

Айналым тұғырының механизмі көлденең жылжушы жебесі қадамды экскаватордың шөмішіне байланысты. Жұмыс циклінің механизмдері келесі этаптардан тұрады. Шөміш тау жыныстарымен толтырылады, бұл уақытта айналым тұғыр жетегі жұмыс істемейді.

Осыдан кейін тұғыр айналымы кейбір бұрышқа α 120° тең болады. Жетек тоқтағанға дейін тау жынысын төге беруге болады, сондықтан жеке үзілістер шөмішке түсіргенде арнайы тоқтатылмайды, тежелгеннен кейін артқа жылжиды.

Ауырлық механизмі шөміштің орын ауыстыруына көлденең беткейлігіне байланысты. Жетектің механизмі жыныстың кенжарда қалуында, үлкен арқандардың тартылуына және шөміш түсуіне оның айналымын, қозғалуын транспортқа немесе үймеге қамтамасыз етеді.

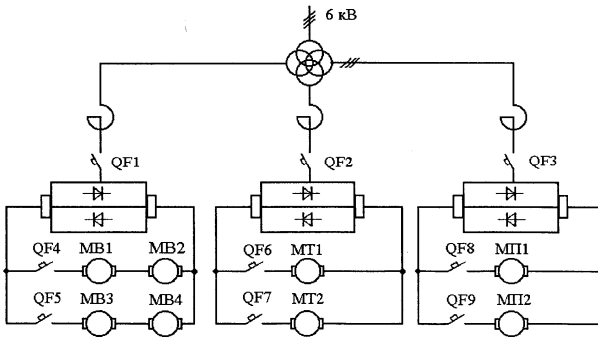
Электржетек шөмішті босатуға және кенжарға қайта келуге қамтамасыз етіледі. Арқан мен жүкті механизмі жүкшығырдан тұрады. Реверсті жекеленген қозғалтқышпен қоздырылған резистор арқылы жүріске келтіріледі.

Қалыптандыру мақсатында электрқозғалтқыштарды көтергішімен ауырлығын бірдей қылып таңдап алады. Қозғалтқыштың жұмыс режимі қайталама-аз уақытты болады.

Бұл механизм көтеруші жүкшығырдан және арқандардан тұрады. Реверсті жүкшығыр қоғалысқа жекеленген редуктор арқылы келтіріледі. Жұмыс режимі қозғалтқыштардың – қарқынды қайталымы аз уақытта іске асырылады. Реттеуші жылдамдығын қозғалтқыштардың жекеленген жетектерін редуктор арқылы жұмыс режимі қозғалтқыштардың зәкір қысымымен жүргізіледі. Шөмішті тезірек түсіру үшін, кенжарға оперативті жетектің тежелуіне, шөміштің жүк көтергіштігін қосқанда, электрлік тежеуіш қолданылған жөн.

Жұмыс анализінен негізгі экскаватордың механизмдеріне әсер етуші олардың жұмыстары жоғары реттегіш құрамдарымен байланысты, ең тиімді жұмыс болып табылады. Онымен қоса ол қарапайым болуы керек. Қазіргі уақытта осындай құрамдармен екі жүйе бар Г-Қ және ТТ-Қ, ТТ-Қ санына төмендетілген және жоғарылатылған энергетикалық көрсеткіштер де берілген. Күштелген бөлім сұлбасы анықталудың 3.22-суретте келтірілген.

Қорек көзі түрлендіргіштің төрт орамы және трансформатордан тұрады. Түрлендіргіш қорғанысы мен токтардың соғуынан сақтау үшін, шеттететін реакторлар қосылған. Сұлбалы түрдегі де шешімі бар.



3.22-сурет Түрлендіргіш күштіліктер бөлігінің сызбасы

L₁-L₄ – автоматты өшіргіштер. Тұрақты токқа қозғалтқыш автоматты түрде айырғышпен сақтандырылады.

3.2.4. Электржетек жасалуының қағидалы сұлбасы

Электржетек айналымы тұғырының қағидалы сызбасы 3.23-суретте келтірілген. Сұлба реттеу жүйесі, қозу орамы бойынша реверсивті емес түрлендіргіштен, зәкір орамы бойынша реверсті түрлендіргіштен тұрады. Реттеу жүйесі қабылдағыштармен реттегіштер және қосылған екі контурдан тұрады. Реттегіштің тоғына екі сигнал келіп түседі: кері қайту сигналы, токпен қабылдағыштан токқа және беріліс тоғына шығушы сигнал ЭҚК қабылдағышына беріледі. Шығушы сигнал реттегіші болып басқарушы қысым ИФБЖ-ға байланысты. Реттегіш ЭҚК-ке кіру кезінде үш сигнал кері байланыс токпен беріледі, кері байланыс сигналы берілетін қысымға берілу сигналы берілетін қысымға берілу сигналына командоаппараттан жылдамдығы сельсинге байланысты. Шығушы сигнал беруші жылдамдықты реттеуші сельсиннің бұрыштарын өзгеруіне байланысты болады. Сельсиннің осьтік айналдыра отырып керек жылдамдығын қозғалтқышқа беруге болады.

– Әртүрлі режимдегі жылдамдықтарды реттеу және соған байланысты жүйе мүмкіндігінің анықталуы: тежеуіш (жүк түсіру тежеуі) және қозғалтқыш (жүк көтеру және күштік түсіру, орын ауыстыру және айналу) режиміндегі төмендетілген және жоғары жылдамдықтарына қатысты белгілі болады;

– Қарастырылған жетек жүйесінің реттеу жылдамдығы, механикалық сипаттаманың санымен сипатталатын, берілген реттеу ауқымы жылдамдығымен қамтамасыз етіледі;

– Номиналь және төмен жылдамдықтағы механикалық сипаттаманың қатандығы;

– аз жүктеме аумағындағы механикалық сипаттаманың үздіксіздігі;

– Жетектің тежеу және екпін алу ырғақтығы.

Мысалы: тежелу ырғақтығы реттелетін тежеуіш моментінің үлкендігімен жоғары жылдамдықтан аз жылдамдыққа ауысуы электрлік тежеуішпен қамтамасыз етілуі арқылы анықталады, (жүктің отырып қалмауы немесе механикалық тежеуішке салу қажеттілігі болмас үшін, күштік байланыстың үзілмеуі); сонымен қатар ол бақылаушының нөлдік жағдайға келтіріп, тежеуішті қоспастан бұрын, электрлік тежеу болу мүмкіндігімен сипатталады.

Ток алу бірқалыптылығы, мысалы: механизмнің орын ауыстыруы, іске қосу моментінің мүмкін болатын деңгейін реттеу арқылы анықталады.

Жүк көтеру бірқалыптылығы, ұстап көтеру кезіндегі екпін күші, бос жүрістегі жетектің ток алу жылдамдығына байланысты, қалыпты деңгейі әрбір нақты бір жағдайда, сол жылдамдықтың өсуіне және механизм параметрлеріне байланысты анықталады.

Қолданылатын электрқондырғының стандарттылығы (жүйеде қарапайым машиналар немесе дәл сол механизмге арнайы жасалған аппараттар қолданылады) анықталады.

Бұл нұсқаудың зерттелініп жатқан механизм үшін ерекше маңыздылығы, кран сызбасындағы қандай да бір бұзылулардың болу жағдайында, ол ақаулар тез арада жөнделуі тиіс және де көптеген жағдайларды сол ақауларды кран жүргізушінің өзі немесе кезекші электрмонтерлардың (электр жабдықтарды орнатушы) көмегімен, яғни төменгі мамандандырылған жұмысшылармен реттелуі қажет.

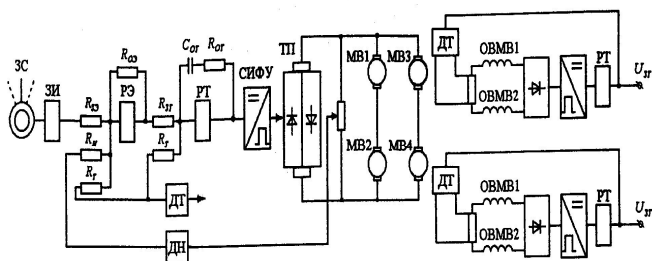
Электржетек жүйесінің қандай да бір түрін таңдау барысында маңызды факторлардың бірі, ол жүйенің техникалық мүмкіндіктері берілген механизмнің талаптарына сай, сонымен қатар электрлік сызбаның жұмыс сенімділігіне сай келу керектігін, ерекше көрсетіп қою қажет. Электр қондырғының бағасын, эксплуатациялық шығындар мен т.б. факторларды, тек алдында көрсетілген шарттардан басқа жағдайларда ғана ескеру керек.

Қандай да бір механизмнің ең қарапайым электржетегі қысқатұйықталған ротор электрқозғалтқыштың жетегі болып табылады. Оның бағасынан басқа айырмашылығы, күту қарапайымдылығы және де жарылыс қауіпі бар ортадағы ғимараттарда пайдалану мүмкіндігі, жұмыс сенімділігінде болып табылады.

Статистикалық мәліметтерге сүйенетін болсақ, қысқа тұйықталған роторлы қозғалтқыштарға қарағанда, фазалы роторлы қосу реттегіштік қарсылығы бар эксплуатациялық қозғалтқыштар үшін шығындар – 5 есе, ал тұрақты ток қозғалтқыштары үшін шығындар 10 есе үлкен.

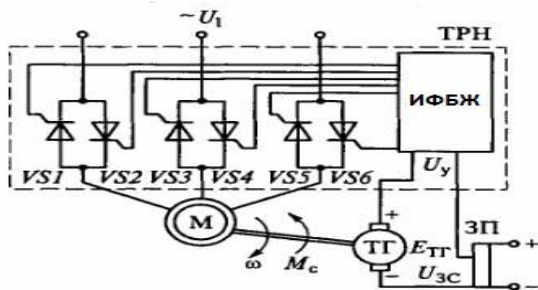
Өту-ауысу үрдісі уақытындағы қысқа тұйықталған қозғалтқыш шығынының үлкендігі крандық электржетекте оларды қолдануды шектейтін негізгі факторлардың бірі.

Сондай-ақ, олар механизмде мүмкін емес динамикалық салмақ тудыруы мүмкін, содан жүктің тербелуіне алып келеді, өйткені іске қосу және максимальды тежегіш моменттері (қос полюс сандарымен өзгертілетін қозғалтқышты жоғары жылдамдықтан, аз жылдамдыққа қайта қосқан кезде) қиын реттеледі. Қысқа тұйықталған және фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыш кернеуінің тиристорлы реттегіш (қайта құраушы) жүйесі бойынша электржетекті крандық механизмдер үшін қажеттілікті қамтамасыз етуін көрсетеді.



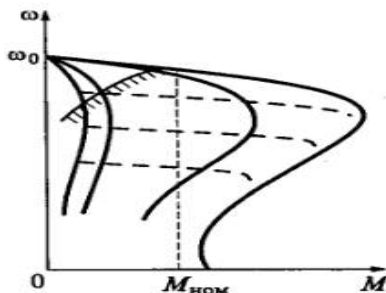
3.23-сурет. Электржетек бұрылыс механизмінің принципіалды сызбасы

ТРН-АҚ-ның қысқа тұйықталған қозғалтқышының маңызды сызбасы 3.24-суретте көрсетілген. Сызбада: ТГ-тахогенератор, ЗП-қозғалтқыштың талап етілетін жылдамдығының сырғуының тапсырма потенциометрі көрсетілген. Сызба жылдамдықты ұстап тұруды, сонымен М моменттің жүктемесі өзгеруі кезіндегі анық нақтылықпен сырғуды қамтамасыз етеді.



3.24-сурет. Қысқатұйықталған қозғалтқышы асинхронды ТРН-АҚ электржетегі

Бұл жүйенің механикалық сипаттамалары 3.25-суретте көрсетілген.



3.25-сурет. Статордағы (электр машиналарының қозғалмайтын бөлімі) кернеуді реттеу кезіндегі асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары

Біртекті сызықтармен алшақ салынған жүйе сипаттамалары көрсетілген.

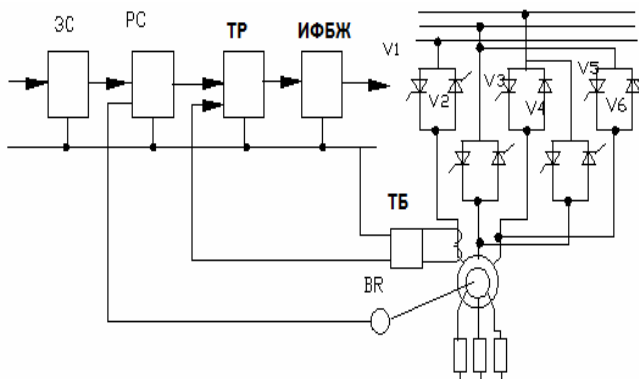
- бос жүрісте қозғалтқыштың жылдамдығы реттелмейді;
- жылдамдықтың төмендеу деңгейі бойынша шамадан тыс тиеу қабілеттілігі төмендейді.

Сонымен қатар, негізгі міндеті бойынша қолданылатын кернеудің тиристорлы реттегіші – шетелде кең қолданысқа ие, өте пайдалы құралдаған кернеу кезіндегі энергияны үнемдейтін бірқалыпты іске қосқыш.

3.26-суретте фазалық роторлы электроқозғалтқышымен ТРН-АҚ жүйесі бойынша электрожетекшінің маңызды сызбасы көрсетілген. Сызба кернеудің тиристорлы реттегішін (ББ және ИФБЖ күштік блогы) фазалық ротормен асинхронды қозғалтқышты және реттеу жүйесін қосады. Қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу статорға жалғастырылған кернеуді өзгерту жолымен жүзеге асады. Бағдарлаушы ашу импульстерінің бұрыштарын өзгерту арқылы кернеуді реттейді. Бағдарлау импульстарының құрылуы және реттеу бұрыштарының өзгеруі α ИФБЖ арқылы жүзеге асады. Қатаң сипаттамаларды: статорға жіберілетін жүктемені көбейте отырып, кернеудің өзгеруі арқылы аламыз. α бұрышының кішіреюіне, пропорционалды жылдамдықтың, кері байланысты

сигналға жүктеменің өсуі алып келеді. Мұндай тұйық жүйелерді қолдану 1 және 4 квадранттарда және 40:1 диапазонында айналу жиілігін реттеу, тым қатаң сипаттамаларды алуға мүмкіндік береді. Мұндай сипаттамалар болған жағдайда, қиын монтажды операциялар орындайтын, көтеру механизмінің жұмыс тиімділігі артады.

Сызба осы режимде тежегіш түсіру және қарсы қосылу режимінде қозғалтқыштың тежеуін қамтамасыз етеді. Мұнда басқару шынжыры мен күш беретін шынжырларға қосымша элементтерді қосудың қажеті болмайды. Іске қосу реостаттарының қарсылығын дұрыс тандаған кезде ротор шынжырында қозғалтқыштың қызуы динамикалық тежеудегі жұмыс режиміндегі қызудан асып кетпейді.

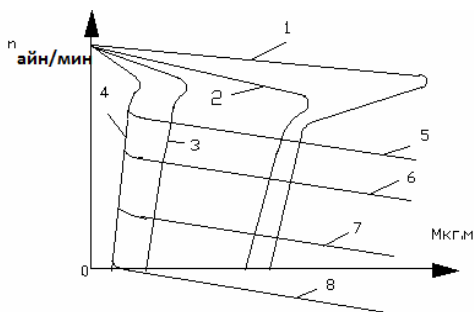


3.26-суретте ТРН-АҚ жүйесі бойынша электржетектің маңызды сызбасы

Бекітілген тәртіптегі жұмыстар үшін, қажетті электрожетегіне көтеру роторының шынжырының қарсыласу режимі тиристорлардың толық ашылу шарттарына байланысты алынады. Қозғалтқыш моменті номиналды жүктеме моментінен 10-30% асуы қажет. Егер тұрақты жылдамдықтар тек төмен жылдамдықтар ($S=0.9-1.1$) аумағында қажет болса, онда онда ротор шынжырының толық қарсылығы номиналдың 0,6-9,8 арасында орналасады. Егер азайтылғаннан басқа, тағы да түсіру және көтеру арасындағы жылдамдықтың болуы қажет болса,

онда сол жылдамдыққа және номиналды жүктеменің статикалық моментіне байланысты, тағы да екі, үш табалдырықтың қажет болуы мүмкін, ал резистордың номиналлыдан, 0,38-1,3 арасындағы қарсылықта болуы керек.

Қажет статикалық сипаттамаларды қозғалтқыш моментінің, автоматты реттеу тұйық жүйесінде алуға болады. 3.27-суретте механикалық сипаттамалары көрсетілген.



3.27-сурет. Қозғалтқыштың ТРН-АҚ жүйесіндегі механикалық сипаттамасы: 1,2,3,4 – ашық жүйедегі жетектің сипаттамасы; 5,6,7,8 – тұйық жүйедегі жетектің сипаттамасы

Жүру механизмі электржетегі жүкшығыр жетегіне қарағанда, кернеулі режимде жұмыс жасамайды. Бұл механизмдердің электржетектеріне деген талапты қарапайымырақ, яғни арзанырақ жүйе қанағаттандыра алады. Мұндай сызбада электржетек жүйесінің күш салу бөлімін реттеу, оған қызмет көрсету қарапайымдалынылады, және де жетек габариттері кішірейеді. Қарапайымдатылған электржетектің маңызды сызбасы және оның сипаттамалары 3.28 және 3.29-суреттерде берілген. Сызбада жылдамдық бойынша кері байланыс, жылдамдық реттеуіш және де оның кіруіне деген командалық бақылаушының тапсырма дабылы және жылдамдық бойынша кері байланысы үшін берілетін дабыл тапсырмасы бар екені көрсетілген. Ашу α бұрышының өзгеруі, статор оралуына жіберілген кернеу ассимерия деңгейінің реттелуіне алып келеді. $\alpha \leq \varphi$ болған жағдайда жүктемеге үздіксіз ток өтіп тұрады, қозғалтқышқа симметриялы кернеу орналастырылады.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМІ

1. Абрамович И.И., Березин В.Н., Яуро А.Г., Грузоподъемные краны промышленных предприятий.-М.: Машиностроение, 1989.
2. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. – Высшая школа, 2000.
3. Блантер С.Г., Суд И.И. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра. 1980).
4. Белкин Т.С., Вариводов В.Н. Состояние и перспективы развития коммутационной аппаратуры высокого напряжения// Электричество. 2001.
5. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
6. Волков Д.П., Каминская Д.А. Динамика электромеханических систем экскаваторов. – М.: Машиностроение, 1971.
7. Грамолин В.Н. Новые комплектные буровые установки ОАО "Урал-маш"/Нефтегазовая вертикаль. 1999. № 10. Дацковский Л.Х.
8. Герасимьяк Р.П. Тиристорный электропривод для кранов. – М.: Энергия 1978.
9. Домбровский Н.Г. Экскаваторы. – М.: Машиностроение, 1960.
10. Кругликов А.П. Силовые преобразователи энергии. – Алматы: КазНТУ, 2008.
11. Ключев В.А. Теория электропривода: Учеб. для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
12. Кругликов А.П., Музгин С.С. Тиристорные преобразователи в электроприводе горных машин. – Алматы. Издательство АН Казахской ССР.
13. Корытин А.М. и др. Синхронные приводы. – М.: Энергия, 1967.
14. Лимитовский А.М. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ. – М.: Недра, 1986.
15. Моцохейн Б.И., Парфенов Б.М., Шпилевой В.А. Электропривод, электрооборудование и электроснабжение буровых установок. – Тюмень.: Издательство, 1999.
16. Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Яризов А.Д. Электротехни-

ческие установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 2000.

17. Онищенко Г.Б. Асинхронный вентильный каскад. – М.: Энергия, 1967

18. Парфенов А.Н. Автоматизированный электропривод в нефтяной промышленности – (М.: Недра, 1982).

19. Решмин Б.И., Ямпольский А.С. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования электроприводов. – М.: «ЭНЕРГИЯ», 1975.

20. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. М.: Энергоатомиздат. 1987.

21. Чудновский В.Ю. Экспериментальное исследование роторных экскаваторов производительностью 2100 м³/час. – Свердловск. Известия вузов.

22. Нурлыбаев М. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на карьерах. – М.: «Недра» 1985.

23. Нұрлыбаев М. А., Бердібеков Ә. О. Электр схемаларын оқу техникасы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2006.

А қосымша

Ілемдеу білдектердің жетектерінде қолданылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының техникалық мәліметтері

Қозғалтқыш типі	$P_{H, кВт}$	$U_{H, В}$	Жыпдамдық, айналым/мин		П.э.к., %	Ммак/Мн		GD^2 тлс ²
			n_H	$n_{мак}$		0? n_H	$n_{мак}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
МП1600-300	600	400	300	600	90,5	2,5	1,0	1,35
МП1000-210	1000	250	210	800	92	2,0	0,9	6
МП1640-700УЧ	640	600	700	1000	93,6	2,5	1,0	0,16
МП1000-330	1000	440	330	800	92,9	2,0	0,9	1,9
МП1100-150	1100	600	150	200	92	2,5	1,0	6,5
МП1250-200	1250	750	200	360	92,5	2,5	1,0	4,6
МП1250-320	1250	750	320	640	93,1	2,5	1,0	4,75
МП1600-400УЧ	1600	750	400	850	92,7	2,5	1,0	7
МП2000-40	2000	825	45	90	88,7	2,5	1,0	110
МП2000-80	2000	825	80	160	94,1	2,5	1,0	42
МП2000-125	2000	825	140	300	91,5	2,5	1,0	35
МП2000-200	2000	825	220	440	91,5	2,5	1,1	26
2МП2000-210	2x1000	440	210	800	92	2,5	0,9	10,5
2МП2000-330	2x1000	440	330	800	92,9	2,0	0,85	4,6
МП2000-350	2000	450	350	720	92,7	2,5	1,0	12
МП2400-120УЧ	2400	750	120	240	94	2,5	1,1	30
МП2400-260	2400	750	260	500	94,2	2,5	1,0	17
МП2500-75	2500	825	75	150	92	2,5	1,0	120
ЭМП3000-210	3x1000	440	210	300	92	2,0	0,9	17,5
ЭМП3000-330	3x1000	440	330	800	92,9	2,0	0,85	6,7
МП3200-55	3200	900	60	120	92	2,5	1,0	110
2МП3200-160УЧ	2x1600	900	160	190	91,8	2,5	1,0	38
МП3100-75	3100	825	75	150	92,5	2,5	1,25	165
2МП3200-285УЧ	2x1600	900	300	500	92,8	2,5	1,1	2,5
МП1600-160УЧ	1600	900	160	420	93,1	2,5	1,2	18
2МП4800-120УЧ	2x2400	750	120	240	94	2,5	1,25	70

А қосымшасының жалғасы

2МП4800-260УЧ	2x2400	750	260	500	94,2	2,2	1,0	40
МП5000-65	5000	825	65	120	94,3	2,5	1,0	195
МП5000-110	5000	750	110	220	92,9	2,5	1,25	160
МП7500-60	7500	900	60	120	92	2,5	1,0	275
МП-6200-80	6200	750	80	160	94,4	2,5	1,1	260
МП-6300-63УЧ	6300	900	63	100	94	2,5	1,1	200
МП7000-115УЧ	6300	900	125	300	94	2,5	1,1	170
МП6800-60	6800	930	60	90	93,5	2,5	1,1	215
МП8000-80	8000	900	80	160	95	2,2	0,8	300
МП8000-110	8000	900	110	200	95	2,5	1,0	280
2МП8500-250	2x4250	825	250	475	93,5	2,25	1,0	110
МП9000-60	9000	930	60'	90	94	2,5	1,0	350
МП11500-63УЧ	11500	930	63	90	95	2,5	1,1	500
2МП11000-70	2x5500	900	70	120	93,7	2,5	1,0	296
2МП12600-115УЧ	2x6300	930	125	300	94,5	2,25	1,0	380
2МП12600-190УЧ	2x6300	200	200	400	94,5	2,0	1,0	240
2МП16000-65	2x8000	900	65	100	93,5	2,5	1,0	650
МП7000-50	7000	750	50	120	91	2,5	0,9	385
2МП6500-200	2x2400	750	300	400	84	2,5	1,0	50
2МП6500-330	2x3250	750	330	600	94,2	2,2	0,9	40
2МП10000-280УЧ	2x5000	930	300	500	94	2,5	1,1	110
2МП12600-50УЧ	2x6300	930	50	100	93	2,5	1,0	850
П21-100-15к	3300	630	110	200	93	2,5	1,0	100
П21-70-15к	3300	630	160	230	93,2	2,5	1,0	90
П21-55-15к	3300	630	230	380	93,4	2,5	1,0	85
П20-45-7к	2800	1000	350	515	93,1	2,5	1,0	17,1
2П20-50-7к	2x1650	630	200	450	92,7	2,5	1,0	45
2П18-75-9к	2x1000	500	220	550	92,9	2,5	1,0	11

А қосымшасының жалғасы

2П25-85-3,6	2x3600	900	58	150	93,1	2,5	1,0	630
2П25-105-3,15	2x3150	750	37,5	95	91,5	2,5	0,9	850
2П25-62-3,6	2x3600	900	85	190	93,2	2,5	1,0	400
2П25-43-3,6	2x3600	900	118	270	93,3	2,5	1,0	360
2П25-71-3,6	2x3600	900	150	330	93,4	2,5	1,0	270
2П22-80-3,6	2x3600	825	200	400	94,5	2,5	1,0	150
ПБК250/145	4560	825	70	120	91,8	2,25	1,0	175
ПБК380/125	7350	825	60	90	92	2,5	1,0	450
ПБК250/145	4000	700	60	120	92	2,5	1,0	142
2ПБК250/145	2x3300	630	50	80	92	2,5	1,0	180
ДПП310/150-18	4600	750	50	100	80,5	2,5	1,0	275
ДПП310/125-18	4400	825	70	140	91,5	2,5	1,0	220
МП11000-65	6800	830	60	90	92,3	2,5	1,0	300
ПП9100-67	9100	980	67	90	94,8	2,5	0,9	380
МПС8000-63	8000	930	63	120	94,8	2,5	0,8	240
П23/135-5,4	5400	900	67	115	93,0	2,5	1,0	192
П2-25/130-7	7000	750	53	90	94,3	2,5	1,4	310
П2-800-218-8СУЧ	2800	860	40	80	90,3	2,25	0,9	89,5
П24-160-6,8	6800	850	60	90	94,2	2,5	1,2	280

Ә қосымша

Бұрғылау насостарының техникалық сипаттары

Шама-шарттар	Насос типі					
	НБТ-600	УНБТ-800	УНБТ-900	БрН-1	У8-6М	У8-7М
Қуат, кВт	600	800	950	430	600	825
Пайдалы қуат, кВт	540	720	855	365	480	660
Шектік қысым, МПа	25	32	32	20	25	32
Ең үшкен беру, л/с	43	42,9	46	38	51	51
Ең үпен беру кезіндегі қысым, МПа	11,3	17	19	9,8	11	14,2
Шектік қысым кезіндегі беру, л/с	13	22,4	27,8	18,6	18,9	22,7
Ауыспалы цилиндрлік төпкелердің диаметрі, мм	120-180	130-180	140 - 180	130 - 180	130-200	140-200
Поршень жүрісінің ұзындығы, мм	205	250	290	300	400	400
Бір минуттағы жүрістердің максималды жиілігі	135	135	125	80	66	66
Сапмақ, кг	18800	22800	22220	14750	27000	37100

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ		3
1.	Автоматтандырылған электржетектің элементтері.....	5
1.1.	Тұрақты ток машиналары.....	5
1.1.1.	Тұрақты ток машиналарының іске қосылу принциптері мен қондырғылары.....	5
1.1.2.	Тұрақты ток қозғалтқыштарының электромеханикалық қасиеттері.....	9
1.1.3.	Тұрақты ток қозғалтқыштарының айналым жиілігін реттеу әдістері.....	12
1.1.4.	Тұрақты ток қозғалтқышының тежеу әдістері.....	16
1.2.	Асинхронды қозғалтқыштар.....	21
1.2.1.	Құрылымы мен қимыл принципі.....	21
1.2.2.	Асинхронды қозғалтқыштардың электромеханикалық қасиеттері.....	24
1.2.3.	Асинхронды қозғалтқыштардың айналым жиілігін реттеу әдістері.....	33
1.3.	Синхронды машиналар.....	44
1.3.1.	Құрылымы және әрекет принципі.....	44
1.3.2.	Синхронды қозғалтқыштардың электромеханикалық қасиеттері.....	51
1.4.	Күштік жартылай өткізгіш түрлендіргіштер.....	57
1.4.1.	Түзеткіштер.....	57
1.4.2.	Реверсивті оңдегіштер.....	69
1.4.3.	Айнымалы кернеудің тиристорлы реттеуіштері.....	71
1.4.4.	Тұрақты импульстік кернеудің реттеуіштері.....	73
1.4.5.	Автономды инверторлар және жиілік түрлендіргіштері.....	75
1.4.6.	Реттегіштер.....	79
1.4.7.	Тапсырма беру құрылғылары және бергіштер.....	83
1.4.8.	Тұрақты ток тахогенераторлары.....	86
1.4.9.	Асинхронды тахогенераторлар.....	87
1.4.10.	Жылдамдықтың импульсті бергіштері.....	89
1.4.11.	ЭҚК бергіштері.....	90
2.	Электржетегі.....	93

2.1.	Асинхронды қозғалтқыштар мен басқарылатын типтік сызбалар.....	93
2.2.	Тиристорлы түрлендіргіш электржетек тұрақты ток қозғалтқышы.....	97
2.2.1.	<i>Электржетек жұмысын талдау.....</i>	97
2.2.2.	<i>Электржетегінің статикалық сипаттары мен динамикалық қасиеттерін құру.....</i>	101
2.2.3.	<i>Электржетектің шама-шарттарын баптау критерийі.....</i>	102
2.2.4.	<i>Аз уақыт тұрақтылығы бар буынға және интегралдаушы буынға ие объект, МО контур тиімділігі.....</i>	106
2.2.5.	<i>СО-ғы контурды тиімділеу, аз уақыт тұрақтылығы бар буынан және интегралдаушы буынан тұратын объект.....</i>	107
2.2.6.	<i>Көп контурлы жүйелерді құру принциптері</i>	110
2.2.7.	<i>МО және СО-ға жүйені баптау кезіндегі реттегіштердің шама-шарттарын есептеу және таңдау.....</i>	113
2.3.	Бұрандалы қозғалтқышы бар электржетек.....	118
2.4.	Электржетек жиілік түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқышы (ТЖТ-АҚ).....	121
2.5.	Жиілік басқаруы бар комплекті электржетектері.....	124
3.	Өнеркәсіп механизмдерінің автоматтандырылған электржетегі.....	129
3.1.	Терең бұрғылау қондырғыларының электржетегі.....	129
3.1.1.	<i>Бұрғылау сораптарының электржетектері.....</i>	130
3.1.2.	<i>Түсіріп-көтеру агрегатының электржетегі.....</i>	141
3.1.3.	<i>Автоматтандыру жүйесін бұрғылау процесінде талдау.....</i>	149
3.2.	Тау-кен машиналарының электржетегі.....	155
3.2.1.	<i>Біршөмішті экскаватордың электржетегі.....</i>	157
3.2.2.	<i>Роторлы экскаватордың электржетегі. Жалпы мәліметтер[22].....</i>	163
3.2.2.1.	<i>Роторлы экскаватордың негізгі тетігі жұмысының режимдері мен құрылымдары.....</i>	164

3.2.2.2.	<i>Роторлы экскаватор электржетектерінің негізгі механизмдеріне қойылатын талаптар.....</i>	165
3.2.3.	<i>Қадамды экскаватордың электржетегі.....</i>	169
3.2.4.	<i>Электржетек жасалуының қағидалы сұлбасы...</i>	172
	Библиографиялық тізімі.....	179
	А қосымша.....	181
	Ә қосымша.....	182

Оқу құралы

Мұрат Атайбекұлы Нұрлыбаев
Алексей Прохорович Кругликов
Салтанат Абенқызы Юсупова

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЭЛЕКТРЖЕТЕГІ

Оқу құралы

РБ бастығы	<i>З.А. Ғұбайдулина</i>
Редакторы	<i>Г.Қ. Опкебаева</i>
Компьютерде беттеген	<i>Д. Тажиева</i>

Басуға қол қойылды 25.04.14 ж.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84 1/16. №1 баспаханалық қағаз.
Көлемі 12,0 е-б.т. 11,0 ш.-б.т.
Тапсырыс № 21. Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы,
Оқу-баспа орталығы.
Алматы, Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-618-2



9