

A. Ökdirow, A. Meredow, J. Meredowa

# ELEKTROPRIWODYŇ ESASLARY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi  
tarapyndan hödürlenildi*

Aşgabat  
“Ylym” neşirýaty  
2015

**Ökdirow A. we başg.**

**Ö23      Elektropriwodyň esaslary.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby. – A.: Ylym, 2015. – 276 sah.

Eliňizdäki „Elektropriwodyň esaslary“ okuw kitabynda elektropriwodyň dinamikasynyň esaslary, deňlemeleri, mehaniki häsiýetnamalary, statiki we dinamiki momentlere seljerişler, hemişelik we üýtgeýän toklarda işleýän elektropriwodlaryň iş ýagdaýlaryna giňişleýin düşündirişler we mysallar, rewersli we rewersli däl iş düzgünleri, togtanmanyň dürli görnüşleri, generator-hereketlendiriji ulgamlary, elektropriwodlarda ulanylýan özgerdijileriň we awtomatik dolandyrmagyň ençeme görnüşleri, elektropriwodlarda bolup geçýän geçiş düzgünleriniň özleşdirilişlerini, elektropriwodlar üçin hereketlendirijileriň iş düzgünlerine esaslanyp, kuwwatlarynyň saýlanyş usullary hem-de elektropriwodlary awtomatik dolandyrmak üçin olara degişli elektrik shemalarynyň yzygider okalyş usullary beýan edilýär.

Kitap ýokary okuw mekdepleriniň talyplary üçin niýetlenip, ondan önümçilikde işleýän inženerler, hünärmenler hem-de degişli orta hünär okuw mekdepleriniň talyplary peýdalanyň bilerler.



**TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI  
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW**





**TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY**



**TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY**

## **TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET SENASY**

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,  
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.  
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,  
Baýdagyň belentdir dünýäň önünde.

*Gaýtalama:*

Halkyň guran Baky beýik binasy,  
Berkarar döwletim, jigerim-janym.  
Başlaryň täji sen, diller senasy,  
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,  
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.  
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,  
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

*Gaýtalama:*

Halkyň guran Baky beýik binasy,  
Berkarar döwletim, jigerim-janym.  
Başlaryň täji sen, diller senasy,  
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

## GIRIŞ

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedow, Garaşsyz we baky Bitarap Türkmenistan döwletimizi mundan beýläk-de ösdürmekde, bilim ulgamyny düýpli özgertmekde we kämilleşdirmekde, ýaşlara berilýän bilimiň dünýä derejesine laýyk bolmagyny gazanmakda ummasyz işleri alyp barýar.

Hormatly Prezidentimiziň alymlara, baýry mugallymlara bildirýän ynamyny, adalatly talaplaryny gaýra goýulmasyz ödemek maksady bilen, eliňizdäki “Elektropriwodyň esaslary” okuw kitaby köp ýyllaryň dowamynda toplanylan tejribelere esaslanyp taýýarlanyldy. Onlarça ýyllaryň dowamynda türkmen dilinde okadylyp gelnen “Elektropriwodyň esaslary” dersi okuw kitaby hökmünde okyjylaryň dykgatyna ilkinji gezek hödürlenilýändigini göz önünde tutup, kitadaky bölümler üçin ýeterlik derejede işlenen meseleleri hem-de geçilen sapaklary düýpli özleşdirmek maksady bilen, käbir meseleleriň grafo-analitiki usullar bilen işlenişlerini-de ýerleşdirmek talabalaýyk bilindi.

Kitabyň mazmuny düzülende awtorlar şu ugurda 40 ýyldan hem gowrak toplan iş tejribelerinden hem-de Russiýa Federasiýasy we Ukraina ýaly döwletleriň merkezi institutlarynda okadýan dünýä belli ençeme alymlaryň we professor mugallymlaryň ýazan okuw kitaplaryndan we okadyş usullaryndan geregiçe peýdalanyldy. Kitap ýazylanda Türkmenistanda bar bolan beýleki ýokary we ýörite okuw mekdepleriniň-de islegleri mümkin boldugyça kanagatlandyryldy.

Kitapda elektropriwodyň dinamikasynyň esaslary, deňlemeleri, mehaniki häsiýetnamalary, statiki we dinamiki momentlere seljerişler,

hemişelik we üýtgeýän toklarda işledilýän elektropriwodlaryň iş ýagdaýlaryna giňişleýin düşündirişler we mysallar, rewersli we rewersli däl iş düzgünleri, tormozlanmagyň dürli görnüşleri, generator-hereketlendiriji ulgamlary, elektropriwodlarda ulanylýan özgerdijiler we awtomatik dolandyrmagyň ençeme görnüşleri, elektropriwodlarda bolup geçýän geçiş düzgünleriniň özleşdirilişleri, elektropriwodlar üçin hereketlendirijileriň iş düzgünlerine esaslanyp kuwwatlarynyň saýlanyş usullary hem-de elektropriwodlary awtomatik dolandyrmak üçin olara degişli elektrik shemalarynyň yzygider okalyş usullary beýan edildi.



## I BAP

# ELEKTROPRIWODYŇ DINAMIKASYNYŇ ESASLARY

### 1.1. Elektropriwod barada düşünje

“Elektropriwod” elektrik we priwod sözleriniň goşulmagyn-dan emele gelen bir bitewi söz bolup, türkmen dilinde, ilki bilen, terjimesi boýunça, soňra manysyna görä düýpli düşünmegimiz zerurdyr.

**1. Terjimesi boýunça** – bu sözüň birinji “elektrik” bölegi latyn sözi bolup, dünýä halklarynyň dillerinde üýtgedilmän bolşy ýaly ulanylýar. Türkmen dilinde-de bu söz orta mekdebiň fizika dersinde ýantar diýmegi aňladýanlygy aýdylsa-da, “elektrik” sözi beýnimizde (aňmyzda) berk ornaşandygy sebäpli, bu sözüň terjimesini düşündirmegiň hajaty ýok, emma “priwod” rus sözi bolup, “priwódit” sözüniň önümidir. Bu söz türkmençe “getirmek, äkitmek, ýöretmek” ýaly manylary berip biler.

Şeýlelikde, “Elektropriwod” sözüni terjimesi boýunça aňlatsak, elektrtik usuly bilen herekete getiriji ýa-da elektrik usuly bilen ýörediji diýilýän manylary berýär. Türkmen dilinde gysgaldylyp aýdylanda **elektrikýörediji** diýlip, täze emele gelen bir bitewi söz hökmünde ýazylsa we bir söz hökmünde okalsa dogry bolar.

**2. Manysy boýunça** “elektropriwod” sözüne başgaça garamaly bolýarys, sebäbi önümçilikde ýagny senagat kärhanalarynda “elektropriwod” sözüniň düzümine elektrik hereketlendirijiler – işi

ýörediji hökmünde, işi ýerine ýetiriji mehanizmler, olary özara birleşdiriji muftalar we iş prosesini dolandyrmak üçin ulanylýan awtomatik elementler degişlidirler. Şonuň üçin-de “elektropriwod” diýlende terjimesine görä däl-de, manysyna görä birnäçe bölümçeleriň emele getiren, bir maksada niýetlenilen doly gurnama aýdylýar diýilse maksadalaýyk bolar.

Şu ýerde tehnikanyň dürli pudaklarynda we jemgyýetde başga hili priwodlaryň-da ulanylýandygyna birnäçe mysallar getirilse, “priwod” sözünüň giň manylara eýe bolýandygyna göz ýetirýärsiň, meselem: “elektrik” sözünü “suwuklyk” sözi bilen çalyşsak, gidropriwod gurnamany alarys, eger-de “el” sözi bilen çalyşsak onda (el tikin maşyny), elpriwodyny alarys, welosiped – aýak bilen aýlap ýöredilýändigini üçin, onuň priwody aýakpriwody bolýar. (Suw degirmeniňiň müňýyllyklaryň dowamynda ulanylyp gelinýändigini, ýokardan aşaklygyna gaýdýan suwuň çarhyň pilçelerine degip, degirmen daşyny priwodyň kömegi bilen aýlaýandygyny düşündirmeklik-de artykmaçlyk etmez).

Şeýlelikde, eliňizdäki kitapda “elektropriwod” sözi, gerek ýerinde terjimesi boýunça-da we manysy boýunça-da ulanyljakdyr.

Indi “elektropriwod” sözünüň düzümine girýän bölümler hakda:

**Iş proseslerini herekete getiriji** diýlende, hemişelik ýa-da üýtgeýän toklaryň hereketlendirijilerine düşünilýär;

**Işi ýerine ýetiriji mehanizmler** diýlende, elektrik bilen dolandyrylýan ulgamlara, olaryň awtomatik elementleri, programmirilenmeklerine düşünilýär;

**Hereketi üstaşyr geçiriji mehanizmler diýlip**, meselem, muftalara, zynjyrlý ýa-da kemerli (remenli) hereketi geçirijilere düşünilýär.

Şeýlelikde, islendik priwod iş prosesini herekete getiriji hereketlendirijiden, işi ýerine ýetiriji mehanizmlerden we dolandyryjy elementlerinden hem-de olary özara mehaniki usullar bilen birleşdiriji, hereketi üstaşar geçiriji muftalardan jemlenen gurnamadyr (ulgamdyr).

Işi herekete getiriji, işi ýerine ýetiriji hem-de işi dolandyryjy mehanizmleriň we elementleriň toplumyna **elektropriwod** diýilýär.

## 1.2. Elektropriwodyň hereketini aňladýan esasy deňlemeler

Energiýalaryň deňligi (balansy) kanunyndan elektropriwodyň aýlanýan hereketiniň deňlemesini, tutuş ulgamyň işçi maşynlary üçin şu aşakdaky deňlemeden peýdalanyň bileris:

$$A_{\text{ähli}} = A_{\text{st}} + J \frac{\omega^2}{2}. \quad (1.1)$$

Bu ýerde:  $A_{\text{ähli}}$  – ähli hereketleri döredýän güýçleriň işi;

$A_{\text{st}}$  – peýdaly we zyýanly garşylyklaryň işi;

$J \frac{\omega^2}{2}$  – tutuş ulgamyň kinetik energiýasy;

$J$  – tutuş ulgamyň inersiýa momenti;

$\omega$  – burç tizligi.

Bu deňleme, aýlanyp hereket edýän ulgamlar üçin bolup, köplenç, aşakdaky görnüşde ulanylýar:

$$A_{\text{ähli}} - A_{\text{st}} = J \frac{\omega^2}{2}. \quad (1.2)$$

Energiýalaryň deňligi (balansy) üçin ýazylan deňleme, sähelçe iş üçin-de öz güýjüni saklaýar, ýagny

$$dA_{\text{ähli}} - dA_{\text{st}} = dA_{\text{iners}}. \quad (1.3)$$

Bu ýerde  $dA_{\text{iners}}$  – inersiýaly güýçleriň sähelçe wagtdaky işi, öz gezeginde

$$A_{\text{iners}} = J \frac{\omega^2}{2}. \quad (1.4)$$

Eger-de (1.3) deňlemäni t wagta görä differensirläp ýazsak, onda

$$\frac{dA_{\text{iners}}}{dt} - \frac{dA_{\text{st}}}{dt} = \frac{dA_{\text{iners}}}{dt}. \quad (1.5)$$

Belli bolşy ýaly, işiň wagta bolan gatnaşygyna **kuwwat** diýilýär, onda (1.5) deňlemäni kuwwatlar üçin şeýle ýazyp bileris:

$$P_{\text{ähli}} - P_{\text{st}} = P_{\text{din.güýç}}. \quad (1.6)$$

Bu ýerde:  $P_{\text{ähli}}$  – ähli hereketi döredýän güýçleriň kuwwaty;  
 $P_{st}$  – peýdaly we zyýanly garşylyklaryň kuwwaty;  
 $P_{din}$  – dinamiki güýçleriň kuwwaty;  
 Bu kuwwat

$$P_{din} = \frac{dA_{iners}}{dt} = \frac{d\left(J \frac{\omega^2}{2}\right)}{dt} = J \cdot \omega \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.7)$$

Eger-de inersiýa momenti aýlanýan burçuň funksiýasy bolsa, onda  $(yx)' = y'x + yx'$  amaldan peýdalanyň,

$$P_{din} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^3}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha} \quad (1.8)$$

netijäni alarys.

Şeýlelikde, (1.6) deňlemäni şu aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$P_{\text{ähli}} - P_{st} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^3}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha}. \quad (1.9)$$

Eger-de (1.9) deňlemäniň iki tarapyny-da  $\omega$  burç tizligine bölsek, momentleriň deňlemesini alarys:

$$M_{\text{ähli}} - M_{st} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha}. \quad (1.10)$$

Bu deňlemä *elektropriwodyň* aýlanýan hereketiniň *esasy deňlemesi* diýilýär.

Ol  $J(\alpha)$  – inersiýa momentiniň  $\alpha$  burça baglydygyny hem subut edýän deňlemedir.

### 1.3. Elektropriwodyň aýlanýan hereketini aňladýan esasy deňlemesinden gelip çykýan birnäçe ýagdaýlar

**Birinji ýagdaý.** Eger-de inersiýa momenti  $J = \text{const}$  bolsa, onda onuň  $\alpha$  burç boýunça önümi nola deň bolar. Şeýlelikde, elektropriwodyň aýlanýan hereketini aňladýan (1.10) deňlemesi şu aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$M_{\ddot{a}hli} - M_{st} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.11)$$

**Ikinji ýagdaý.** Eger-de burç tizligi  $\omega = \text{const}$  bolsa, onda  $\omega$ -nyň  $t$  wagt boýunça önümi nola deň bolar:  $\frac{d\omega}{dt} = 0$ . Şeýle şertler ýerine ýetende (1.10) deňleme has ýönekeý görnüşe eýe bolar:

$$M_{\ddot{a}hli} - M_{st} = 0 \text{ ýa-da } M_{\ddot{a}hli} = M_{st}. \quad (1.12)$$

Bu deňlemä hereketlendirijiniň iş düzgüniniň deňagramlaşan ýa-da deňleşen iş düzgüniniň şertli deňlemesi diýilýär.

Eger-de (1.11) deňlemäni seljersek, onda  $M_{\ddot{a}hli} - \ddot{a}hli$  hereketlendirijileriň momenti  $M_{st}$  statiki momentlerinden uly bolsa, onda (1.11) deňlemäniň sag tarapy noldan uly bolýar, ýgny  $J \frac{d\omega}{dt} > 0$ . Bu bolsa elektro-priwodyň tizligi artýar diýiligidir.

Eger-de iş wagtynda  $M_{\ddot{a}hli} < M_{st}$  ýagdaý dörese, onda (1.11) deňlemäniň sag tarapy noldan kiçi bolar, ýagny  $J \frac{d\omega}{dt} < 0$ . Bu bolsa elektropriwodyň tizligi peselýär diýiligidir.

Eger-de  $J \frac{d\omega}{dt} = M_{din}$  diýip belgilesek, onda elektropriwodyň aýlanýan hereketini aňladýan (1.11) deňlemäni  $M_{\ddot{a}hli} - M_{st} = M_{din}$  görnüşde-de aňladyp bileris.

**Üçünji ýagdaý.** Priwodyň hereketlendirijisiniň ikitaraplaýyn (rewersli) işläp bilýändigini göz önünde tutup, haýsy-da bolsa bir tarapa aýlawyny plýus diýip kabul edilenden soň, hereketlendirijiniň rotorynyň aýlanýan ugry şol plýus ugur bilen gabat gelse, onda hereketlendirijiniň aýlawyna plýus aýlawly diýilýär. Eger-de hereketlendirijiniň rotorynyň aýlawy kabul edilen plýus tarapynyň tersine aýlansa, onda hereketlendirijiniň aýlawyna minus aýlawly diýilýär. Meselem, priwodyň hereketlendirijisiniň tormoz (togtadylýan) iş düzgüninde işlände minus aýlawly diýilýär. Şonuň üçin-de (1.11) deňlemäniň çep tarapyndaky birinji goşulmanyň önün-

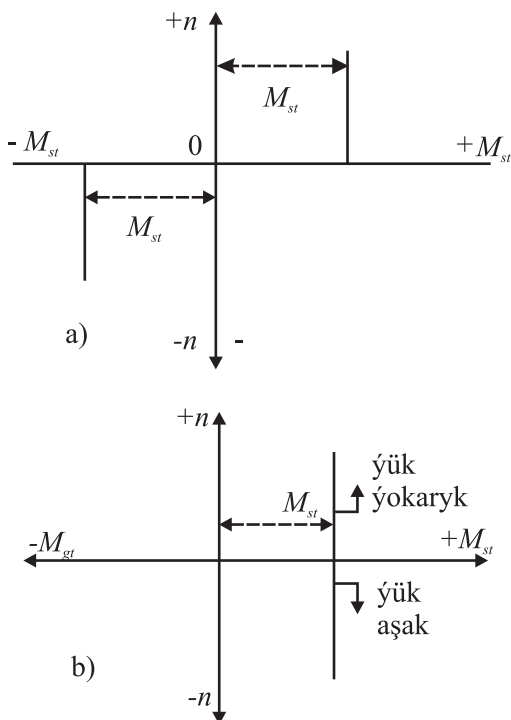
de ( $\pm$ ) alamlarynyň dörap bilýändigini göz önünde tutup (1.11), deňlemäni şu aşakdaky görnüşde aňlatmak maslahat berilýär:

$$\pm M_{dw.} \mp M_{st.} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.13)$$

Bu ýerde  $M_{dw.} = M_{ähli}$  moment bilen deň güýçlülige sebäpli, çalşyrylyp ýazyldy we geljekde  $M_{dw}$  diýlip ýazylyjakdyr.

Edil şeýle-de, deňlemedäki peýdaly we zyýanly garşylyklarynyň  $M_{st}$  momentini geljekde okalanda, önümçilikdäki işledilýän mehanizmiň statik momenti diýlip aýdyljakdyr.

**Dördünji ýagdaý.** Statiki momentler hem öz gezeginde iki görnüşe eýedirler. Olaryň birine aktiw statiki moment diýilse, beýlekisine reaktiw statiki moment diýilýär.



**1.1-nji çyzgy.** Reaktiw “a” we aktiw “b” statiki momentleriň  $n$  tizligiň ugruna görä baglanyşyklary

Aktiw statiki momente potensial statiki moment hem diýilýär. Potensial statiki momente maýyşgak şekili üýtgeýän (deformirlenýän) baglanyşyklar hem-de agramyň döredýän güýjüniň momenti hem deňşlidir.

Reaktiw statiki momente maýyşgak däl şekili üýtgemek hem-de sürtülmegini döredýän güýjüniň momenti-de deňşlidir. Reaktiw statiki momente bir mahsus zat, ol hem reaktiw statiki momentiniň ugry hemişe hereketlendirijiniň rotorynyň aýlanýan ugrunyň tersine ugrukdyrylmagydyr, ol hemişe aýlanmaga garşylyk görkezýär. Eger-de hereketlendiriji aýlanýan ugruny üýtgetse, reaktiw statiki moment hem öz alamatyny üýtgedýär (*1.1-nji “a” çyzga seret*).

Emma, potensial (aktiw) statiki moment  $n$ -tizligiň aýlanýan ugruna bagly bolman, hemişe bir alamatyny  $(+M_{st})$  saklaýar (*1.1-nji “b” çyzga seret*). Bu momentleriň ölçeg birlikleri  $[kG \cdot m]$ .

**Bäşinji ýagdaý.** Moment inersiýa bilen baglydyr. Belli bolşy ýaly,  $m$ -massanyň, şol massany emele getirýän elementiň radiusynyň kwadratyna köpeltmek hasylyna inersiýa diýilýär, ýagny  $J = mp^2$ .

Bu ýerde:  $m = \frac{G}{g}$  – aýlanýan jisimiň (mahowoginiň, uly çarhyň) massasy;

$G$  – agyrlyk güýji, N;

$g = 9,81 \text{ m/sec}^2$  – agyrlyk güýjüniň erkin gaçmak tizlenmesi.

Hasaplamalar geçirilende inersiýa momentiniň deregine uly çarhyň (mahowiginiň) momenti ulanylýar. Mahowiginiň (çarhyň) momentiniň  $(GD^2)$  kesgitlenişi:

$$J = mp^2 = \frac{G}{g} \cdot \frac{D^2}{4}.$$

Bu ýerden mahowiginiň momenti

$$GD^2 = 4g \cdot J. \quad (1.14)$$

Eger-de  $\omega$  – burç tizligini  $n$  – [aýl/min] üsti bilen aňlatsak,  
 $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot \frac{n}{60} = \frac{\pi n}{30}$  netijäni alarys, onda elektropriwodyň aýlanýan hereketini aňladýan (1.10) deňleme şu aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$M_{dw} - M_{st} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{\pi \cdot dn}{30 \cdot dt} + \frac{\pi^2 \cdot n^2}{2 \cdot 30^2 \cdot 4g} \cdot \frac{d(GD^2)}{d\alpha}$$

ýa-da

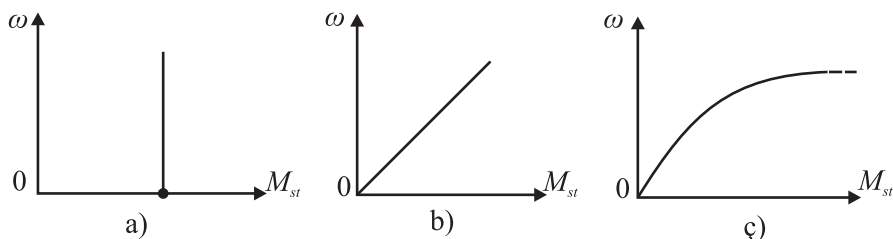
$$M_{dw} - M_{st} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + \frac{n^2}{7200} \cdot \frac{d(GD^2)}{d\alpha}. \quad (1.15)$$

Eger-de mahowiginiň momenti  $GD^2 = \text{const}$  bolup, hemişeligini saklasa, onda

$$M_{dw} - M_{st} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}. \quad (1.16)$$

Bu deňleme hasaplamalarda iň köp ulanylýan deňlemedir.

Statiki momentiň aýlaw tizliginden baglylygy dürli-dürli görnüş-de bolup biler (1.2-nji çyzgyda görkezilen “a”, “b”, “ç” çyzgylara seret).



**1.2-nji çyzgy.** a –  $M_{st}$   $\omega$ -tizlikden bagly däl; b –  $M_{st}$   $\omega$ -tizlige göni bagly;  
 ç –  $M_{st}$   $\omega$  tizligiň kwadratyna bagly.

Çyzgylardan görnüşi ýaly, 1.2-nji “a” çyzgyda statiki moment üýtgemän hemişeligini saklaýar  $M_{st} = \text{const}$ . Muňa mysal hökmünde mehanizm agyr ýüklenende, sürtülme momentiniň tizlikden baglanyşygy hemişelik hasap edilýär. 1.2 “b” çyzgyda  $M_{st}(\omega)$  göni çyzygyň baglanyşygyny hem-de 1.2-nji “ç” çyzgyda statiki momentiň

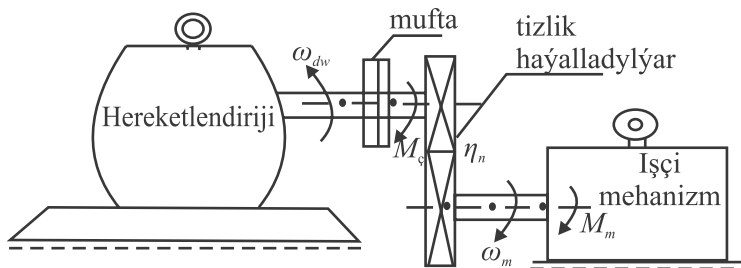


$\omega$  – burç tizliginiň kwadratyna baglydygyny aňladýar. Şeýle egri häsiýetli priwodlara merkezden daşlaşdyrýan nasoslar we howa üfleýji ýa-da howa sorujy ventilyatorlar degişlidirler. Şeýle baglanyşyga statiki momentniň ventilyator häsiýetnamasy diýilýär.

#### 1.4. Statiki garşylyklaryň hem-de mahowikleriň getirilen momentleri

Aýlanýan hereketiň esasy (1.10) deňlemesi degişli elementlerden gurnalán elektropriwodyň bir basgançakly ulgamy üçindir. Emma, hakykatda (hakyky iş ýüzünde) elektropriwodyň ulgamlary birnäçe basgançakly elementlerden ýygnaýarlar. Şular ýaly köp basgançakly elektropriwodyň her bir ulgamy üçin aýratynlykda, özleriniň esasy deňlemelerini düzmeli bolýars. Bular ýaly köp basgançakly elektropriwodyň deňlemelerini işlemekde matematiki nukdaý- nazardan hasaplamak kynçylyklaryny döredýär.

Şeýle matematiki hasaplamalary ýönekeýleşdirmek maksady bilen, real (çylşyrymly) ulgamlary bir bitewi getirilen deňgüýçli (ekwiwalent) ulgama getirýärler. Bir bitewilige getirilen ulgamyň kinetik we dinamiki häsiýetleri real (köp basgançakly) ulgamlaryň kinetik we dinamiki häsiýetlerine deň bolmalydyr.



1.3-nji çyzgy. Aýlanýan hereketiň bir tizliginden beýleki tizlige geçilişi

1.3-nji çyzgyda aýlanýan tizligiň bir aýlaw tizliginden ikinji aýlaw tizligine geçişiniň kinematik shemasy görkezildi. Deňlemesi:

$$M_{st} \cdot \omega_{dw} = M_m \cdot \omega_m \cdot \frac{1}{\eta_{nom}}. \quad (1.17)$$

Bu ýerde:  $\omega_{dw}$  – hereketlendirijiniň aýlaw tizligi;

$\omega_m$  – mehanizmiň aýlaw tizligi;

$M_{st} \cdot \omega_{dw}$  – ulgamyň getirilen statiki kuwwaty;

$M_m \cdot \omega_m \cdot \frac{1}{\eta_n}$  – real ulgamyň statiki kuwwaty;

$\eta_{nom}$  – priwodyň nominal peýdaly täsir koeffisiýenti.

(1.17) – deňlemeden ulgamyň getirilen statiki momentiniň tapylyşy

$$M_{st} = \frac{\omega_m}{\omega_{dw}} \cdot \frac{1}{\eta_{pr}} \cdot M_{meh}. \quad (1.18)$$

Bu ýerde  $\frac{\omega_m}{\omega_{dw}} = \frac{1}{k}$  diýip belgilesek, onda

$$M_{st} = \frac{1}{k \cdot \eta_n} M_{meh}. \quad (1.19)$$

Bu ýerde  $k = \frac{\omega_{dw}}{\omega_{meh}}$  – hereketlendirijiden işçi mehanizme geçýän

üstaşyr sandyr.

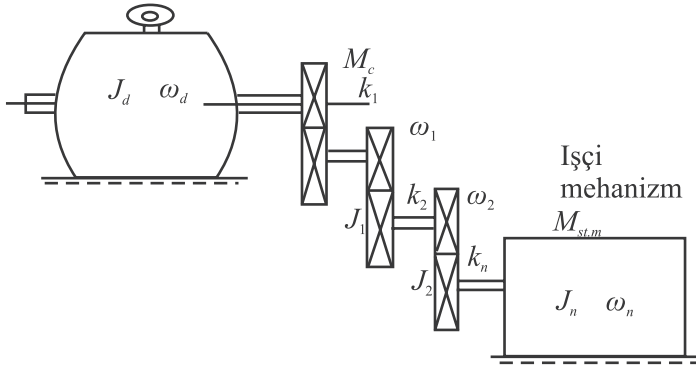
(1.19)-njy deňleme, bary-ýogy bir basgançakly elektropriwod üçindir. Eger-de basgançaklaryň sany  $n$ -e deň bolsa, onda (1.19) deňleme şu aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$M_{st} = \frac{1}{k_1, k_2 \dots k_n \cdot \eta_{n1}, \eta_{n2} \dots \eta_{nm}} M_{meh}. \quad (1.20)$$

Bu deňlemä **statiki garşylyklaryň getirilen momentiniň deňlemesi** diýilýär.

Mahowikleriň momentleri bir aýlaw okuna getirilende-de, priwodyň hereket edýän bölekleriniň kinetik energiýalarynyň jemi hemişeligine saklanýar. Meselem,  $n$ -sany hereket edýän bölekleriň  $J_{dw}, J_1, J_2, \dots, J_n$ , inersiýa momentlerini hem-de burç tizliklerini  $\omega_{dw}, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  diýip belgilesek (*1.4-nji çyzga seret*), onda hemmesiniň aýlawlarynyň inersiýalaryny hereketlendirijiniň walynyň aýlawynyň inersiýasyna getirip ýazyp bileris:

$$J \frac{\omega_d^2}{2} = J_d \frac{\omega_d^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_n \frac{\omega_n^2}{2}. \quad (1.21)$$



**1.4-nji çyzgy.**  
**Köpbaşgançakly elektropriwodyň**  
**kinematik shemasy**

Hereketlendirijiniň walyna getirilen inersiýa momentini (1.21) deňlemä esaslanyp ýazyp biliris:

$$J = J_{dw} + J_1 \left( \frac{\omega_1}{\omega_{dw}} \right)^2 + J_2 \left( \frac{\omega_2}{\omega_{dw}} \right)^2 + \dots + J_n \left( \frac{\omega_n}{\omega_{dw}} \right)^2. \quad (1.22)$$

Bu deňlemelerdäki inersiýa momentlerini mahowigiň momentleriniň üsti bilen-de ýazyp (aňladyp) bolýar. Bilşimiz ýaly,  $GD^2 = 4g \cdot J$ , onda burç tizliklerini-de aýlanýan  $n$  – tizlikleri bilen çalyşsak, şu aşakdaky deňlemäni alarys:

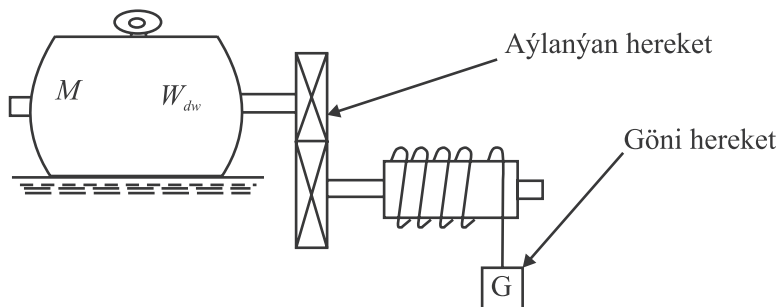
$$GD^2 = GD_{dw}^2 + GD_1^2 \left( \frac{n_1}{n_{dw}} \right)^2 + GD_2^2 \left( \frac{n_2}{n_{dw}} \right)^2 + \dots + GD_n^2 \left( \frac{n_n}{n_{dw}} \right)^2. \quad (1.23)$$

Eger-de aýlaw tizlikleriniň özara gatnaşyklaryny özlerine degişli üstaşyr koeffisiýentler bilen çalyşsak, onda

$$GD^2 = GD_{dw}^2 + \frac{GD_1^2}{k_1^2} + \frac{GD_2^2}{k_1^2 \cdot k_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{k_1^2 \cdot k_2^2 \dots k_n^2}. \quad (1.24)$$

## 1.5. Güýjüň we mahowik massanyň öňe-yza göni hereketlerini aýlanýan herekete getirmek

Köplenç ýagdaýlarda işçi maşynlaryň bir bölegi göni (öňe-yza) hereket etse, beýleki bir bölegi aýlanýan hereketi ýerine ýetirýär. Şonuň üçin-de, öňe-yza hereketi aýlanýan hereketiň üsti bilen aňlatmak (we tersine) zerurlygy ýüze çykýar, meselem, göteriji kranlarda, ýonuýy stanoklarda we ş. m.



1.5-nji çyzgy. Ýük göteriji kranýň kinematik shemasy

Güýjüň garşylyklarynyň getirilişi momentleriň getiriliş usulyna meňzeş, ýagny energiýalaryň deňligi (balansy) şertine esaslanýlar.

Eger-de göni hereketiň tizligini  $\vartheta \left( \frac{\text{m}}{\text{sek}} \right)$  bilen, hereketlendirijiniň walynyň aýlanýan tizligini  $\omega_{dw} \left( \frac{1}{\text{sek}} \right)$  bilen belgilesek, onda energiýalaryň deňligi şertinden

$$F_{st.m} \cdot \vartheta \frac{1}{\eta_n} = M_s \cdot \omega_{dw}. \quad (1.25)$$

Bu ýerde  $F_{st.m}$  – önümçilik mehanizminiň garşylygynyň güýji. Bu güýç göni  $\vartheta$  – tizligi emele getirýän  $G$  – ýüküň agyrlık güýjüniň netijesinde emele gelýär.

Bu (1.25) deňlemeden hereketlendirijiniň walynyň aýlanýan tizligine getirilen garşylygyň momenti

$$M_c = \frac{F_{st.m} \cdot \vartheta}{\omega_{dw} \cdot \eta_n} \quad (1.26)$$

ýa-da

$$M_c = \frac{F_{st.m} \cdot g}{2\pi \frac{n_d}{60} \eta_n} = 9,55 \frac{F_{st.m} \cdot g}{n_d \cdot \eta_n}. \quad (1.27)$$

Eger-de tersine tapmaly bolsa, onda aýlanýan hereketden öňe-  
yza (göni) herekete geçilende getirilen güýjüň ululygy:

$$F_s = \frac{M_{s.m} \cdot \omega_{dw} \cdot \eta_n}{g} \quad (1.28)$$

ýa-da

$$F_s = 0,105 \frac{M_{s.m} \cdot n_d \cdot \eta_n}{g}. \quad (1.29)$$

Bu ýerde  $\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{n_n}{60} = 0,105 n_n$  görnüşde çalşyldy.

**Massanyň getirilişi**, elbetde,  $G$  – ýüküň  $m$ -massasyny hereket-  
lendirijiniň walyna getirmek üçin kinetik energiýalaryň deňliginden  
peýdalanylýar:

$$\frac{m g^2}{2} = J \frac{\omega_{dw}^2}{2}. \quad (1.30)$$

Bu deňlemeden inersiýanyň momentiniň hereketlendirijiniň  
walyna getirilişiniň deňlemesi:

$$J = m \left( \frac{g}{\omega_{dw}} \right)^2. \quad (1.31)$$

Birnäçe özgertmelerden soň mahowigiň getirilen momenti

$$GD^2 = \frac{365 \cdot G g^2}{n_{dn}^2}. \quad (1.32)$$

Bu ýerde  $J = \frac{GD^2}{4g}$ ;  $\omega = 2\pi \cdot \frac{n}{60}$ ;  $m = \frac{4J}{D^2}$  deňliklerden peýda-  
lanylýdy.

Eger-de işçi mehanizmde hem göni hem-de aýlanýan hereketiň iki-  
si-de bar bolup, olaryň ikisini-de hereketlendirijiniň walyna getirmeli

bolsa, onda (1.22) we (1.31) deňlemelerden peýdalanyň, şol hereketleriň jemi hökmünde seredilýär.

$$J = J_d + J_1 \frac{1}{k_1^2} + J_2 \frac{1}{k_1^2 \cdot k_{21}^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_1^2 \cdot i_1^2 \dots i_n^2} + m \left( \frac{g}{\omega_d} \right)^2 \dots \quad (1.33)$$

ýa-da

$$GD^2 = GD_d^2 + \frac{GD_1^2}{k_1^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{k_1^2 \cdot k_2^2 \dots k_n^2} + \frac{365Gg^2}{n_d^2}. \quad (1.34)$$

Eger-de inersiýa momentini göni herekete getirmeli bolsa, onda inersiýa momenti getirilen massa bilen çalşylsa, onda

$$m = J \left( \frac{\omega}{g} \right)^2. \quad (1.35)$$

Birnäçe özgertmelerden soň mahowigiň getirilen agyrlık güýji

$$G = \frac{GD^2 \cdot n^2}{365 \cdot g^2}. \quad (1.36)$$

Eger-de işçi mehanizmde hereketleriň ikisi-de bar bolsa hem-de olaryň ikisini-de hereketlendirijiniň walyna getirmeli bolsa, onda umumy getirilen agramlygyň güýji

$$G = G_1 + G_2 \left( \frac{g_2}{g_1} \right)^2 + \dots + G_n \left( \frac{g_n}{g_1} \right)^2 + \frac{GD^2 \cdot n^2}{365 \cdot g_1^2}. \quad (1.37)$$

## 1.6. Elektropriwody işe goýbermek (pusk) we işini togtatmak (tormoz) üçin $t$ -wagtyň dowamlylygyny kesgitlemek

Hereketiň esasy deňlemelerinden peýdalanyň, priwodyň aýlawynyň tizlenmeginiň ýa-da togtadylmagynyň  $t$  wagtyň dowamlylyklaryny kesgitläp bolýar.

**Inersiýa momentiniň  
deňlemesi**

$$M_{din} - M_{st} = J \frac{d\omega}{dt}, \dots \rightarrow$$

**Mahowigiň momentiniň  
deňlemesi**

$$M_{din} - M_{st} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt},$$

bu deňlemeleri  $t$  wagta görä işleseň

$$dt = J \frac{d\omega}{M_{din} - M_{st}}; \quad dt = \frac{GD^2 dn}{375(M_{din} - M_{st})}. \quad (1.38)$$

Deňlemeleri degişlilikde integrirleseň, onda

$$t = \int_0^{\omega_{st}} J \frac{d\omega}{M_{din} - M_{st}}; \quad t = \int_0^{n_{st}} \frac{GD^2 \cdot dn}{375 \cdot (M_{din} - M_{st})} \quad (1.39)$$

ýa-da

$$t = J \frac{1}{M_{din} - M_s} \int_0^{\omega_{st}} d\omega; \quad t = \frac{GD^2}{375 \cdot (M_{din} - M_{st})} \int_0^{n_{st}} dn. \quad (1.40)$$

Netijede, priwodyň tizlenmeginiň  $t$ -wagty degişlilikde

$$t = J \frac{\omega_{st}}{M_{din} - M_{st}} \quad \text{ýa-da} \quad t = \frac{GD^2 \cdot n_{st}}{375 \cdot (M_{din} - M_{st})}. \quad (1.41)$$

Netijelerden görnüşi ýaly 1) inersiýa momenti näçe uly bolsa, şonça-da  $t$  – wagt uludyr, edil şeýle-de mahowigiň getirilen momenti näçe uly bolsa, şonça-da  $t$  – uludyr; 2) dinamiki moment  $M_d - M_c = M_{din}$  näçe uly bolsa, şonça-da  $t$  – wagt kiçidir.

Eger-de elektropriwody togtatmaly (tormozlamaly) bolsa, onda öňki deňlemelerdäki degişli integrallarynyň predelleriniň ýerlerini çalşyrmak ýeterlikdir.

**Inersiýa momentiniň  
deňlemesinden**

**Mahowigiň momentiniň  
deňlemesinden**

$$t_{torm} = \frac{J}{M_d - M_{st}} \int_{\omega_{st}}^0 d\omega; \quad t_{torm} = \frac{GD^2}{375(M_d - M_s)} \int_{n_{st}}^0 dn. \quad (1.42)$$

Integrirlesek

$$t_{\text{torm}} = \frac{J}{M_d - M_{st}} \cdot \omega_{st} \quad t_{\text{torm}} = \frac{GD^2}{375(M_d - M_{st})} \cdot n_{st}. \quad (1.43)$$

Eger-de hereketlendirijiniň momentiniň alamatyny hasaba girizsek  $[-(M_d - M_c)]$ , onda

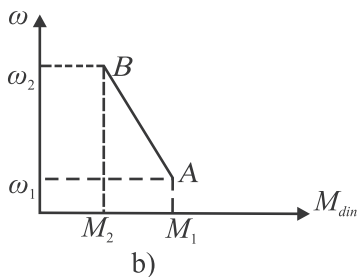
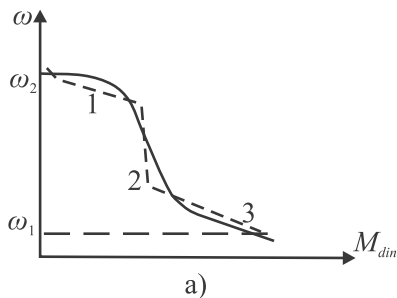
$$t_{\text{torm}} = \frac{J \cdot \omega_{st}}{M_d + M_{st}} \quad t_{\text{torm}} = \frac{GD^2 \cdot n_{st}}{375(M_d - M_{st})}. \quad (1.44)$$

Togtadylýan (tormoz) iş düzgüninde hereketlendirijiniň momenti minus alamata geçýär.

## 1.7. Dinamiki moment göni baglanyşyk boýunça üýtgände $t$ -wagtyň dowamlylygyny kesgitlemek

Muňa dinamiki momentiniň burç tizliginden baglanyşygy-da diýilýär. Dinamika momentiniň  $\omega$  burç tizliginden göni baglanyşygy, haçan-da hereketlendirijiniň momenti bilen statika momenti  $\omega$  -tizlikden göni baglanyşykda üýtgänlerinde, göni baglanyşyk emele gelýär.

Eger-de dinamiki moment egri çyzyk boýunça üýtgeýän bolsa (meselem 1.6-njy (a) çyzga seret), onda egri çyzygy birnäçe göni böleklere (uçastkalara) bölýärler.



1.6-njy çyzgy. Dinamiki moment egri çyzyk boýunça üýtgände, egri çyzygyň göni böleklere bölünişine mysal



Çyzgydan görnüşi ýaly, ähli böleklerde (uçastkalarda) (sere-dilýän egri çyzyk üç sany göni uçastkalara bölündi) dinamiki  $M_{din}$  – moment  $\omega$  – burç tizliginden göni baglanyşykda üýtgeýär. Diýmek, hereketlendirijiniň  $\omega$  tizligi  $t$  wagtyň dowamynda üç gezek dürli tiz-lik bilen öz barmaly tizligine baryp ýetýär. Şeýlelikde, şol uçast-kalar üçin tapylan  $t_1, t_2, t_3$  wagtlary özara goşsak, umumy  $t$  wagtyň dowamlylygyny doly kesgitläris.

Mysal hökmünde 1.6-njy “b” çyzgyda görkezilen baglanyşygy özleşdireliň. Çyzgyda  $A(M_{din1}, \omega_1)$ ,  $B(M_{din2} \cdot \omega_2)$  nokatlaryň koordi-natlary berlen diýip hasap edýäris, onda

$$\frac{\omega - \omega_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{M_{din} - M_{din1}}{M_{din2} - M_{din1}} \quad (1.45)$$

görnüşli deňlemäni ýazyp bileris.

Bu ýerde  $\omega$  hem-de  $M_{din}$  degişlilikde tizligiň we momentiň öň ýanyndaky bahalary. Bu nokatlaryň bahalaryny egri çyzygyň islendik ýerinde alyp bileris.

Şeýlelikde,

$$M_{din} = M_{din1} + \frac{\omega - \omega_1}{\omega_2 - \omega_1} \cdot (M_{din2} - M_{din1}) \quad (1.46)$$

ýa-da

$$M_{din} = M_{din1} + \underbrace{\frac{M_{din2} - M_{din1}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot \omega_1}_a - \underbrace{\frac{M_{din1} - M_{din2}}{\omega_2 - \omega_1} \omega}_b$$

aşaklygyna gaýdýan (peselýän) göni çyzygyň deňlemesini alarys.

$$M_{din} = a - b \cdot \omega. \quad (1.47)$$

Deňlemeden görnüşi ýaly,  $M_{din}$  – dinamika momenti  $\omega$  burç tizliginden ( $a$  nokatdan) aşak gaýdýan göni çyzygyň  $y = a - bx$  deňlemesine boýun egýär.

Şeýle hasaplamalardan soň  $t$  wagtyň dowamlylygynyň kesgitlenişi.

$$t = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{d\omega}{a - b\omega} = J \cdot \frac{1}{b} \ln \frac{a - b\omega_1}{a - b\omega_2}. \quad (1.48)$$

Eger-de  $a$ ;  $b$  – koeffisiýentleriň bahalaryny ornunda goýuşdyryp  $(a - b\omega_1)$  bilen  $(a - b\omega_2)$  agzalary seljersek, onda:

$$a - b\omega_1 = M_{din.1} + \frac{M_{din1} - M_{din2}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot \omega_1 - \frac{M_{din1} - M_{din2}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot \omega_2$$

diýmek,

$$a - b\omega_1 = M_{din.1}. \quad (1.49)$$

Edil şeýle-de

$$a - b\omega_2 = M_{din1} + \frac{M_{din1} - M_{din2}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot \omega_1 - \frac{M_{din1} - M_{din2}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot \omega_2$$

ýa-da

$$\begin{aligned} a - b\omega_2 &= M_{din1} + \frac{M_{din1} - M_{din2}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot (\omega_1 - \omega_2) = \\ &= M_{din1} + \frac{M_{din1} - M_{din2}}{\omega_2 - \omega_1} \cdot (\omega_2 - \omega_1) = \\ &= M_{din1} - M_{din1} + M_{din2} = M_{din2} \end{aligned}$$

diýmek,

$$a - b\omega_2 = M_{din2}. \quad (1.50)$$

Şeýlelikde, gözlenýän  $t$  wagtyň dowamlylygyny, şu aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$t = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M_{din1} - M_{din2}} \cdot \ln \frac{M_{din1}}{M_{din2}}. \quad (1.51)$$

## 1.8. Hereketlendiriji işe goýberilende ýa-da işläp durka togtadylanda, onuň walynyň gyşarma $\alpha$ burçunyň kesgitlenişi

Hereketlendirijiniň dinamiki momentini  $M_{din} = \text{const}$  hemişelik saklanýar diýip kabul edýäris.

Eger-de  $t$  wagtda priwodyň geçýän ýoly gyzyklandyrýan bolsa, hereketlendiriji bilen işçi mehanizmiň özara berk baglanyşyk-dalygyny göz önünde tutsak, onda walyň sähelçe (elementar) burç gyşarmasyny adaty deňleme bilen aňladyp bileris:

$$d\alpha = \omega \cdot dt. \quad (1.52)$$

Bu ýerde  $\alpha$  – hereketlendirijiniň walynyň burç süýşmesidir  
Öz gezeginde,

$$dt = J \frac{d\omega}{M_{din}}. \quad (1.53)$$

Eger-de  $dt$ -niň bahasyny (1.52) deňlemede goýsak we degişli matematiki amallary ýerine ýetirsek, onda şu aşakdaky esasy deňlemeleri alarys:

$$d\alpha = J \frac{\omega \cdot d\omega}{M_{din}} \quad \text{onda,}$$

$$\alpha_{1-2} = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\omega \cdot d\omega}{M_{din}} = J \frac{1}{M_{din}} \cdot \int_{\omega_1}^{\omega_2} \omega d\omega = \frac{J}{M_{din}} \frac{\omega^2}{2} \int_{\omega_1}^{\omega_2}$$

ýa-da

$$\alpha_{1-2} = J \frac{\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2}}{M_{din}}. \quad (1.54)$$

Eger-de başlangyç tizlik nola deň bolsa, onda

$$\alpha_{1-2} = J \cdot \frac{\frac{\omega_{st}^2}{2}}{M_{din}}. \quad (1.55)$$

### Netijeler:

1. Walyň gyşarma burçy ulgamyň kinetik energiýasyna göni baglydyr. Kinetik energiýa näçe uly bolsa, şonça-da  $\alpha$ -burç gyşarmasy uludyr.

2. Walyň gyşarma burçy dinamiki momente ters baglydyr. Dinamiki moment näçe uly bolsa, şonçada  $\alpha$ -burç gyşarmasy kiçidir.

Eger-de hereketlendirijiniň dinamiki momenti üýtgeýän ululyk bolsa (hemişeligini saklap bilmeýän bolsa), özi-de göni çyzygyň kanuny boýunça üýtgeşe, onda  $n_1$  tizlikden  $n_2$  tizlige çenli wagtyň dowamlylygyny şu aşakdaky deňleme esaslanyp kesgitläp bolar:

$$t_{1-2} = \frac{GD^2}{22500} \cdot \frac{n_2 - n_1}{M_{din1} - M_{din2}} \times \\ \times \left[ \left( \frac{n_2 - n_1}{M_{din1} - M_{din2}} \cdot M_{din1} + n_2 \right) \cdot \ln \frac{M_{din1}}{M_{din2}} - (n_2 - n_1) \right].$$

## II BAP

## ELEKTROPRIWODYŇ MEHANIKI HÄSIÝETNAMALARY

### 2.1. Önümçilik mehanizmleriniň we elektrik hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamalary

Elektropriwody dogry saýlamak üçin, elektrik hereketlendiriji bilen işi ýerine ýetiriji mehanizmiň kuwwatlaryny we deňişli momentlerini hasaplap çykarmak, olary özara deňeşdirip görmek  $P_{dw} \geq P_{meh}$ ;  $M_{dw} \geq M_{meh}$  (uludyr, kiçidir, deňdir) ýaly şertleri berjaý etmek esasy meseleleriň biri bolup durýar.

Hasaplanyp, soňra saýlanyp gurnalan hem-de synagdan geçirilen elektropriwod hemmetaraplaýyn önän çydamly, önümlü, önän

ýeňil (ýumşak) işe goýberilmegi we işläp durka-da örän çeyä (ýumşak) saklanmak ukyby we ýene-de işläp durka, elektrik ýükleriniň üýtgäp durýandyklary sebäpli, hereketlendirijiň-de aýlawynyň üýtgäp durmagy (geçiş prosesleri) we başga-da ençeme fiziki we tehniki hadysalara döz gelip, ähli hereketler örän ýeňil we hiç hili şikessiz (bökençsiz) amala aşyryp bilýän gurnama bolmalydyr.

Bu bildirilýän talaplary doly ödemek üçin, mehanizmleri herekete getiriji hereketlendirijileriň we işi ýerine ýetiriji mehanizmleriň mehaniki häsiýetnamalaryny gurup, öwrenip doly seljermegi hünärmenler başarmalydyrlar. Olary önümçilikde ornaşdyrmak we nähili dolandyrmak ýaly jogapkärli işleri hünärmenler tarapyndan ýerine ýetirilmelidir.

Eýsem-de, şeýle uly derejä eýe bolan mehaniki häsiýetnama näme?

Aýlaw tizliginiň mehaniki momente görä  $n = f(M)$  ýa-da  $\omega = f(M)$  baglanyşygyna mehaniki häsiýetnama diýilýär.

Bu kesgitleme mehanizmleri ýörediji hereketlendiriji üçin-de we işi ýerine ýetiriji mehanizmler üçin-de ýeke-täk we dogry kesgitlemedir.

Şeýlelikde, mehaniki häsiýetnamalaryň esasy wajyp tarapy, ol hem işi ýerine ýetiriji mehanizmler üçin hereketlendirijiň tipini, görnüşini, kuwwatyny saýlamak üçin esasy tutaryk (delil) bolup hyzmat edýär.

Öz gezeginde mehaniki häsiýetnamalary *tebigy we emeli* häsiýetnamalara bölýärler. Hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasy diýlip, goşmaça ýükleriň (garşylyklaryň) ýok wagty nominal naprýaženiýeli setde we shemada, nominal parametrleri bilen işlände  $n = f(M)$  baglanyşygyna aýdylýar. Meselem, sarymy garaşsyz oýandyrylýan hemişelik toguň hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy diýlip, naprýaženiýäniň nominal bahasynda we nominal magnit akymynda hem-de ýakoryň elektrik zynjyrynda goşmaça garşylygyň ýok wagtyndaky  $n = f(M)$  baglanyşygyna aýdylýar.

Eger-de hereketlendirijileriň tebigy häsiýetnamalary iş mehanizmlerini kanagatlandyрмаýan bolsa, onda goşmaça garşylyklardan peýdalanyp, emeli mehaniki  $n = f(M)$  häsiýetnamalar döredip, elektropriwodlary işledýärler.

Hereketlendirijiniň aýlaw tizligini üýtgetmeli bolanda (meselem, işe goýberilende, tizligi togtadylanda ýa-da tizligini üýtgedip durmaly bo-

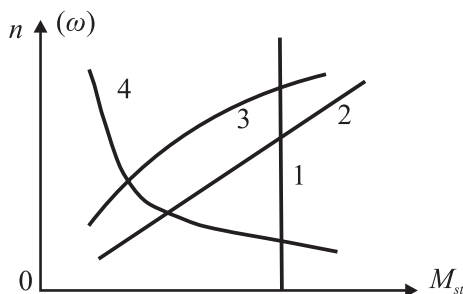
landa), goşmaça garşylyklardan peýdalanyň, emeli häsiýetnamalarda işlemeli bolýar.

Diýmek, hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi nominal tizlikden tapawutlansa, onda şol tapawutlanýan häsiýetnamalaryň hemmesine *emeli* häsiýetnamalar diýilýär.

Kä halatlarda mehaniki  $n = f(M)$  häsiýetnamalaryň deregine  $n = f(I)$  ýa-da  $\omega = f(I)$  baglanyşyklardan hem peýdalanýarlar. Şeýle ýagdaýlarda (hasaplamalarda) bu baglanyşyklara elektromehaniki baglanyşyklar (häsiýetnamalar) diýilýär.

Önümçilikde ulanylýan mehanizmler birmeňzeş bolman, dürli häsiýetlere eýe bolýandyklary sebäpli, olaryň mehaniki häsiýetnamalary-da özara tapawutlanýarlar. Şonuň üçin-de mehaniki häsiýetnamalary şu aşakdaky toparlara bölse bolar:

1. Mehaniki häsiýetnamada ( $M$ -moment) mehanizmiň tizligine bagly däl (2.1-nji çyzygyda “1” we “2” göni çyzyklara seret).



**2.1-nji çyzygy. Önümçilikde ulanylýan mehanizmleriň mehaniki häsiýetnamalary**

Şeýle mehaniki häsiýetnamalar bilen ýük göteriji kranlar, lebýodkalar, metal kesiji gurnamalar, we ş.m. degişlidirler. Şu kategoriýa statiki momentleri sürtenme hasaplanýan mehanizmler (meselem, porşenli) degişlidirler.

2. Mehaniki häsiýetnamasy göni çyzyk boýunça üýtgeýän mehanizmler (2.1-nji çyzygyda “2”). Bular ýaly mehanizmlere sarymy garaşsyz oýandyrylýan hemişelik toguň generatorynyň priwodlaryny mysal getirse bolar.

3. Mehaniki häsiýetnamasy göni däl, tizligi ösýän mehanizmler (2.1-nji “3” çyzyga seret). Bular ýaly häsiýetnamalar parabolany ýada

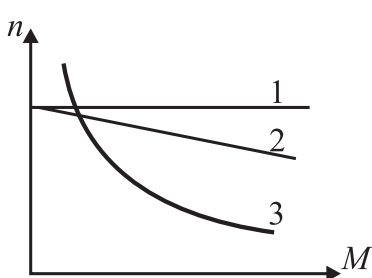
salýar, şonuň üçin-de parabola häsiýetli mehanizmler diýilýär ýa-da wentilýator momentli mehanizmler diýilýär, sebäbi wentilýatorlaryň momenti aýlanan tizligiň kwadratyna baglylykda üýtgeýär. Muňa merkezden daşlaşdyrýan nasoslary we kürekleýän priwodlary mysal getirse bolar.

4. Mehaniki häsiýetnamasy göni däl, tizligi egri çyzyk boýunça peselýän mehanizmler (2.1-nji “4” çyzga seret). Çyzgydan görnüşine görä, statiki moment (ýa-da momentniň garşylygy) tizlige ters baglylykda üýtgeýär diýilýär. Şeýle häsiýetnamaly mehanizmlere tokar, ýonujy (rastoçnyýe), oýup ýonujy (frezernyýe) we başga-da birnäçe demir, agaç kesiji (bejeriji) stanoklary mysal getirse bolar.

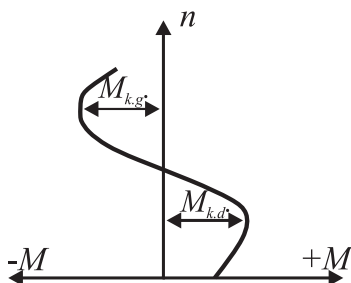
Ýokarda görkezilen dört sany dürli häsiýetli baglanyşyklar takyk däl-de, umumy görnüşde düşüňjeleri döretmek üçin getirildi. Hakykatda, mehanizmleriň mehaniki häsiýetnamalary ýokarda görkezilen toparlaryň haýsy-da bolsa bir toparyna golaýlatsa bolýar.

Hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamalary hem dürli-dürli häsiýetlere eýe bolup, jemi üç topara bölünýär:

1. Absolýut – *aşa berk, mehaniki häsiýetnamaly mehanizmler*. Şeýle häsiýetli mehanizmleriň tizligi hemişeligini saklaýar. Şular ýaly häsiýetnamalar sinhron hereketlendirijilere degişlidirler (2.2-nji “1” çyzga seret).



**2.2-nji çyzgy. Hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamalary:** 1 – *sinhron hereketlendiriji*; 2 – *oýandyryjy sarymy parallel*; 3 – *oýandyryjy sarymy yzygider hereketlendirijileriň häsiýetnamalary*



**2.3-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy**

2. Mehaniki häsiýetnamasy berk hasaplanýan hereketlendirijiler. Momentiň üýtgemegi sebäpli aýlanýan tizligiň peselmegi azda-kände duýulýar. (2.2-nji “2” çyzga seret). Bular ýaly hereketlendirijilere hemişelik toguň oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijileri hem-de asinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasynyň işçi uçastkasy degişlidirler (2.3-nji çyzga seret).

3. Mehaniki häsiýetnamasy ýumşak hereketlendirijiler (2.2-nji çyzgyda “3” baglanyşyga seret). Şeýle häsiýetnamaly hereketlendirijilere oýandyryjy sarymy ýakor bilen yzygider birleşdirilen hereketlendirijiler hem-de iki sany oýandyryjy sarymy bolan kompaundly hereketlendirijiler degişlidirler.

## **2.2. Elektrik hereketlendiriji bilen önümçilik mehanizminiň bilelikdäki mehaniki häsiýetnamalary**

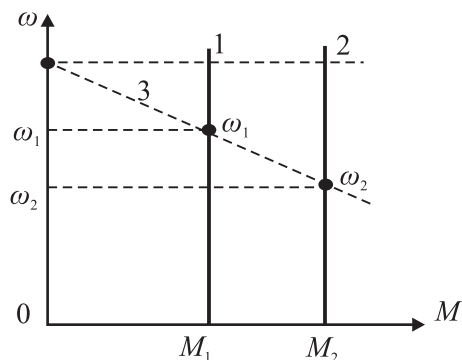
Belli bir aýlanýan tizlikde hereketlendirijiniň aýlanýan momenti, mehanizmiň garşylyklarynyň (statiki) momenti bilen özara deňleşenlerinde, ýagny deňagramlylyk ýagdaýa ýetenlerinde priwod durnukly iş ýagdaýda işleýär diýilýär.

Eger-de hereketlendirijiniň walyna mehanizmler tarapyndan başga garşylyk momenti döredilse, onda hereketlendirijiniň aýlanýan momenti, tizligiň üýtgemegi netijesinde başga bahasyna eýe bolar.

Elektrik däl hereketlendirijilerde deňagramlylygy gazanmak üçin ýörite düzeldijilerden (deňleýjilerden) peýdalanýarlar, meselem, suwuň, buguň ýa-da ýagyň berlişiniň akymyny azaltmak ýa-da köpeltmek arkaly amala aşyrylýar. Emma elektrik hereketlendirijilerinde bu funksiýany hut hereketlendirijiniň özünde döreýän EHG awtomatik amala aşyrýar. Elektrik hereketlendirijilerine mahsus şeýle ajaýyp häsiýet iň ýokary bahalara eýedir, sebäbi hereketlendirijiniň walynda islendik wagtda statiki momentiň üýtgäp durmagyny sazlaýjy hereketlendirijiniň özünde döreýän EHG-dir.

Ýokarda aýdylan elektrik hereketlendiriji bilen önümçilikdäki mehanizmleriň bilelikdäki mehaniki häsiýetnamalary 2.4-nji çyzgyda görkezildi.





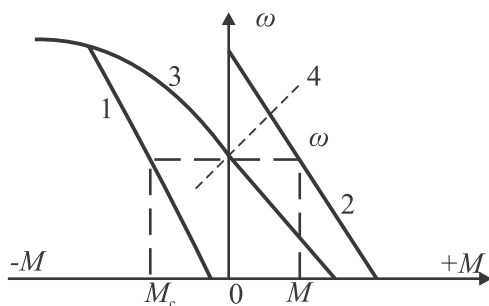
**2.4-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendiriji (3) bilen önümçilik mehanizmleriniň mehaniki häsiýetnamalary (1,2)**

Çyzgyda  $M_1$ ,  $\omega_1$  – konweýeriň boş (ýüksüz) işleýän wagtyna gabat gelse,  $M_2$ ,  $\omega_2$  – konweýeriň ýükli işläp duran wagtyna gabat gelýär.

Çyzga seredip, ýüküň artdygyça  $M$  ulalyp,  $\omega$  tizligiň peselýändigini we hereketlendirijiniň deňagramlylyk ýagdaýa eýe bolýandygyny aýdyp bolýar.

Hakykatda,  $M_1$  ( $\omega_1$ ) we  $M_2$  ( $\omega_2$ ) minus alamatly bolup, 4-nji çärýek-de ýerleşýärler, ýöne grafik hasaplamalarda aýdyňlyk üçin 4-nji çärýek-den 1-nji çärýege geçirip işlemek adata öwrülipdir.

Haçan-da hereketlendirijiniň we önümçilik mehanizmleriniň işleri bilelikde seredilende, olaryň mehaniki häsiýetnamalary bilelikde goşulyp öwrenilse ähmiýetli (amatly) bolýar.



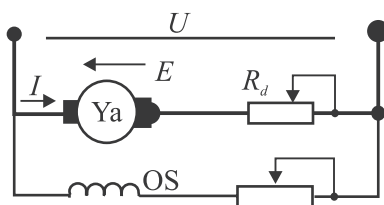
**2.5-nji çyzgy.**  
**Wentilýatorly agregatyň hereketlendiriji bilen bilelikdäki mehaniki häsiýetnamasy**

Mysal hökmünde howa üfleýji (ýa-da sorujy) agregatyň 1-mehaniki häsiýetnamasy bilen hereketlendirijiniň 2-mehaniki häsiýetnamasy we olaryň grafiki goşulyşlarynyň 3-jemi görkezildi. 4-nji çyzyk durnuksyz iş düzgünidir.

Köplenç ýagdaýlarda, önümçilik mehanizmleriniň mehaniki häsiýetnamalary berlen (belli) bolýar. Diňe hereketlendiriji saýlap almak galýar.

### 2.3. Parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijisiniň mehaniki häsiýetnamasy

Sarymy parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijisiniň adaty shema birleşmesi 2.6-njy çyzygyda görkezildi.



**2.6-njy çyzygy.**  
**Parallel oýandyryjyly**  
**hemişelik toguň hereketlendirijisiniň shema**  
**birleşmesi (OS – oýandyryjy sarym)**

Hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasyny analitiki görnüşde ýakoryň zynjyry üçin naprýaženiýäniň deňlemesi arkaly aňladyp bolýar. Durnukly iş düzgüninde elektrik çeşmesi arkaly berilýän iýmitlendiriji naprýaženiýe

$$U = I \cdot R + E. \quad (2.2)$$

Bu ýerde:  $I$  – hereketlendirijiniň ýakoryndan akýan tok,  $A$ ;  
 $R$  – ýakoryň we goşmaça garşylyklaryň jemi;

$$E = k \cdot \Phi, \omega. \quad (2.3)$$

$\Phi$  we  $\omega$  – degişlilikde magnit akymy we hereketlendirijiniň burç tizligi,  $\frac{\text{rad}}{\text{sek}}$ ;

$k = p \cdot \frac{N}{2\pi a}$  – hereketlendirijiniň konstruksiýasyna bagly koef-fisiýent.

Bu ýerde:  $p$  – hereketlendirijiniň jübüt polýuslarynyň sany;

$N$  – ýakoryň sarymynyň aktiw simleriniň sany;

$a$  – ýakoryň sarymlarynda jübüt parallel şahalaryň sany.

Eger-de (2.3) deňlemedäki E-EHG-niň bahasyny (2.2) denleme-de goýsak, onda

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi}. \quad (2.4)$$

Bu (2.4) deňleme hereketlendirijiniň tizligi bilen ýakoryndan akýan toguň baglanyşygyny aňladýar. Şeýle  $\omega = f(I)$  baglanyşyga tizligiň tok bi-len ýa-da hereketlendirijiniň elektromehaniki baglanyşygy hem diýilýär.

Hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasyny aňladýan deňlemäni almak üçin  $\omega$  tizlik bilen  $M$  – momentiň baglanyşygyny kesgitleýän deňlemäni tapmaly bolýarys. Şeýle deňlemäni  $M$  moment bilen  $I$  tok ýönekeý baglanyşykda bolanda alyp bolýar:

$$M = k \cdot \Phi \cdot I \text{ [N} \cdot \text{m]}. \quad (2.5)$$

Bu deňlemede  $I = \frac{M}{k\Phi}$  görnüşde aňladyp, (2.4) deňlemä goýsak, mehaniki häsiýetnama üçin degişli aňlatmany alarys:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - M \frac{R}{K^2 \cdot \Phi^2}, \quad (2.6)$$

ýa-da

$$\omega = \frac{U}{C} - M \frac{R}{C^2}. \quad (2.7)$$

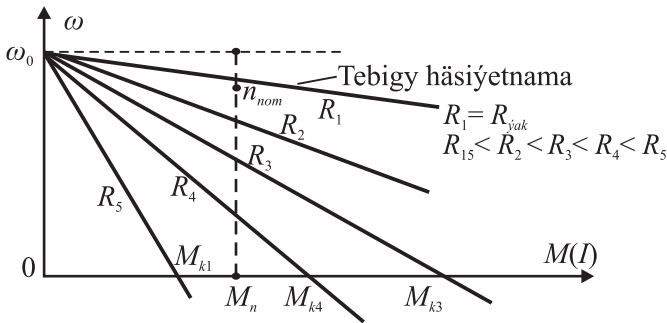
Bu ýerde (2.7) deňleme  $y = a - bx$  deňlemä meňzeşdir.

$$C = k \cdot \Phi. \quad (2.8)$$

Eger-de hemişelik toguň parallel oýandyryjyly hereketlendirijisinde kompensirleýji sarym bar bolsa, onda  $C$  – koeffisiýent hemişelik hasaplanýar. Adaty hereketlendirijilerde ýakoryň reaksiýasy hasaba alynmaýanlygy üçin  $C$  – ululyk üýtgemeyän ululuk diýlip kabul edilýär.

Hereketlendirijileriň üýtgemeyän  $U$ ,  $\Phi$  we  $R$  parametrlerinde hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy peselýän göni çyzygy emele getirýär. Aşakda 2.7-nji çyzygyda görkezilen mehaniki häsiýetnamalar momentleriň kesgitli bahalarynda hereketlendirijiniň walynyň aýlanýan dürlü tizliklerini alyp bolýandygy görkezildi, diýmek, hereketlendirijiniň aýlanýan tizligini özümize geregiçe sazlap bileris.

Haýsy-da bolsa bir parametr (meselem  $R$ ) üýtgeýän bolsa, onda  $R$ -iň kesgitli bahalarynda mehaniki häsiýetnamalary-da dürlü bolar,  $R$  näçe uly bolsa, şonça-da hereketlendiriji çalt saklanýar.



### 2.7-nji çyzygy. Reostatlar toplumy esasynda alnan parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň mehanik häsiýetnamalarynyň görnüşleri

Çyzygydan görnüşi ýaly, islendik iş düzgüninde  $M = 0$  bolanda ( $R = 0$  bolanda)  $\omega = \omega_0$  bahada häsiýetnama başlanýar. Bu  $\omega_0$  tizlik islendik hereketlendiriji üçin takyk bahasyna eýedir. Hereketlendiriji boş işlände, ideal bahasynyň tapylyşy:

$$\omega_0 = \frac{U}{k\Phi}. \quad (2.9)$$

Şeýle ideal  $\omega_0$  tizlik ýakorda tok  $I_{yak} = 0$  bolanda, ýakorda döreyän EHG garşylyklaýyn goýlan naprýaženiýä absolýut deň bolanda ýetýär. (2.6) deňlemedäki ikinji goşulma tizligiň aşak gaýdýandygyny aňladýar:

$$\Delta\omega = M \frac{R}{k^2 \cdot \Phi^2}. \quad (2.10)$$

Şeýlelikde, hereketlendirijiniň aýlanan tizligine görä (2.6) deňlemäni şeýle görnüşde ýazyp bileris:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega. \quad (2.11)$$

Çyzgydaky iň ýokarky baglanyşyga tebigy häsiýetnama diýilýär. Bu häsiýetnama daşky ýüküň ýok wagty hereketlendirijiniň ýakoryna nominal  $U_n$  naprýaženiýe berlende we nominal magnet akymy  $\Phi_n$  dörende gurulýar. Ýakoryň içki garşylygy diýlip ýakoryň sarymynyň hususy garşylygyna, goşmaça polýuslaryň garşylygyna, kompensirleýji sarymyň garşylygyna hem-de çotkanyň garşylyklarynyň jemine düşünilýär. Şeýlelikde, tebigy häsiýetnamada tizligiň pese gaçýsynyň tapylyşy:

$$\Delta\omega = M \frac{R_{yak}}{k^2 \cdot \Phi^2}.$$

Ýokardaky deňlemede  $R_{yak}$  garşylyga goşmaça garşylyklary  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  goşsak, onda şol garşylyklara görä, täze mehaniki häsiýetnamalary alarys:

$$\Delta\omega = M \frac{R_{yak} + R_{reost}}{k^2 \cdot \Phi^2}. \quad (2.12)$$

Eger-de bu deňlemäniň çep we sag taraplaryny  $\omega_0$  tizlige bölsek, onda otnositel birlikde aňladylýan deňlemäni alarys.

$$\Delta\nu = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}.$$

Şular ýaly ( $R_{reost}$ ) usuly bilen alnan mehaniki häsiýetnamalara reostatly häsiýetnamalar diýilýär:

## 2.4. Parallel oýandyryjyly hereketlendirijiler üçin mehaniki häsiýetnamalary gurmak

Hemişelik tokda parallel oýandyryjyly hereketlendirijiler üçin tebigy we islendik reostatly mehaniki häsiýetnamalaryny gurmak üçin bary-ýogy iki nokadyny bilmek (anyklamak) ýeterlikdir, sebäbi ähli mehaniki häsiýetnamalar göni liniýalary emele getirýärler. Bu iki nokatlar her bir häsiýetnama üçin islendik nokatlar bolup biler, ýöne şol nokatlaryň biri nominal tizlige we nominal momente gabat getirilýär, meselem ( $M = M_n$  we  $\omega = \omega_n$ ), beýlekisi hereketlendiriji boş işlände ideal tizligi kabul edilýär, meselem,  $\omega = \omega_0$  we  $M = 0$ . Hereketlendirijiniň nominal aýlanýan tizligi pasport bahalaryndan alynýar. Nominal elektromagnit momenti şu aşakdaky deňlemeden kesgitlenilýär.

$$M_n = C \cdot I_n, \text{ bu ýerde } C = k \cdot \Phi.$$

Hereketlendiriji boş işlände aýlanýan ideal tizligi Kirhgofyň 2-nji kanuny esasynda deňleme düzüp tapyp bolýar.

$$E = U - R_y I = k\Phi \cdot \omega_n.$$

Bu deňlemeden  $k\Phi = \frac{U - R_y \cdot I}{\omega_n}$ , onda hereketlendiriji boş işlände

$$\omega_0 = \frac{U}{k\Phi} = \frac{U}{U - R_y \cdot I} \cdot \omega_n.$$

Belli bolşy ýaly, kataloglarda ýakoryň  $R_{yakor}$  garşylygynyň san bahasy berilmeyänligi sebäpli, kuwwatlaryň deňligi kanunyndan peýdalanyp,  $R_{yakor}$  garşylygy kesgitlenilýär. Şonuň üçin-de hereketlendirijide harçlanýan kuwwatlaryň ýarysy ýakorda ýitirilýändigini hasaba girizilse, onda

$$R_{yak} \cdot I_n^2 \approx 0,5(1 - \eta_n) I_n \cdot U.$$

Bu deňlemeden

$$R_{yak} \approx 0,5(1-\eta_n) \frac{U}{I_n}. \quad (2.14)$$

Bu ýerde  $\eta_n$  – hereketlendirijiniň peýdaly täsir koeffisiýenti, tapylyşy

$$\eta_n = \frac{1000 \cdot P_n}{U_n \cdot I_n} \approx 0,87$$

töweregi bolýar.

Hereketlendirijiniň tebigy mehaniki häsiýetnamasyndan peýdalanyň, islendik  $R_{reost}$  – garşylyklaryna mahsus mehaniki häsiýetnamalary gurup bolýar. Reostat häsiýetnamalary-da bary-ýogy iki nokat arkaly gurulýar. Olar  $\omega = \omega_0$  haçan-da  $M = 0$  bolanda, soňra islendik  $R_{reost}$  garşylykda  $\omega = \omega_{n.reost}$  haçan-da  $M = M_n$  bolanda,  $\omega_{n.reost}$  tizligiň kesgitleniş deňlemesi:

$$\omega_{n.reost} = \omega_0 \left[ 1 - \frac{I_n (R_{yak} + R_{reost})}{U} \right]. \quad (2.15)$$

Mehaniki häsiýetnamany başga bahalar bilen-de gurup bolýar, meselem ( $M = M_k$ ,  $\omega = 0$ ), bu ýerde  $M_k = M_n \frac{I_k}{I_n}$ .

Öz gezeginde  $I_k = \frac{U}{R}$  – gysga utgaşma togy. Reostat garşylyklar ýok bolanda, ýagny diňe ýakoryň garşylygy bolup galanda, gysga utgaşma togy aşa ýokary baha eýe bolýar, şol sebäpli-de  $M_k$  hem örän uly bahasyna baryp ýetýär.

Ýokarda aýdylanlary göz önünde tutsak, onda şu aşakdaky deňlemeden peýdalanyň, mehaniki häsiýetnamany gurmak maslahat berilýär.

$$\omega = \omega_0 \left( 1 - \frac{M}{M_k} \right). \quad (2.16)$$

Şeýlelikde,  $M = 0$  bolanda  $\omega = \omega_0$  bolar,  $M = M_k$  bolanda  $\omega = 0$  netijäni alarys. Bu dürli reostat şertlerine laýykdyr. Mehaniki häsiýetnamany (2.4) deňlemenden peýdalanyň, oňnositel birlikde-de gurmak maslahat berilýär.

$$\omega = \frac{(U - IR)}{k\Phi};$$

$$\omega = \omega_0 \left( 1 - \frac{IR}{U} \right).$$

Bu deňlemäniň iki tarapyny-da  $\omega_0$ - bölsek, onda

$$v = 1 - \frac{IR}{U} \quad \text{ýa-da} \quad v = 1 - \frac{\frac{IR}{I_n}}{\frac{U}{I_n}}.$$

Özboluşly özgertmelerden soň şu aşakdaky deňlemäni alarys:

$$v = 1 - ir \quad (2.17)$$

ýa-da  $\Phi = \Phi_{nom} = \text{const}$  bolanda

$$v = 1 - \mu \cdot r. \quad (2.18)$$

Bu ýerde

$$v = \frac{\omega}{\omega_0}; i = \frac{I}{I_n}, \mu = \frac{M}{M_{nom}} \text{ deňşlilikde tizligiň, toguň, momentini}$$

otnositel bahalary.

$$r = \frac{R}{R_n} - \text{otnositel birlikdäki garşylyk};$$

$$R_n = \frac{U}{I_n} - \text{hereketlendirijiniň nominal garşylygy}.$$

Hemişelik toguň hereketlendirijisiniň nominal garşylygy diýlip, hereketsiz duran ýakorda setiň nominal naprýaženiýesinde ýakoryň toguny nominal bahasynda çäklendirip saklananda kesgitlenen garşylyga aýdylýar.



Ýokardaky (2.17) bilen (2.18) deňlemelerdäki ikinji goşulma otnositel birlikde tizligiň peselýändigini aňladýar, şeýlelikde

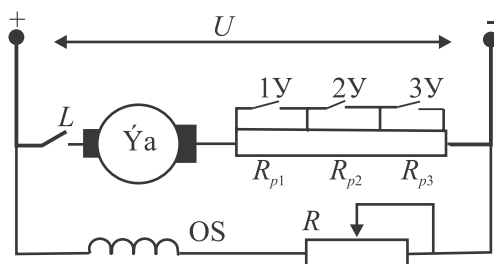
$$\Delta v = ir = \mu \cdot r. \quad (2.19)$$

Bu deňleme bellenilen şertlerde mehaniki häsiýetnamany hasaplamagy we gurnmagy aňsatlaşdyrýar. Dogrudan-da, eger nominal momenti we nominal tizligi aňladýan nokatlary  $i = 1$ ;  $\mu = 1$  diýip belgilesek, onda

$$\Delta v = r. \quad (2.20)$$

Bu deňleme nominal momentde tizligiň otnositel peselişi hereketlendirijidäki ýakor zynjyrynyň otnositel garşylygyna deňleşýär diýiligidir.

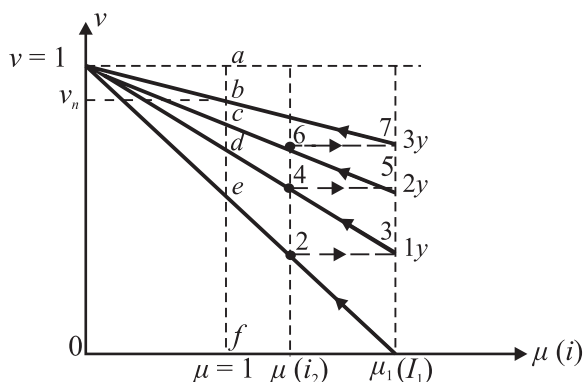
Mehaniki häsiýetnamany gurnamak üçin, mysal hökmünde 2.8-nji çyzgyda görkezilen sarymy parallel birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň üç basgançakly shemasyny özleşdireliň.



**2.8-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy parallel, işçi garşylygy üç basgançakly hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasyny gurnamak üçin elektrik shema**

Ilki bilen  $L$  kontakt birleşdirilýär we sarymyň şahasyndaky  $R_{sar}$  üýtgetsek, ýakor ýuwaş-ýuwaşdan ýerinden gozganyp aýlanyp başlaýar. Soňra 1Y; 2Y; 3Y kontaktlar belli bir wagtdan yzly-yzyna birleşip, basgançak-basgançaklap, iň ýokarky tizligine baryp ýetýär.

Ähli garşylyklar 1Y; 2Y; 3Y kontaktlar bilen şuntirlenenlerinden soň, hereketlendirijiniň ýakorynyň aýlanýan tizligi basgançakly ösüp ahyry tebigy häsiýetnamanyň liniýasyna girip,  $v_{nom}$  tizlige baryp ýetýär (2.9-njy çyzga seret).



**2.9-njy çyzgy. Parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasynyň otnositel birlikde aňladylşy**

Eger-de (2.18) we (2.20) deňlemelerden peýdalansak, onda otnositel birlikde tebigy mehaniki häsiýetnamany gurmak hiç hili kynçylyk döretmeýär, dogrudan-da

$$\mu = 1 \text{ bolanda, } v = v_0 = 1 \text{ we } \Delta v = r.$$

Häsiýetnamada bir nokadyň koordinatlary

$$v = 1 \text{ we } \mu = 0 \text{ bolsa,}$$

beýleki (ikinci) nokadyň koordinatlary

$$v_n = 1 - \Delta v_n; \text{ we } \mu = 1 \text{ bolar.}$$

Şu iki nokatdan geçirilen liniýa (çyzyk) tebigy mehaniki häsiýetnamany aňladýar.

Häsiýetnamany guranlarynda  $I_2 = I_{nom} \cdot 1,2$  töweregi alynsa,  $I_1 = I_{nom} \cdot (2 \div 2,5)$  töweregi alynýar.

Mehaniki häsiýetnamalary gurmak üçin esasy deňlemeler, EHG üçin

$$E = k_E \cdot \Phi \cdot n. \quad (2.21)$$

Bu ýerde  $k_e = \frac{pN}{60 \cdot a}$ ,  $a$  – hereketlendirijiniň konstruksiýasyndan bagly koeffisiýent.

Aýlanýan tizligiň deňlemesi

$$n = \frac{U - IR}{k_E \cdot \Phi} \text{ aýl / min.} \quad (2.22)$$

Elektromagnit momentiniň tapylyşy

$$M = k_M \cdot \Phi \cdot I \text{ N}\cdot\text{m.} \quad (2.23)$$

Bu ýerde

$$k_M = \frac{pN}{2\pi a}.$$

Mehaniki häsiýetnamanyň deňlemesi

$$n = \frac{U}{k_E \cdot \Phi} - M \frac{R}{k_E \cdot k_M \cdot \Phi^2} \quad (2.24)$$

ýa-da

$$n = \frac{U}{C_E} - M \frac{R}{C_E \cdot C_M}. \quad (2.25)$$

Bu ýerde

$$C_E = k_E \cdot \Phi; \quad C_M = k_M \cdot \Phi.$$

Bu iki  $k_E$  we  $k_M$  koeffisiýentler özara baglanyşykdaýrlar:

$$k_M = 9,55 \cdot k_E.$$

Magnit akymy hemişelik saklananda  $C_E$  we  $C_M$  koeffisiýentlerden peýdalanylýar  $C_M = 9,55 \cdot C_E$ ,  $C_E$  koeffisiýent hereketlendirijiniň nominal bahalary bilen kesgitlenilýär:

$$C_E = \frac{U_{nom} - I_{nom} \cdot R_{nom}}{n_{nom}} \frac{W}{\text{aýl/min}}.$$

**2.1-nji mesele.** Parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijisi üçin tebigy (mehaniki) tizligiň häsiýetnamasyny gurmaly. Hereketlendirijiniň pasportynda görkezilen bahalary:

$$\begin{aligned}P_{nom} &= 10 \text{ kWt}; \\U &= 220 \text{ W}; \\I_{nom} &= 52,2 \text{ A}; \\n_{nom} &= 2250 \text{ aýl/min}.\end{aligned}$$

**Çözülişi.** Hereketlendirijiniň nominal garşylygy.

$$R_{nom} = \frac{U_{nom}}{I_{nom}} = \frac{220}{52,2} = 4,21 \text{ Om}.$$

Hereketlendirijiniň nominal elektrik ýükünde peýdaly täsir koeffisiýentiniň tapylyşy

$$\eta_{nom} = \frac{1000 \cdot P_{nom}}{U_{nom} \cdot I_{nom}} = \frac{1000 \cdot 10}{220 \cdot 52,2} = 0,87.$$

Hereketlendirijiniň ýakoryndaky garşylygy

$$R_{\text{ýakor}} \approx 0,5(1 - \eta_{nom}) R_{nom} = 0,5(1 - 0,87) \cdot 4,21 = 0,274 \text{ Om}.$$

Hereketlendiriji boş (ýüksüz) işlände ideal tizligi

$$\begin{aligned}n_0 &= \frac{n_{nom}}{U_{nom} - I_{nom} \cdot R_{now}} \cdot U_{nom} = \\&= \frac{2250}{220 - 52,2 \cdot 0,274} \cdot 220 = 2408 \text{ aýl/min}.\end{aligned}$$

Tebigy häsiýetnamanyň koordinatlary

$$n_0 = 2408 \text{ aýl/min}; I = 0 \text{ we } n_{nom} = 2250 \text{ aýl/min}; I_{nom} = 52,2 \text{ A}.$$

**2.2-nji mesele.** Parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijisiniň kuwwaty  $P_{nom} = 29 \text{ kWt}$ , naprýaženiýesi  $U_{now} = 440 \text{ W}$ , togy  $I_{nom} = 76 \text{ A}$ , tizligi  $n_{nom} = 1000 \text{ aýl/min}$ , ýako-

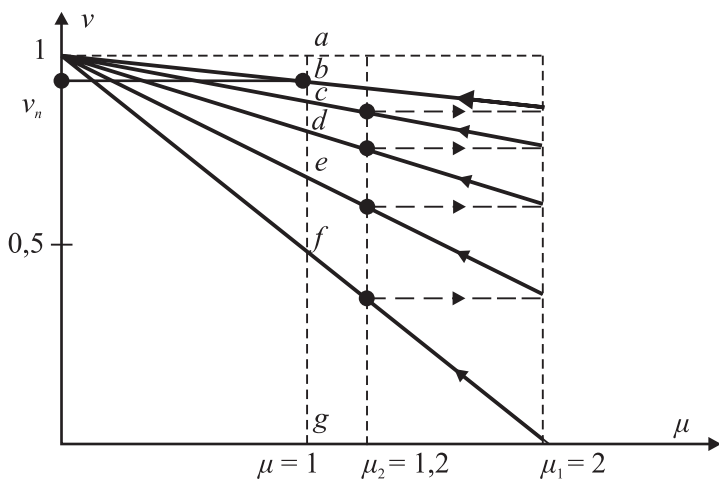
rynyň garşylygy  $R_{yak} = 0,065 \cdot R_{nom}$ . Dört basgançakly hereketlendiriji üçin işe goýberiji reostatyny saýlamaly.

**Çözülişi.** Tebigy mehaniki häsiýetnamany otnositel birlikde guralyň. Ony gurmak üçin bary-ýogy iki nokat ýeterlikdir.

Birinji nokat  $v_0 = 1; \mu = 0$ .

Ikinji nokat  $v_{nom} = 1 - \Delta v_{nom} = 1 - 0,065 = 0,935; \mu = 1$ .

Maksimal momenti  $\mu_1 = 2$  deň diýip kabul edýäris.



**2.10-njy çizgy.**  
**İşledilýän reostaty hasaplamak üçin**  
**mehaniki häsiýetnama**

$ag$  – uçastka üçin garşylyk:

$$R_{nom} = \frac{U_{nom}}{I_{nom}} = \frac{440}{76} = 5,79 \text{ Om}.$$

Basgançaklardaky garşylyklaryň tapylyşy

$$R_1 = \frac{ef}{ag} \cdot R_{nom} = 0,2 \cdot 5,79 = 1,16 \text{ Om};$$

$$R_2 = \frac{de}{ag} \cdot R_{nom} = 0,12 \cdot 5,79 = 0,69 \text{ Om};$$

$$R_3 = \frac{cd}{ag} \cdot R_{nom} = 0,07 \cdot 5,79 = 0,41 \text{ Om};$$

$$R_4 = \frac{bc}{ag} \cdot R_{nom} = 0,05 \cdot 5,79 = 0,29 \text{ Om}.$$

Goyberiliş reostatynyň doly garşylygy

$$R_{reost} = \frac{bf}{ag} \cdot R_{nom} = 0,44 \cdot 5,79 = 2,55 \text{ Om}.$$

## 2.5. Parallel oýandyryjyly hereketlendirijileriň tormozly iş düzgünleriniň mehaniki häsiýetnamalary

Parallel oýandyryjyly hereketlendirijiler hereketlendiriji iş düzgüninde işledilende, oňa mahsus mehaniki häsiýetnamalary 2.7-nji çyzgyda koordinat oklarynyň birinji çäryeginde ýerleşýändigini özleşdirilipdi. Ýöne, hereketlendirijileriň iş düzgünleri diňe bir hereketlendiriji iş düzgünü bilen çäklenilmeýär.

Häzirki zaman elektropriwodlaryň hereketlendirijilerine bildirilýän talaplar dürli-dürli bolup, birnäçe iş düzgünleri bilen häsiýetlendirilýärler. Meselem, mehanizmi çalt hem-de ýokary takyklykda duruzmak ýa-da işçi mehanizminiň hereketiniň ugruny tersine üýtgetmek ýaly talaplary mysal getirse bolar.

Elektropriwodyň tizliginiň togtadylýan (tormoz) wagty ýa-da hereketiniň ugrunyň tersine üýtgedilmeginiň ýokary takyklykda amala aşyrylmagy, degişli mehanizmiň önüm (haryt) öndürilişine, hatda, öndürilýän harytlaryň (önümleriň) hiline-de bagly bolýar. Tormozly iş düzgüninde ýa-da hereketiň ugry üýtgedilende, (rewers wagty) hereketlendiriji tormoz (togtadylyş) iş düzgünine geçip, görkezilen mehaniki häsiýetnamalaryň haýsy-da bolsa birinde tormozlanmagyň saýlanyp alnan usulyňa baglylykda üýtgeýär. Şol saýlanyp alnan parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalaryndan, tormozlandyrmagyň usullarynyň birnäçe görnüşleri 2.11-nji çyzgyda ýerleşdirilen

grafiklerde görkezildi. Bu çyzgyda diňe bir hereketlendiriji düzgüninden (çyzgyda birinji çäryekde görkezilen grafiklerden) başga-da II we IV çäryeklerde bolup biläýjek tormozly iş düzgünlerinden üç sany elektrik usullary bilen hereketlendirijileriň tormozlanyşyna mahsus mehaniki häsiýetnamalary görkezildi, olardan:

1) sete elektrik energiýasyny berip bilýän generatorly tormozlanmagyň uçastkasy (2-nji çäryekde);

2) dinamiki (hereketlendiriji) tormozlanmagyň uçastkasy (1-nji çäryekde);

3) öňki birleşdirilen polýarlygyň tersine birleşdirip, hereketlendiriji tormozlandyrmak (4-nji çäryekde).

Ýokarda agzalan tormozlanmak usullarynyň mehaniki häsiýetnamalarynyň hersine aýratynlykda seredip özleşdireliň.

**1. Işläp duran hereketlendirijiniň generator iş düzgünine geçmegi (sete energiýa berip başlamagy) netijesinde togtamagy.** Şeýle iş düzgüni hereketlendiriji boş işläp duran wagtyna niýetlenilen ideal tizliginden ýokary tizlikde işlemäge mejbur bolanda (meselem, ýük ýokardan aşak kran bilen düşürilende ýüküň agramynyň täsiri esasynda hereketlendirijiniň aýlanýan ugruna tarap tizliginiň ýokarlanmagy), hereketlendiriji generatora öwrülip, sete energiýa berip başlaýar. Bu hadysanyň dörän wagty hereketlendirijiniň sarymynda döreýän E-ehg, hereketlendirijä berilýän U naprýaženiýeden moduly boýunça uly bolýar, netijede, hereketlendirijiniň ýakoryndan akýan  $I_{yak}$  – tok hem öz ugruny üýtgedýär. Bu hadysany deňleme bilen hem aňladyp bolýar:

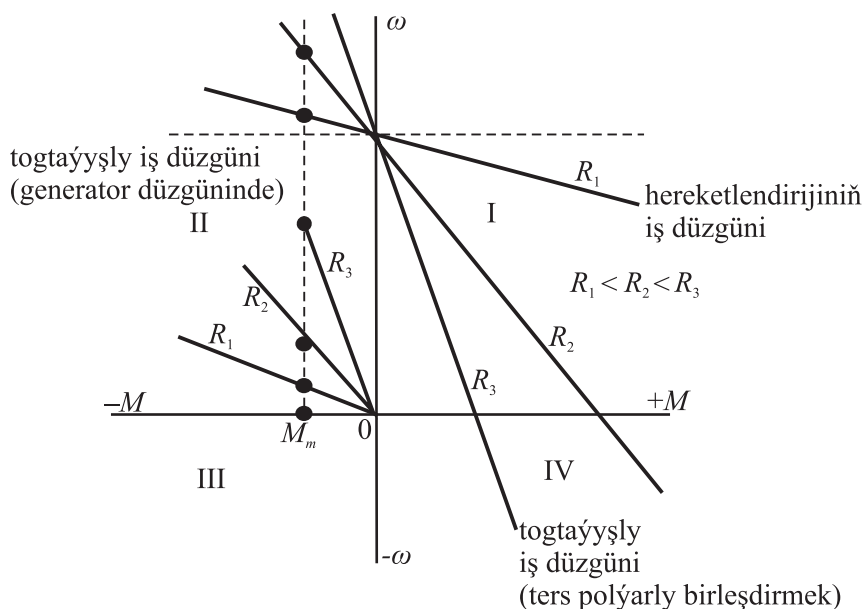
$$I = \frac{U - E}{R} = -\frac{E - U}{R}. \quad (2.25)$$

Toguň ugry, ýagny alamaty üýtgedýänligi sebäpli hereketlendirijiniň momentiniň-de alamaty üýtgeýär hem-de togtadyjy momente öwrülýär  $M = -k\Phi I$ . Eger-de tormoz momentini  $M_T = -M$  bilen belgilesek, onda  $\omega > \omega_0$  wagty (2.6) deňleme şu aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} + \frac{M_T \cdot R}{k^2 \cdot \Phi^2}. \quad (2.26)$$

Deňlemäniň sag tarapyndaky birinji bölegi parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy ideal  $\omega_0$  tizligiň nokadyndan  $M = 0$  bolanda geçip gidýändigini aňladýar. Mehaniki häsiýetnamanyň gyşarmagy (eňňitligi diýse-de boljak) deňlemäniň ikinji  $\frac{R}{k^2\Phi^2}$  bölegi berlen  $R$  garşylygyň üýtgemän saklanmagy bi-

len amala aşyrylýar. Şonuň üçin-de generator iş düzgünindäki mehaniki häsiýetnamanyň gyşyklygy hereketlendiriji iş düzgünindäki mehaniki häsiýetnamanyň dowamy bolup, göni çyzygyň kanuny boýunça ikinji çäryekde dowam edýär hem-de generator iş düzgüninde işleýänligi sebäpli, elektrik energiýasyny öndürüp, sete berip başlaýar. Şeýle generator iş düzgünine geçip, togtama hadysalarynyň tramwaýlarda, trolleybuslarda, elektrik poezdlerde hem-de ýük göteriji kranlarda agyr ýükler aşak düşürilende bolup geçýändigini mysal getirmek bolar. Şular ýaly (generatorly) iş düzgüninde  $\omega > \omega_0$  ýagdaý emele gelýär (2.11-nji çyzga seret).

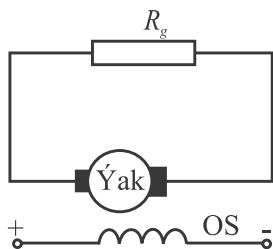


**2.11-nji çyzgy. Dürli iş düzgünlerinde parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary**



Generatorly iş düzgünde tormozy amala aşyrmak energiýa hem-de ykdysady tarapdan has tygşytly bolýar, sebäbi hereketlendiriji sete energiýa berip başlaýar (energiýa ýitgisi diňe ýakorda bolýar), ýöne şeýle generator usul bilen tormozy amala aşyrmak çäklendirilen ýagdaýdadyr, sebäbi hemme elektroprivodlarda  $\omega > \omega_0$  şerti ýerine ýetirmek mümkinçiligi asla döremeýär. Çyzgydan görnüşi ýaly, hereketlendirijiniň ýakorynda garşylyk näçe uly bolsa, şonça-da hereketlendirijiniň tizligi generator iş düzgüninde uly bolýar (2.11-nji çyzga seret).

**2. İşleýän hereketlendirijide dinamiki togtaýyş.** Bu hadysa hereketlendirijiniň ýakory setden (çeşmeden) öçürilip,  $R_r$  garşylyga birikdirilende bolup geçýär. Şonuň üçin-de bu usula käte reostatly (garşylyk bilen) togtaýan usul hem diýilýär (2.12-nji çyzga seret). Şeýle usulda hereketlendirijiniň oýandyryjy sarymy sete (çeşmä) birikdirilgi halyna saklanylýar.



**2.12-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy ýakora parallel birikdirilen hereketlendirijiniň dinamiki togtaýşynyň shemasy**

Dinamiki tormozlanyşa maşynyň generator hala geçip tormozlanmagy-da degişlidir, emma 2.12-nji çyzgyda seredilýän dinamiki usul, ýokarda seredilen generator bolup, sete energiýa berip tormozlanýan usuldan düýpgöter tapawutlanýar, ýöne bu dinamiki togtaýyş usulynda-da, edil generator usulyndaky ýaly, hereketlendirijidäki hem-de ähli hereket edýän hereketlendirijidäki bar bolan (ýygňalan) kinetik energiýalar elektrik energiýasyna öwrülýärler, emma bu ýygňalan kinetik energiýa elektrik energiýasyna öwürülse-de, sete (çeşmä tarap) berilmän, ýakoryň özünde we oňa degişli garşylyklarda ýylylyk energiýasyna öwrülýärler.

Ynha, şeýle dinamiki tormozlanyş usuly wagtynda, daşyndan ýakora naprýaženiýe berilmeýänligi sebäpli, tormozlanýan wagty ýakorda döreýän EHG ýakoryň  $R$  garşylygynda  $I$  togy döredýär. Şol  $I$  – toguň tapylyşynyň deňlemesi Omuň kanunyna boýun egýär.

$$I = -\frac{E}{R}. \quad (2.27)$$

Bu ýerde  $R$  – ýakoryň zynjyryna degişli garşylyklardyr.

Eger-de ýakoryň reaksiýasyny hasaba almasak, onda dinamiki tormoz wagty, tormazlanmagyň  $M_T$  momenti şu aşakdaky deňleme arkaly aňlatsa bolar:

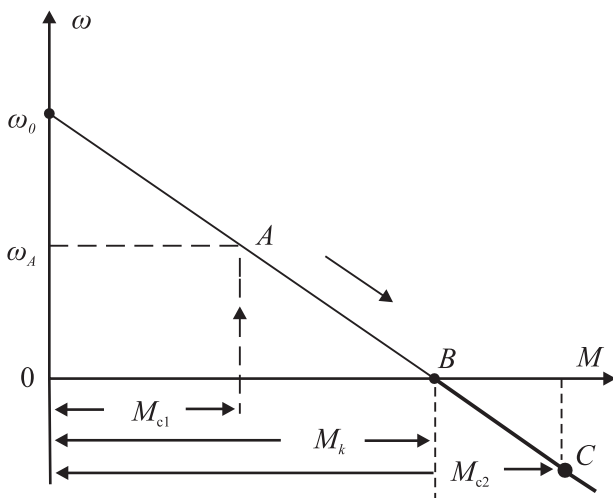
$$M_T = k \cdot \Phi \cdot I = -k^2 \cdot \frac{\Phi^2}{R} \cdot \omega. \quad (2.28)$$

Eger-de magnit akymy  $\Phi = \text{const}$  hemişelik saklansa, onda

$$\omega = -M_T \frac{R}{C^2}. \quad (2.29)$$

Hereketlendiriji dinamiki usul bilen tormozlandyrylanda onuň, mehaniki häsiýetnamasy koordinatyň merkezinden başlanýan göni çyzyklary emele getirýär. Şeýle dinamiki usul bilen tormozlanmagyň häsiýetnamalarynyň toplumy, dürli garşylyklar üçin 2.11-nji çyzgynyň ikinji çärýeginde görkezildi. Bu çyzgydan görnüşi ýaly, ýakoryň zynjyryna degişli  $R$  garşylyklaryň ( $R_1, R_2, R_3, \dots$ ) ulaldygyça, häsiýetnamalaryň gatylygy ( $M$  okuna görä) gowşaýar (peselýär).

**3. Birikdirilmegiň tersine togtanma.** Şeýle tormozlanyş hereketlendirijiniň ýakory we oýandyryjy sarymy çeşmä birikdirilende, aýlanmaly ugrunyň tersine täsir edýän inersiýa güýji ýa-da momenti sebäp bolup, ýakor mejbury ýagdaýda tersine aýlanýar. Şeýle hadysany ýük göteriji priwodlarda görmek bolýar. Meselem, bolmaly ýükden agyr massany ýokary galdyryljak bolnanda, ýüküň agyrllygy sebäpli, ýakor tersine aýlanyp başlanýar, şonuň üçin-de ýük aşaklygyna gaýdýanlygy sebäpli, ýakor aýlanmaly ugrunyň tersine aýlanyp başlaýar. Şeýle ýagdaý çalt-çaltdan hereketlendirijiniň aýlanýan ugruny üýtgedip durmak zerurlygy dörende-de bolup biler.



**2.13-nji çyzgy. Ýük ýakordan aşak gaýdanda birikdirilmegiň tersine togtaýşyň mehaniki häsiýetnamasy**

Birikdirilmegiň tersine tormozlanyşyň mehaniki häsiýetnamasynyň şekillendirilişiniň grafigi 2.13-nji çyzgyda görkezildi. 2.13-nji hem-de 2.11-nji çyzgylardaky grafiklerden görnüşi ýaly, birikdirilmegiň tersine tormozlanyşyň grafigi dördünji çärýekde ýerleşip, birinji çärýekdäki dinamiki tormozlanyşyň grafiginiň dowamy bolup gidýär.

Eger-de gysga utgaşma ( $GU$ ) wagty momentiň iň uly bahasynda alamaty boýunça moment plýus (+) bahasynda saklansa, şonda birikdirilmegiň tersine tormozlanmagyň düzgüniniň sebäbini hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasynyň deňlemesinden düşündirip bolýandygyny görse bolýar.

Ýüki ýokary götermek üçin, hereketlendirijiniň sarymlaryny çeşmä (sete) birikdirenlerinde,  $M_c < M_k$  şert kanagatlandyrylandan soň (2.13-nji çyzga seret), işe goýbermek bolýar. Şeýle şert ýerine ýetirilende hereketlendirijiniň ýakory aýlanyp başlanýar we bellenen  $A$  nokada gabat gelýän  $\omega_A$  tizlige çenli dowam edýär.

Birikdirilmegiň tersine tormozlanyş döwründe, ýakordaky tok adaty hereketlendiriji (dinamiki) iş düzgünini aňladýan deňlemeden peýdalanyp kesgitlenilýär.

$$I = \frac{U - E}{R}.$$

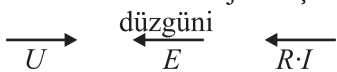
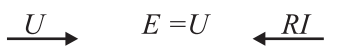
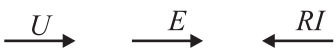
Ýüküň köpelmegi bilen hereketlendirijiniň tizligi haýallap,  $AB$  kesim boýunça peselip başlaýar. Haçan-da ýüküň momenti  $M_k$  momente ýetende (deňleşende), hereketlendirijiniň tizligi nula deň bolýar. Şeýle ýagdaýda (ýagny  $B$  – nokatda) tizligiň nola deň bolýanlygy sebäpli, hereketlendirijiniň sarymynda döreýän EHG-de nola deň bolar, şonuň üçin-de ýakordaky toguň kesgitlenişi ýönekeýleşer.

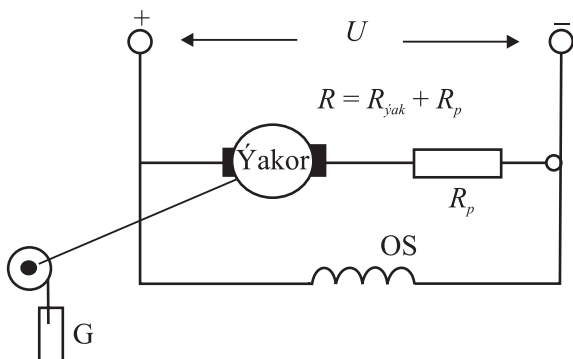
$$I = I_k = \frac{U}{R}.$$

Haçan-da garşylygyň momenti  $M_c < M_k$  deňsizlige geçip köpelmegini dowam etse, onda hereketlendirijiniň ýakorynyň aýlanyşy öňki aýlanýan ugrunyň tersine tarap aýlanyp başlanýar we ýük aşaklygyna tarap düşüp başlaýar. Moment ösüp  $M = M_{c2}$  ýagdaýa ýetende, häsiýetnamada görkezilen  $C$  nokada gabat gelýän durnukly tizlik bahasyna eýe bolýar. Ýakoryň tersine aýlanýanlygy sebäpli, emma magnit akymynyň ugry öňki ugruna üýtgemän galýanlygy üçin, hereketlendirijiniň EHG-si öz alamatyny üýtgeder, şonuň üçin-de toguň san bahasy şu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$I = \frac{U + E}{R}.$$

Bu toguň san bahasy (moduly) hereketlendiriji düzgünindäki tokdan uly bolar, şonuň üçin-de birikdirilmegiň tersine tormozlanýş ýüze çykanda hereketlendirijiniň momenti-de deňişlilikde ulalýar.

<p>A. Hereketlendirijiniň iş düzgüni</p> 	$I = \frac{U - E}{R}$
<p>B. Hereketsiz hereketlendiriji</p> 	$I = \frac{U}{R}$
<p>C. Tersine togtaýyş</p> 	$I = \frac{U + E}{R}$

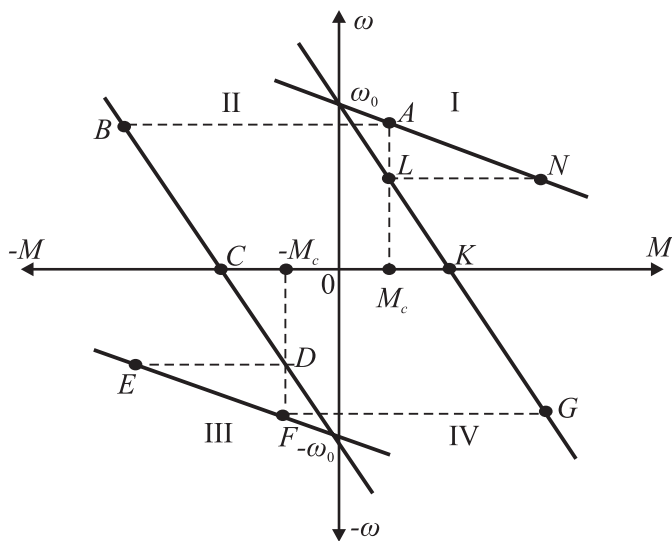


**2.14-nji çyzgy. Hereketlendirijiniň sarymy çeşmä  
birikdirilende, ýüküň ýokaryk ýa-da aşak  
hereketlerinde bolýan dürli iş düzgünleriniň düşündirilişi**

2.14-nji çyzgyda ýerleşdirilen tablisada çeşmeden berilýän  $U$  naprýaženiýäniň, EHG-niň  $R$  garşylyga düşýän  $RI$  naprýaženiýäniň ugurlary hem-de ýakordaky toguň hereketlendiriji iş düzgünindäki, tormoz iş düzgünindäki hem-de gysga utgaşma wagtyndaky kesgitlenişi degişli deňlemeleri bilen şol tablisada görkezildi. Çatylyşyna ters tormozlanyş wagty ýakordaky togy çäklendirmek üçin goşmaça  $R_p$  garşylyk bilen üpjün etmeli bolýar.

Ýokarda seredilen tormozlanyş usullaryň içinde sete birikdirilmeginiň tersine tormozlanyş iş düzgünindäki tizligiň durnukly saklanmagy ýük ýokardan aşaklygyna düşürilende giňden ulanylýar.

Tersine tormozlanyşyň has köp ulanylýan ýeri, haçan-da iýmitlendiriji çeşmäniň naprýaženiýesiniň hereketlendirijä berilýän ýerinde ( $\pm$ ) – polýarlygy tiz-tizden üýtgedip durmaly bolanda (meselem, rewersli iş düzgünlerinde), has giňden ulanylýar. Şeýle iş düzgüninde-de (naprýaženiýäniň polýarlary üýtgedilip duranda) EHG-niň ugry naprýaženiýäniň ugry bilen gabat gelýär, emma hereketlendirijiniň momenti ýakoryň aýlanýan ugrunyň tersine bolar. Ýokarda belläp geçilişi ýaly, tersine tormozlanyşda ýakordaky toguň hem-de momentiň bahalaryny çäklendirmek üçin goşmaça garşylyk ýakora yzygider birikdirilýär. Goşmaça garşylyk ulanylanda, mehaniki häsiýetnamanyň absisa okuna görä gyşarmasy (eňňitligi) ulalýar. Şol aşaklygyna eňňitligi düşündirmek üçin, tersine tormozlanyşyň mehaniki häsiýetnamasy 2.15-nji çyzgyda görkezildi.



**2.15-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendiriji çeşmä birikdirenlende tersine öz-özünden togtaşşynyň mehaniki häsiýetnamasy**

Hereketlendiriji 1-nji çäryegin  $A$  nokadynda işläp durka, ýakora berilýän naprýaženiýäniň polýarlygy üýtgedilende,  $BC$  häsiýetnamada 2-nji çäryekde şol bir tizlige degişli  $B$  nokadynda işläp başlaýar. Şeýle deň tizlikde hereketlendirijiniň işlemeginiň sebäbi elektropriwodyň inersiýasynyň täsiri bilen düşündirilýär. Soňra tormozlanmagyň täsiri netijesinde hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi peselip  $BC$  – häsiýetnamadan tä nula deň bolýança dowam edýär. Tersine, tormozlanmagyň başlanýan pursady hereketlendirijiniň tizliginiň üýtgemän saklanmagy elektropriwodyň inersiýasynyň ululygy bilen düşündirip bolar. Soňra tormozlanmagyň momentiniň täsiri astynda hereketlendirijiniň aýlaw tizligi peselip, 2-nji çäryekdäki häsiýetnamanyň  $BC$  – kesiminde tizlik nula deň bolýança ( $C$  nokat) dowam edýär.

Tizlik nola deň bolanda (2.15-nji çyzgyda  $C$  nokat), togtama sebäpli hereketlendiriji setden öçürilmelidir. Eger-de öçürilmek amala aşmasa, onda hereketlendiriji tersine ( $-\omega$ !) aýlanyp, häsiýetnamada  $CD$  – kesim boýunça dowam edýär (3-nji çäryek). Ýokarda bellenişi ýaly, tizligiň aýlanýan ugry üýtgeýänligi sebäpli, ýakordaky  $EHG$ -de öz alamatyny üýtgeder. Elbetde, ýene-de hereketlendiriji iş düzgüni döränligi üçin, setiň naprýaženiýesi bilen ýakorda döreyän  $EHG$  bilen ugurlary boýunça

ters bolarlar. Şonuň üçin-de, elektropriwod ýene-de hereketlendiriji iş düzgüninde tebigy häsiýetnamasynda işläp başlaýar (*FE* häsiýetnamada *F* nokat, 3-nji çärýek).

Eger-de, ýene-de ýakoryň polýarlygyny üýtgetsek, onda hereketlendiriji ýene-de tersine birikdirilen iş düzgünine geçer. Tormozlanmak hem-de in soňky tersine aýlanyp başlamak *GKL* häsiýetnama boýunça dowam eder.

Hereketlendirijiniň ýakorynyň aýlanýan ugruny iki görnüşde üýtgedip bolar. Olaryň biri ýa oýandyryjy sarymyň gysgyçlarynyň ornuny çalşyrmaly ýa-da ýakoryň polýaryny (gysgyçlarynyň ornuny) çalşyrmaly. Ýöne oýandyryjy sarymyň polýaryny çalşyrmak usuly önümçilikde az ulanylýar (ulanylmaýar diýen ýaly), sebäbi oýandyryjy sarymyň induktiwligi örän ululygy sebäpli, tormozlanmagyň dowamlylygy ösýär, şonuň üçin-de ýakoryň polýarlaryny (ýakorda induktiwlik azlygy sebäpli) üýtgetmeklik giňden ulanylýar.

Häzirki döwürde elektrik usuly bilen tormozy amala aşyrmak (has hem tiz-tizden aýlawyň ugruny üýtgetmeli bolanda) giňden ulanylýar. Tormozyň dowamlylygyny tiz hem-de takyk amala aşyrmak üçin dinamiki tormozlandyrmak usuly ýa-da tersine birikdirip, tormozlandyrmak usuly has köp ulanylýar.

Önümçilikde rewerssiz priwodlarda dinamiki tormozlanmak usulyndan peýdalanýarlar, sebäbi tormozlandyrmak ýönekeý shema bilen amala aşyrylýar, emma rewersli işleýän elektropriwodlarda tormozyň dowamlylygyny azaltmak maksady bilen tersine birleşdirip, tormozlandyrmak usulyndan has şowly peýdalanylýar.

**2.3-nji mesele.** Berlen ПН–290 görnüşli hereketlendiriji üçin  $P_n = 29$  kWt,  $U = 440$  W,  $I_n = 76$  A,  $n_n = 1000$  aýl/min  $R_{yak} = 0,065 \cdot R_n$ .

1. Hereketlendiriji dinamiki tormozlanyş iş düzgüninde  $n = 500$  [aýl/min] tizlikde, ýakoryň nominal togunda işleýär. Hereketlendirijiniň nominal iş düzgüninde ýakoryna birikdirilmeli goşmaça garşylygyň bahasyny kesgitlemeli.

2. Hereketlendiriji tersine birikdirilip, tormozlanyş iş düzgüninde  $n = 600$  aýl/min, ýakoryň togy  $I_{yak} = 50$  A deň bolanda, ýakora

goşmaça birikdirilmeli garşylygy, hereketlendirijiniň walyndaky momenti; ýakoryň şahasynda ýitirilýän kuwwaty, hereketlendirijiniň walyndan mehanizmlere berilýän  $P_2$  kuwwaty tapmaly.

3. Hereketlendiriji generator iş düzgüninde işläp sete energiýa berýär. Ýakordaky tok  $I = 60$  A, hem-de  $R_{goşm} = 0$  bolanda, ýakoryň aýlanýan tizligini tapmaly.

### Çözülişi

1. *Dinamiki tormozlandyrmagyň usuly (iş düzgüni).*

Hereketlendirijiniň ýakorynyň garşylygy

$$R_{yak} = 0,065 \cdot R_n = 0,065 \cdot 5,79 = 0,377 \text{ Om}.$$

Bu ýerde

$$R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{440}{76} = 5,79 [\text{Om}].$$

Hereketlendirijiniň EHG-siniň koeffisiýenti

$$C_n = \frac{U_n - I_n \cdot R_{yak}}{n_n} = \frac{440 - 76 \cdot 0,377}{1000} = 0,411 \frac{\text{W}}{\text{aýl/min}}.$$

Hereketlendirijiniň momentiniň koeffisiýenti

$$C_m = 9,55 \cdot C_E = 9,55 \cdot 0,411 = 3,92 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A}}.$$

Nominal tokda hereketlendirijiniň elektromagnit momenti

$$M = C_m \cdot I_{nom} = 3,92 \cdot 76 = 298 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Hereketlendirijiniň walyndaky nominal moment

$$M_{nom} = \frac{9,55 \cdot 10^3 \cdot P_n}{n_{nom}} = \frac{9,55 \cdot 10^3 \cdot 29}{1000} = 277,6 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Hereketlendiriji boş işlände ýitirilýän moment

$$M_0 = M - M_n = 298 - 276,6 = 20,4 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Hereketlendirijiniň walyndaky moment



$$M_{wal} = M + M_o = 298 - 20,4 = 318,4 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Ýakoryň zynjyrynda umumy garşylyk

$$R = \frac{C_E \cdot C_M \cdot n}{M} = \frac{0,411 \cdot 3,92 \cdot 500}{298} = 2,71 \text{ Om}.$$

Goşmaça garşylyk

$$R_{goşm} = R - R_{yak} = 2,71 - 0,377 = 2,333 \text{ Om}.$$

2. *Tersine birikdirilip tormozlandyrmagyň usuly.*

Ýakor zynjyrynyň umumy garşylygy

$$R = \frac{U_n + C_E \cdot n}{I} = \frac{440 + 0,411 \cdot 600}{50} = 13,732 \text{ Om}.$$

Goşmaça garşylyk

$$R_{goşm} = R - R_{yak} = 13,732 - 0,377 = 13,355 \text{ Om}.$$

Hereketlendirijiniň elektromagnit momenti

$$M = C_M \cdot I = 3,92 \cdot 50 = 196 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Hereketlendirijiniň walyndaky moment

$$M_{wal} = M + M_o = 196 + 20,4 = 216,4 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Setden kabul edilýän kuwwat

$$P_1 = \frac{U_n \cdot I}{1000} = \frac{440 \cdot 50}{1000} = 22 \text{ kWt}.$$

Ýakoryň zynjyryndaky garşylyklarda siňdirilýän (ýitirilýän) kuwwat

$$P_1 + P_2 = \frac{R \cdot I^2}{1000} = \frac{13,732 \cdot 50^2}{1000} = 34,3 \text{ kWt}.$$

Hereketlendirijiniň walyndaky kuwwat

$$P_2 = 34,3 - 22 = 12,3 \text{ kWt}.$$

### 3. Generator iş düzgüni.

Hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi:

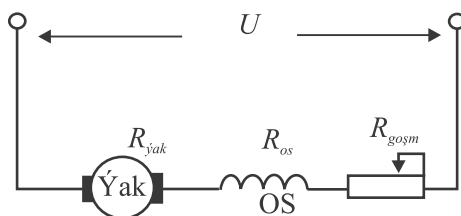
$$n = \frac{U_n}{C_E} + I \cdot \frac{R_n}{C_E} = \frac{440}{0,411} + 60 \cdot \frac{0,377}{0,411} = 1125 \text{ aýl/min.}$$

## 2.6. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary

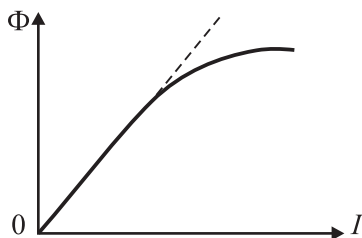
Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýöriteleşdirilen elektrik shemasy 2.16-njy çyzgyda görkezildi. Şeýle hereketlendirijileriň tizliginiň häsiýetini aňladýan esasy deňlemesinde edil parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň tizliginiň deňlemesine (2.4-nji deňleme) meňzeşdir.

$$\omega = \frac{U - RI}{k \cdot \Phi}.$$

Bu deňlemedäki  $R$  garşylyga ýakoryň zynjyryny emele getirýän tutuş şahanyň garşylyklarynyň jemi hökmünde düşünmeli. Muňa ýakoryň garşylygyndan başga-da, hereketlendiriji-de goşmaça polýuslar bar bolsa, olaryň garşylyklary hem-de ýakoryň tizligini sazlap dolandyrmak üçin ulanylýan  $R_{goşm}$  goşmaça reostatlar toplumynyň garşylyklary-da degişlidirler.



2.16-njy çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň elektrik shemasy



2.17-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň magnitlenişiniň egri çyzygy

Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň, sarymy parallel birikdirilen hereketlendirijiden tapawudy ol hem sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilerde ýakordan akýan  $\Phi$  magnit akymy ýakordan akýan toga baglydyr. Bu baglanyşyk 2.17-nji çyzygyda görkezildi we oňa magnitlenişniň egri çyzygy diýilýär. Umuman, magnitlenişniň egri çyzygy hakda takyk (gutarnykly manysynda) analitiki deňleme ýoklugy sebäpli, oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijileriniň mehaniki häsiýetnamalary üçin belli bir (takyk) deňlemesi ýokdur.

Eger-de magnitlenişniň egri ýeri ýok diýip kabul etsek (2.17-nji çyzygyda «- -» görnüşli çyzyklar bilen dowam edilen), onda koordinatyň merkezinden geçýän göni çyzygyň ( $y = \kappa x$ ) kanunyna esaslanyl, ýakordaky tok bilen magnit akymynyň baglanyşygyny şu aşakdaky ýaly aňladyp bileris:  $\Phi = \alpha I$ , şeýle ýagdaýda hereketlendirijiniň momentini şu aşakdaky ýaly aňladyp bileris.

$$M = \kappa \Phi I = \alpha \cdot k \cdot P. \quad (2.30)$$

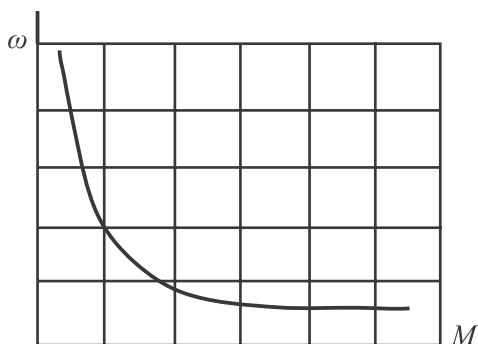
Eger-de  $I$  toguň bahasyny tapyp, hem-de (2.30) deňlemeden peýdalanyl  $\omega$  tizligi kesgitlemeli bolsa, onda birnäçe algebraik öžgertmelerden soň, şeýle netijäni alarys:

$$\omega = \frac{U}{\alpha \cdot k \sqrt{\frac{M}{\alpha \cdot k}}} - \frac{R}{\alpha \cdot k} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B. \quad (2.31)$$

Bu deňlemeden görnüşi ýaly, hereketlendirijiniň magnit zynjyryna mahsus mehaniki häsiýetnamasynyň egrelýän ýerinde (magnitlenişniň doýgun wagty diýmek) (2.18-nji çyzyga seret) ordinata ( $y$ ) oky magnitlenişniň egri çyzygyna asimptota bolup hyzmat edýär.

Mehaniki häsiýetnamanyň esasy bir aýratynlygy, ol hem momentiň kiçi bahalarynda tizligiň örän çalt ösýänligi (krutiznalygy) bilen hem-de  $y$  okuna görä  $\omega$  tizligiň tükeniksizlige tarap ymtylmagydyr. Hereketlendirijiniň ýüküniň az (ýeňil ýük) wagty,  $\omega$  tiz-

liginiň şeýle çalt ösmegi, magnit akymynyň degişlilikde peselmegine sebäp bolýar.



**2.18-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider  
birikdirilen hereketlendirijiniň  
ideal mehaniki häsiýetnamasy**

Ýokardaky (2.31) deňleme oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň mehaniki häsiýetnamasyny seljermek üçin umumy görnüşde aňladylyşydyr. Degişli hasaplamalarda bu deňlemeden peýdalanmak maslahat berilmeýär, sebäbi hereketlendirijiniň magnitli böleginiň mehaniki häsiýetnamasy egrelmeýän göni häzirki zaman maşynlary zawodlarda taýýarlanylmaýar. Şonuň üçin-de hakyky mehaniki häsiýetnamalar (2.31) deňleme arkaly gurlan häsiýetnamalardan tapawutlanýanlygy üçin, häsiýetnamalary grafo-analitiki usullardan peýdalanyň gurmaklyk gowy netijeleri berýär. Köplenç hallarda emeli (kömekçi) häsiýetnamalary gurmak üçin kataloglarda  $n = f(I)$  we  $M = \psi(I)$  baglanyşyklar getirilýär.

Kesgitli iş düzgünlerine niýetlenilip, zawodlar tarapyndan çykarylýan käbir hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamalary oňnositel  $V = f(i)$  we  $\mu = \psi(i)$  birliklerde berilýär. Şeýle häsiýetnamalar 2.19-njy çyzgyda МП seriýaly hereketlendirijiler üçin görkezildi.

Kömekçi (ýagny reostatly) häsiýetnamalary şu aşakdaky tertipde gurmak maslahat berilýär.

Hakyky (tebigy) häsiýetnamany gurmak üçin deňleme

$$\omega_e = \frac{U - R_{dw} \cdot I}{k \cdot \Phi} \text{ bu ýerde } R_{dw} = R_{os} + R_{yak}$$

ýa-da

$$\omega_e = \frac{U}{k \cdot \Phi} \left( 1 - \frac{R_{dw} \cdot I}{U} \right). \quad (2.32)$$

Eger-de ýakoryň zynjyryna (şahasyna) goşmaça garşylyk birikdirseler, onda (2.32) deňleme şu aşakdaky görnüşe eýe bolar.

$$\omega_e = \frac{U}{k\Phi} \left[ 1 - \frac{(R_{dw} + R_{goşm}) I}{U} \right]. \quad (2.33)$$

Bu iki deňlemäniň özara gatnaşyklary

$$\frac{\omega}{\omega_e} = \frac{U - I(R_{dw} + R_{goşm})}{U - R_{dw} \cdot I}.$$

Bu ýerden

$$\omega = \omega_e \frac{U - (R_{dw} + R_{goşm}) \cdot I}{U - R_{dw} \cdot I} \quad (2.34)$$

ýa-da otnositel birliklerde

$$v = v_e \frac{1 - r \cdot i}{1 - r_{dw} \cdot i}. \quad (2.35)$$

Bu ýerde

$$r = \frac{R_{dw} + R_{goşm}}{R_{nom}} - \text{ýakor zynjyryndaky garşylyklaryň jeminiň}$$

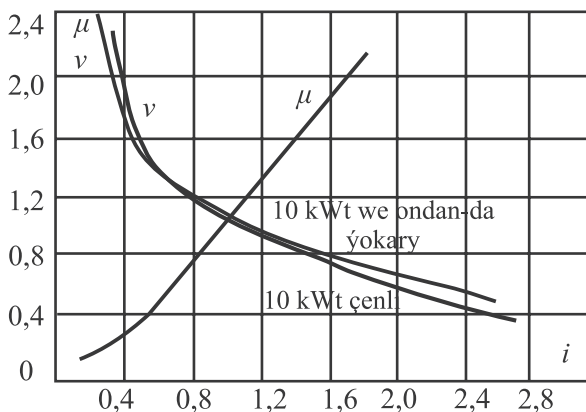
otnositel birlikde aňladylyşy.

Öz gezeginde

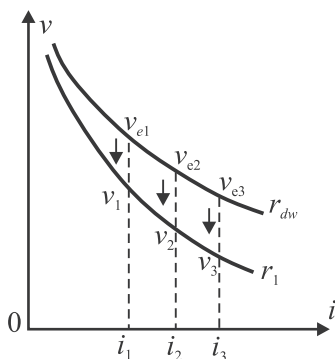
$$r_{dw} = \frac{R_{dw}}{R_{nom}}; v = \frac{n}{n_{nom}}; v = \frac{n_e}{n_{nom}} \text{ we } i = \frac{I}{I_{nom}}.$$

Reostatly häsiýetnamany gurmak üçin toga islendik  $i = i_1$  baha berip, häsiýetnamadan degişli  $V_{e1}$ -ni anyklaýarys. Soňra (2.35) deňlemiden garşylygyň takyk  $r = r_1$  bahasynda we şol  $i_1$  tokda  $V_1$ -iň gözlenýän bahasyny tapýarys we şol hasaplamalaryň netijelerine esaslanyp, reostatly häsiýetnamasyny gurýarys. Edil şeýle yzygiderlikde (tertiple) beýleki reostatly häsiýetnamalary degişli  $i$  – toklaryň bahalarynda  $V_2; V_3, \dots$  tizlikleriň gözlenýän bahalaryny kesgitleýäris. Hasaplamalaryň esasynda 2.20-nji çyzgyda sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň tebigy hem-de reostatly (emeli) mehaniki häsiýetnamalaryny ýakordaky seljerilen grafo-analitiki usul boýunça gurýarys.

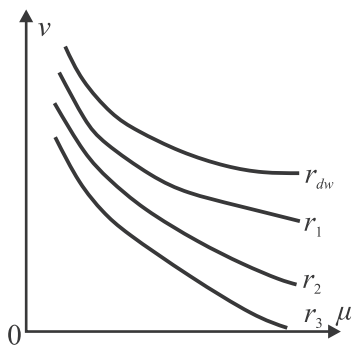
Berlen  $\mu = f(i)$  baglanyşykdan hem-de tizligiň  $V = f(i)$  häsiýetnamalaryndan peýdalanylýp (2.19-njy çyzga seret),  $V = f(\mu)$  baglanyşygy, ýagny hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalaryny aňsatlyk bilen gurup bileris



**2.19-njy çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň momentiniň we tizliginiň ýakoryň togundan baglanyşygy**



**2.20-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň tizligi üçin tebigy hem-de reostatly (emeli) häsiýetnamalar (otnositel birlikde)**



**2.21-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň tebigy hem-de emeli mehaniki häsiýetnamalary (otnositel birlikde)**

2.21-nji çyzgyda oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalarynyň tebigy hem-de emeli (reostatly) baglanyşyklary otnositel birlikde görkezildi. Garşylygyň ululygy ösdügiçe, hereketlendirijiniň tizligi peselýär we şol bir wagtyň özünde häsiýetnama tutuşlygyna aşak süýşýär. Ýene-de bir üns berilmeli zat, ol hem goşmaça garşylyklaryň ösdürilidigiçe mehaniki häsiýetnamalar ýumşaýar, ýagny ýapgytlygy ulalýar. Sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilere belli bir mahsus häsiýet, ol hem oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilerde hiç haçan boş iş düzgüni (холостой ход) alyp bolanok.

Nominal ýüküň 15-20%-ne deň elektrik ýükünde işlemäge ýol berilmeli däl, sebäbi hereketlendirijiniň aýlanan tizligi tükeniksiz tarap batlanyp, tehniki howplaryň döremegine alyp barýar.

Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijileri işletmek üçin goşmaça garşylyklary hasaplamagyň tälimi ýokarda özleşdirilen grafo-analitiki usul bilen, reostat (emeli) häsiýetnamany gurmagy talap etmezden gurup bolýar.

Munuň şeýledigini hereketlendirijiniň tebigy  $\omega = f(I)$  häsiýetnamasyny guragadan, baglanyşykda bir basgançakdan beýleki basgançaga böküp geçilýän toklary kabul edýäris (çyzgyda  $I_1$  we  $I_2$  tok-

Çyzgyda görkezilen  $I_1$  we  $I_2$  toklaryň tebigy häsiýetnama bilen kesişen ýerlerinden absissa okuna parallel punktirli çyzyk geçirýäris, soňra  $A$  nokatdan perpendikulýar galdyryp,  $f$  hem-de  $e$  nokatlary bel-  
leýäris. Basgançakly garşylyklaryň bahasyny, Omuň kanunyna laýyk-  
lykda,  $R_1 = \frac{U}{I_1}$  hem-de  $R_2 = \frac{U}{I_2}$  garşylyklary hasaplap, garşylygyň  
masştabyna laýyklykda, absissa okunyň çep tarapynda ýerleşdir-  
ýäris (çyzgyda ***Oa*** hem-de ***Og*** kesimler). Soňra ***a*** bilen ***e*** nokatlary,  
***g*** bilen ***f*** nokatlary özara birleşdirýäris we iki sany ***ae*** hem-de ***gf***  
göni çyzyklary alarys. Bu iki göni çyzygyň içi bilen basgançak  
bilen ýokary galyp, ***ω*** tizlik bilen ***R*** garşylygyň baglanyşyklaryny  
gurýarys. Ýakoryň togunyň üýtgemän saklanýandygyna esaslanyp,  
***ω*** tizligiň deňlemesini şu aşakdaky ýaly aňladyp bileris:

64



Basgançaklaryň sanyny hem-de olaryň garşylyklarynyň san bahalarynyň kesgitlenişini şu aşakdaky yzygiderlige görä hasaplamalary amala aşyrmak maslahat berilýär:

1.  $a$  nokatdan  $gf$  kesimi kesýänçe perpendikulýar galdyryp,  $b$  nokat alynýar.

2. Soňra  $b$  nokatdan absissa okuna parallel  $c$  nokada çenli çyzyk geçirip,  $ae$  – liniýa bilen kesişýänçe dowam edýäris.

3. Edil şular ýaly tertipde  $cd$  hem-de  $ef$  kesimleri alýarys. Eger-de gurlan grafik hiç hili galyndysyz tamamlansa, onda  $I_1$  we  $I_2$  toklar örän şowly saýlanylypdyr diýilýär. Eger-de grafiğiň soňunda galyny (artykmaçlyk ýa-da kemlik dörese) bolsa, onda ähli hasaplamak (grafiki) işlerini täzeden gaýtalamaly bolýarys. Gaýtalanyp işlemeli bolanda diňe  $I_1$  togy sähelçe saga ýa-da çepe süýşürüp görmeklik maslahat berilýär. Şeýle edilende  $gf$  ýa-da  $ae$  kesimleriň ýapgytlyklary-da az-da kän-de üýtgär.

2.22-nji çyzgydaky gurlan grafiki iş iki basgançakly garşylyklar toplumyna niýetlenilip guruldy. Çyzgydan görnüşi ýaly  $bc$  kesim garşylygyň birinji basgançagyňy aňlatsa, onda  $de$  kesim garşylygyň ikinji basgançagyňy aňladýar. Hereketlendiriji işe goýberilen pursady ( $\omega = 0$ ) ýakordaky tok  $I_1$  bahasyňa deň bolýar. Şol pursat ýakordaky garşylyk  $R_1 = \frac{U}{I_1}$  gatnaşyk bilen anyklanylýar. Hereketlendirijiniň

ýakory aýlanyp  $\omega_1$  tizlige ýetende, ýakordaky tok peselýär, emma ýakoryň garşylygy öz ululygyny üýtgetmän saklaýar. Ýöne,  $b$  nokatda garşylyk öňki  $R_1$  bahasyňa deň bolsa-da, tok  $I_2$  – bahasynda saklanýar. Soňra  $\omega = \omega_1$  tizlikde  $R_1$  garşylyk parallel çatylýar (şuntirlenýär) we

oňa derek  $R_2 = \frac{U}{I_2}$  garşylyk (çyzgyda  $cC_1$  kesim) orta çykýar, sonuň üçin-de hereketlendirijiniň (ýakoryň) togy ýene-de  $I_1$  – toguň bahasyňa ýetýär we ş.m. Şeýle basgançakly geçiliş hereketlendiriji özüniň tebigy häsiýetnamasyňa ýetýänçe dowam edýär.

**2.4-nji mesele.** MII-42 görnüşli, oýandyryjy sarymy ýakora yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisi üçin tebigy häsiýetnamasyny gurmaly.

Hereketlendirijiniň pasportyndaky bahalary:  $P_n = 16$  kWt,  $I_n = 86$  A,  $U_n = 220$  W,  $n_n = 600$  aýl/min.

Tebigy häsiýetnamasyny gurandan soň, hereketlendirijiniň tizligine 400 aýl/min hem-de 200 aýl/min çenli iki gezek peseltmek üçin, toguň  $I = I_{nom}$  bahasynda goşmaça birleşdiriljek reostat garşylyklarynyň san bahalaryny tapmaly. Şol garşylyklaryň bahalary tapylansoň, degişli mehaniki häsiýetnamalaryny gurmaly.

**Çözülişi:** Tebigy häsiýetnamany 2.19-njy çyzgyda görkezilen baglanyşyklardan peýdalanyň hasaplaýarys. Özi-de  $i = 1,0$ ;  $I_{nom} = 86$  A, hem-de  $V_{nom} = 1,0$ ;  $n_{nom} = 600$  aýl/min bahalarynda

$$I = i \cdot I_{nom}; n = V \cdot n_{nom}.$$

Hasaplamalaryň netijeleri 2.1-nji tablisada ýerleşdirildi.

2.1-nji tablica

$i$	A	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$I$		34,4	51,6	68,8	86	103,3	120,5	137,8	155	172
$V$		1,6	1,23	1,09	1,0	0,94	0,89	0,85	0,81	0,78
$n$	aýl/min	960	783	654	600	561	534	510	486	465

Bu tablisadaky hasaplanan bahalardan peýdalanyň gurlan tebigy häsiýetnamalar 2.23-nji çyzgyda görkezildi.

Hereketlendirijiniň nominal garşylygynyň tapylyşy

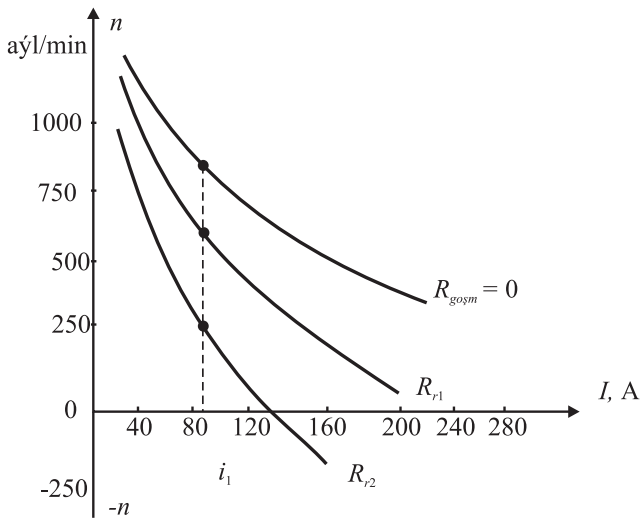
$$R_{nom} = \frac{U_{nom}}{I_{nom}} = \frac{220}{86} = 2,56 \text{ Om}.$$

Nominal elektrik ýükünde işleýän wagty hereketlendirijiniň peýdaly täsir koeffisiýentiniň bahasy

$$\eta_{nom} = \frac{1000 \cdot P_{nom}}{U_{nom} \cdot I_{nom}} = \frac{1000 \cdot 16}{220 \cdot 86} = 0,845 \text{ Om}.$$

Ýakoryň sarymynyň garşylygy

$$R_{yakor} \approx 0,5(1 - \eta_{nom}) \cdot R_{nom} = 0,5(1 - 0,845) \cdot 2,56 = 0,198 \text{ Om}.$$



**2.23-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň tebigy hem-de emeli (reostatly) häsiýetnamalary**

Yzygider birikdirilen oýandyryjy sarymyň garşylygynyň takmynan bahasy

$$R_{os} \approx 0,5 \cdot R_{yakor} = 0,5 \cdot 0,198 = 0,099 \text{ Om.}$$

Hereketlendirijiniň içki garşylygy

$$R_{dw} = R_{yak} + R_{os} = 0,198 + 0,099 = 0,297 \text{ Om.}$$

(2.34) deňlemede  $I = I_{nom}$  diýip,  $R_r$  reostatyň garşylygy

$$R_{reost} = \left(1 - \frac{n_{r,nom}}{n_{nom}}\right) (R_{nom} - R_{dw}).$$

Ýakoryň aýlaw tizligini 400 aýl/min çenli peseltmek üçin goşmaça garşylygyň tapylyşy

$$R_{r1} = \left(1 - \frac{400}{600}\right) \cdot (2,56 - 0,297) = 0,745 \text{ Om.}$$

Ýakoryň aýlaw tizligini 200 aýl/min çenli peseltmek üçin goşmaça garşylygyň tapylyşy

$$R_r = \left(1 - \frac{200}{600}\right) \cdot (2,56 - 0,297) = 1,508 \text{ aýl/min.}$$

Reostatlaryň (emeli) häsiýetnamalaryny hasaplamak üçin şu aşakdaky deňleme bilen amala aşyrylýs.

$$n = n_0 \cdot \frac{U - (R_{dw} + R_r) \cdot I}{U - R_{dw} \cdot I}.$$

Bu ýerde  $n_e$  – berlen  $I$  toguň bahasynda tebigy häsiýetnamadan anyklanylýan tizlik.

Hasaplamalaryň netijeleri 2.2-nji tablisada ýerleşdirildi.

2.2-nji tablica

<b><math>I, A</math></b>	34,4	51,6	68,8	86	103,3	120,5	137,8	155	172
<b><math>n_e</math>, aýl/min</b>	960	738	654	600	561	534	510	486	465
<b><math>n_e(R_{r1})</math>, aýl/min</b>	840	597	484	400	330	271	215	160	108
<b><math>n_e(R_{r2})</math>, aýl/min</b>	722	458	315	200	100	8	-81	-166	-248

2.2-nji tablisadan hem-de 2.23-nji çyzgydaky häsiýetnamalardan peýdalanylýp, reostat (emeli) häsiýetnamalary gurýarys. (2.24-nji çyzga seret).

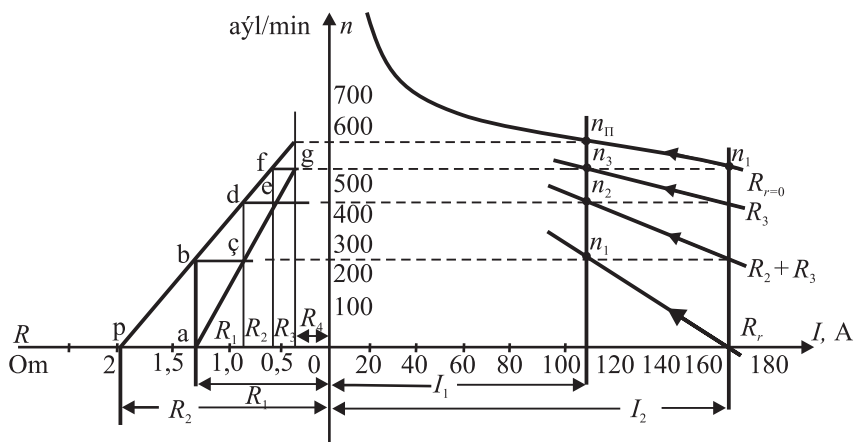
**2.5-nji mesele.** Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen MII-42 görnüşli hemişelik toguň hereketlendirijisi üçin üç basgançakly reostatlaryň hasabyny çykarmaly.

**Çözülişi.** 2.4-nji meselede hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasy berlendir. Işe goýberilende maksimal togy  $I_1 = 2I_{nom} = 172 A$  diýip kabul edýäris. Her basgançakda täze reostata geçilendäki togy  $I_2 = 1,33I_{nom} = 114 A$  diýip kabul edýäris. ( $I_2$  toguň bahasy birnäçe gezek barlanandan soň kabul edilýär). Şeýlelikde,

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{220}{172} = 1,28 \text{ Om.}$$

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = 1,93 \text{ Om.}$$

Täze  $n = f(R)$  baglanyşygy  $I = I_1 = \text{const}$ , we  $I = I_2 = \text{const}$  hemişelik bahalarynda gurýarys (2.24-nji çyzga seret). Hereketlendirijini işe reostatly goýbermegiň garşylyklarynyň her basgançakdaky bahalaryny hem-de olara degişli tizlikleriň ululyklary grafiki usul bilen kesgitlenilýär.



**2.24-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň reostatly (emeli) häsiýetnamasynyň grafiki hasaplanyşy**

Şeýlelikde, 2.24-nji çyzgydaky grafiklerden:

Birinji basgançagyň garşylygy  $b-c$  aralyk,

$$R_1 = 0,45 \text{ Om.}$$

Ikinji basgançagyň garşylygy  $d-e$  aralyk

$$R_2 = 0,32 \text{ Om.}$$

Üçünji basgançagyň garşylygy  $f-g$  aralyk

$$R_3 = 0,21 \text{ Om.}$$

Işe goýbermek üçin niýetlenilen reostatlaryň doly garşylyklarynyň jemi

$$R_r = R_1 + R_2 + R_3 = 0,45 + 0,32 + 0,21 = 0,98 \text{ Om.}$$

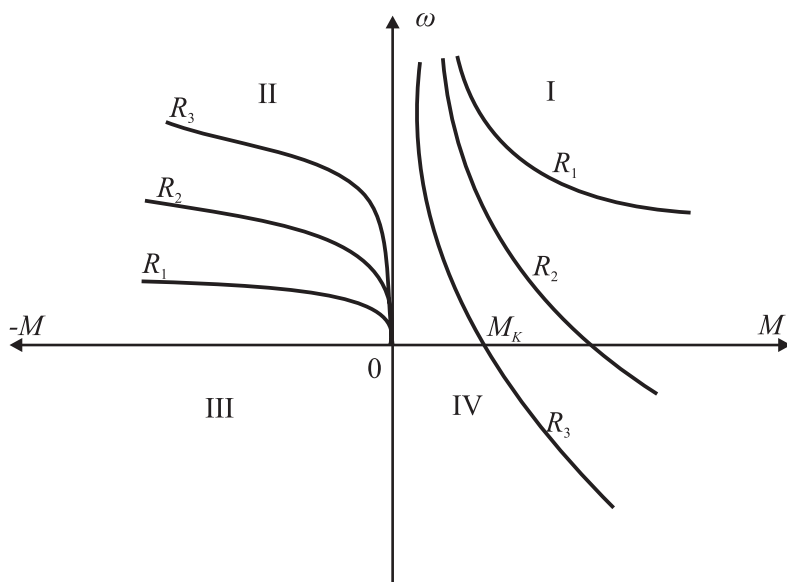
## 2.7. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň togtaýyşly iş düzgüniň mehaniki häsiýetnamalary

Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilerde iki hili tormozlandyrylyş usuldan peýdalanylýar, olar:

- 1) polýary tersine birikdirilip tormozlandyrylyş;
- 2) dinamiki tormozlandyrylyş usullary (düzgünleri).

Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijileriň generator düzgüninde işledilmegine ýol berilmeli däl, sebäbi mehaniki häsiýetnamalardan görnüşi ýaly (2.18-nji çyzga seret), generator düzgüninde hereketlendirijiniň ýakorynyň aýlaw tizligi tükeniksiz ymytylýar. Oýandyryjy sarymy yzygider hereketlendirijiler üçin şeýle iş düzgünine ýol berilmeli däl.

Polýary üýtgedilip tormozlandyrylyşda ýakoryň toguny çäklendirmek üçin, ýakor bilen yzygider goşmaça garşylyk üpjün edilýär.



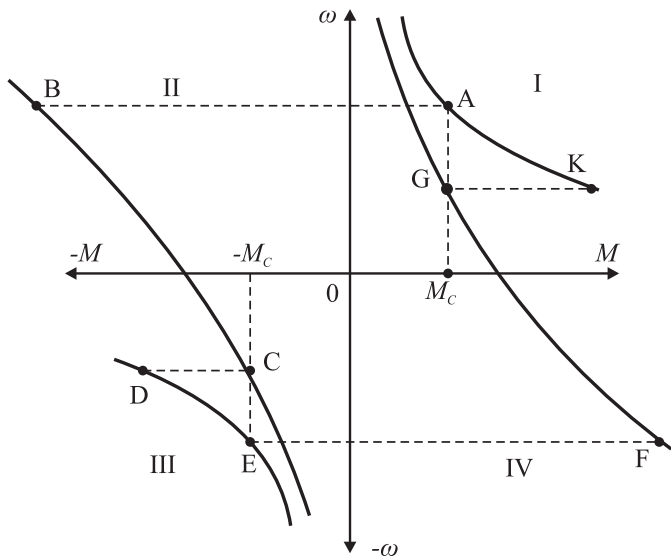
2.25-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiler üçin dürli iş düzgünlerinde gurlan mehaniki häsiýetnamalary

Hereketlendirijileriň şeýle tormozlanyş düzgünindäki mehaniki häsiýetnamalary adaty dinamiki (iş) häsiýetnamalarynyň dowamy bolup, *I* we *IV* çärýeklerde ýerleşýärler (2.25-nji çyzga seret).

**Polýary tersine birleşdirilip tormozlandyrylyş usuly** haçanda hereket edýän ýüküň momenti gysga utgaşyk (GU) wagtyndaky  $M_K$  momentden uly bolanda ýüze çykýar. Ýöne, hereketlendirijiniň ýüki aşa ýokary-da bolmaly däl, ýagny hereketlendiriji ýörite çäklendiriji bilen üpjün edilmelidir. Munuň sebäbini ýakoryň togunyň aşa ýokary bolmagyna ýol berilmeli däldegi bilen düşündirilýär.

Edil parallel oýandyryjyly hereketlendiriji ýaly, yzygider oýandyryjyly hereketlendirijide-de polýary tersine birleşdirilip tormozlandyrylyş birmeňzeş amala aşyrylýar, ýöne ýakordaky toguň ugruny üýtgedip, oýandyryjy sarymdaky toguň ugruny öňki ýagdaýynda saklamaly.

Napryženiýäniň polýarlygyny üýtgedip, mehaniki häsiýetnamalarynyň özgerişi (öwrülişi) 2.26-njy çyzgyda görkezildi. Bu häsiýetnamalaryň gurluşy 2.15-nji çyzgydaky mehaniki häsiýetnamalaryň gurluşynyň yzygiderliligine meňzeşdir.

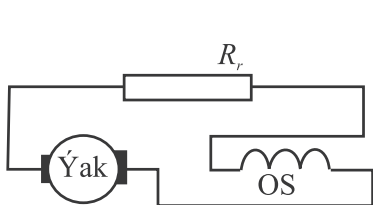


**2.26-njy çyzgy.** Oýandyryjy sarymy ýakoryna yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýakorynda napryženiýesiniň polýarlarynyň ýerleri çalşyrylanda mehaniki häsiýetnamalaryň ýagdaýlary

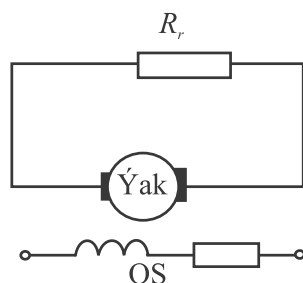
**Dinamiki tormozlandyrylyş usulynda** sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijini iki hili tormozlandyryp bolýar:

**Birinjisi** – tormoz wagty sarymda EHG, ýakoryň aýlanmagy dowam edýänligi sebäpli, öz-özünden oýanyp (induksirlenip), şol dörän EHG bilen tormoz amala aşyrylýar, ýöne hereketlendiriji setden öçürilip  $R_r$  garşylyga çatylyar (şuntirlenýär). Şeýle tormozlanmagyň ýönekeýleşdirilen elektrik shemasy 2.27-nji çyzgyda görkezildi.

**Ikinjisi** – oýandyryjy sarymy ýakoryň zynjyryndan aýryp, garaşsyz çeşmeden (başga çeşme manysynda) iýmitlendirilip tormozlandyrylyş amala aşyrylýar (2.28-nji çyzga).



2.27-nji çyzgy.  
Dinamiki togtadylýan wagty hereketlendirijiniň sarymynda EHG-niň öz-özünden döreýän yzygider oýandyryjyly sarymly hereketlendirijiniň elektrik shemasy



2.28-nji çyzgy. Dinamiki tormozlandyrylyş wagty hereketlendirijiniň yzygider oýandyryjy sarymyň başga çeşmeden iýmitlendirilişiniň elektrik shemasy

Hereketlendiriji iş düzgüninden dinamiki tormozlandyrylyş düzgüne geçende, ýakoryň ýa-da oýandyryjy sarymyň polýarlaryny (alamatlaryny) hökman üýtgetmeli, ýagny hereketlendirijiniň magnit zynjyrynyň magnitsizlenmegine ýol berilmeli dälär. Şeýle tormozlanyşyň mehaniki häsiýetnamasy 2.25-nji çyzgyda koordinatyň 2-nji çärýeginde görkezildi. Çyzgydan görnüşi ýaly, pes tizlikde tormozlanyş momenti juda ujypsyz, ýagny nola ýakyn bolýar. Muňa garamazdan, şeýle kiçi tormozlanyşda-da oýanmak prosesi has intensiw (çalt) bolup geçýär. Netijede, tormozlanma-



gyň momentiniň böküp üýtgemegine, aýlanýan mehanizmlerinde mehaniki urgularyň döremegine sebäp bolmagy mümkindir. Me-selem, aşa uly mahowikli elektropriwodlarda şeýle ýagdaýa duçar bolunýar, şonuň üçin-de oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilerde dinamiki tormozlandyrylyş usulyndan peýda-lanmak maslahat berilýär (2.28-nji çyzga seret). Şeýle shemada daşky ýüküň momentiniň täsiri esasynda hereketlendiriji generator iş düzgüninde işläp başlaýar. Oýandyryjy sarym başga çeşmeden iýmitlendirilip başlanyndan sarymdaky togy çäklendirmek mak-sady bilen goşmaça garşylyga yzygider birikdirilýär. Şonuň üçin-de mehaniki häsiýetnama 2.11-nji çyzgyda görkezilen, sarymy pa-rallel birikdirilen hereketlendirijiniň tormozlandyrylyş mehaniki häsiýetnamasyna meňzeşdir. Bu häsiýetnamalar gönüçyzykly bo-lup, hemmesi-de koordinatyň merkezinde kesişýärler, özleri-de ýumsak däldirler, gatydyrlar.

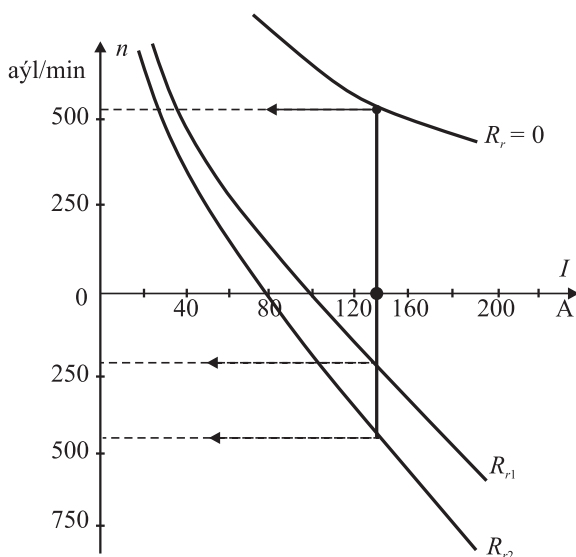
Kähalatlarda kiçi kuwwatly hereketlendirijilerde oýandyryjy sarymyny 2.28-nji çyzgydaky ýaly shemadan peýdalanmaýarlar, onuň deregine polýuslarynda misden ýasalan halkadan peýda-lanýarlar. Şeýle pes kuwwatly hereketlendirijiniň kuwwaty 0,52 kWt töweregi bolup, magdan erediji äpet peçlerde çig magdanlary ýük-lemek üçin giňden ulanýarlar.

**2.6-njy mesele.** МП-42 markaly hereketlendirijiniň paspor-tynda berlen ululyklary:  $P_{nom} = 16 \text{ kWt}$ ;  $I_{nom} = 86 \text{ A}$ ;  $U_{nom} = 220 \text{ W}$ ;  $n = 600 \text{ aýl/min}$ . Ýük ýakordan aşak düşürilende hereketlendiriji  $I = 1,5 \cdot I_{nom}$  tokda işläp, naprýaženiýesiniň polýary tersine birik-dirilen tormozlandyrylyşy bir gezek 200 aýl/min tizlikde, ikinji gezek 400 aýl/min tizlikde amala aşyrylmaly. Şular ýaly iki ge-zek tormozlanyş iş düzgüni üçin ýakora yzygider birikdirilme-li goşmaça garşylyklary kesgitlemeli hem-de degişli mehaniki häsiýetnamalaryny gurmaly.

### Çözülüşi.

МП-42 kysymly hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasyn-dan (2.29-njy çyzga seret)  $I = 1,5 \cdot I_{nom} = 129 \text{ A}$  bahasynda  $n = 520 \text{ aýl/min}$  tizligi tapýarys. Şeýlelikde,  $I = 129 \text{ A}$  tokda

$$K_E \cdot \Phi = \frac{U - R_{dw} \cdot I}{n} = \frac{220 - 0,297 \cdot 129}{520} = 0,349 \frac{\text{W}}{\text{aýl/min}}.$$



**2.29-njy çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň tebigy we emeli (reostatly) mehaniki häsiýetnamalary**

$I = 129 \text{ A}$  tokda hereketlendirijiniň ýakory tersine aýlanýanlygy sebäpli, ýakorda oýanýan (döreýän) EHG-niň tapylyşy

$$E_{\text{ýakor}} = K_E \cdot \Phi \cdot n_T = 0,349 \cdot n_T$$

Bu ýerde  $n_T$  – ýakoryň aýlanýan tizligi.

Ýakordaky toguň tapylyşynyň deňlemesi

$$I = \frac{U + E_{\text{ýakor}}}{R_{dw} + R_r}.$$

Bu deňlemeden gözlenilýän garşylygy tapýarys:

$$R_r = \frac{U + E_{\text{ýakor}}}{I} - R_{dw}.$$

Tizligi  $n = 200$  [aýl/min] bilen ýük aşak düşürilende

$$R_{r1} = \frac{220 + 0,349 \cdot 200}{129} - 0,297 = 1,95 \text{ Om.}$$

Tizligi  $n = 400$  [aýl/min] bilen ýük aşak düşürilende

$$R_{r2} = \frac{220 + 0,349 \cdot 400}{129} - 0,297 = 2,49 \text{ Om.}$$

Hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalaryny gurmak üçin ähli hasaplamalary (2.34) deňleme bilen ýerine ýetirip, netijeleri 2.3-nji tablisada ýerleşdirildi.

2.3-nji tablica

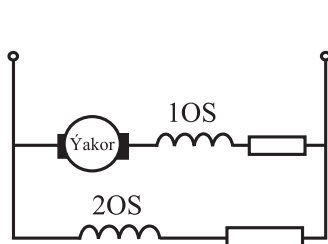
<b>I, A</b>	34,4	51,6	68,8	86	103,3	120,5	137,8	155	172
<b><math>n_e</math>, aýl/min</b>	960	738	654	600	561	534	510	486	465
<b><math>n_e (R_{r1})</math>, aýl/min</b>	648	377	215	84	-36	-145	-252	-356	-457
<b><math>n_e (R_{r2})</math>, aýl/min</b>	565	275	92	-61	-202	-338	-469	-595	-715

Tablisada görkezilen hasaplamalaryň netijeleri esasynda emeli (reostatly) häsiýetnamalary gurýarys (2.29-njy çyzga seret).

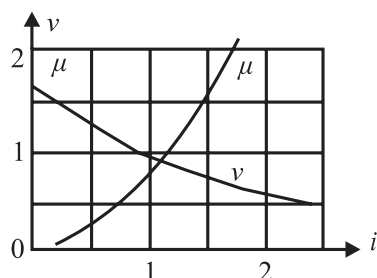
## 2.8. Hemişelik toguň hereketlendirijisinde oýandyryjy sarymlaryň kowçum (bilelikde) birleşdirilişiniň mehaniki häsiýetnamalary

Oýandyryjy sarymlary kowçum hereketlendirijileriň (2.30-njy çyzga seret) iki sany oýandyryjy sarymy bolup, olaryň biri hereketlendirijiniň ýakoryna parallel, beýlekisi (ikinjisi) yzygider birikdirlýär. Şonuň üçin-de, şeýle hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamalary oýandyryjy sarymy yzygider hem-de parallel hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamalarynyň aralygyny eýeleýär.

Oýandyryjy sarymlary kowçum birleşdirilen hereketlendirijilerde ýüküň üýtgemegi bilen hereketlendirijilerdäki magnit akymyň-da üýtgeýänligi sebäpli, mehaniki häsiýetnamalaryny gurup bolýjak takyk analitik deňlemeleri (deňlemesi) ýokdur. Şonuň üçin-de degişli hasaplamalar ýerine ýetirilende, uniwersial hasaplanýan tebigy häsiýetnamalaryndan peýdalanýarlar. Bu häsiýetnamalar momentiň hem-de tizligiň ýakordaky toga görä baglanyşygy bolup (2.31-nji çyzga), ýöriteleşdirilen (tertipleşdirilen) kataloglarda, dürli-dürli markaly hereketlendirijiler üçin, tablisa ýa-da grafik görnüşinde berilýär.



**2.30-njy çyzgy. Oýandyryjy sarymlary kowçum hereketlendirijiniň ýöriteleşdirilen elektrik shemasy**



**2.31-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymlary kowçum hereketlendirijide momentiň hem-de tizligiň ýakoryň togy bilen baglanyşygy**

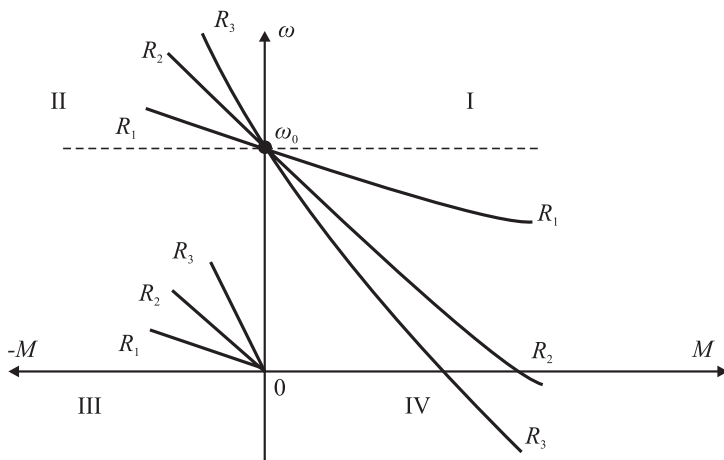
Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilerden, sarymlary kowçum birikdirilen hereketlendirijileriň tapawudy ol hem hereketlendiriji boş (ýüksüz) işlände, tizligi çäklendirilen baha eýe bolýar. Bu çäklenýän tizlik hereketlendirijiniň diňe parallel sarymynyň döredýän magnit akymy bilen kesgitlenýär.

$$\omega_0 = \frac{U}{k \cdot \Phi_0}.$$

Bu ýerde  $\Phi_0$  – hereketlendirijiniň diňe parallel sarymyndaky togy bilen döreýän magnit akymy.

Parallel sarymyň togunyň döredýän magnitleniş güýji bilen, yzygider birikdirilen sarymdaky toguň döredýän magnitleniş

güýjüni deňeşdirseň, olar özara deň däldirler. Şonuň üçin-de dürli markaly hereketlendirijileriň-de momentleriniň hem-de tizlikleriniň ýakoryň togundan baglanyşyklary özara hemişe tapawutlanýarlar. Iň köp ulanylýan baglanyşyk, ol hem iki sarymdaky magnitleniş güýçler deňleşdirilendäki ýagdaý hasaplanylýar.



**2.32-nji çyzgy. Dürli iş düzgünleri üçin sarymlary kowçum  
birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň mehaniki  
häsiýetnamalary**

Oýandyryjy sarymlary kowçum birleşdirilen kiçi kuwwatly hereketlendirijilerde, ýüküň ujypsyz wagty, ýakoryň tizligi ep-esli üýtgeýär, soňra ýüküň ýuwaş-ýuwaşdan köpelmegi netijesinde, tizlik peselip başlaýar we göni çyzygyň kanunyna has ýakyn çyzyk bilen üýtgäp, sarymy parallel hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasyny ýada salýar. Tizligiň şeýle üýtgemeginiň sebäbi ýüküň köpeldilýänligi netijesinde hereketlendirijiniň ferromagnit böleginde magnitlenişin doýmagy bilen düşündirilýär. Muňa garamazdan, hereketlendirijiniň yzygider sarymynda magnitleniş hadysanyň köpelmegi dowam edýän-de bolsa hereketlendirijiniň magnit akymy öz ululygyny (durkuny) üýtgetmän saklamagyny dowam edýär. Munuň sebäbini ferromagnit materialda diňe magnitlenişin doýmagy bilen düşündirip bolýar.

Reostat häsiýetnamalaryny gurmaly bolanda, oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalarynyň gurluş usulyndan peýdalanmak maslahat berilýär.

Sarymlary kowçum birikdirilen hereketlendirijilerde elektrik tormozlandyrylyşynyň üç usulyndan peýdalanmak mümkinçiligini döredýär, olar:

- 1) sete energiýa berýän generatorly tormozlandyrylyş usuly;
- 2) dinamiki tormozlandyrylyş usuly;
- 3) polýarlaryny çalşyp tormozlandyrylyş usuly.

Generator tormozlanyşda energiýa sete berilýänligi sebäpli, ýakorda hem-de ýakora yzygider birikdirilen sarymdan akýan tok öz ugruny üýtgedýänligi üçin hereketlendirijiniň ferromagnit böleginde magnitsizleniş bolup geçmegi mümkindir. Magnitsizlenişe ýol bermezlik üçin  $\omega_0$  tizlikden geçmeli bolanda hereketlendirijiniň yzygider sarymyny garşylyk bilen şuntirleýärler, şonuň üçin-de mehaniki häsiýetnama 2-nji çäryekde dowam edýär (*2.32-nji çyzgaseret*). Edil şeýle mehaniki häsiýetnama dinamiki tormozlanyşda-da (yzygider sarym öçürilende) diňe parallel oýandyryjy sarym bilen işlenende amala aşýar. Şeýle (dinamiki) tormozlanyşda magnit akymy özüniň hemişeligini saklaýar. Hereketlendirijä berilýän naprýaženiýäniň polýarlarynyň ýerini çalşyrmak usuly bilen tormozlandyrylanda bolsa, magnitleniş güýjüň-de ugry üýtgeýänligi üçin, mehaniki häsiýetnama egri çyzygy emele getirýär.

## **2.9. Asinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary**

Asinhron hereketlendirijiler beýleki görnüşli hereketlendirijiler bilen deňeşdirilende, birnäçe artykmaçlyklary bilen tapawutlanýandyklary üçin senagatda giňden ulanylýar. Asinhron hereketlendirijiler gurluşy boýunça ýönekeý, agramy boýunça ýeňil, düşýän gymmaty boýunça arzan, işleýşi boýunça ygtybarly, tizligini dolandyrmak aňsat, özü-de kollektorsyz bolany üçin, beýleki hereketlendirijilerden has köp ulanylýar. Asinhron hereketlendirijilerde abatlaýyş işlerini geçirmek hem ýönekeý hem-de arzandyr.

Asinhron hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamasynyň deňlemesini getirip çykarmak üçin, 2.33-nji çyzgyda görkezilen

deňgüçli (ekwiwalent) elektrik shemasyndan peýdalanmak maslahat berilýär. Bu shemada şu aşakdaky şertli belgiler kabul edildi:

$U_f$  – ilkinji faza naprýaženiýesi;

$I_1$  – statoryň fazasyndaky tok;

$I_2'$  – rotoryň getirilen (geçirilen) togy;

$I_0$  – boş iş düzgünindäki tok;

$X_1$  we  $X_2'$  – ilkinji we ikilenji geçirilen reaktiw garşylyklar;

$R_1$  we  $R_2'$  – ilkinji we ikilenji geçirilen aktiw garşylyklar;

$R_0$  we  $X_0$  – magnitlenýän ferromagnit konturyň aktiw we reaktiw garşylyklary;

$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$  – hereketlendirijiniň tizliginiň typýan koeffisiýenti;

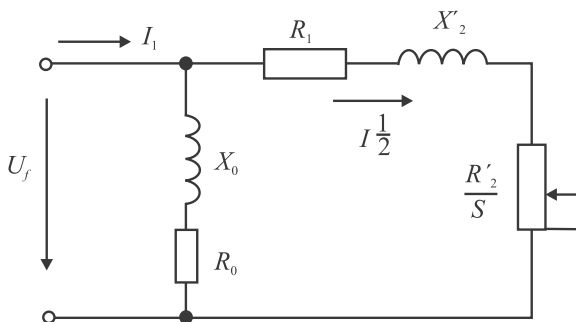
$\omega_0 \frac{2\pi \cdot n_0}{60}$  – hereketlendirijiniň sinhron burç tizligi:

$$\omega_0 \frac{2\pi \cdot f_1}{p}.$$

Bu ýerde:

$f_1$  – setiň ýygylygy;

$p$  – jübüt polýuslaryň sany.



**2.33-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň ekwiwalent çalşyrylyp ýönekeýleşdirilen shemasy**

Asinhron hereketlendirijiniň ekwiwalent çalşyrylyp ýönekeýleşdirilen shemasyndan ikilenji toguň tapylyşyny şu aşakdaky deňleme-den kesgitlep biliris:

$$I_2' = \frac{U_f}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}}.$$

Asinhron hereketlendirijiniň aýlanan momentini şu aşakdaky aňlatmadan kesgitläp bileris,

$$M \cdot \omega_0 \cdot S = 3(I_2')^2 \cdot R_2', \text{ bu deňlemeden}$$

$$M = \frac{3(I_2')^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S}. \quad (2.37)$$

Bu aňlatmadaky  $I_2'$  toguň bahasyny (3.36) deňlemeden alyp, ornunda goýsak, onda

$$M = \frac{3U_f^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right] \cdot S}. \quad (2.38)$$

Momentin  $M = f(S)$  baglanyşygynyň egri çyzygy iki maksimuma eýedir: biri – generator iş düzgüninde, ikinjisi – hereketlendiriji iş düzgünindedir.

Typma koeffisiýentiniň howply, aýgytly (ahyrky çägi manysyn-da) bahasyny takyklamak üçin, (2.38) deňlemäni ds-e görä differensirläp, nola  $\left( \frac{dM}{dS} = 0 \right)$  deňlese, hereketlendirijiniň maksimal momentiniň bahasyny anyklap bolýar:

$$S_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}. \quad (2.39)$$

Typma  $S_k$  koeffisiýentiniň bahasyny (2.38) deňlemede ornunda goýsak, maksimal momentin bahasyny anyklap bolýar.



$$M_k = \frac{3U_f^2}{2\omega_0 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]}. \quad (2.40)$$

(2.39) bilen (2.40) deňlemelerdäki  $\langle\langle + \rangle\rangle$  alamat hereketlendiriji iş düzgünine (tormozlanyşa),  $\langle\langle - \rangle\rangle$  alamat generator iş düzgünindäki tormozlanyşy aňladýar.

Eger-de (2.38) deňlemäni (2.40) deňlemä bölüp, soňra birnäçe algebräik özgertmelerden soň, moment üçin şu aşakdaky deňlemäni alarys:

$$M = \frac{2M_k(1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2a \cdot S_k}. \quad (2.41)$$

Bu ýerde:  $M_k$  – hereketlendirijiniň maksimal momenti;

$S_k$  – maksimal  $M_k$  – momente degişli typmanyň çägi;

$$a = \frac{R_1}{R_2}.$$

Şu ýerde praktiki nukdaýnazardan örän zerur (möhüm) ýagdaýy belläp geçmelidir, ol hem asinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasyna setiň naprýaženiýesiniň täsiridir. Bu täsiri (2.38) deňlemede berlen typmanyň bahasynda, naprýaženiýäniň momentiniň kwadratyna baglydygy sebäpli, asinhron hereketlendirijiler setiň naprýaženiýesiniň sähelçe üýtgemegine örän duýgurdygy düşnüklidir.

2.34-nji çyzgyda asinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy görkezildi.

Bu baglanyşygy häsiýetlendirýän esasy nokatlar:

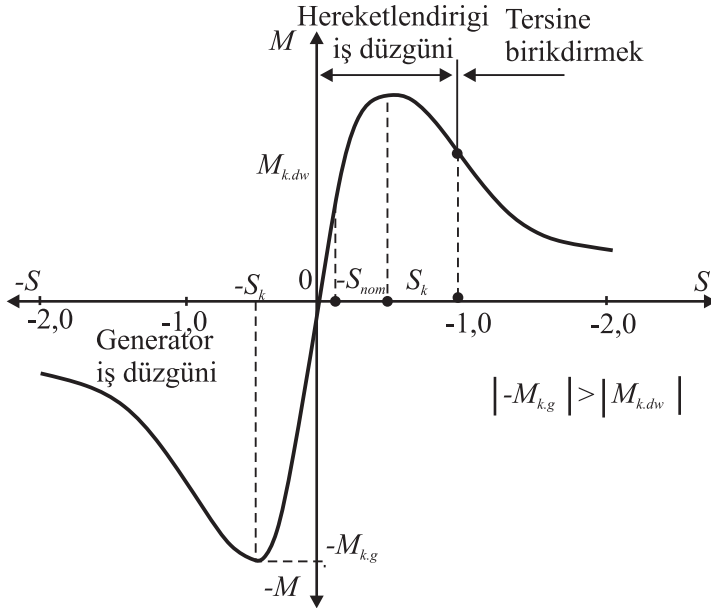
1)  $S = 0$ ,  $M = 0$  ýagdaýda hereketlendirijiniň aýlaw tizligi sinhron bahasyna deňdir;

2)  $S = S_{nom}$ ,  $M = M_{nom}$  ýagdaý nominal typmany we nominal momenti aňladýar;

3)  $S = S_k$ ,  $M = M_{k.d}$  hereketlendiriji iş düzgüninde hereketlendirijiniň momentiniň çägi;

$$4) S = 1,0; M = M_n = \frac{2M_k(1+aS_k)S_k}{1+S_k^2(1+2a)} - \text{hereketlendiriji işe goý-}$$

berilen pursatyndaky momenti.



**2.34-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy**

Eger-de  $S > 1,0$  bolanda hereketlendiriji tersine birleşdirilen tormozlandyrylyşa,  $S < 0$  bolanda iş düzgün rekuperatiw (latyn sözi – yzyna dolanmak, tersine, hereketlendiriji däl, ýagny generator diýmek) iş düzgüninde tormozlandyrylyş amala aşyrylýar.

Aýratyn bir bellenişmeli ýagdaý, ol hem  $S_k$  typmanyň absolýut bahasy (moduly) boýunça hereketlendiriji hem-de generator iş düzgünlerinde deňdirler. Emma, (2.40) deňlemä esaslansak, onda mometiň çäklenýän (kriteriýa) bahalary hereketlendiriji hem-de generator iş düzgünlerinde özara tapawutlanýarlar. Generator iş düzgünindäki  $M_{k.gener}$  moment absolýut bahasy boýunça hereketlendiriji iş düzgünindäki  $M_{k.dv}$  – mometiň bahasyndan uludyr. Munuň şeýledigini şu aşakdaky deňleme bilen düşündirip bolýar:

$$M_{k.gener} = M_{k.dw} \frac{R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_2^2}}{R_1 - \sqrt{R_1^2 + X_k^2}}.$$

Bu ýerde:

$$X_k = X_1 + X_2'.$$

Eger-de (2,41) deňlemede  $R$  aktiw garşylygy hasaba almasak, onda mehaniki häsiýetnamany hasaplamagyň deňlemesi has ýönekeý görnüşe eýe bolýar.

$$M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}. \quad (2.42)$$

Bu deňlemedäki üýtgeýän ululyklar  $M$  momentiň hem-de  $S$  typmanyň nominal bahalaryny goýup,  $M_k/M_{nom} = \lambda$  harpy bilen belgilesek, onda

$$S_k = S_{nom} \left( \lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1} \right)$$

netijäni alarys.

Degişli hasaplamalar ýerine ýetirilende, köküň öňündäki (+) – plýus alamatdan peýdalanylýar.

Eger-de (2.42) deňlemäni seljersek, onda  $S > S_k$  ýagdaý dörän-de (häsiýetnamanyň işlemeli däl ýerinde) giperbolanyň deňlemesine öwrülýär. (Deňlemede ikinji  $\frac{S}{S_k}$  goşulma hasaba alynmasa, giperbola öwrülýär), onda

$$M = 2 \cdot M_k \cdot \frac{Sk}{S_n}.$$

ýa-da

$$M = \frac{A}{S}.$$

Bu ýerde

$$M = 2M_k \cdot S_k.$$

Häsiýetnamanyň bu bölegi diňe hereketlendirijiniň işe goýberilen pursaty hem-de tormozlanyş wagty ýüze çykýar.

Typma ujypsyz bolanda, ( $S > S_k$ ) mehaniki häsiýetnamany aňladýan  $M = f(S)$  baglanyşyk göni çyzygyň deňlemesine öwrülýär, (bu ýagdaýda (2.42) deňlemedäki birinji goşulma hasaba alynmaýar), onda

$$M = 2M_k \frac{S}{S_k}$$

ýa-da

$$M = B \cdot S.$$

Bu ýerde

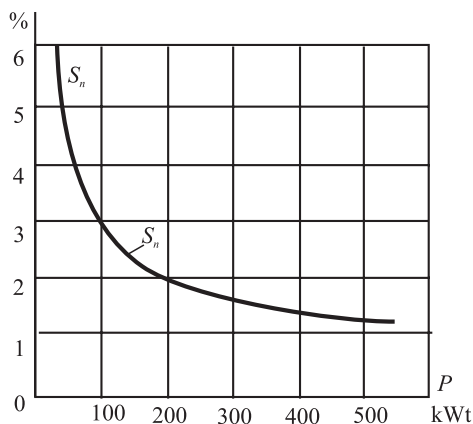
$$B = \frac{2M_k}{S_k}.$$

Häsiýetnamanyň şol göni bölegi hereketlendirijiniň işçi ýagdaýyny aňladýar, ýagny hereketlendiriji şol göni bölekde durnukly iş düzgüninde işleýär. Ynha şu bölekde-de (uçastkada) hereketlendirijä mahsus degişli nominal bahalar kesgitlenilýär, olar:  $M_{nom}$ ,  $I_{nom}$ ,  $n_{nom}$ ,  $S_{nom}$ , ýaly fiziki ululyklardyr.

Otnositel birlikde tizligiň peselmegi asinhron hereketlendirijiniň tebigy mehaniki häsiýetnamasyndan nominal momentiniň bahasynda typmanyň nominal bahasy kesgitlenýär.

Hereketlendirijiniň nominal typmasynyň ululygy rotoryň garşylygyna baglydyr. Deň kuwwatly we deň polýusly iki sany asinhron hereketlendirijide rotory gysga utgaşdyrylan hereketlendirijiniň nominal typmasy beýlekiden kiçi bolýar, sebäbi rotory gysga utgaşdyrylan hereketlendirijilerde rotoryň garşylygy kiçidir, bu bolsa  $S_k$  typmanyň (2.39-njy deňlemä seret) hem-de nominal  $S_{nom}$  typmanyň-da kiçelmegi-ne getirýär. Edil şeýle-de, hereketlendirijiniň kuwwaty näçe uly bolsa,

şonça-da typmalar kiçelýär we tebigy häsiýetnamalary has gatylaşýar (ýagny  $P$  kuwwatyň okuna parallelleşýär). Munuň şeýledigini 2.35-nji çyzgyda görmek bolýar.



**2.35-nji çyzgy. Deň kuwwatly asinhron hereketlendirijileriň nominal typmasynyň egriligi**

(2.40) deňlemeden görnüşi ýaly,  $M_k$  momentinň çägi rotoryň  $R_2'$  garşylygyndan bagly däl; emma  $S_k$  typmanyň çägi (2.39) deňlemeden görnüşi ýaly rotoryň  $R_2'$  garşylygyny ulaltdygyňça  $S_k$  typma ulalýar. Şonuň üçin-de rotory fazaly asinhron hereketlendirijileriň kontaktly halkalaryna birleşdirilen faza garşylyklaryny artdyrdygyňça, şonça-da  $S_k$  - typma ulalýan tarapa süýşýär.

Halkasy kontaktly asinhron hereketlendirijiniň fazasyna birikdirmeli reostatlaryň garşylyklary şu aşakdaky deňlemeden kesgitlemek maslahat berilýär:

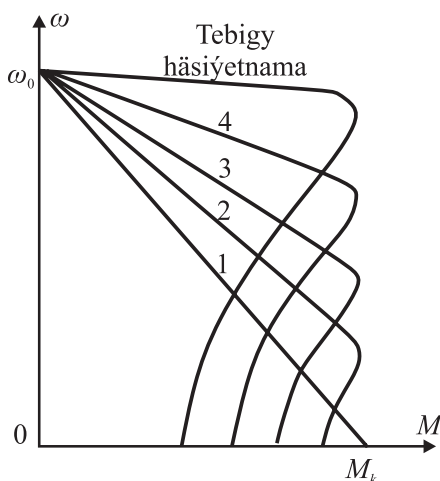
$$R_2' = \frac{S_{nom} \cdot E_{2k}}{\sqrt{3 \cdot I_{2nom}}}$$

Bu ýerde:  $E_{2k}$  rotoryň hereketsiz wagty liniýa naprýaženiýesi;

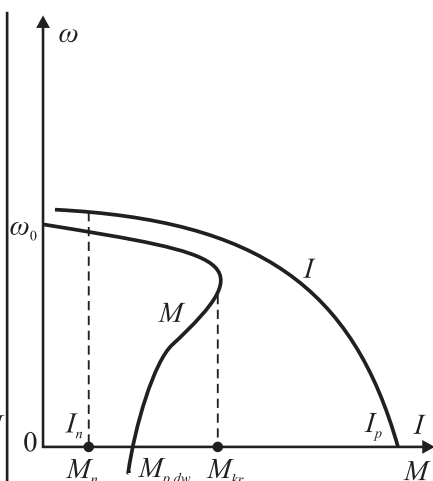
$I_{2nom}$  – rotoryň nominal togy.

2.36-njy çyzgyda elektropriwodyň hereketlendiriji iş düzgüni ni häsiýetlendirýän  $M$  we  $\omega$  koordinatly oklarynda dürli reostatlara mahsuz häsiýetnamalaryň toplумы görkezildi. Reostatlary oýlanyşykly saýlap, häsiýetnamalarda işçi böleklerini göni çyzyk diýip kabul

edip bileris. Reostatlar şular ýaly oýlanyşykly saýlansa, onda garşylyklaryň hasabyny, ýakorda özleşdirilen oýandyryjy sarymy parallel birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijileri üçin geçirilen (2.2-nji meselä seret) hasaplanyş usulyndan peýdalanyň bileris.



2.36-njy çyzgy. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijiniň tebigy hem-de reostatly (emeli) häsiýetnamalary



2.37-nji çyzgy. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň  $\omega = f(M)$  hem-de  $\omega = f_1(I)$  häsiýetnamalary

Reostatlaryň garşylyklaryny dogry (takyk) saýlamak üçin mehaniki häsiýetnamanyň göni (egrelmeýän) böleginde  $M=0$  nokatdan momentiň maksimal bahasy aralygy saýlanyp alynýar (2.8-nji meseläni özleşdiriň).

Maksimal  $M_{k,dw}$  momentiň nominal  $M_{nom}$  momente bolan gatnaşygyna momentiň kratnosty (esse manysynda) diýilýär we  $\lambda$  harpy bilen belgilenilýär, onda

$$\lambda = \frac{M_{k,dw}}{M_{nom}}.$$

Bu ýerde  $\lambda$  – momentiň kratnosty.

Bu ululyk rotory fazaly hereketlendirijiler üçin 1,8-den, rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiler üçin bolsa 1,65-den kiçi bolmaly dälär.

Kranlarda ulanylýan hereketlendirijilerde momentleriň kratnosty birneme ulurak alynýar. Meselem, rotory gysga utgaşdyrylan he-

reketlendirijiler üçin  $\lambda = 1,8 - 2,5$ , ýük göteriji kranlardaky hereketlendirijilerde  $\lambda = 2,3 \div 3,4$  töweregi kabul edilýär. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijiler üçin-de edil rotory gysga utgaşdyrylan hereketlendirijileriňki ýaly birmeňzeş (deň) kratnostdan peýdalanylýar.

Rotory gysga utgaşdyrylan hereketlendirijilere elektropriwod hökmünde seredilende hereketlendirijiniň kratnostlary hökmünde, hereketlendiriji işe goýberilen wagtyndaky  $I_p$  – pursat togy bilen,  $M_p$  pursat momentiniň bahalary diýlen düşüňjeden has köp ulanylýar (sözlemde “pursat” sözüne “goýberiliş” sözi manysynda düşüňmeli).

Rotory gysga utgaşdyrylan hereketlendirijiler üçin tebigy mehaniki häsiýetnamalar 2.37-nji çyzgyda görkezildi. Bu çyzgydan görnüşi ýaly, rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiler her gezek işe goýberilende örän uly, ýagny  $(5 \div 7) \cdot I_{nom}$  esse bahasyna ýetýän-de bolsa, şol wagtdaky pursat momenti beýle bir uly bolmaýar. Pursat wagty momentiň kratnosty takmynan

$$K_p = \frac{M_p}{M_{nom}} = 1 \div 2$$

esseden uly bolmaýar.

TDS-boýunça-da  $K_p = 0,9$ -dan kiçi bolmaly däldir diýlip resmileşdirilipdir, meselem, kranlarda ulanylýan asinhron hereketlendirijilerde momentiň kratnosty  $K_p = 1,65$ -den kiçi bolmaly däldir. Emma, pursat

togunyň kratnosty bolsa  $K_I = \frac{I_p}{I_{nom}} = 5 \div 7$  esse bahasyna ýetýär.

Statordaky tok bilen hereketlendirijiniň momentiniň kratnostlarynda (gatnaşyklarynda) deňsizligiň (2.37-nji çyzga seret) sebäbini hereketlendirijiniň işe goýberilen pursatynda magnit akymynyň peselýändigine hem-de kuwwatyň koeffisiýentine ( $\cos\varphi$ ) esaslanyp düşündirilýär.

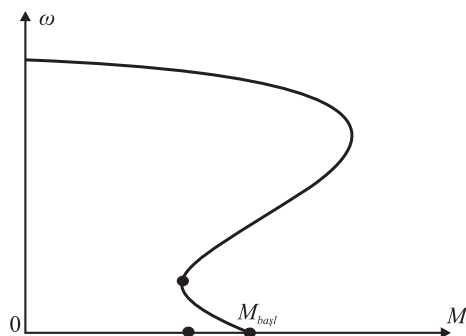
Hereketlendirijiniň işe goýberilen pursaty momentiň ululygyny artdyrmak, togy bolsa azaltmak üçin rotory ýöriteleşdirilen gysga ut-

gaşdyrylan hereketlendirijilerden peýdalanýarlar. Şeýle asinhron hereketlendirijileriň rotoryny iki gözenekli (kletkaly), bir nokada merkezleşdirilen, pazasy örän çuňlaşdyrylan, sterženleri uzyn we inçe görnüşde taýýarlanylýarlar.

Şular ýaly konstruktirlenen rotoryň garşylyklary işe goýberilen pursaty ep-esli uly baha eýe bolýar. Munuň sebäbini üst effekti bilen düşündirmek bolýar, çünki typmanyň ulalmagy zyýanly ýygylgyň ösmegine, bu bolsa garşylygyň köpelmegine getirýär.

Şonuň üçin-de pazasy (oýuk ýeri) çuňlaşdyrylan, rotoryndaky sarymy ikeldilen (goşalandyrylan) hereketlendirijilerde momentiň ep-esli ulalmagyna,  $I_p$  toguň bolsa peselmegine ýardam edýär. Ýöne, şeýle konstruksiýaly asinhron hereketlendirijileriň PTK-sy bilen kuwwat koeffisiýenti ( $\cos\phi$ ) ep-esli peselýär.

Esasy bir bellemeli ýagdaý, ol hem rotory gysga utgaşdyrylan hereketlendirijilerde elektropriwodyň işe goýberilen pursatyndaky momenti hereketlendiriji iş düzgüninde beýle bir kiçi bolman, normal (kanagatlanarly) bahasyna eýe bolýar.



**2.38-nji çyzgy. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň pes aýlaw tizliginde mehaniki häsiýetnamanyň opurylyşynyň ýagdaýy**

2.38-nji çyzgyda pes aýlaw tizliginde rotoryň pazalarynyň (oýukjagazlaryň) dişlerinden çykýan magnit meýdanlarynyň ýakory garmonikalaryň döreýänligi sebäpli, mehaniki häsiýetnamada opurylma hadysalaryň döreýänligi düşündirilýär. Bu hadysa hereketlen-



diriži elektrik ýüklükä işe goýberilende hasaba alynýar. Rotory fazaly (kontakty halkaly) hereketlendirijilerde başlangyç pursatdaky momenti reostatyň garşylygynyň belli (takyk) bahasyna çenli köpeldigiçe, pursat momenti hem ösýär (2.36-njy çyzga seret), emma statoryň togy peselýär. Şol pursat  $M_p$  momenti  $M_k$  momente çenli ulaldyp bolýar.

**2.7-nji mesele.** Rotory fazaly (kontakty halkaly) MT-63-10 hereketlendirijiniň generator iş düzgüni üçin tebigy mehaniki häsiýet-namasyny gurmaly. Hereketlendirijiniň pasportynda berlen ululyklar:  $P_{nom} = 60$  kWt,  $n_{nom} = 577$  aýl/min;  $U = 380$  W; sarymlarynyň birleşdirilişi  $\wedge/\wedge$ . Rotoryň togy  $I_{2nom} = 160$  A; naprýaženiýesi  $E_{2k} = 253$  W. Bularan başga-da hasap üçin zawodda taýýarlanan reostatlaryň deňşli garşylyklary:

$$R_1 = 0,0549 \text{ Om}; R_2 = 0,0332 \text{ Om};$$

$$X_1 = 0,16 \text{ Om}; X_2 = 0,0704 \text{ Om}.$$

**Çözülişi.** Statordan rotora görä transformasiýa koeffisiýentiniň tapylyşy.

$$k = \frac{E_1}{E_{2k}} = \frac{0,95 \cdot U}{E_{2k}} = \frac{0,95 \cdot 380}{253} = 1,43.$$

Getirilen garşylyklaryň hasaplanyşy

$$R_2' = R_2 \cdot k^2 = 0,0332 \cdot 1,43^2 = 0,0677 \text{ Om};$$

$$X_2' = X_2 \cdot k^2 = 0,0704 \cdot 1,43^2 = 0,1437 \text{ Om};$$

$$X_k = X_2 + X_2' = 0,16 + 0,1437 = 0,3037 \text{ Om}.$$

Kritiki typmanyň ululygyny (2.39) deňlemeden kesgitleýäris:

$$s_k \pm \frac{0,0677}{\sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2}} = \pm 0,22;$$

$$\alpha s_k = \frac{R_1}{R_2} \cdot s_k = \frac{0,0549}{0,0677} \cdot 0,22 = 0,1785.$$

Sinhron burç tizligi

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi \cdot 600}{60} = 62,8 \frac{1}{\text{sek}}.$$

Bu ýerde

$$\omega_0 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{5} = 600 \text{ aýl/min.}$$

Bu ýerde  $p = 5$  – jübüt polýuslaryň sany.

Hereketlendiriji iş düzgüninde momentň aňry çägininň tapylyşyny (2.40) deňleme boýunça hasaplaýarys:

$$M_{k.dw} = \frac{3 \left( \frac{380}{\sqrt{3}} \right) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 62,8 \cdot \left( 0,0549 + \sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2} \right)} = 3,18 \text{ kN} \cdot \text{m..}$$

Generator iş düzgüninde momentň aňry çägininň tapylyşy

$$M = M_{k.dw} \frac{R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2}}{R_1 - \sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = 3,18 \frac{0,0549 + \sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2}}{0,0549 - \sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2}} = -4,56 \text{ kN} \cdot \text{m..}$$

Tebigy mehaniki häsiýetnamanyň deňlemesi:

a) Hereketlendiriji iş düzgüninde momenti (2.41) deňlemeden kesgitleýäris:

$$\begin{aligned} M_{dw} &= \frac{2 \cdot M_k (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2aS_k} = \frac{2 \cdot 3,18 (1 + 0,1785)}{\frac{S}{0,22} + \frac{0,22}{S} + 0,357} = \\ &= \frac{7,49}{\frac{S}{0,22} + \frac{0,22}{S} + 0,357}. \end{aligned}$$

b) Generator iş düzgününde momentin (–) minus alamatlydygyny göz öňünde tutsak, onda

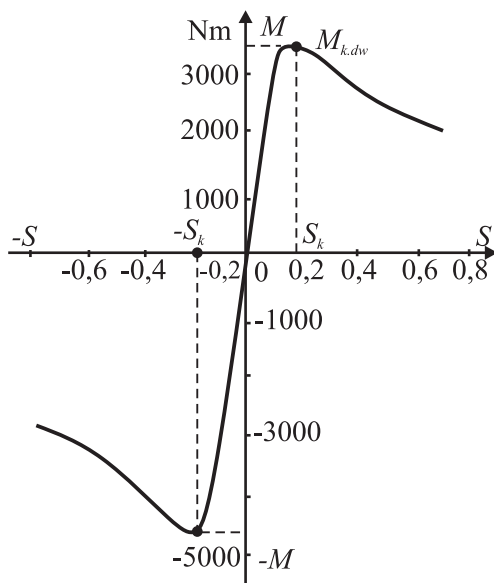
$$M_{gener} = \frac{2 \cdot 4,6(1 - 0,1785_k)}{\frac{S}{-0,22} + \frac{-0,22}{S} - 0,357} = \frac{7,49}{\frac{S}{-0,22} + \frac{-0,22}{S} - 0,357}.$$

Ähli hasaplamalaryň netijelerini 2.4-nji tablisada ýerleşdirýäris.

2.4-nji tablisa

<b>S</b>	0	±0,038	±0,1	±0,18	±0,22	±0,25	±0,4	±0,75	±1,0
<b><math>M_{gen}</math>, kNm</b>	0	1,2	2,49	3,13	3,18	3,16	2,75	1,84	1,47
<b><math>M_{gen}</math>, kNm</b>	0	-1,35	-3,26	-4,46	-4,56	-4,51	-3,73	-2,24	-1,71

2.4-nji tablisadaky netijelerden peýdalanyň, 2.39-njy çyzgyda hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasy guruldy.



2.39-njy çyzgy. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijiniň tebigy mehaniki häsiýetnamasy

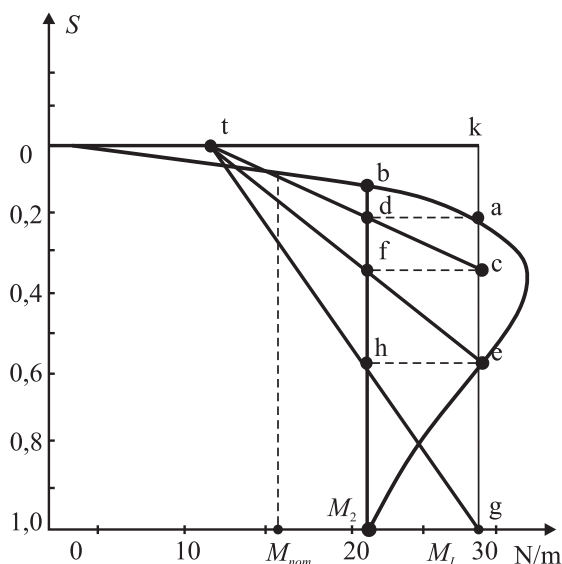
**2.8-nji mesele.** Rotory fazaly asinhron hereketlendirijiniň reostat garşylyklaryny hasaplamaly. Hereketlendirijiniň pasportynda berlen ululyklar:

$$P_{nom.} = 1,7 \text{ kWt}; n_{nom.} = 905 \text{ aíl/min}; E_{2k} = 57 \text{ W}.$$

$$I_{\gamma}k = 20,2 \text{ A}; \lambda = 2,0; R_{\gamma} = 0,155 \text{ Om.}$$

Hereketlendirijiniň walyndaky statiki momenti hereketlendirijiniň nominal momentine deň hasap edilýär, onda

$$M_c = M_{nom} = 9,55 \cdot 10^3 \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 17,95 \text{ N} \cdot \text{m}.$$



## 2.40-njy çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň reostat garsylyklarynyň hasaplanysy

Hereketlendirijiniñ tebigy mehaniki häsiýetnamasy 2.40-njy çyzgyda görkezildi. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijiniñ uly goýberiliş momentiniñ tapylyşy:

$$M_1 = 0,85 \cdot M_{k\,dw} = 0,85 \cdot \lambda \cdot M_{nom} = 0,85 \cdot 2 \cdot 17,95 = 30,5 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Bir reostat garşylygynyň häsiýetnamasyndan ikinji (beýleki) garşylygyň häsiýetnamasyna geçmek üçin zerur  $M_2$  moment

$$M_2 = 1,2 \cdot M_c = 1,2 \cdot 17,95 \cdot = 21,55 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

**Meseläniň çözülişi.** Tebigy häsiýetnamada  $a$  bilen  $b$  nokatlara mahsus  $M_1$  we  $M_2$  momentleri 2.40-njy çyzgyda belgileýäris, hem-de  $(ab)$  kesimi sinhron tizlik bilen kesişýänçe dowam edip,  $t$  nokady çyzgyda belgileýäris, bu  $t$  nokat hereketlendirijide  $s = 0$  ýagdaýy aňladýar. Soňra  $t$  – nokatdan birnäçe “şöhle” çyzyklaryny geçirýäris, olar  $tg$ ,  $te$ ,  $tc$  çyzyklardyr. Reostat garşylyklarynyň dürli bahalaryna degişli bu çyzyklaryň gurluş yzygiderligi 2.2-nji meseledäki mysala meňzeşdir.

Reostatyň basgançakly garşylyklarynyň tapylyşlary

$$R_{r1} = \frac{eg}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,41}{0,205} \cdot 0,155 = 0,31 \text{ Om}.$$

$$R_{r2} = \frac{ce}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,24}{0,205} \cdot 0,155 = 0,18 \text{ Om}.$$

$$R_{r3} = \frac{ac}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,145}{0,205} \cdot 0,155 = 0,11 \text{ Om}.$$

Bu reostat garşylyklaryň jemi

$$R_r = \frac{ag}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,795}{0,205} \cdot 0,105 = 0,6 \text{ Om}.$$

## 2.10. Asinhron hereketlendirijiniň togtama iş düzgünlerinde işledilendäki mehaniki häsiýetnamalary

Hemişelik toguň hereketlendirijilerinde tormozlanmagyň üç görnüşiniň bardygy özleşdirilipdi. Üýtgeýän toguň asinhron hereketlendirijilerinde-de şol tormozlanyşlaryň üç görnüşini-de örän şowly ulanyp bolýandygyny özleşdireliň. Olar:

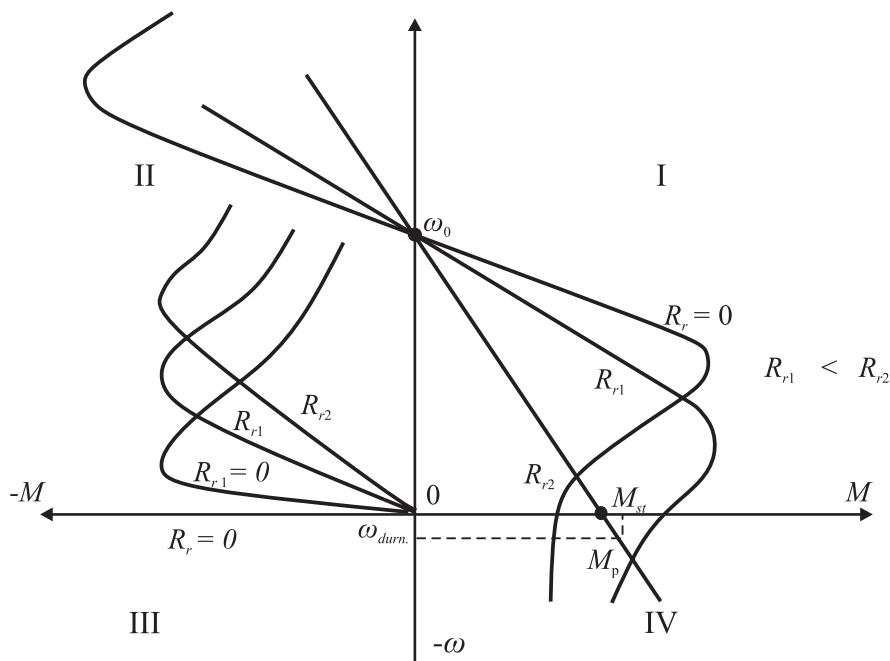
1) asinhron hereketlendirijini generator iş düzgüninde işledip tormozlandyrmak;

2) asinhron hereketlendirijiniň rotorynyň aýlanýan ugruny tersine aýlap (iki fazany özara çalşyryp) tormozlandyrmak;

3) dinamiki tormozlandyrylyş (rotora düşýän elektrik ýa-da mehaniki ýüküni köpeltmek).

Bu usullaryň hersine aýratynlykda seredeliň.

1. *Asinhron hereketlendirijini generator iş düzgüninde işledip (sete energiýa berdirip) tormozlandyrmak.* Bu generator usuly hereketlendirijiniň rotory aýlanýan ugrunda aýlanyp, onuň tizligi sinhron  $\omega_0$  tizliginden ýokary bolanda amala aşýar. Şeýle iş düzgünini düşündirmek üçin 2.41-nji çyzgyda birnäçe mehaniki häsiýetnamalar görkezildi.



**2.41-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň dürli iş düzgünlerinde mehaniki häsiýetnamalary**

Birinji çärýekde hereketlendirijiniň rotoryna degişli zynjyrynda üç sany dürli garşylygyň bahalaryna gabat gelýän mehaniki häsiýetnamalary ýerleşdirildi. Çyzgydan görnüşi ýaly, rotoryň tizligi sinhron  $\omega_0$  tizlige

golaýlaşdygyça, şonça-da hereketlendirijiniň momenti nula tarap ymtylýar (golaýlaşýar).

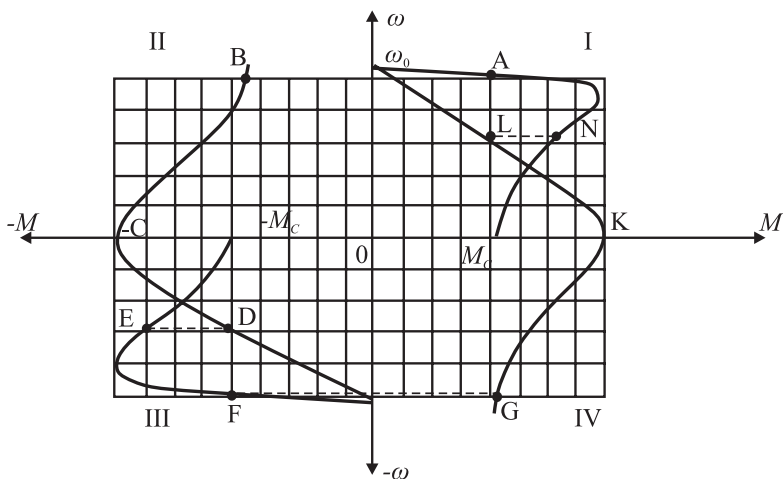
Daşky momentiň täsiri netijesinde  $\omega$  tizligiň artmagy  $\omega > \omega_0$  ýagdaýda hereketlendiriji generator iş düzgünine geçip, set bilen parallel işläp, energiýa öndürüp başlaýar. Şeýle iş düzgüninde hereketlendiriji sete energiýa berýär hem-de şol bir wagtyň özünde degişli sarylmalarynda EHG induksirlenmegi üçin setden reaktiw energiýany kabul edip başlaýar. Generator iş düzgünine degişli tormozlanyşyň mehaniki häsiýetnamasy 2.41-nji çyzygyda ikinji çäryekde dowam edýär. Çyzygyda generator tormozlanyşdaky  $M_{k, gener}$  – momenti (2.40) – deňlemäniň esasynda iş düzgünindäki  $M_{k, dw}$  – momentden has uly bolýandygy-da görkezildi.

Energiýasy sete berilýän generator tormozlanyş iş düzgüni fazalaryny çalşyrmaly iş düzgüninde hem-de ýükgöteriji maşynlarda (ekska-watorlarda, ýükgöteriji kranlarda we ş.m.) giňden ulanylýar.

2. *Asinhron hereketlendirijiniň rotorynyň aýlanýan ugruny tersine aýlap (rewersläp) tormozlandyrmak.* Bu tormozlanyş usuly beýleki usullar bilen deňeşdirilende, amalyýetde has giňden ulanylýar. Şeýle tormozlanyş edil hemişelik toguň hereketlendirijilerindäki polýarlarý üýtgedilip tormozlanyş düzgüninde hereket edýän (ýa-da süýşýän) ýük wagty  $M_c > M_p$  bolanda-da amala aşýar (2.41-nji çyzygydaky  $M_c > M_p$  ýagdaýa seret).

Rotory fazaly asinhron hereketlendirijilerde tormozlanyş wagty togy çäklendirmek üçin rotoryň zynjyry goşmaça garşylyklar bilen üpjün edilýär. Asinhron hereketlendirijiniň rotoryny tersine aýlap (mehaniki agyr ýük bilen) tormozlandyrylanda, durnukly ýagdaý diýilýän pursaty  $R_{r2}$  garşylyga mahsus mehaniki häsiýetnamada  $\omega_{durn.}$  hem-de  $M_{ct}$  nokatlar bilen 2.41-nji çyzygyda ýörite görkezildi.

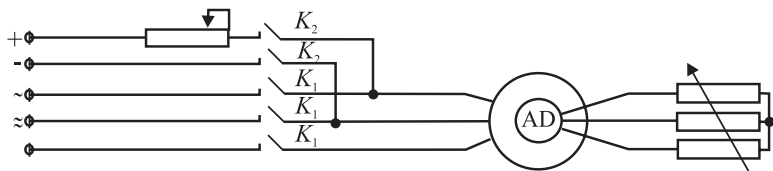
Rotory tersine aýlap tormozlandyrylanda,  $R_{r1}$  garşylyga degişli mehaniki häsiýetnamasynda  $M_c$  const saklanyň bilen-de durnukly iş düzgünini alyp bolmaýar. Tersine aýlap tormozlanmagy hereketlendirijiniň fazalaryny çalşyrmak bilen-de ýerine ýetirip bolýar. Fazalaryň ýerleri çalşyrylanda, statorda döreýän aýlanýan magnit meýdanynda tersine aýlanyp başlaýar. Rotor birbada aýlanýan magnit meýdanyň tersine aýlanmagyny dowam edip, ýuwaş-ýuwaşdan haýallanyp başlaýar. Haçan-da tizlik nula deň bolanda (saklananda),  $C$  nokat (2.42-nji çyzygy) hereketlendiriji setden ölçülmelidir.



**2.42-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň iki fazasy çalşyrylanda mehaniki häsiýetnamasy we onuň togtanmasynyň düşündirilişi**

Eger-de  $C$  nokatda hereketlendiriji setden öçürilmese, onda hereketlendiriji iş düzgünine geçmegi mümkin, ýöne rotor öňki aýlanýan ugrunyň tersine aýlanyp başlaýar.

3. *Dinamiki tormozlanýş iş düzgünü.* Bu iş düzgüninde asinhron hereketlendirijini tormozlandyrmak üçin statoryň sarymyny hemişelik toguň çeşmesine birikdirilip ýerine ýetirilýär (2.43-nji çyzgy). Hereketlendiriji iş düzgüninden dinamiki tormozlanýş iş düzgünine geçmek üçin,  $K_1$  - kontaktoryň kömegi bilen asinhron hereketlendiriji üç fazaly üýtgeýän toguň çeşmesinden öçürilip, şol pursatda hem  $K_2$  kontaktoryň kömegi bilen hereketlendirijiniň statoryndaky sarym hemişelik toguň çeşmesine birikdirilýär (2.43-nji çyzgy).



**2.43-nji çyzgy. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijilerde dinamiki tormozlanýş iş düzgünine geçilişiniň elektrik shemasy**



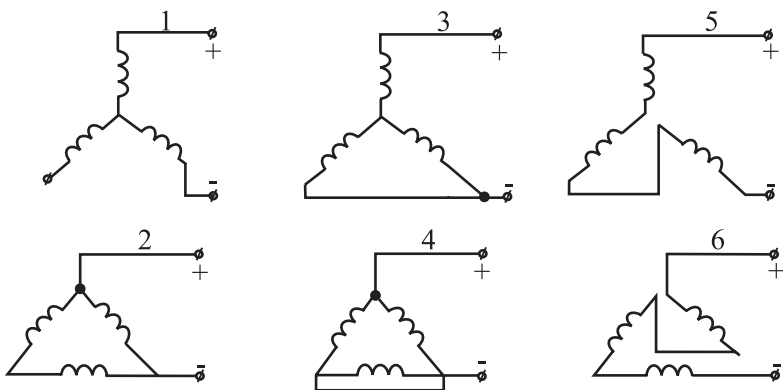
Dürli häsiýetli mehaniki häsiýetnamalary almak üçin tormozlandyrylýş iş düzgünlerinde togy çäklendirmek maksady bilen rotoryň zynjyrynda garşylygynyň ululygyny üýtgedip bolýan ýörite reostatlardan peýdalanýarlar.

Asinhron hereketlendirijiniň statoryndaky sarymlardan hemişelik toguň akýanlygy sebäpli, hereketlendirijide hereketsiz magnit meýdany döreýär. Bu meýdanyň esasy tolkunly rotoryň aýlanmagy netijesinde indusirlenýän EHG-leriň sinus funksiýasy görnüşinde paýlanmagyna sebäpkär bolýar.

Aýlanýan rotoryň sarymynda üýtgeýän tok döräp, ol hem öz geziginde üýtgeýän magnit meýdanyny döredýär. Şol üýtgeýän magnit meýdany statora görä hereketsiz ýagdaýa eýe bolýar. Bu iki üýtgeýän we hemişelik magnit meýdanlaryň özara täsirleri netijesinde hereketlendirijide tormozlanyş iş düzgüni döreýär. Tormozlanyşy döredýän tormozlanmagyň momentiniň ululygy statordaky magnitleniş güýjüniň ululygyna, rotordaky garşylyklara hem-de hereketlendirijiniň aýlanýan tizliginiň ululygyna bagly bolýar.

Şeýle iş düzgüniň mehaniki häsiýetnamalary 2.41-nji çyzgynyň ikinji çäryeginiň aşaky böleginde görkezildi. Görkezilen mehaniki häsiýetnamalaryň hemmesi koordinatyň başlanýan ýerinden (O merkezden) geçýär, sebäbi  $\omega$  tizlik nola deň bolanda hereketlendirijiniň tormozlandyryş momenti-de nola deň bolýar. Hereketlendirijiniň  $M_K$  momenti statora berlen naprýaženiýäniň kwadratyna bagly bolup, naprýaženiýe ýokarlandygyça  $M_K$  moment hem ulalýar. Munuň sebäbini naprýaženiýe artanda statordaky ferromagnit böleginiň magnitleniş güýjüniň egrelýändigini (doýandygy) bilen düşündirilýär. Hereketlendirijiniň typtasynyň üýtgäp durmagy garşylygyň üýtgeýänligi bilen düşündirilýär. Rotora berilýän (düşýän) garşylyk ulalsa,  $s$  typtama hem ulalýar, eger-de garşylyk peselse, onda  $s$  typtama-da peselýär, emma momentiň maksimal bahasy üýtgemeyär. 2.41-nji çyzgyda dinamik tormozlanyşyň mehaniki häsiýetnamasy rotora üç sany dürli garşylyklaryň san bahalary üçin görkezildi.

Asinhron hereketlendirijiniň statoryndaky sarymlary hemişelik toguň çeşmesine dürli hili birikdirmeginiň elektrik shemalary 2.44-nji çyzgyda görkezildi.



**2.44-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň statoryndaky sarymlaryna hemişelik toguň çeşmesini birikdirip, hereketlendirijini dinamik togtatmak üçin birnäçe elektrik shemalarynyň görnüşleri**

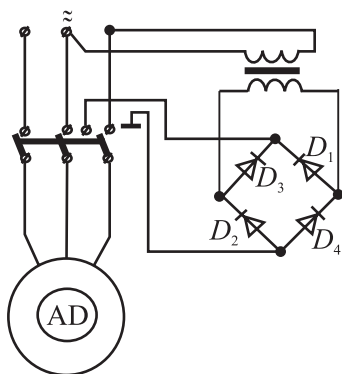
Çyzgydan görnüşi ýaly, 5 we 6-njy shemalarda statordaky faza sarymlarynyň üçüsine-de düşýän ýük deň ölçegde düşse-de, shema birleşdirmek usuly beýleki shemalar bilen deňşdireniňde çylşyrymlydyr. Şonuň üçin-de, ýönekeýligi sebäpli 1 we 2-nji shemalar has köp ulanylýar.

Kuwwaty beýle bir uly bolmadyk, rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijileri tormozlandyrmak üçin statoryň sarymyna üýtgeýän togy hemişelik toguna öwürüji ýarymgeçiriji diodlardan ýygynalan göneldijilerden hem peýdalanylýar (2.45-nji çyzga seret).

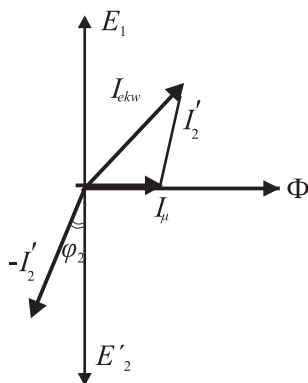
Asinhron hereketlendirijiniň dinamiki tormozlandyrylyşyny fiziki nukdaýnazardan seljermek üçin hemişelik togunyň ululygyna deňgüýçli (ekwiwalent) üç fazaly üýtgeýän  $I_{ekw}$  togy kabul edip hasaplamak maslahat berilýär. Şeýle ekwiwalent çalşyrmak hemişelik toguň statorda döredýän  $F = WI$  magnitleniş güýjüne esaslanyp amala aşyrylýar. Üýtgeýän toguň döredýän magnitleniş güýjüniň amplitudasynyň tapylyşy

$$F = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot I_{ekw} \cdot W_1.$$

Bu ýerde  $W$  – statordaky fazalaryň yzygider birikdirilen sarymlarynyň sarym sany.



**2.45-nji çyzgy. Asinhron hereketleniji dinamiki togtadylanda, statoryň sarymlarynyň ýarymgeçiriji diodlaryň üsti bilen iýmitlendirilişiniň elektrik shemasy**



**2.46-njy çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň togtadyş iş düzgüninde toklaryň wektor diagrammasy**

Magnitleniş güýç ( $F$ ) hemişelik toguň çeşmesi bilen döredilip, onuň ululygy hemişelik toguň ululygyna, statordaky sarymlaryň sanyna hem-de faza sanyna we shema birleşmesine baglydyr. Meselem, 2.44-nji çyzgyda diňe iki fazadan hemişelik tok akanda, magnitleniş  $F$  güýjüň tapylyşy

$$F_{\text{üýtg.}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{üýtg.}} \cdot W_1.$$

Bu iki güýji özara deňläp  $F_{\text{üýtg.}} = F$ , üýtgeýän toguň bahasyna esaslanyp, ekwiwalent  $I_{ekw}$  – toguň güýji kesgitlenýär.

$$I_{ekw} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot I_{\text{üýtg.}}$$

Asinhron hereketlendirijiniň tormoz iş düzgüninde ekwiwalent togy kesgitlenenden soň, toklaryň wektor diagrammasyny grup bolýar (2.46-njy çyzga seret).

Diagrammada:  $I$  – magnitlenişniň togy;

$I_2'$  – statora getirilen ikilenji tok;

$I_{ekw}$  – ilkinji (statora berlen) tok;

$E_2'$ ,  $E_1$  – deňşlilikde getirilen ikilenji hem-de statorde induksirlenýän ilkinji EHG-ler. Diagrammadan görnüşi ýaly

$$P_{ekw} = (I_2')^2 + 2 I_\mu \cdot I_2' \sin \varphi_2 + I_\mu^2. \quad (2.43)$$

Şeýlelikde, ikilenji toguň tapylyşy

$$I_2' = \frac{E_{20}' \cdot S}{\sqrt{(R_2')^2 + (X_2' \cdot S)^2}} = \frac{I_\mu \cdot X_\mu \cdot S}{\sqrt{(R_2')^2 + (X_2' \cdot S)^2}}. \quad (2.44)$$

Bu ýerde:  $E_{20}'$  – hereketlendirijiniň sinhron tizlikde işleýän wagty getirilen ikilenji EHG;  $I_\mu$  – magnitleniş togy. Ikilenji  $E_{20}'$  – EHG-ni hereketlendirijiniň magnitlenişiniň egri çyzygyndan tapylýar;

$$X_\mu = \frac{E_{20}'}{I_\mu} - \text{magnitlenişin reaktiw garşylygy};$$

$$S = \frac{\omega}{\omega_0} - \text{dinamiki tormozlanyşyň typma koeffisiýenti}.$$

(2.43) bilen (2.44) deňlemeleri özara bilelikde işleseň,  $I_2'$  toguň kesgitlenişini

$$I_2^1 = \frac{I_{ekw} \cdot X_\mu}{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{S}\right) + (X_\mu + X_2')^2}} \quad (2.45)$$

görnüşde aňladyp bolýar.

Hereketlendirijide döreyän elektromagnit momentiň tapylyşy

$$M = \frac{3 \cdot I_2'^2 \frac{R_2'}{S}}{\omega_0} = \frac{3 \cdot I_{ekw}^2 \cdot X_\mu^2 \frac{R_2'}{S}}{\omega_0 \left[ \left( \frac{R_2'}{S} \right) + (X_\mu + X_2')^2 \right]}. \quad (2.46)$$

Bu ýerde  $\omega_0$  – hereketlendirijiniň sinhron burç tizligi.

(2.46) deňleme seljerilende  $M$  momentiň maksimum bahasynyň-da bardygyny şu aşakdaky görnüşde aňladyp bolýar. Bu ýagdaýy

$$M_{maks} = \frac{3 \cdot I_{ekw}^2 \cdot X_\mu^2}{2\omega_0 (X_\mu + X_2')}; \quad (2.47)$$

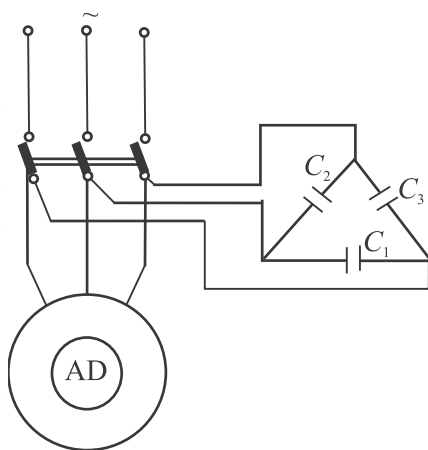
$$S_{maks} = \frac{R'_2}{X_\mu + X'_2} \quad (2.48)$$

deň bolanda hasaplap bolýar.

Birnäçe algebraiki özgertmelerden soň (2.46) deňleme şu aşakdaky gutarnykly görnüşe eýe bolýar:

$$M = \frac{2M_{maks}}{\frac{S}{S_{maks}} + \frac{S_{maks}}{S}}. \quad (2.49)$$

Tormozlandyrylyşy amala aşyrmak üçin elektrik shemanyň ýene bir görnüşinden peýdalanylýar. Şeýle elektrik shema 2.47-nji çyzgyda görkezildi. Shemadan görnüşi ýaly, hereketlendirijiniň statorynyň zynjyryna üçburçluk görnüşinde ýygnaýan kondensator batareýleri çatylýar. Şeýle shemada asinhron hereketlendiriji generator iş düzgüninde işleýär. Sebäbi, hereketlendirijiniň  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  kondensatoryň batareýlerinden alýan togy hereketlendirijiniň ferromagnit bölümlelerinde magnitleniş toguna öwrülip EHG döremegine getirýär. Netijede, statordaky sarymlarda EHG oýanyp sete elektrik energiýasyny berip başlaýar. Bu energiýa rotorda ýylylyk energiýasyna öwrülip, rotordan bölünip çykyar.



**2.47-nji çyzgy.**  
**Dinamiki togtadylyş wagtynda asinhron hereketlendirijiniň sarymlarynda öz-özünden EHG-leriň döremegine sebäp bolýan kondensatorly elektrik shema**

Tormozlandyrmak üçin hödürülenýän bu shema önümçilikde, kondensator batareýleriniň gymmat düşýändigine sebäpli ulanylmaýar. Şonuň üçin-de önümçilikde asinhron hereketlendirijileri tormozlandyrmak üçin 2.43 we 2.45-nji çyzgylarda görkezilen shemalar

giňden ulanylýar. Elbetde, şol shemalarda rewerts iş düzgüni göz önünde tutulan ýagdaýynda şeýle tormozlanyş shemalar öz ornuny tapýar.

**2.9-njy mesele.** Berlen MT-63-10 görnüşli hereketlendirijiniň pasportynda  $P_{nom} = 60$  kWt,  $n_{nom} = 577$  aýl/min,  $U = 380$  W, saýymlarynyň çatylyşy Y-Y. Bulardan başga-da rototyň zynjyry üçin  $E_{2k} = 253$  W,  $I_{2nom} = 160$  A hem-de zawod tarapyndan hasap işleri üçin berlen parametrler:  $R_1 = 0,0549$  Om;  $R_2 = 0,0332$  Om; we  $X_1 = 0,16$  Om;  $X_2 = 0,0704$  Om ululyklardan peýdalanmaly. Hereketlendirijiniň typmasy  $s = 0,2$  hem-de  $s = 0,4$  deň bolanda goşmaça reostat garşylyklaryny hasaplamaly we degişli mehaniki häsiýetnamalarynyň diagrammalaryny gurmaly. Bu häsiýetnamalary adaty hereketlendiriji hem-de tormozlandyryş (tersine aýlamak) iş düzgünleri üçin gurmaly.

**Çözülişi:** momentiň dürli bahalarynda kesgitlenilýän typmalaryň bahalaryna rotor zynjyrynyň garşylygy mysaly hökmünde (meňzeşlikde) seredilýär, şonuň üçin-de goşmaça çatyljak reostatyň  $R_r$  garşylygynyň berlen  $M$  momentiň hem-de berlen  $S$  typmanyň bahalaryna esaslanyp kesgitlenilýär.

$$R_r = R_2 \left( \frac{S_r}{S_e} - 1 \right).$$

Typma koeffisiýentiniň berlen nominal bahasynda hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasyndan elektromagnit momentiniň san bahasyny tapýarys. (2.48-nji çyzgy).

Nominal typmanyň tapylyşy

$$S = S_{nom} = \frac{n_0 - n_{nom}}{n_0} = \frac{600 - 577}{600} = 0,038.$$

Çyzgyda görkezilen grafikden  $M_{dw} = 1200$  N·m.

Momentiň  $M = 1200$  N·m bahasynda typmanyň  $s_1 = 0,2$  bolmagy üçin, goşmaça reostatyň garşylygy.

$$R_{r1} = 0,0332 \left( \frac{0,2}{0,0383} - 1 \right) = 0,14 \text{ Om}.$$

Edil şeýle-de  $s_2 = 0,4$  bolmagy üçin

$$R_{r2} = 0,0332 \left( \frac{0,4}{0,0383} - 1 \right) = 0,3132 [\text{Om}].$$

Reostat häsiýetnamany gurmak üçin şu aşakdaky deňlemeden peýdalanmak has amatly

$$S_{r1} = S_{e1} \frac{R_2 + R_r}{R_2}.$$

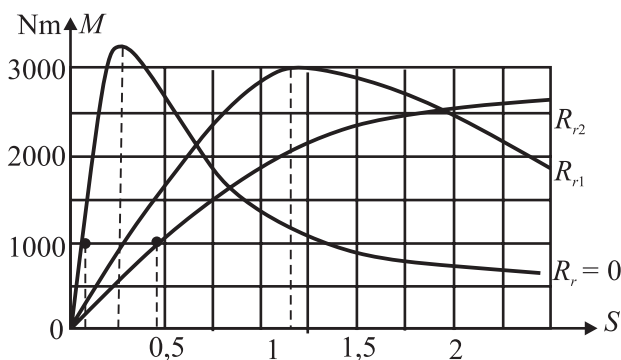
Bu ýerde  $s_{e1} - M_1$  bahada tebigy häsiýetnamadan kesgitlenilýän typma;

$s_{r1}$  – şol  $M_1$  bahada reostat häsiýetnamadan kesgitlenilýän typma.

Hasaplamalaryň netijelerini 2.5-nji tablisa geçirip, reostat häsiýetnamalarynyň grafikleri 2.48-nji çyzygyda görkezildi.

2.5-nji tablisa

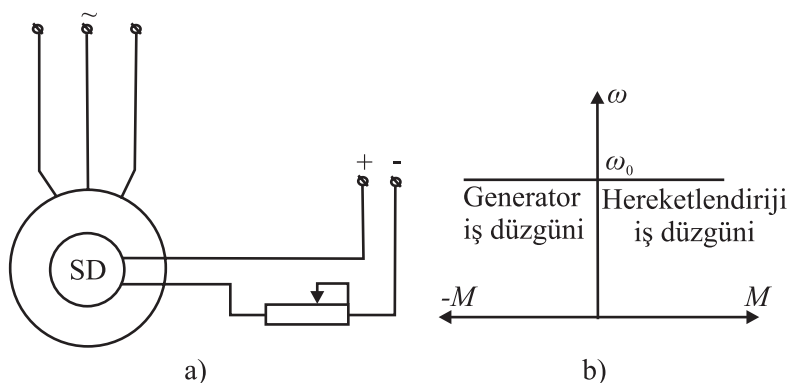
	$M_{KNm}$	0	1,2	2,53	3,13	3,18	3,16	3,15	2,74
$R_2 + R_{r1} = 0,1732 \text{ Om}$	$S_e$	0	0,038	0,1	0,18	0,22	0,25	0,3	0,4
$R_2 + R_{r2} = 0,3464 \text{ Om}$	$S_{r1}$	0	0,2	0,521	0,938	1,148	1,304	1,565	2,087
	$S_{r2}$	0	0,4	1,042	1,876	2,296	2,608	3,13	4,174



2.48-nji çyzygy. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijiniň tebigy hem-de reostatly mehaniki häsiýetnamalary

## 2.11. Sinhron hereketlendirijiniň mehaniki hem-de burç häsiýetnamalary

Sinhron hereketlendirijileriň rotory üýtgemeyän, hemişelik tizlik bilen aýlanýanlygy üçin olar tizligi dolandyrylmaýan, hemişe belli bir tizlik bilen işleýän elektropriwodlarda ulanylýar. Şeýle elektropriwodlara kompressorlar, sowadyjy maşynlar, sorujy ýa-da üfleýji nasoslar, daşlary owradyjy we ş.m. maşynlary mysal getirse bolar. Sinhron hereketlendirijileriň in bir gowy tarapy onuň ýokary kuwwat koeffisiýentinde işläp bilýänligidir, şonuň üçin-de sinhron hereketlendirijileri amalyýetde barha köp ulanylýar.



2.49-njy çyzgy. Sinhron hereketlendirijiniň çeşmelere birleşdirilişi (a) hem-de mehaniki häsiýetnama (b)

Sinhron hereketlendirijiniň walyndaky momenti ýüküň üýtgemegi bilen maksimal  $M_{maks}$  momentden uly bolmasa, sinhron hereketlendiriji durnukly iş düzgüninde işleýär diýilýär. Şeýle ( $M < M_{maks}$ ) şertli iş düzgünlerinde hereketlendirijiniň aýlaw tizligi-de  $\omega_0$  sinhron tiziginde saklanýar (2.49-njy “a” çyzga seret). Şol sinhron tizligiň tapylyşy

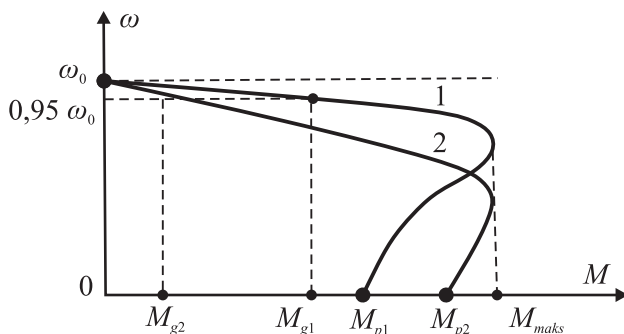
$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}.$$

Şonuň üçin-de, sinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy göni çyzyk bolup, abssissa okuna parallel bolýar. Eger-de



hereketlendirijiniň momenti maksimal  $M_{maks}$  momentden uly bolsa, onda hereketlendirijiniň tizliginiň sinhronlygy  $\omega = f(M)$  (2.49-njy “b” çyzga seret) bozulyp, garaşylmadyk ýagdaýlara alyp baryar.

Häzirki zaman sinhron hereketlendirijileriň rotory özünüň işçi sarymyndan başga-da goýberiliş üçin ýöriteleşdirilen gysga utgaşdyrylan (GU) sarymy bilen üpjün edilýär. Bu GU sarymyň kömegi bilen sinhron maşynlar işe ilki goýberilende, edil asinhron hereketlendirijileriň işe goýberilişi ýaly, işe goýberilýändigini üçin mehaniki häsiýetnamalary-da asinhron hereketlendirijiniňkä meňzeş bolýar (2.50-nji çyzga seret).

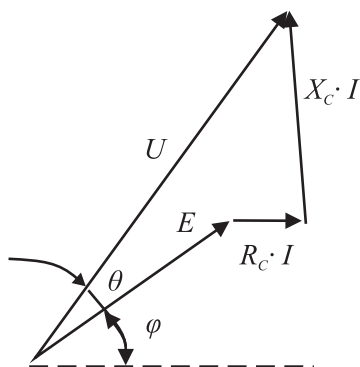


**2.50-nji çyzgy. Sinhron hereketlendirijiniň ilki başda işe goýberilendäki häsiýetnamasy**

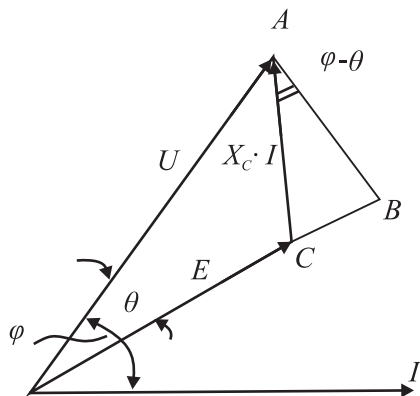
Sinhron hereketlendirijilere mahsus “goýberiliş” häsiýetnamalaryny düşündirmek üçin 2.50-nji çyzgyda iki sany “goýberiliş” häsiýetnamasy görkezildi. Şol häsiýetnamalaryň 1-njisiniň kiçi “goýberiliş” momenti bolup, ep-esli girelge  $M_{g1}$  momenti bilen tapawutlanýar, emma 2-nji häsiýetnamada tersine, “goýberiliş” momenti örän uly bolup, girelge  $M_{g2}$  momenti ujypsyzlygy bilen tapawutlanýar. Bu ýerde girelge moment diýilýäni hereketlendirijiniň rotoryndaky sarymy hemişelik çeşmeden iýmitlendirilip başlanda, özüne mahsus sinhron tizligine ( $M_{g1}$  ýa-da  $M_{g2}$  momente)  $0,95 \cdot \omega_0$  ululykdan başlaýar diýiligidir. Şu tizlige ýetende, rotoryň sarymy hemişelik toga birikdirilende, sinhron iş düzgünü başlanýar (hereketlendiriji sinhronizmleşýär).

Eger-de “goýberiliş” wagty aktiw garşylyk bolmalysyndan uly bolsa, onda  $M_{p2}$  ulalýar, emma  $M_{g2}$  kiçelýär (2.50-nji çyzga seret).

Şonuň üçin-de, çyzgyda görkezilen iki sany häsiýetnamalardan haýsy-da bolsa birini saýlap seçmeli bolsa, onda önümçilik üçin niýetlenilen mehanizmiň momentiniň garşylygyna görä seljerilip, netije çykarylýar.



**2.51-nji çyzgy. Sinhron hereketlendirijiniň ýönekeýleşdirilen wektor diagrammasy**



**2.52-nji çyzgy. Sinhron hereketlendirijiniň  $R_c = 0$  pursatyndaky wektor diagrammasy**

Eger-de hereketlendiriji durnukly işläp duran pursatynda walyna täsir edýän güýç (urgy görnüşli) böküp durýan (pulsirlenýän) görnüşinde üýtgeýän bolsa, onda sinhron hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi ortaça tizlik bilen titräp aýlanýar. Şeýle titremegiň (yrgyldynyň) sebäbini sinhron maşynyň EHG-si bilen naprýaženiýesiniň aralarynda döreýän  $\theta$  burç bilen düşündirilýär. Meselem, porşenli kompressorlarda sinhron hereketlendirijiniň tizliginiň şeýle yrgyldyly (titräp) işlemegi önümçilikde giňden orun tapýar. Şonuň üçin-de hereketlendirijileriň durnukly iş ýagdaýyny üpjün etmek maksady bilen M momentiniň  $\theta$  burçdan baglanyşygyny (EHG bilen naprýaženiýäniň aralarynda döreýän  $\theta$  burçy) grafik görnüşinde gurup öwrenilýär.

Sinhron maşynyň momentiniň  $\theta$  burçdan baglanyşygyna hereketlendirijiniň burç häsiýetnamasy diýilýär.

Burç häsiýetnamasyny kesgitleýän degişli deňlemesini tapmak üçin 2.51-nji çyzgyda görkezilen ýönekeýleşdirilen wektor

diagrammasyny seljereliň. Eger-de statoryň aktiw garşylygyndaky aktiw ýitgileri hasaba alynmasa,  $R_c = 0$  (2.52-nji çyzga seret), onda sinhron hereketlendirijiä elektrik çëshmesinden berilýän kuwwatyna hereketlendirijide döreýän elektromagnit kuwwatyna deň diýip bol- lar, onda

$$P = 3 I \cdot U \cdot \cos \varphi, \text{ Wt.} \quad (2.50)$$

Bu ýerde  $I$  hem-de  $U$  degişlilikde statoryň togy we naprýaženiýesi.

2.52-nji çyzgyda görkezilen wektor diagrammadan şu aşakdaky deňligi ýazyp bolýar:

$$U \cdot \cos \varphi = E \cos (\varphi - \theta).$$

Çyzgyda goşmaça görkezilen  $ABC$  üçburçlukdan görnüşi ýaly

$$\cos (\varphi - \theta) = \frac{AB}{AC} = \frac{U \cdot \sin \theta}{X_c \cdot I}.$$

Şeýlelikde,

$$U \cdot \cos (\varphi - \theta) = EU \frac{\sin \theta}{X_c \cdot I}.$$

Bu alnan netijäni (2.50) deňlikde ulansak, onda  $\varphi$  burçy  $\theta$  burç bilen çalşyp, hereketlendirijiniň elektromagnit kuwwaty üçin deňle- mesini ýazyp bileris:

$$P = 3 E \cdot I_k \cdot \sin \theta, \text{ Wt.} \quad (2.51)$$

Bu ýerde  $I_k$ - gysga utgaşan tok, tapylyşy

$$I_k = \frac{U}{X_c}.$$

Bu ýerden elektromagnit momentniň deňlemesini tapyp bileris:

$$M = \frac{P}{\omega_0} = \frac{3}{\omega_0} E \cdot I_k \cdot \sin \theta. \quad (2.52)$$

Polýusy açyk (aýdyň) hereketlendirijilerde ýene-de goşmaça reaktiw moment döredýär. Emma bu reaktiw momentiň ujypsyzdygy sebäpli, amaly hasaplamalarda bu reaktiw momenti hasaba alman, (2.52) deňleme boýunça alnan netijeleri bilen kanagatlanylýar.

Haçan-da  $\theta = 90^\circ$  bolanda, moment özüniň maksimal bahasyna ýetýär. Bu maksimal momentiň kesgitlenilişi

$$M_{maks} = \frac{3}{\omega_0} E \cdot I_k. \quad (2.53)$$

Şonuň üçin-de burç häsiýetnamasynyň gözlenilýän deňlemesi şu aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$M = M_{maks} \sin \theta. \quad (2.54)$$

Sinhron hereketlendirijiniň ýüküniň artdygyça  $\theta$  burç hem ulalýar: (2.54) deňlemeden görnüşi ýaly, ilki başda  $\theta$  burçuň ösmegi bilen  $M$  moment hem çalt ösýär, meselem,  $\theta = 30^\circ$  bolanda  $M$  moment  $0,5 M_{maks}$  bahasyna ýetýär. Bu ösüş  $\theta = 90^\circ$  bolýança dowam edýär, emma  $\theta$  burç  $90^\circ$ -dan geçende hereketlendirijiniň durnukly iş düzgüni bozulyp,  $M$  moment peselmek bilen bolýar. Şonuň üçin-de  $\theta = 0 \div 90^\circ$  aralyk durnukly, emma  $\theta = 90 \div 180^\circ$  aralyk durnuksyz iş düzgüni hasaplanylýar.

Hereketlendirijiniň nominal  $M_{nom}$  momentine  $\theta = 30 \div 25^\circ$  aralyk hasaplanylýar. Şeýle pursatda  $M_k$  - momentiň  $M_{nom}$  momente bolan gatnaşygy (essesi)

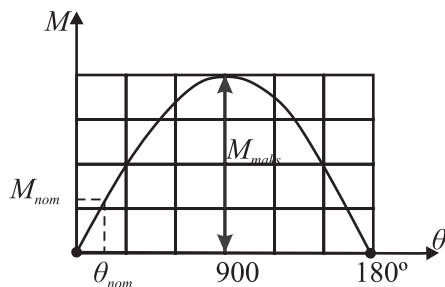
$$\lambda = \frac{M_{maks}}{M_{nom}} = 2 \div 2,5.$$

Emma, tötänlikde döreyän käbir ýagdaýlarda bu gatnaşyk  $3,5 \div 4$  essä çenli üýtgeýän sinhron maşynlary-da giňden ulanylýar.

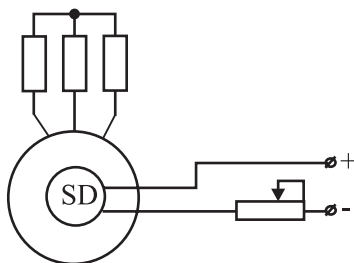
Hereketlendirijiniň walyna ýüklenýän ýüküň momenti minus baha eýe bolanda (2.49-njy “b” çyzgynyň çep tarapyna seret), sinhron hereketlendiriji generator iş düzgünine geçip, sete energiýa berip başlaýar. Şeýle iş düzgüninde sinhron  $\omega_0$  tizligiň momentden baglanyşygy 2.49-njy “b” çyzgyda görkezildi.

Şeýle generator tormozlanyşda sinhron tizliginiň haýallanmagyny alyp bolmaýanlygy üçin bu usul amalyýetde ulanylmaýar.

Amalyýetde ulanylýan tormozlanyşyň shemasy 2.54-nji çyzgyda görkezildi. Bu shemada sinhron hereketlendirijiniň statorynyň sarymlary setden öçürilip, ýyldyz görnüşde birleşdirilen garşylyklara utgaşdyrylýar. Şeýle tormozlandyrylyşda sinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy sinhron hereketlendirijiniň dinamiki tormozlanyşyndaky mehaniki häsiýetnamasyna meňzeşdir.



**2.53-nji çyzgy.**  
**Sinhron**  
**hereketlendirijiniň**  
**burç häsiýetnamasy**



**2.54-nji çyzgy. Sinhron**  
**hereketlendirijiniň dinamiki**  
**tormozlandyrylanda ulanylýan**  
**ýöriteleşdirilen elektrik shemasy**

Togtamanýň intensiwligi (çaltlygy ýa-da haýallygy) statoryň sarymlary setden öçürilende, onuň zynjyryna çatylan garşylyklaryň ululyklaryna hem-de rotoryndaky toguň döredýän magnit akymyna bagly bolýar.

Hereketlendirijiniň öz hususy oýandyryjysyndan iýmitlendirilende, tormozlanmagyň dowamlylygy garaşsyz hemişelik toguň çeşmesi bilen iýmitlendirilenden uzaga çekýär. Munuň sebäbi özündäki oýandyryjynyň tizligi peseldigiçe onuň EHG-si-de peselmek bilen bolýar. Şonuň üçin-de hereketlendirijiniň oýandyryjy sarymynyň togy bilen tormozlanyş momenti peselýär.

Sinhron hereketlendirijileriň fazalarynyň yzygiderligini *ABC*-den *ACB* çalşyryp, rotoryň aýlanyşyny tersine öwürmek usuly amalyýetde asla ulanylmaýar, sebäbi yzygiderlik çalşyrylanda hereketlendirijiniň waly uly mehaniki urgulara duçar bolýar. Bu bolsa dolandyryjy elementleriň shemalarynyň çylşyrymlaşmagyny,  $\omega = 0$  bolanda hereketlendirijiniň setden öçürilmegini talap edýär.

### III BAP

## ELEKTROPRIWODLARYŇ AÝLANÝAN TIZLIKLERINIŇ SAZLANDYRYLYŞY

### 3.1. Elektropriwodlaryň aýlanýan tizliklerini sazlamagyň esasy görkezijileri

Häzirki zaman zawodlarynda, fabriklerinde, kärhanalarynda, önümçiligiň dürli pudaklarynda ulanylýan mehanizmleriň ählisinde tizligiň dürli görnüşlerinden peýdalanýarlar. Önümçilikde, senagat kärhanalarynda iş prosesleriniň ýerine ýetiriliş tehnologiýalary elektropriwodyň tizliklerini sazlap durmak bilen amala aşyrylýar. Mysal üçin, metallary timarlamak, kesmek, ýonmak we başga-da ençeme işlerde ulanylýan stanoklar, metallurgiýada prokatlaýjy (öňe-yza, ýa-da eýläk-beýläk äkidiji) stanlar, göteriji kranlar, transport ulgamlarynda, ýa bolmasa senagatyň kagyz, neşirýat, kömür, dokma ýaly kärhanalarynda ulanylýan mehanizmleriň tizliklerini hemişe üýtgedip işletmeli bolýar.

Meselem, metal kesiji stanoklarda elektropriwodyň tizligi kesilýän (işlenilýän) materiallaryň jynsyna (agaç, demir, mis, alýuminiý we ş.m.) hem-de olaryň hiline (berkligine, portlygyna, ýumşaklygyna) bagly bolýar. Ýa-da prokat stanlarynda süýndürilýän metallaryň kese kesigine baglylykda (kesigi dörtburçluk, töwerek, ellips, trapesiýa, trawers, şweller we başga-da birnäçe şekilleri almaly bolanda), elektropriwodyň tizligini tiz-tizden üýtgedip durmaly bolýar. İşlenilýän çig mallar süýndürilende bir tizlik, olara şekil berlende, başga tizlik bilen üpjün etmeli bolýar. Mehanizmleri haýal işletseň, öndürilişi pese gaçsa, çalt işletseň, hili pese gaçýar, harçlanýan energiýa köpeliýär. Diýmek, her bir ýerine ýetirilýän işiň optimal (takyk) tizligi bolýar. Ulanylýan elektropriwodlar bolsa, şol zerur (wajyp) tizlikleriň ählisinde işlemäge mynasyp bolmalydyr. Howlugyp çalt işletseň, netijeleriň brak (işe ýaramsyz) bolmagyna getirýär. Liftlerde, göteriji we äkidiji mehanizmleriň elektropriwodlarynyň tizligi (meselem, ýük gelmeli ýerine golaýlaşdygyça) haýallap, örän pes tizliklerde işlemeli bolýar. Ýükleri örän emay bilen ýerinde goýmak, takyk saklamak

wajyp meseleleriň biri bolup durýar. Kotelnilerde elektropriwodyň tizligi ýangyjyň hiline, çyglylygyna, kamerada ýangyjyň ýandyrylyşyna hem-de kotelniniň öndürijilik kuwwatyna bagly bolýar.

Ýokarda getirilen mysallardan netije çykarsak, onda önümçiligiň, harytlaryň hilini gowulandyryjak bolsaň, onda elektropriwodyň tizligini sazlap durmak esasy meseleleriň biri bolup durýar.

Elektropriwodyň aýlanýan tizligini sazlamak diýlip tehnologik prosesleriň talabyna görä, hereketlendirijiniň tizligini mejbury halda sazlanýşyna düşünilýär. Ýüküň üýtgemegi bilen hereketlendirijiniň tizligi öz-özünden üýtgeýän bolsa, oňa priwodyň tizliginiň sazlanýşy diýmeli däl (ýa-da mejbury sazlanýşyk bilen ikisini gatşdyrmaly däl). Başgaçalap aýtsak, priwodyň tizligini sazlamak diýlip, göz önünde tutulan maksatnama laýyk daşyndan täsir edip dolandyrylýan tizlige aýdylýar. Şeýle sazlandyrylýan tizlikler adam arkaly ýörite awtomatlaşdyrylan mehanizmler bilen-de amala aşyrylýar.

Elektropriwodlaryň aýlanýan tizligini ýörite başgançakly şkifleriň, ýygnalan şesternýalar bilen ýa-da işlenilip, belli bir hyzmata getirilip sazlanýan peredaçalar (üstaşyr geçirijiler) arkaly-da amala aşyrylýar.

Tizligi mehaniki usul bilen sazlamak taryhda ilkinji başlangyçdyr, synanyşykdyr diýilse dogry bolar. Emma, häzirkä döwürde tizligi elektriki usul (shemalar) bilen sazlamak giň orun aldy. Şeýle dolandyrylyşlara hemişe tehnika hem-de ykdysadyýet tarapyndan baha kesilýär.

Elektropriwodlaryň aýlanýan tizligini sazlandyrmagyň esasy görkezijileri hökmünde şu aşakdaky altý sany esasy hasaplanylýan görkezijiler göz önünde tutulýar, olar:

- 1) sazlanmagyň aňry çägi ýa-da aralyklarda sazlanýşy;
- 2) emalygy;
- 3) ykdysady taýdan tygşytlylygy;
- 4) berlen tizlikde durnuklylygy (stabilligi);
- 5) tizligiň takyk ugry boýunça sazlanýşy (esasy tizlige görä peseltmek ýa-da ýokarlandyrmak);
- 6) dürli tizliklerde rugsat berlen ýükleriň ululyklaryna bagly sazlanýşy.

Bu görkezijileriň hersini aýratynlykda seljereliň.

1. *Sazlanmagyň aňry çägi ýa-da aralyklarda sazlanýşyny* maksimal  $\omega_{maks}$  tizligiň minimal  $\omega_{min}$  tizlige bolan gatnaşygyndan netije çykarýarlar. Bu netijä, köplenç, priwodyň işleýän döwründe gelinýär.

Sazlanmagyň çägi tizlikleriň gatnaşyklaryndan gelip çykýan koeffisiýent bilen kesgitlenilýär.

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}}.$$

Aralyk tizliklerinde işledilmeli bolanda, elektropriwodyň tizliginiň aşak iniş (perepad) tizligine bildirilýän esasy talaplary hasaba alynmalydyr. Munuň sebäbi, amalyýetde ýüküň momentiniň garaşylmadyk ululyklarda üýtgeýiş durýanlygy bilen düşündirilýär.

Köplenç,  $D$  koeffisiýent sanlar bilen aňladylýar (meselem, 2:1, 4:1, 10:1, 20:1, we ş.m.). häzirki zaman ulgamlarynda elektropriwodyň tizligini sazlap durmakda yzy bilen baglanyşykly gatnaşyklaryndan peýdalanylmagy aralyk tizliginiň gerimini has giň möçberde amala aşyrmaga mümkinçilikler döredýär. Zawodlarda, kärhanalarda, önümçiligiň dürli pudaklarynda ulanylýan dürli görnüşli maşynlaryň (mekanizmleriň) tizliklerine dürli çäklerde (predeller) sazlandyrylyşyna talaplar bildirilýär. Meselem, metal kesiji stanoklaryň elektropriwody üçin tizligi sazlamagyň çägi  $D = 4:1$ -den  $100:1$  we ondan-da ýokary gatnaşyklar ulanylýar. Kagyz taýýarlanylýan заводlarda ulanylýan mehanizmler üçin tizligiň aralyk sazlandyrylyşy  $3:1$  töweregi bolsa, ýokary hilli kagyz öndürýän maşynlarynyň elektropriwodlary üçin tizligiň üýtgeýiş gatnaşygy  $20:1$  töweregi ulanylýar. Birnäçe prokatlaýjy mehanizmleriň elektropriwodlary üçin  $D = 20:1$ -den  $25:1$  töweregi ulanylýar.

2. *Tizligi sazlamagy emay bilen (ýumşak) amala aşyrmak* esasy meseleleriň biri bolup durýar. Tizligi emay bilen (ýumşak) üýtgetmekde tizligiň giň gerimi (diapazon) aralygynda durnukly tizlikleriň sanyna baglydyr. Tizligi sazlap düzetmek (durnukly tizlige getirmek) üçin ýumşaklyk (emay) diýilýän koeffisiýentden peýdalanýarlar. Bu koeffisiýent hökmünde iki sany özara golaý (ýakyn) tizlikleriň ortaça bahalarynyň gatnaşyklaryna düşünillýär.



$$K_{\text{emaý}} = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}.$$

Bu ýerde  $\omega_i$  hem-de  $\omega_{i-1}$   $i$  basgançak bilen  $i_{i-1}$  basgançaklardaky sazlanylan tizlikleriň san bahalarydyr.

Emaýlyk (ýumşaklyk) näçe ýokary bolsa, şonça-da tizligiň böküp üýtgemegi kiçi bolýar. Şonuň üçin-de berlen aralykda tizlik näçe uly bolsa, şonça-da emaý bilen geçişlik ýumşak (çalt) amala aşýar.

Bir tizlikden beýleki bir tizlige (bir basgançakdan başga bir basgançaga) geçmeklik öndürilýän harytlaryň hiline täsir edýär.

Iş ýüzünde tizligiň geçiş sany az (meselem, iki basgançakly) bolanda rotory, gysga utgaşdyrylan iki tizligi bolan asinhron hereketlendirijilerden peýdalanýarlar. Eger-de basgançaklaryň sany ikiden köp bolsa, 4,5...10 we ondan-da köp gerek bolsa, onda hemişelik toguň hereketlendirijilerinden (elektropriwodlaryndan) peýdalanýarlar. Mehanizmleriň tizliklerini emaý bilen üýtgetmek üçin, hereketlendirijiniň ýakoryna berilýän naprýaženiýäni üýtgedip ýa-da hereketlendirijiniň ferromagnit böleklerinden akýan magnit akymyny üýtgetmek arkaly amala aşyrylýar. Şeýle köp sanly (basgançakly) tizligi üýtgetmeklik goşmaça birikdirilen reostatlaryň garşylyklaryny üýtgetmek arkaly amala aşyrylýar.

3. *Ykdysady taýdan tygşytyly sazlap tizligi düzlemek* näçe uly bolsa, şonça-da mehanizme (elektropriwoda) harçlanýan ýitgileriň mukdary az bolýar. Şeýlelikde, elektroenergiýanyň ýitgisi-de azalar.

Elektropriwodyň tizliginiň sazlanýan wagty ýitirilýän kuwwatlary ykdysady taýdan baha kesmek, ulanylyş wagty peýdalanylýan materiallaryň gytlygyna (gymmatlygyna) elektropriwodyň ynamdarlygyna üns berilýär.

Elektropriwodyň tizligi sazlanýan wagty kuwwatyň  $\Delta p$  ýitgisi hasaba alnyp, onuň p.t.k-sy (peýdaly täsir koeffisiýenti) anyklanylýar.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}.$$

Bu ýerde  $P_2$  – hereketlendirijiniň walyndaky kuwwaty.

Elektropriwodyň hereketlendiriji dürli-dürli tizliklerde deň aralyk wagtda işlände ortalaşdyrylan PTK-syny kesgitlemeli bolýar. Meselem,  $m$  basgançakly iş düzgünlerinde

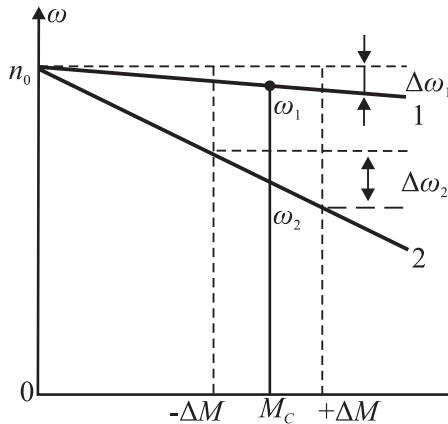
$$\eta_{priw.} = \frac{\Sigma_1^m P_2 \cdot t}{\Sigma_1^m (P_2 + \Delta P) t}.$$

Bu gatnaşykdan görnüşi ýaly, elektropriwodyň köp basgançakly iş düzgünindäki ortaça p.t.k-sy, bir basgançakly iş düzgünindäki PTK-syndan ep-esli kiçi bolýar.

Dürli basgançakly tizlikler sazlananda ýitirilýän kuwwatlar-da (energiýalar) deň däldirler. Bu ýitgiler baş zynjyrlaryň üsti bilen sazlananda köp, oýandyryjy sarymlaryň üsti bilen sazlananda bolsa az bolýar. Ýitgiler hakda şeýle netijelere gelinmegi, oýandyryjy sarymyň kabul edýän kuwwaty hereketlendirijiniň umumy kuwwatynyň  $1 \div 1,5\%$ -ne deňdigine nazar ýetirip seljermek maslahat berilýär.

4. *Berlen tizlikde işiň durnuklylygy* ýüküň momentiniň üýtgäp durýanlygy sebäpli, tizligiň bolmaly bahasyndan üýtgemegine düşünilýär. Tizligiň  $\Delta\omega$  görnüşde üýtgemeginiň ululygy mehaniki häsiýetnamanyň gatylygyna (ýa-da ýumşaklygyna) bagly bolýar.

Eger-de tizligiň üýtgeýän wagty mehaniki häsiýetnamanyň gatylygy (ýumşaklygy) üýtgese, onda tizligiň yrgyldysy-da ululygy boýunça üýtgeýär. 3.1-nji çyzgyda oýandyryjy sarymy parallel, hemişelik toguň hereketlendirijisi üçin iki sany mehaniki häsiýetnama görkezildi.



**3.1-nji çyzgy. Mehaniki häsiýetnamanyň gatylygyny (ýumşaklygyny) aňladýan  $\omega$  tizligiň  $M$  momentden baglanyşygy**

Eger-de garşylygyň  $M_c$  momenti hemişelik saklanaýanda-da reostatyň garşylygy girizilende tizlik  $\omega_1$  ýagdaýdan  $\omega_2$  ululyga geçýär. Emma, momenti  $\pm \Delta M$  ululykda üýtgetsek, onda tizlik hemişelik ululygyna saklanmaýar. Tizlikler  $\omega_1$ -iň ýa-da  $\omega_2$ -niň ortaça bahalaryna geçýär. Tizligiň  $\Delta \omega$  ululykda üýtgemegi ýüküň momentiniň uryldysynyň ululygyna bagly üýtgeýär. Mehaniki häsiýetnama näçe gaty bolsa, şonça-da  $\Delta \omega$  kiçi bolýar. Şular ýaly gaty häsiýetnamaly hereketlendirijileriň tizligini sazlamak hem çäkli bolýar.

5. *Berlen ugry boýunça hereketlendirijiniň tizligini sazlamak.* Priwodyň tizligini azaltmak ýa-da köpeltmek sazlanýşyň saýlanyp alnan usulyna baglydyr.

Esasy tizlik diýlip hereketlendirijiniň nominal naprýaženiýesi bilen nominal magnit akymyna gabat gelendäki tizlige aýdylýar. Bu tizligi haçan-da daşyndan hiç hili garşylyk ýok wagty alyp bolýar, ýagny  $\omega_{esasy}$  tizlik tebigy häsiýetnamadan kesgitlenilýär.

Elektrik priwodlarynda, meselem, hemişelik toguň hereketlendirijiniň rotorynda ýa-da asinhron hereketlendirijiniň rotorynyň fazasynda tizlik garşylyklar bilen sazlandyrylanda reostatyň garşylygyny köpeltidigiňçe tizlik peselýär. Diýmek, hereketlendirijiniň tizligini esasy tizlikden diňe aşaklygyna reostatlar arkaly peseldip bolýar.

Pes tizlikden ýokaryk, ýagny tersine hadysa normal iş şertlerinde magnit akymyny azaltmak bilen tizlik ulalýar. Diýmek, tizlik esasy tizlikden ýokaryk ösmek bilen bolýar.

6. *Rugsat berlen ýükde hereketlendirijiniň tizligini sazlamak* sazlanýşyň saýlanyp alnan usulyna bagly bolýar.

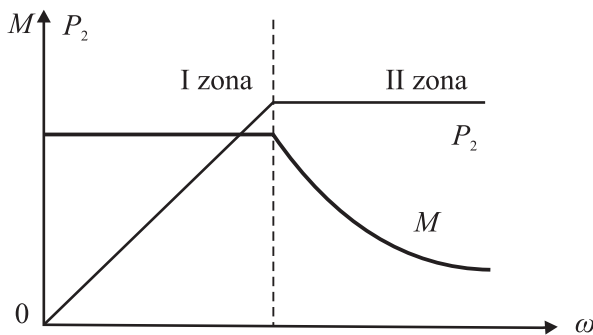
Mehanizmler dürli-dürli bolýandygy üçin, olaryň momentleriniň tizlikden baglanyşyklary-da dürli-dürli bolýarlar. Meselem, birnäçe mehanizmler hemişelik momentde tizligiň üýtgemegini talap edýär. Bulara kranlar, lebýodkalar, birnäçe prokat stanlar mysal bolup bilerler. Başga bir tarapdan, birnäçe mehanizmler elektrohereketlendirijiniň hemişelik kuwwatynda özleriniň tizlikleriniň üýtgedilmegini talap edýär. Bulara tokar stanoklary mysal bolup biler. Tokar stanoklarynda islendik tizlikde nusgalar kesilende, hereketlendiriji hemişelik ululygyny saklaýar. Kuwwaty hemişelik saklamak üçin kesmek tizligi emañ bilen üýtgedilýär.

Eger-de elektropriwod öz kuwwatyndan az ýüklense, onda p.t.k-sy peselýär, eger-de priwod üýtgeýän toguň hereketlendirijisinde işlese, onda kuwwat koeffisiýenti ( $\cos\varphi$ ) hem peselýär. Şonuň üçin-de, hereketlendirijiniň islendik görnüşinde dürli tizlikler bilen işlände nominal ýüki bilen üpjün edilmelidir.

Eger-de hereketlendiriji iş prosesi wagtynda gyzsa, onda oňa ýüklänýän ýüki-de çäklendirmeli bolýar. Hereketlendirijiniň gymmagy sarymlardan akýan toguň köpelmegi netijesinde ýitirilýän energiýanyň köpelmegine getirýär, bu bolsa setden gereginden köp energiýa kabul edilýär diýiligidir.

Şonuň üçin-de priwod işledilýän wagty, onuň hereketlendirijisini hemişe nominal ýük bilen üpjün etmeli diýlen netijä gelinýär. Nominal ýükde, nominal naprýaženiýede nominal tok akýanlygyny görmek bolýar.

Eger-de işiň tutuş dowamynda hereketlendirijiniň togy nominal bahasynda saklansa, onda hereketlendiriji ähli tizliklerde nominal ýükli işledildi diýlip hasap edilýär. Hereketlendiriji uly ýa-da kiçi tizliklerde işleýändigine garamazdan, ol sowadylyş usullary bilen hemişe üpjün edilmelidir.



**3.2-nji çyzy. Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň iki zolakly häsiýetnamalary**

Hereketlendirijiniň tizliginiň sazlandyrylyşyny görkezýän häsiýetnamadan hereketlendirijiniň nominal togy anyklanylýar.

Mysal hökmünde oýandyryjy sarymy parallel, hemişelik toguň hereketlendirijisine seredeliň. 3.2-nji çyzygydan görnüşi ýaly, şeýle hereketlendirijileriň tizligini sazlamaýyň usulyny iki zona bölýärler.

Birinji zonada nominal tokda, garşylygyň üýtgedilmegi bilen magnit meýdanynyň akymyny hemişelik saklap, momentini hemişelik saklanmagy üpjün edilýär.

$$M = k \cdot \Phi_{nom} \cdot I_{nom} = \text{const.}$$

Birinji zonada kuwwat göni çyzygyň kanuny boýunça üýtgeýär, sebäbi  $P_2$  kuwwat  $\omega$  tizlikden göni baglanyşykda üýtgeýär.

$$P_2 = \omega \cdot M \cdot 10^{-3} \text{ kWt.}$$

Ikinji zonada  $P_2$  kuwwat hemişelik ululykda saklanyp, hereketlendirijiniň magnit akymy tizlige görä üýtgedilýär.

Şeýle halatlarda, toguň nominal bahasynda tizlik üýtgedilende magnit akymynyň giperbolanyň kanuny boýunça üýtgeýändigini (2.4) deňleme bilen düşündirilýär. Eger-de bu deňlemäni magnit akymyna görä işleseň, onda magnit akymynyň  $\omega$  tizlige görä deňlemesini alarys

$$\Phi = \frac{U_{nom.} - R \cdot I_{nom}}{k\omega} = \frac{A'}{\omega}.$$

Şeýlelikde, momentini tizlikden baglanyşygynyň sazlanýlyşynyň ikinji zolakda ýerleşýändigini görse bolýar.

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_{nom} = \frac{A'}{\omega}.$$

Çyzgyda ikinji zonada  $P_2$  kuwwatyň hemişelik ululykda saklanýandygy-da görkezildi, sebäbi

$$P_2 = M \cdot \omega \cdot 10^{-3} = \frac{A'}{\omega} \cdot \omega \cdot 10^{-3} = \text{const.}$$

Beýleki görnüşli hereketlendirijilerde-de rugsat berilýän ýükde tizlikleri sazlamaly bolanda şeýle meňzeş usulda amala aşyrylýar.

Hereketlendirijiniň öz içinde gurnalan wentilýatorly elektropriwodlarda tizligi peseldilende, akýan tok nominal tokdan kiçi bolmalydyr. Diýmek, onuň momenti-de tizligiň peselmegi bilen kiçelmelidir.

Wentilýatorly priwodlarda ýüküň momenti pes tizliklerde ujypsyz bolmalydyr. Emma şeýle hereketlendirijileriň tizligi ýokarlandygyça, onuň momenti-de ösmelidir. Şonuň üçin-de wentilýatorlaryň kuwwatlaryny ýüküne görä uly tizliklerde işleýän hereketlendirijilerden peýdalanýarlar.

### 3.2. Parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijilerinde aýlanýan tizlikleriň sazlanysy

Hemişelik toguň hereketlendirijisiniň oýandyryjy sarymy parallel birikdirilende, tizligiň häsiýetnamasy şu aşakdaky deňleme bilen aňladylýar:

$$\omega = \frac{U - RI}{k \cdot \Phi}.$$

Bu deňlemeden görnüşi ýaly, hereketlendirijiniň aýlanýan tizligini üç sany, biri-birinden düýpgöter tapawutlanýan usullar bilen üýtgedip sazlap bolýar:

- a) ýakoryň zynjyrynda  $R$  garşylygy üýtgedip;
- b) hereketlendirijiniň oýandyryjy sarymynda togy üýtgedip;
- c) hereketlendirijä berilýän naprýaženiýäni üýtgedip.

Bu usullaryň hersini aýratynlykda özleşdireliň.

a) *Ýakoryň zynjyrynda garşylygy üýtgedip, hereketlendirijiniň aýlanýan tizligini sazlamak* beýle bir kynçylyk döretmeýär. Ikinji bapda reostatlaryň kömegi bilen birnäçe mehaniki häsiýetnamalaryň gurluşlary özleşdirildi. Şol özleşdirilip seljerilen häsiýetnamalaryň hasaplanyp gurluşyna meňzeş, hereketlendirijiniň ýakorynda-da garşylygy üýtgedip reostatly häsiýetnamalary gurulýar. Goýberiliş reostatlaryndan ýakora birleşdirilen sazlaýjy garşylyk özüniň uzak möhletli işläp bilýänligi bilen tapawutlanýar. Sebäbi, nominal iş düzgüninde, nominal tokda sazlaýjy garşylyk bilen tizlikde uzak wagtlap işleýändigini üçin hasaplanylýp, kuwwat boýunça saýlanyp geçilýär.

Şular ýaly usul bilen tizlik sazlananda hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasynyň gatylygy (ýumşaklygy) hem üýtgeýär. Ýakor zynjyrynyň garşylygyny köpeltdigiňçe, şonça-da häsiýetnama ýumşaýar. Hereketlendirijiniň doly (nominal) togunyň bahasyna hem-de nominal tizliginiň bahasyna momenti hemişelik saklanylanda ýetilýär.

Tizligi sazlamagyň diapazony (gerimi) hemişelik bolman, hereketlendirijiniň ýükünden baglydyr.

Hemişelik toguň hereketlendirijisiniň ýakoryna ýa-da asinhron hereketlendirijiniň rotorynyň fazasyna garşylyk birleşdirilip tizlikleri sazlananda hereketlendirijilerde ýitirilýän kuwwat tizligiň ýa-da typmanyň peselişine göni proporsional bolup üýtgeýär. Munuň şeýledigini şu aşakdaky energetiki gatnaşyklar bilen düşündirip bolýar.

Hemişelik toguň hereketlendirijilerinde ýakoryň setden kabul edýän kuwwatynyň tapylyşy

$$P_1 = UI = EI + P_R.$$

Bu deňlemäni başga hili özgerdip-de ýazyp bolýar.

$$k \cdot \Phi \cdot \omega_0 \cdot I = k\Phi \cdot \omega I + \Delta P.$$

Bu deňlemeden

$$\Delta P = k \cdot \Phi \cdot \omega_0 I \frac{\omega_0 - \omega}{\omega}$$

ýa-da

$$\Delta P = P_1 \cdot \delta. \quad (3.1)$$

Bu ýerde

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega}.$$

Şeýlelikde, tizlik garşylyklar bilen sazlananda, ýakoryň zynjyrynda ýakordaky ýitirilýän kuwwat kabul edilýän kuwwata hem-de otnositel birlikde aňladylýan tizligiň  $\omega_0$  bahasyndan  $\omega$  tizligiň islen-dik aralyk tapawudyna  $\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$  göni proporsional üýtgeýär. Meselem,

ýüküň momenti hemişelik saklananda (kabul edilýän kuwwat hemişelik ýagdaýda diýildigi) şol bir wagtyň özünde tizlikleriň tapawudy iki essä ýetip kiçelende, setden kabul edilýän kuwwatyň gylla ýa-rysy reostatda ýylylyk energiýa öwrülip, bölünip çykýar.

Emma wentilýator momentli hereketlendirijilerde energetiki görkezijiler birnäçe aýratynlyklary bilen tapawutlanýarlar. Meselem, priwodyň aýlanýan tizligi sazlananda hereketlendirijiniň wentilýator momenti beýleki mehanizmleriň momentlerinden has tapawutlanýar. Ozal belenilip geçilişi ýaly, wentilýatoryň hereketlendirijileriniň momenti aýlanýan tizligiň kwadratyna ( $M = c\omega^2$ ) bagly üýtgeýär. Şonuň üçin-de hereketlendirijiniň kabul edýän kuwwaty kilowatda aňladylyp, şu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenýär:

$$P_1 = M \cdot \omega_0 \cdot 10^{-3}$$

ýa-da

$$P_1 = P_{1nom} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{nom}} \right)^2 = P_{1nom} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_{nom}} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{nom}} \right)^2. \quad (3.2)$$

Bu ýerde:  $P_{1nom}$  – nominal ýükde setden kabul edilýän kuwwat;

$P_{2nom}$  – hereketlendirijiniň walyndaky nominal kuwwat;

$\omega_0$  – hereketlendiriji boş (ýüksüz) işleýän wagtyndaky sinchron tizligi;

$\omega_{nom}$  – hereketlendirijiniň nominal tizligi.

Hereketlendirijiniň walyndaky kuwwatyň tapylyşy:

$$P_2 = M \cdot \omega \cdot 10^{-3}.$$

Ýa-da



$$P_2 = P_{2nom.} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{nom}} \right)^2.$$

Hereketlendirijiniň ýakor zynjyryndaky ýitginiň tapylyşy

$$\Delta P_2 = P_1 - P_2 = \frac{P_{2nom.}}{\omega_{nom}} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{nom}} \right)^2 \cdot (\omega_0 - \omega). \quad (3.3)$$

Bu deňlemäni  $\frac{d(\Delta P_2)}{d\omega}$  görnüşde differensirläp nola deňlese

$\omega = \frac{2}{3} \omega_0$  ýagdaýy (deňlemäni) alarys, hem-de kuwwatyň ýitgisiniň minimuma çenli peselýändigini görmek bolýar, şeýlelikde

$$\Delta P_{maks.} = \frac{4}{27} \cdot P_{2nom.} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{nom}} \right)^2. \quad (3.4)$$

Eger-de (3.3) deňlemäni seljersek, onda  $\omega = 0$  hem-de  $\omega = \omega_0$  bolanda, kuwwatyň ýitgisi nola deň bolýar, emma hereketlendirijiniň momenti hemişelik saklananda hem-de  $\omega = 0$  bolanda, onda kabul edilýän kuwwat ( $P_1 = UI$ ) diňe ýakoryň zynjyrynda ýitýär.

Priwodyň tizligi reostat usuly bilen üýtgedilende, onuň peýdaly täsir koeffisiýenti (p.t.k-sy), takmynan, şu aşakdaky gatnaşyk bilen aňladylýar.

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (3.5)$$

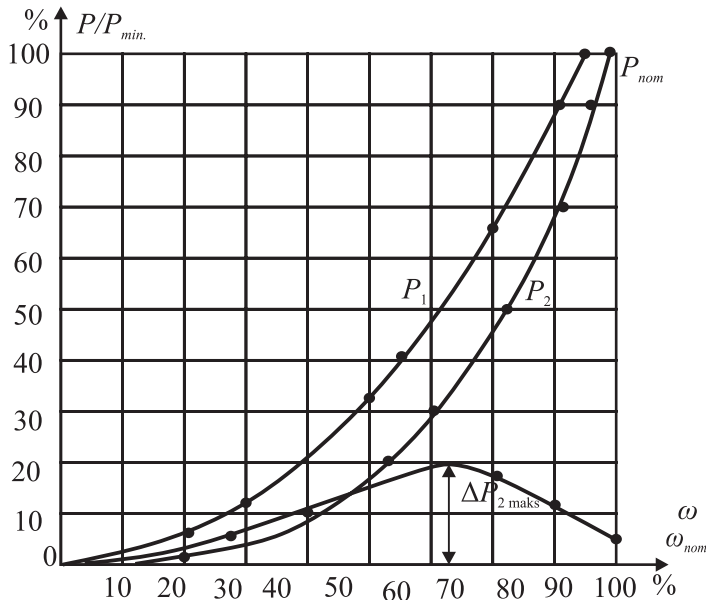
Ýakorda çykarylan deňlemelere esaslansak, onda, ýakoryň zynjyryna garşylyk girizip, hereketlendirijiniň aýlaw tizligini sazlap üýtgedeninde, wentilýator momentli ýükleriň mehanizimlerinde ýitgiler üýtgemeyän momentli mehanizmleriň ýitgilerinden az bolýar.

Eger-de hereketlendiriji nominal ýükünde işläp durka, aýlaw tizliginiň oňnositel perepady (üýtgäp durmagy)  $\delta_{nom.} = 0,05$  ululykdan geçmese, onda nominal kuwwata görä ýitgisi hem-de priwodyň p.t.k-sy degişli sanlar bilen häsiýetlendirilýär. Häsiýetlendirmeler göterim (%) hasabynda 3.1-nji tablisada ýerleşdirildi.

3.1-nji tablisa

Nominal tizlik %%	Hereketlendirijiniň nominal kuwwatynda ýelpewajyň kuwwaty ( $P_1$ %)	Nominal kuwwata görä hereketlendirijiniň kabul edýän kuwwaty ( $P_2$ %)	Nominal kuwwata görä ýakoryň zynjyryndaky ýtgi ( $\Delta P_2$ %)	p.t.k.
100	100	105,2	5,2	0,95
90	72	85,3	12,4	0,855
80	51,2	67,4	16,2	0,76
70	34,3	51,6	17,3	0,665
60	21,6	37,9	16,3	0,57
50	12,5	26,3	13,8	0,475
40	6,4	16,8	10,4	0,38
30	2,7	9,5	6,8	0,285
20	0,8	4,2	3,4	0,19
10	0,1	1,05	0,95	0,095
0	0	0	0	0

3.1-nji tablisada görkezilen hasaplamalaryň netijelerinden peýdalanyň,  $P_1$ ;  $P_2$  we  $\Delta P_1$  kuwwatlaryň tizliklere görä baglanyşyklary 3.3-nji çyzgyda göräni hasabynda görkezildi.



3.3-nji çyzgy. Otnositel birliklerde  $P_1$ ,  $P_2$  we  $\Delta P_2$  kuwwatlaryň aýlaw tizliklerinden funksional baglanyşygynyň egri çyzyklary

Garşylyklaryň kömegi bilen tizlikleri sazlap düzeltmekde kuwwat ýitgileriniň azlygyna garamazdan, ykdysady taýdan tygşyly diýip netije çykarmak nädogry bolar, sebäbi wentilýatorlar dowamly iş düzgünlerinde işlänlende, tizligi nominal tizlikden pes ýagdaýlarda hereketlendiriji gyzyp, temperaturasynyň ýokarlanmagyna we hatardan çykmagyna getirýär. Şonuň üçin-de, tizlikleri sazlap düzeltmegiň başga, has tygşyly işledip bolýan usullaryny gözlemeli bolýar.

*b) Oýandyryjy tok üýtgedilip hereketlendirijiniň aýlaw tizliginiň sazlanýşy* iň ýönekeý we iň tygşyly usul bolany üçin, bu usul häzirki zaman tehnikasynda iň köp ulanylýan usuldur.

Şeýle usul bilen hereketlendirijiniň tizligi sazlananda, sazlanýan tizlik esasy  $\omega_0$  – tizlikden ýokarlygyna tarap ösýär, özi-de hereketlendirijä rugsat berlen moment giperbolanyň kanuny boýunça üýtgeýär, emma hereketlendirijä rugsat berlen kuwwat üýtgemän galýar. Oýandyryjy tok üýtgedilende tizligiň  $I$  tokdan  $\omega = f(I)$  häsiýetnamasy hereketlendiriji boş düzgünde işleýän wagtynda-ky ideal tizliginden tapawutlanyp (ösüp), dürli  $\omega_0'$ ;  $\omega_0''$  ýaly bahalara eýe bolýar. Şol tizlikleri hasaplamak üçin (2.9) deňlemeden peýdalanýarlar.

$$\omega_0 = \frac{U}{k \cdot \Phi}.$$

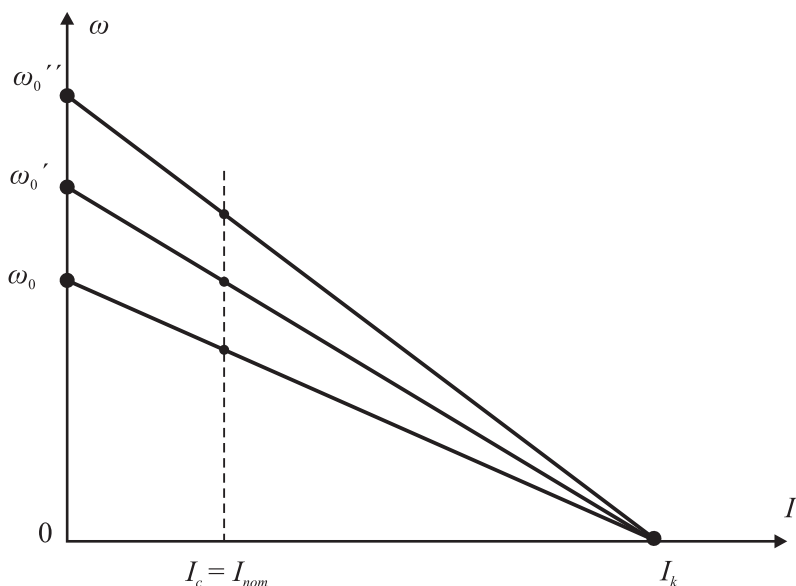
Görşümüz ýaly, 3.4-nji çyzgyda hereketlendirijiniň magnit akymynyň  $\Phi = \Phi_{nom}$  bahasynda ordinata okunda hereketlendirijiniň ýüksüz boş iş düzgüninde tebigy häsiýetnamalarynyň ideal  $\omega_0$  tizlikleri ýerleşdirildi. Hereketlendirijiniň ýüksüz boş iş düzgüninde (gowşadylan magnit akymynda)  $\omega_0'$  we  $\omega_0''$  tizlikler  $\omega_0$  tizlikden ýokarda ýerleşýär.

Tizlikleriň ähli häsiýetnamalary abssissa okunda bir nokatda keşişýärler. Munuň şeýledigi  $\omega = 0$  bolanda islendik tizlige mahsus häsiýetnamalaryň degişli deňlemeleri şu aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$0 = \frac{U - R_{nom} \cdot I}{k \cdot \Phi}.$$

Bu deňlemeden hereketlendirijiniň ýakorynyň togy kesgitlenilýär:

$$I = \frac{U}{R_{nom}} = I_{cu}.$$

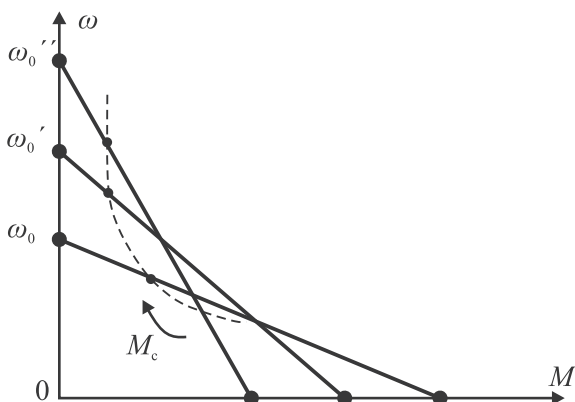


**3.4-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy parallel birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň tizligi oýandyryjy tok bilen üýtgedilende hereketlendirijiniň dürli tizliklerdäki häsiýetnamalary**

Şeýlelikde, oýandyryjy toklaryň dürli bahalarynda we hereketlendirijiniň aýlaw tizlikleri nola deň bolanda, ýakordaky toguň bahasy gysga utgaşyk togunyň bahasyna deň bolýar. Şol bahada-da tizligiň häsiýetnamalarynyň kesişýän umumy nokady kesgitlenýär. 3.5-nji çyzgyda görkezilen mehaniki häsiýetnamalary, hereketlendiriji ýüksüz boş işländäki tizlikleriň häsiýetnamalary ýalydyr. Munuň şeýledigi (2.13) deňlemeden gelip çykýar. Emma, bu häsiýetnamalar absissa okunda bir nokatda kesişmeýarler, sebäbi magnit akymyň peseldigiçe, gysga utgaşyk momentiň ululygy-da peselýär.

$$M_{Gu} = k \cdot I_{Gu} \Phi.$$

Ýokarda bellenişi ýaly, kuwwat hemişelik saklanyp, moment giperbola boýunça üýtgände (3.5-nji çyzgyda *punktir çyzyklara se-ret*), tizligiň sazlanýşynyň in tygşytly görnüşi hasaplanylýar. Şonuň üçin-de hereketlendirijiniň kuwwatynyň doly peýdalanylyşy nominal toguň bahasy  $I_{nom.} = I_c$  toga deň bolanda amala aşýar.



**3.5-nji çyzgy. Oýandyryjy tok bilen tizlik sazlananda oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary**

$M_c$  momentiniň bahasy hem-de süýşýän ugry giperbola boýunça punktir çyzyjyklaryň mehaniki häsiýetnamalarda kesişýän nokatlary bilen belgilendi. Şeýlelikde, punktirlenen giperboladan çepde hereketlendirijiniň ýüklenmedik iş düzgünini, sag tarapda hereketlendirijiniň ýüküniň nominal bahasyndan köpdügini aňladýar.

Hereketlendiriji az ýüklenende tizlik artýandygyny, köp ýüklenende bolsa tizligiň peselýändigini-de belläp geçmelidiris.

Eger-de moment  $M_c = M_{nom}$  bahasynda hemişelik saklanyp, uzak wagtlap ýükli işlemeli bolsa, onda hereketlendirijiniň tipini, kuwwatyny saýlanlarynda ýakoryň aýlanýan tizligi nominal tizligine golaý tizlikde işledilse, gowy iş düzgün hasaplanýar.

Eger-de hereketlendiriji peseldilen tizlik bilen işledilýän bolsa, onda hereketlendirijiniň ýüküni azaltmak teklipe edilýär, sebäbi tizligiň peselmegi hereketlendirijiniň ferromagnit böleginde magnit akymynyň güýçlenmegine getirýär.

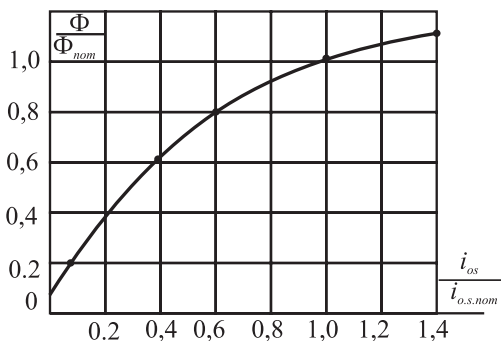
Köplenç ýagdaýlarda hereketlendirijiniň tizlikleriniň sazlanýşy 1,5:1-den 4:1 esse töweregi kabul edilendir. Soňky döwürlerde mehanizmlere bildirilýän talaplaryň barha güýçlenýändigleri sebäpli, şeýle esseli gatnaşyk  $(6 \div 8) : 1$  essä ýetýär.

Hereketlendirijiniň tizliklerini sazlamaly bolanda birnäçe faktorlar bilen çäklenilmeli bolýar. Esasy faktorlaryň biri hökmünde kommutasiýa şertleriniň wagt geçmegi bilen ýaramazlaşýanlygy (erbetleşýändigini) bilen baglanyşdyrmak ýeterlikdir. Sebäbi, tizlik artanda

döreyän reaktiw EHG hem ösýär, bu bolsa gerekmejek uçgunlaryň döremegine sebäp bolýar. Ýokary tizliklerde ýakoryň mehaniki berkligini güýçlendirmeli bolýar. In pes tizlik bolsa, maşynyň magnitlenişiniň fiziki doýmagy bilen çäklenilýär.

**3.1-nji mesele.** Parallel oýandyryjyly ÝID-85 görnüşli hereketlendirijiniň parametrleri:  $P_{nom} = 1,25 \text{ kWt}$ ,  $U = 220 \text{ W}$ ,  $I_{nom} = 7,5 \text{ A}$ ,  $n = 500 \div 2000 \text{ aýl/min}$ . Oýandyryjy toklaryň dürli bahalarynda  $I_{o.s.} = I_{o.s.nom}$ ,  $I_{o.s.} = 0,5 \cdot I_{o.s.nom}$ ,  $I_{o.s.} = 0,2 \cdot I_{o.s.nom}$  hem-de  $n = f(M)$  hem-de  $n = \varphi(I)$  häsiýetnamalaryny gurmaly.

Hereketlendirijiniň ýakorynyň garşylygy  $R_{yakor} = 2,7 \text{ Om}$ , oýandyryjy sarymyň garşylygy  $R_{o.s.} = 300 \text{ Om}$ , Tipi ÝID-85 hereketlendirijiniň magnitlenişiniň egri çyzygy 3.6-njy çyzygyda görkezildi.



3.6-njy çyzygy. ÝID-85 görnüşli hereketlendirijiniň magnitleniş egri çyzygy

**Çözülişi.** (2.22) deňlemeden

$$k_E \cdot \Phi_{nom} = \frac{U - I_{nom} \cdot R_{yak}}{n_{nom.}} = \frac{220 - 7,5 \cdot 2,7}{500} = 0,399 \frac{\text{W}}{\text{aýl/min}}.$$

$$k_E \cdot \Phi_{nom} = k_E \cdot \Phi_{nom} \cdot 9,55 = 3,8 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A}}.$$

Oýandyryjy toguň nominal bahasy

$$i_{o.s.nom} = \frac{U}{R_{o.s.}} = \frac{220}{300} = 0,732 \text{ A}.$$

Magnit akymynyň islendik bahasynda

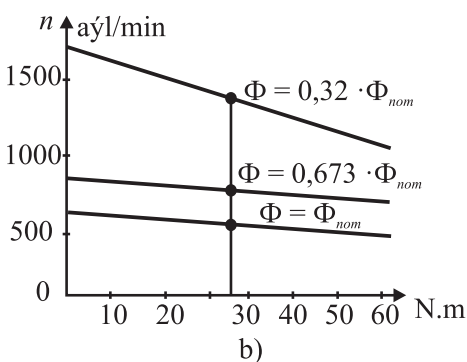
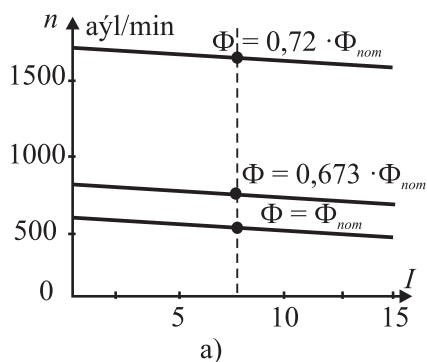
$$k_E \cdot \Phi = 0,399 \cdot \frac{\Phi}{\Phi_{nom}}; \quad k_M \cdot \Phi = 3,8 \frac{\Phi}{\Phi_{nom}}.$$

3.6-njy çyzygyda görkezilen magnitlenişň egri çyzygyndan berlen  $\frac{i_{os}}{i_{os,nom}}$  bahadan  $\frac{\Phi}{\Phi_{nom}}$  gatnaşygy anyklap, talap edilýän häsiýetnamalary gurmak üçin degişli hasaplamlary ýerine ýetirýäris. Hasaplamlaryň netijelerini 3.2-nji tablisada ýerleşdirýäris.

Tablisadaky netijelerden peýdalanyň, hereketlendirijiniň  $n = \varphi(I)$  hem-de  $n = f(M)$  häsiýetnamalaryň gurluşy 3.7-nji “a” hem-de “b” çyzyglarda görkezildi.

3.2-nji tablisa

$\frac{i_{o.s.}}{i_{o.s.nom}}$	$i_{o.s.}$ [A]	$\Phi/\Phi_{nom}$	$k_E \cdot \Phi$	$k_M \cdot \Phi$	$I$ [A]	$M$ [N·m]	$n$ [aýl/min]
1,0	0,732	1,0	0,399	3,8	$\frac{0}{7,5}$	$\frac{0}{28,5}$	$\frac{551}{500}$
0,5	0,366	0,673	0,269	2,56	$\frac{0}{7,5}$	$\frac{0}{19,2}$	$\frac{817}{741}$
0,2	0,146	0,32	0,128	1,22	$\frac{0}{7,5}$	$\frac{0}{9,15}$	$\frac{1718}{1560}$



3.7-nji çyzygy. ÝID-85 görnüşli hereketlendirijiniň tizligi (a) hem-de mehaniki (b) häsiýetnamalary

ç) *Hereketlendirijä berilýän naprýaženiýäni üýtgedip tizliginiň sazlanlyşy.* Şeýle usul bilen tizlikleri sazlamak ýörite enjamly, esbaply dolandyryjy ulgamlar bilen amala aşyrylýar, meselem, generator – hereketlendiriji ulgam bilen amala aşyrmak. Ulgamlarda ylalaşykly we ylalaşyksyz (garşylykly) işleýän elektrik maşynlary, yzygider-parallel işleýän maşynlary ýa-da ionly özgerdijili hemişelik toguň elektropriwodlarynda giňden ulanylýar.

### **3.3. Generator – hereketlendiriji ulgamlarynda oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijileriniň aýlanýan tizlikleriniň sazlanýşy**

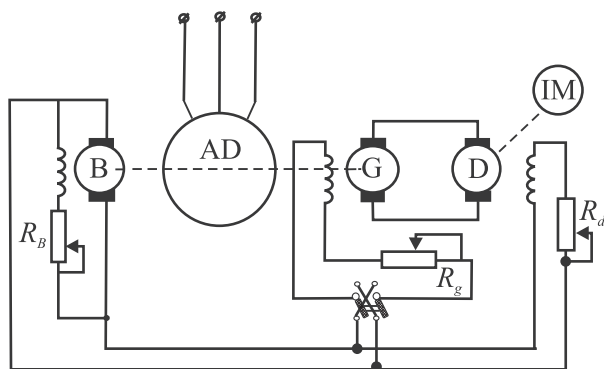
Hemişelik toguň hereketlendirijileriniň tizliklerini emaç bilen (endigan) sazlanýş usuly senagat kärhanalarynda, metallurgiýa zawodlarynda, tele-radio antenalaryny tiz-tizden sazlap durmaly bolanda, harby maksat bilen dolandyrylyşlarda, ýokary kuwwatly stanoklarda we başga-da ençeme ýerlerde giňişleýin ulanylýan generator-hereketlendiriji ( $G-D$ ) ady bilen belli ulgamyň elektrik shemasy 3.8-nji çyzgyda görkezildi.

Bu shemada  $D$  hereketlendiriji  $G$  generatoradan iýmitlendirilýär. Öz gezeginde  $D$  hereketlendiriji (IM) işçi mehanizmi herekete getirýär.

Generatoryň ýakory bilen hereketlendirijiniň ýakory hiç hili reostatsyz (rezistorsyz), gös-göni özara birleşdirilip, ýakorlaryň elektrik zynjyryny emele getirýärler. Generator bilen hereketlendirijiniň oýandyryjy sarymlary ýörite gurnalan  $B$  generatoradan (elektrik çeşmesinden) iýmitlendirilýärler. Olaryň ikisinde-de oýandyryjy toklaryny çäklendirmek (togy azaltmak ýa-da köpeltmek) maksady bilen, ýörite sazlaýjy reostatlardan (3.8-nji çyzgyda  $R_d$  we  $R_g$ ) peýdalanýarlar. Çyzgyda asinhron hereketlendirijiniň walynda  $G$  generator bilen  $B$  iýmitlendiriji çeşme berkidilip, asinhron ( $AD$ ) hereketlendirijiniň tizliginde aýlanýandygy çyzgyda aýdyň (----) liniýalar bilen şertli görkezildi. Öz gezeginde (IM) işçi mehanizm  $D$  hereketlendirijiniň walyna berkidilip,  $D$  hereketlendirijiniň tizligi bilen aýlanýar.  $G$  generator bilen  $B$  iýmitlendiriji



çeşmäni herekete getiriji (aýlaýjy) hökmünde ýa  $AD$  asinhron ýa-da  $CD$  sinhron hereketlendirijilerden peýdalanyp bilner. Hereketlendirijiniň haýsy görnüşinden peýdalanmak tutuş  $G-D$  ulgamyna bildirilýän talaplara bagly bolýar. 3.8-nji çyzgyda asinhron hereketlendiriji görkezildi.  $G-D$ -shema ulanylanda generatoryň çotgalarynda “goýberiliş” wagty döreýän naprýaženiýe örän ujypsyz baha eýe bolýar. Şeýle ujypsyz naprýaženiýäni oýandyryjy toklary ilki pursatda örän kiçi bahalardan başlap sazlap bolýandygy bilen düşündirilýär. Bu bolsa  $G-D$  işe goýberilen pursatlarynda toklary çäklendiriji hiç hili goýberiliş reostatlaryň (rezistorlaryň) gerek däldigini aňladýar.



**3.8-nji çyzgy. Generator-hereketlendiriji ulgamlarynda oýandyryjy sarymy parallel birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň tizliginiň sazlandyrylyşynyň ýöriteleşdirilen elektrik shemasy**

Eger-de hereketlendirijiniň tizligini rewersirlemeli bolsa, onda  $G$  generatoryň oýandyryjy sarymyna berilýän naprýaženiýesiniň polýarlygyny çalşyryp durmaklyk ýeterlikdir. Bu bolsa hereketlendirijiniň hem-de generatoryň çotkalarynda-da polýarlyklarynyň öz-özünden çalyşmasy bolup geçýär. Şeýlelikde, hereketlendirijiniň tizliginiň aýlanýan ugrunyň tersine aýlanmagy (rewersi) amala aşýar.

Şeýle shema bilen işleýji mehanizmler işledilende, işi dolandyryjy enjamlaryň-da mukdarlarynyň azalmagyna getirýär we ähli

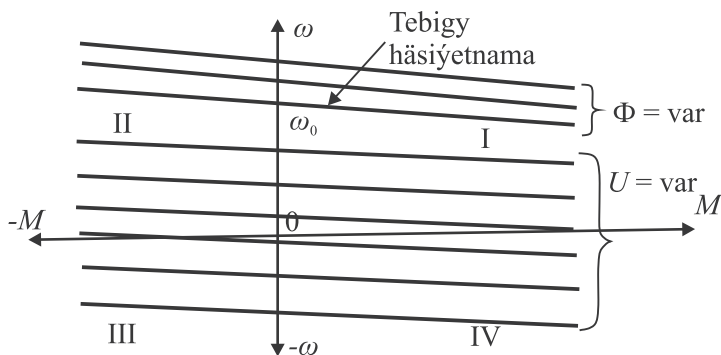
işler diňe oýandyryjy sarymyň toguny üýtgetmek bilen amala aşyrylýar.

Şeýle shemadan peýdalanyň, hereketlendirijiniň tizligini sazlamagyň ajaýyp tarapy, ol hem hereketlendirijiniň tizligini juda giň çäklerde (predellerde) örän ýeňil sazlap bolýandygyndadyr.

Adaty generator-hereketlendiriji ulgamlarynda orta kuwwatly hereketlendirijileriň sazlandyrylyşynyň çägi (predeli)  $(6 \div 1) - (8 \div 1)$  essesini generatoryň naprýaženiýesini üýtgedip alyp bolýan bolsa, ýene-de  $(2 \div 1)$  esse hereketlendirijiniň oýandyryjy sarymyndaky togy üýtgedip-de alyp bolýar. Şonuň üçin-de jemi  $D = (12 \div 1) - (16 \div 1)$  esse gezek hereketlendirijileriň tizligini sazlamak mümkinçiligini gazanmak bolýar. Şeýle giň gerimde (çäklerde) hereketlendirijiniň tizligini emay bilen (endigan) sazlamak  $G-D$  ulgamlaryndan başga görnüşli shemalarda endiganlyk başartmaýar.

Muňa garamazdan,  $G-D$  ulgamlarynda-da hereketlendirijiniň tizligini sazlamagyň araçäkleri (predelleri) bar: 1) tizligiň ýokarky çäginde (predelinde) magnit meýdanynyň gowşamagyny (azalmagyny) çotgalardaky döreyän kommutasiýalaryň sebäp bolýandygy bilen düşündirilse; 2) aşaky çäginde (predelinde) generatoryň magnit böleginde magnetizmiň (magnit meýdanynyň) galyndysynyň täsiri esasynda pes tizliklerde (ýüküň doly ýüklenen pursaty) hereketlendirijiniň ýakoryna düşýän naprýaženiýesiniň ululygy generatoryň naprýaženiýesi bilen deňleşýär. Şonuň üçin-de, ýüküň sähelçe üýtgemegi hereketlendirijiniň tizliginiň ep-esli üýtgemegine, hatda, hereketlendirijiniň durmagyna sebäp bolýar. Bulardan başga-da, pes tizliklerde ýakoryň magnitsizlenmegine ýakoryň reaksiýasy täsir edýär.

Elektrik ýüküniň sähelçe üýtgemegi netijesinde naprýaženiýäniň peselmegini awtomatik kompensirlenmegi hereketlendirijiniň tizligi ni hemişelik saklanmagy esasynda amala aşyrylýar. Şonuň üçin-de tizligi sazlamagyň çägi has giňeýär. Mysal üçin, soňky döwürlerde ýöriteleşdirilen elektromaşynlaryň kömegi bilen ýa-da ýörite güýçlendirijiler arkaly tizligi sazlamagyň çägi  $D = 200 : 1$  we ondan-da ýokary esse sazlamak mümkinçiliklerinden peýdalanýarlar.



### 3.9-njy çyzgy. Generator – hereketlendiriji ulgamynda oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary

Häsiýetnamalaryň sany, şol sanda tizligi emañ bilen endigan sazlamagyň-da sany generatoryň oýandyryjy sarymyndaky reostatyň garşylygynyň başgaçak sanyna deňdir.

Generatoryň naprýaženiýesini sazlamak esasynda gurlan mehaniki häsiýetnamalar (ýakoryň reaksiýasyny hasaba almanyňda) özara parallel göni çyzyklary emele getirýärler. Munuň sebäbini maşynyň ýakorynyň zynjyryna düşýän naprýaženiýesiniň ähli häsiýetnamalary üçin hemişelik (bir bahasynda) saklanýandygy bilen düşündirilýär. 3.9-njy çyzgyda  $\omega_0$  tizlikden ýokardaky tizliklere degişli göni çyzykly mehaniki häsiýetnamalar özara parallel dälidirler (*çyzgyda  $\Phi = \text{var}$  belgili çyzyklara seret*). Munuň sebäbini hereketlendirijidäki juda pes (gowşak) magnit akymy bilen hem-de generatoryň EHG-siniň bahasynyň hemişelik saklanýandygy bilen düşündirilýär.

Generator-hereketlendiriji ulgamynda naprýaženiýesi üýtgedilip alnan häsiýetnamalaryň gatylygy, naprýaženiýesi hemişelik saklanýan garaşsyz çeşmeden iýmitlenýän parallel sarymly hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasyna garanyňda, birmeme ýumşagrakdyr. Munuň sebäbini, ýagny häsiýetnamanyň ýumşaklygyny diňe bir hereketlendirijiniň içki garşylygyna siňýän  $R_{dv} \cdot I$  naprýaženiýe bilen çäklenmän, oňa generatoryň hem içki garşylygyna siňýän  $R_{gener} \cdot I$  naprýaženiýäniň üstüne goşulmagy bilen düşündirilýär.

Ýokarda aýdylanlara esaslanyp, generatoryň EHG-sini hasaba alyp, tizligiň häsiýetnamasynyň tizliginiň deňlemesini ýazyp bileris:

$$\omega = \frac{E_{gener} - I(R_{dw} + R_{gener})}{k\Phi_{dw}}. \quad (3.6)$$

Şeýle ulgam üçin mehaniki häsiýetnamanyň deňlemesi

$$\omega = \frac{E_{gener}}{k\Phi_{dw}} - M \frac{(R_{dw} + R_{gener})}{k^2\Phi_{dw}^2}. \quad (3.7)$$

Islendik häsiýetnama üçin hereketlendirijiniň boş (ýüksüz) işleýän pursatyndaky ideal  $\omega_{o.boş.}$  tizligi hereketlendirijiniň  $\Phi_{dw}$  magnit akymy bilen generatoryň  $E_{gen.boş.}$  EHG-siniň gatnaşyklary bilen kesgitlenilýär.

$$\omega_{o.boş.} = \frac{E_{gen.boş.}}{k \cdot \Phi_{dw}}. \quad (3.8)$$

Ideal  $\omega_{o.boş.}$  tizlikden ýokary tizliklerde (II çäryekde) hereketlendiriji generatora tarap energiýa berip başlaýar. Şeýle ýagdaýda generator hereketlendiriji iş düzgünine geçip asinhron hereketlendirijiniň walyna düşýän ýüküň belli bir bölegini öz üstüne alyp, asinhron hereketlendirijide ýeňillik döredýär. Hatda sete energiýa bermek ýagdaýyna çenli alyp barýar.

Generator-hereketlendiriji ulgamynyň tizliginiň sazlanýşy iki topara bölünýär.

*Birinjisi* – naprýaženiýäni üýtgedip tizlikler sazlandyrylanda, hemişelik momentde ykdysady tarapdan has tygşytly bolýandygy.

*Ikinjisi* – hemişelik kuwwatda magnit meýdanynyň akymyny gowşadyp (azaldyp) tizligi sazlap bolýandygy ýaly toparlar in köp ýaýran usullar hökmünde has tapawutlanýan usullar hasaplanylýar.

Bu iki taraplaryň artykmaçlyklaryny göz önünde tutup, *G-D* ulgam metallurgiýa senagatynda, metallary täzeden abatlaýjy zawodlarynda, kuwwatly stanoklaryň elektropriwodlarynda, ýük göteriji ulgamlarda giňden ulanylýar.

**3.2-nji mesele.** ПН-290 görnüşli hereketlendirijiniň aýlaw tizligi generator-hereketlendiriji ulgam boýunça amala aşyrylýar. Hereketlendirijiniň pasportynda  $P_{nom} = 29 \text{ kWt}$ ,  $U = 440 \text{ W}$ ,  $I_{nom.} = 76 \text{ A}$ ,  $n_{nom.} = 1000 \text{ aýl/min}$ ,  $R_{ýak.} = 0,065 \cdot R_{nom.}$ . Ulgam üçin de-

gişli generator saýlamaly hem-de nominal toga görä tizlik: 750, 500 hem-de 250 aýl/min deň bolanda, degişli nokatlary tapmaly hem-de şol nokatlardan geçýän häsiýetnamalary gurmaly. Bulardan başga-da ýüküň togy gysga wagtlaýyn iki esse üýtgedilende, sazlamak mümkinçiliginiň diapazonyny “esse” – hasabynda kesgitlemeli.

**Çözülişi.** Hereketlendirijiniň kabul edýän kuwwaty

$$P_{dw} = U_{dw,nom} \cdot I_{dw,nom} = 440 \cdot 76 = 33\,400 \text{ Wt} = 33,4 \text{ kWt.}$$

Bu netijä esaslanyp, katalogdan pasport bahalary 41 kWt, 460 W, 89 A, 1470 aýl/min,  $R_{gener.} = 6,5 \%$  ПИ-290 görnüşli hereketlendirijini saýlaýarys.

Generatoryň ýakorynyň garşylygy

$$R_G = 0,065 \cdot \frac{U_{G.n}}{I_{G.n}} = 0,065 \cdot \frac{460}{89} = 0,336 \text{ Om.}$$

Maşynlaryň ýakorlarynyň zynjyrynda doly garşylyk

$$R = R_G + R_{dw} = 0,336 + 0,377 = 0,713 \text{ Om.}$$

Hereketlendirijiniň EHG-siniň koeffisiýenti

$$C_E = \frac{U - I_{nom} \cdot R_{dw}}{n_{nom}} = \frac{440 - 76 \cdot 0,377}{1000} = 0,411 \frac{\text{W}}{\text{aýl/min}}.$$

Hereketlendirijiniň nominal togunda we nominal tizliginde generatoryň EHG-siniň kesgitlenişi:

$$E_{gen,nom} = C_E \cdot n_{nom.} + I_{nom.} \cdot R = 0,411 \cdot 1000 + 76 \cdot 0,713 = 465,2 \text{ W.}$$

Hereketlendiriji boş (ýüksüz) işlände ideal tizligi

$$n_0 = \frac{E_{gen,nom}}{C_E} = \frac{465,2}{0,411} = 1132 \text{ aýl/min.}$$

Edil şular ýaly tertipde nominal  $I_{nom}$  tokda hereketlendirijiniň häsiýetnamalaryna mahsus  $n_0$  tizligi,  $n_1 = 750 \text{ aýl/min}$ ,  $n_2 = 500 \text{ aýl/min}$ ,  $n_3 = 250 \text{ aýl/min}$  deň bolanda kesgitlemeli. Şeýlelikde:

$$1) E_{gen.1} = C_E \cdot n_1 + I_{nom.} \cdot R = 0,411 \cdot 750 + 76 \cdot 0,713 = 362,5 \text{ W.}$$

$$n_0 = \frac{E_{gen.nom}}{C_E} = \frac{362,5}{0,411} = 882 \text{ aýl/min.}$$

$$2) E_{gen.2} = C_E \cdot n_{n2} + I_{nom.} \cdot R = 0,411 \cdot 500 + 76 \cdot 0,713 = 259,7 \text{ W.}$$

$$n_{02} = \frac{E_{gen.2}}{C_E} = \frac{259,7}{0,411} = 632 \text{ aýl/min.}$$

$$3) E_{gen.3} = C_E \cdot n_{n3} + I_{nom.} \cdot R = 0,411 \cdot 250 + 76 \cdot 0,713 = 157 \text{ W.}$$

$$n_{03} = \frac{E_{gen.3}}{C_E} = \frac{157}{0,411} = 382 \text{ aýl/min.}$$

Meseläniň şerti boýunça hereketlendirijiniň aýlaw tizliginiň iň aşaky çägi (peredeli)  $I = 2I_{nom}$  we  $n = 0$  bolanda geçirilen häsiýetnamasyna aýdylýar.

Dogrudan-da,  $n = 0$ ,  $I = 2 I_{nom} = 2 \cdot 76 = 152 \text{ A}$  bolanda

$$n_{0min.} = \frac{E_{gen.min}}{C_E} = \frac{2 \cdot I_{nom} \cdot R}{C_E} = \frac{2 \cdot 76 \cdot 0,713}{0,411} = 264 \text{ aýl/min.}$$

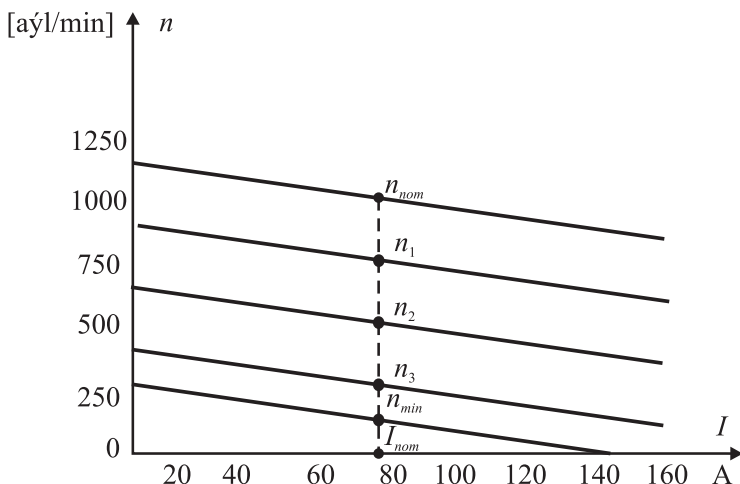
$I = I_{nom} = 76 \text{ A}$  bolanda

$$n_{o min.} = 0,5 \cdot n_{o min.} = 132 \text{ aýl/min.}$$

Hasaplanylýp tapylan netijelere esaslanyp gurlan hereketlendirijiniň häsiýetnamalary 3.10-njy çyzgyda görkezildi.

Tizligiň sazlanýşynyň diapazony aşakdaky gatnaşyk bilen kesgitlenilýär:

$$D = \frac{n_{nom}}{n_{nim}} = \frac{1000}{132} = 7,57 \text{ essä deň.}$$



3.10-njy çyzgy. Generator-hereketlendiriji ulgamynda  
ÝID-290 görnüşli hereketlendirijiniň häsiýetnamasy

### 3.4. Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň ýakorynyň şuntirlenep aýlanyş tizliginiň sazlanýşy

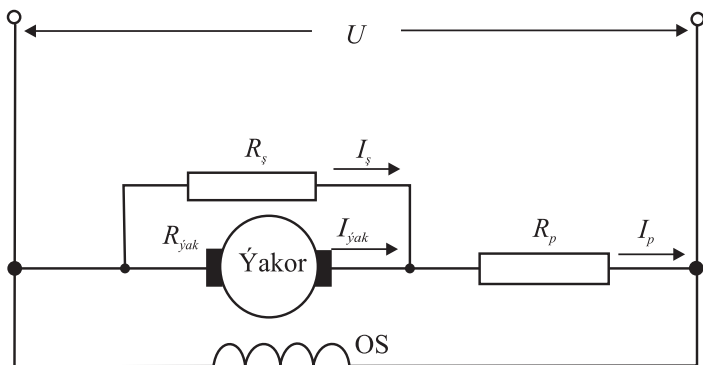
Pes tizliklerde gaty mehaniki häsiýetnamalary almak üçin, hereketlendirijiniň ýakoryny garşylyk bilen şuntirmek usuly 3.11-nji çyzgyda görkezildi. Bu shema meňzeş shemalar kiçi kuwwatly gurnamalarda (ustanowkalarda) tizlikleri sazlamak üçin ulanylýan bolsa, onda uly kuwwatly gurnamalarda tizlikleri peseldip, elektropriwody duruzmaly bolanda has köp ulanylýar. Tizligi öňünden peseldip başlamak elektropriwody has takyk pursatda emaç bilen duruzmaga ýardam edýär.

3.11-nji çyzgyda görkezilen shema üçin mehaniki häsiýetnamalaryň deňlemelerini Kirhgofyň birinji we ikinji kanunlaryna esaslanyp ýazyp bileris.

$$U = E + I \cdot R_{yak.} + I_p \cdot R_p; \quad (3.9)$$

$$U = I_s \cdot R_s + I_p \cdot R_p; \quad (3.10)$$

$$I_p = I_{yak} + I_s. \quad (3.11)$$



**3.11-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň ýakorynyň şuntirlenişiniň shemasy**

Bu deňlemelardäki belgilenen ululyklaryň ulanylyşy 3.11-nji çyzgy-daky shemada görkezildi. (3.10) deňlemeden  $I_s$  – togy kesgitläliň:

$$I_s = \frac{U - I_p \cdot R_p}{R_s}.$$

Soňra bu  $I_s$  toguň bahasyny (3.11) deňlemede goýsak, onda

$$I_p = I_{yak} + \frac{U - I_p \cdot R_p}{R_s}.$$

Umumy maýdalaýja getirsek

$$I_p \cdot R_s = I_{yak} \cdot R_s + U - I_p \cdot R_p$$

ýa-da

$$I_p (R_s + R_p) = U + I_{yak} \cdot R_s.$$

Bu ýerden

$$I_p = \frac{U + I_{yak} \cdot R_s}{R_s + R_p} \quad (3.12)$$

netijäni alarys. Bu  $I_p$  – toguň bahasyny (3.9) deňlemä goýup,  $E$ -EHG-ni tapyp bolýar:



$$E = U \frac{R_s}{R_s + R_p} - I \left( R_{yak} + \frac{R_s \cdot R_p}{R_s + R_p} \right). \quad (3.13)$$

Garşylyklaryň gatnaşyklaryny  $\frac{R}{R + R_p} = A$  harpy bilen belgilesek hem-de (3.13) deňlemäniň çep we sag taraplaryny “c” – koeffisiýente bölsek, onda hereketlendirijiniň ýakory şuntirlenende, aýlanyş tizliginiň häsiýetnamasynyň deňlemesini alarys:

$$\omega = A \cdot \omega_0 - \frac{I}{C} R_{yak} + A \cdot R_p. \quad (3.14)$$

Edil şeýle-de hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasynyň deňlemesini-de ýazyp bileris:

$$\omega = A \cdot \omega_0 - \frac{M}{C^2} (R_{yak} + A R_p). \quad (3.15)$$

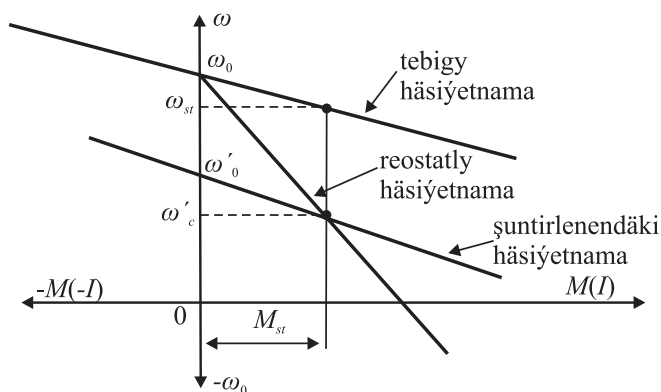
Soňky (3.15) deňlemeden görnüşi ýaly, hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy göni liniýany (çyzygy) emele getirýär.

Bulardan başga-da hereketlendiriji boş (ýüksüz) işleýän pursadynyň ideal tizligi, ýakoryň reostatly usul bilen sazlandyrylyş tizliginden kiçi bolar. Dogrudan-da,  $M = 0$  bolanda, tizlik  $A \cdot \omega_0$  ululyga deň bolar, özi-de hemişe

$$A = \frac{R_s}{R_s + R_p} < 1.$$

Hereketlendiriji ýüksüz (boş) işlände, ideal tizligiň bahasynyň assaýuwaş peselmegini, ýakordan tok akmasa-da, ýakora yzygider birikdirilen  $R_p$  garşylykda setiň naprýaženiýesiniň belli bir böleginiň siňýänligi bilen düşündirilýär.

Dogrudan-da, ýakory şuntirmek usulynda ýakoryň naprýaženiýesi setiň naprýaženiýesinden  $R_p \cdot I_p$  naprýaženiýäniň ululygyça pes (az) bolar, sebäbi ýakordan tok akmasa-da yzygider birikdirilen  $R_p$  garşylyk bilen  $R_s$  garşylyklaryň üsti bilen tok akar, şonuň üçin-de setiň naprýaženiýesiniň belli bir  $\Delta u$  bölegi  $R_p$  – garşylykda  $R_p \cdot I_p$  naprýaženiýe görnüşinde siňer.



**3.12-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy parallel birikdirilen hereketlendirijiniň ýakory şuntirlenendäki mehaniki häsiýetnamalarynyň görnüşi**

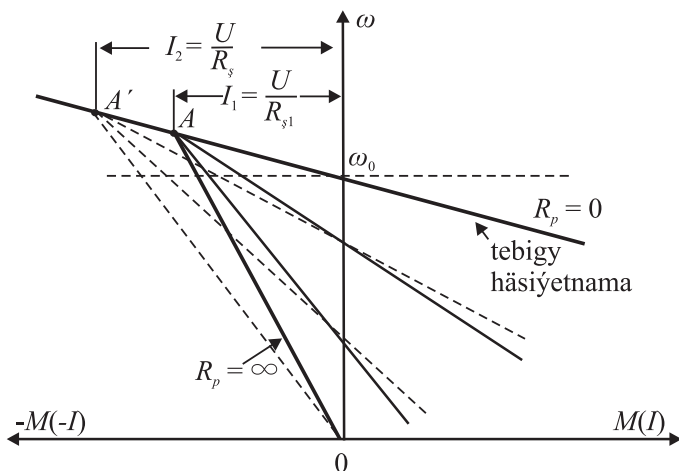
3.12-nji çyzgydan görnüşi ýaly,  $\omega'_0$  tizlikden geçýän göni çyzyk hereketlendirijiniň ýakorynyň şuntirlenip tizligiň sazlanýşynyň mehaniki häsiýetnamasyny aňladýar. Şol çyzgyda, häsiýetnamalary özara deňeşdirip görmek üçin tebigy hem-de reostatly mehaniki häsiýetnamalary-da görkezildi.

Bu häsiýetnamalary garşylyklaryna baglylykda özara deňeşdireniňde, ýakory şuntirlenip tizlikleri sazlamak usulynda alnan häsiýetnama özüniň gaty (gowy manysynda) häsiýeti bilen tapawutlanýar.

Dogrudan-da, peseldilen  $\omega'_c$  tizligi reostatly usulda-da alyp bolýar, ýöne reostatly usul bilen alnan mehaniki häsiýetnamany şuntirlenen usul bilen alnandaky häsiýetnama bilen deňeşdireniňde has ýumşak görünýär, emma şuntirlemek usuly bilen tizligi sazlanýnda, tizligi durnukly (stabil) saklamak has ynamly we durnukly hasap edilýär.

Mehaniki häsiýetnamalaryň hem-de tizlikleriň-de häsiýetnamalarynyň gaty bolmak häsiýeti yzygider hem-de şunt garşylyklarynyň ululygyna baglydyrlar. Eger-de  $R_s$  hem-de  $R_p$  garşylyklaryň ululyklaryny üýtgetsek, onda dürli-dürli aşak eňňitli häsiýetnamalary alyp bolýar.

Eger-de  $R_s$  garşylygyň islendik dürli bahalarynda ( $R_{s1}$  ýa-da  $R_{s2}$ ) hemişelik saklap yzygider  $R_p$  garşylygy üýtgedip häsiýetnamalaryň umumy nokady bolan topar häsiýetnamalaryny ( $A$  ýa-da  $A'$ ) alyp bolýar (3.13-nji çyzga seret).



**3.13-nji çyzgy. Şuntuň garşylygyny hemişelik saklap, ýakora yzygider birikdirilen garşylygyň dürli bahalarynda mehaniki häsiýetnamalaryň toplumynyň görnüşü**

Häsiýetnamalaryň kesişýän  $A$  nokadynda hereketlendirijiniň iş düzgünine, yzygider birikdirilen garşylyklaryň ýakoryň toguna hiç hili täsiri bildirmeýär. Beýle diýildigi şol yzygider birikdirilen garşylyklardan tok akmaýar diýiligidir. Şeýle iş düzgüni, hereketlendirijiniň ýakorynyň aýlaw tizligi, hereketlendiriji ýüksüz (boş) işleýän wagtyndaky ideal tizliginden ýokarda bolanda amala aşýar, ýagny ýakorda döreýän EHG setden berilýän naprýaženiýe bilen doly deňleşende hem-de ýakorda siňýän (ýitirilýän) naprýaženiýäni-de öz içine alandaky ýagdaýy  $A$  nokat aňladýar. Şeýlelikde,

$$E = U + I \cdot R_p. \quad (3.16)$$

Şular ýaly ýagdaýda hereketlendiriji dinamiki tormozlanyş iş düzgüninde, daşky  $R_s$  garşylyga işleýär. Şonuň üçin-de ýakordaky toguň tapylyşy  $R_s$  naprýaženiýäniň  $R_s$  – şunta bolan gatnaşygy bilen kesgitlener

$$I = \frac{U}{R_s}. \quad (3.17)$$

Toguň bu bahasyny (3.16) deňlemede ornunda goýsak, onda

$$E = U + \frac{U}{R_s} \cdot R_p = \frac{U(R_s + R_p)}{R_s}$$

görnüşli deňlemäni alarys.

Eger-de EHG-ni  $\omega$  bilen,  $U$  ny  $\omega_0$  bilen ekwiwalent (deňgüýçli) çalyşsak, onda  $A$  – nokatdaky  $\omega_A$  – tizligiň deňlemesini alarys.

$$\omega_A = \omega_0 \frac{R_s + R_p}{R_s}. \quad (3.18)$$

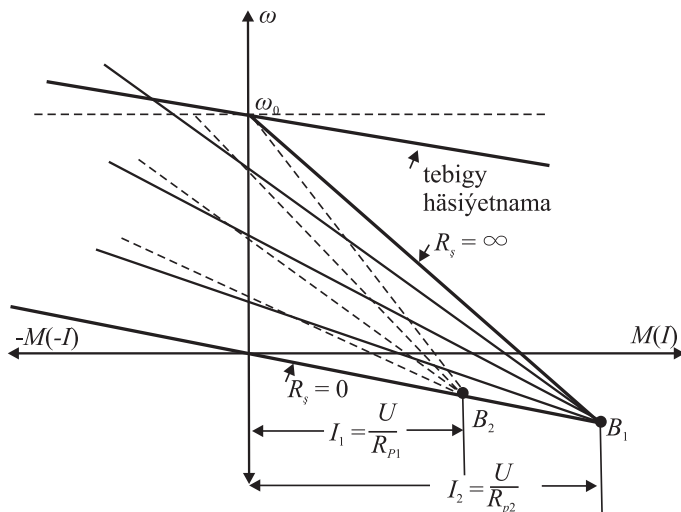
Hereketlendirijiniň tizliginiň predel ýagdaýlarynda, meselem, şuntirlenen  $R_s$  garşylygyň haýsy-da bolsa bir bahasynda hemişelik saklanylanda, emma yzygider  $R_p$  garşylyk üýtgedilip durulsa, onda  $R_p = 0$  hem-de  $R_p = \infty$  ýagdaýlardaky häsiýetnamalar 3.13-nji çyzgyda görkezilen iki sany ýogynlandyrylyp çyzylan liniýalary alarys. Dogrudan-da, eger-de ýakora yzygider birikdirilen garşylygy nola deňläp ( $R_p = 0$ ) hereketlendirijini işletsek, onda setiň naprýaženiýesi tutuşlygyna ýakora hem-de  $R_s$  garşylyga düşer, ýakorda we  $R_s$  garşylykda setiň naprýaženiýesi öz ululygyny hemişelik saklar. Şeýlelikde, ýakordan akýan tok hem özüniň iň uly bahasyna eýe bolar, ýagny hereketlendiriji özüne mahsus tebigy häsiýetnamasynda işlär.

Eger-de  $R_p = \infty$  bolsa, onda hereketlendirijiniň setden iýmitlenmesi kesilip, daşky şuntirleýji  $R_s$  garşylyk bilen ýapyk zynjyry emele getirip, dinamik tormozlanyşa geçer. Şeýle ýagdaýa mahsus häsiýetnama koordinatyň merkezinden geçip gider. Bu häsiýetnamanyň kruzitnasy (aşaklygyna eňňitligi ýa-da ýapgytlygy) diňe  $R_s$  garşylygyň ululygyndan bagly bolýar. Şeýlelikde, ýakora yzygider birikdirilen  $R_p$  garşylygyň islendik bahalaryndaky alnan ähli häsiýetnamalar ýokarda düşündirililen iki häsiýetnamalaryň aralygynda ýerleşerler hem-de häsiýetnamalaryň toplumyny (desselerini) emele getirerler.

Eger-de  $R_s$  garşylygyň başga bahasynda  $R_s$ -ni  $R_s = \text{const}$  hemişelik saklap, yzygider birikdirilen  $R_p$  – garşylygy üýtgedip häsiýetnamalary gursak, onda häsiýetnamalaryň başga toplumyny (desselerini) alarys. 3.13-nji çyzgyda  $A'$  nokatdan gaýdýan häsiýetnamalaryň toplumyna serediň. Eger-de  $A$  nokatdan gaýdýan häsiýetnamalaryň toplumu

$R_s = R$  bahada  $R_p$  üýtgedilip gurlan bolsa, onda  $A'$  nokatdan gaýdýan häsiýetnamalaryň toplumy  $R_s = R_{s2}$  bahada  $R_p$  üýtgedilip gurlan häsiýetnamalaryň toplumydyr.

Başga görnüşli häsiýetnamalaryň toplumyny-da gurmak bolýar, meselem, yzygider birleşdirilen  $R_p$  garşylygy hemişelik saklap, şuntirleýji  $R_s$  garşylygyň dürli bahalarynda häsiýetnamalar toplumy  $R_s$  garşylygyň iki bahasynda  $B_1$  hem-de  $B_2$  nokatlardan gaýdýan häsiýetnamalaryň toplumy (desseleri) 3.14-nji çyzgyda görkezildi.



**3.14-nji çyzgy. Yzygider garşylygy hemişelik saklap, şuntirleýji garşylygyň islendik bahalarynda gurlan häsiýetnamalaryň toplumy**

Hereketlendiriji diňe minus (ters) tizlikde aýlananda, şular ýaly şerti amala aşyryp bolýar. Degişli deňlemesi

$$E = -I \cdot R_{yak}. \quad (3.19)$$

Şeýle ýagdaýda şuntirleýji  $R_s$  garşylygyň islendik bahasynda onuň üstünden tok akmaýar, sebäbi ýakoryň çotkalarynyň arasynda potensiallaryň tapawudy nola deň bolýar. Şeýlelikde, hereketlendiriji tok kabul edip başlaýar, şol toguň tapylyşy Omuň kanunyna esaslanýar:

$$I = \frac{U}{R_p}. \quad (3.20)$$

3.14-nji çyzgydaky  $B_1$  nokatdaky tizligiň bahasyny tapmak üçin,  $I$  – toguň bahasyny 3.19-njy deňlemede goýup,  $E$ -ni  $\omega_{B1}$  bilen,  $U$ -ny  $\omega_0$  bilen çalşyrsak, onda

$$\omega_{B1} = -\omega \frac{R_{yak}}{R_{p2}} \quad (3.21)$$

görnüşli deňlemäni alarys.

Eger-de predel ýagdaýda  $R_{p2}$  garşylygy üýtgetmän hemişelik ululygynda saklap, şuntirleýji  $R_s$  garşylygy üýtgedip gursak, onda 3.14-nji çyzgyda iki sany ýognaldylan liniýany alarys. Eger-de  $R_s = 0$  bolsa, onda häsiýetnama tebigy häsiýetnama parallel bolup, hereketlendiriji dinamiky tormozlanýşda işleýär.

Häsiýetnama koordinatyň merkezinden geçer. Eger-de  $R_s = \infty$  bolsa, onda şuntirleýji garşylygyň üzüldigine deňgüýçli (ekwiwalent) bolup, hereketlendiriji  $R_{p2}$  garşylyga degişli häsiýetnamany emele getirer. Şeýle häsiýetnama  $\omega_0$  tizligiň üstünden geçip gider. Şeýlelikde, häsiýetnamanyň krutiznasy (asak eňňitligi, ýapgytlygy) hem-de  $B_1$  nokadyň ýagdaýy diňe  $R_p$  garşylygyň bahasyna (ululygyna ýa-da kiçiligine) bagly bolýar. Şuntirleýji garşylygyň dürli bahalarynda gurlan häsiýetnamalar, şol ýognaldylyp gurlan iki sany liniýanyň aralygynda bolarlar. Meselem,  $R_{s2}$  garşylygyň ikinji bahasynda  $B_2$  nokatdaky ýagdaýlar degişlidirler.

Tizligiň sazlanýş predeli seredilen mysalymyz üçin  $(3 \div 5) : 1$  esse. Tizlikleri sazlamakda ykdysady nukdaýnazardan iň gowy usul diýip, ýüküň momentiniň üýtgedilmän saklanyp sazlanýşy hasaplanýar, sebäbi hereketlendirijiniň magnit akymy hemişelikligini saklap, ýakordaky tok bolsa özüniň nominal bahasynda işleýär.

Ýakor şuntirlenip, tizligiň sazlanýşy kiçi kuwwatly priwodlarda giňden ulanylýar. Şeýle priwodlaryň uzak wagtlap işledilmegi, ýitgileriň köp bolýandygy üçin tygşytly däl hasaplanýlar.

**3.3-nji mesele.** Sarymy parallel birikdirilen ПН-68 görnüşli hemişelik toguň hereketlendirijisiniň ýakor zynjyry üçin şuntirleýji we yzygider (goşmaça) garşylyklaryny tapmaly hem-de hereketlendiriji boş (ýüksüz) işlände  $n_{01} = 0,5 \cdot n_0$ ,  $n_{02} = 0,25 \cdot n_0$  hem-de degişlilikde üýtge-meýän nominal ýükler üçin  $n_1 = 0,3 \cdot n_{nom}$  we  $n_2 = 0,15 \cdot n_{nom}$  ýagdaýlarda ideal tizliklerinden geçip gidýän mehaniki häsiýetnamalaryny gurmaly. Hereketlendirijiniň pasportynda berlen parametrleri:

$$P_{nom} = 10 \text{ kWt}, U = 220 \text{ W}, I_{nom} = 52,2 \text{ A}, n_{nom.} = 2250 \text{ aýl/min.}$$

**Çözülişi.** Tizligiň häsiýetnamasynyň (3.14) deňlemesini bir tizlikden başga bir tizlige böküp geçişini (perepadyny) sähelçe özgerdip ýazyp bileris:

$$\Delta n_{\text{ş}} = \Delta n_0 \left( 1 + A \cdot \frac{R_p}{R_{\text{yak}}} \right).$$

Bu ýerde

$$A = \frac{n_{nos}}{n_0};$$

$\Delta n_{\text{ş}} = \Delta n_{o.\text{ş}} - n$  hereketlendirijiniň ýakory şuntirlenende tizlikleriň tapawudy (perepady);

$\Delta n_0$  – hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasyndaky tizlikleriň tapawudy (perepady).

Bu deňlemede  $A$  bilen  $\Delta n_{\text{ş}}$  berlen hasap edilýär, emma  $\Delta n_0$  tizligiň tapawudy tebigy häsiýetnamadan anyklanylýar.

Bu özgerdilen deňlemeden  $R_p$  – garşylygy tapmak üçin edilen amallardan soň, gelnen netije

$$R_p = \frac{\Delta n_{\text{ş}} - \Delta n_0}{\Delta n_0} \cdot \frac{R_{\text{yak}}}{A}.$$

Şuntirleýji  $R_{\text{ş}}$  garşylygyň tapylyşy

$$R_{\text{ş}} = \frac{A_0}{1 - A} \cdot R_p.$$

Şeýlelikde,

$$\Delta n_e = \Delta n_{nom} = n_o - n_{nom.} = 2408 - 2250 = 158 \text{ aýl/min};$$

$$R_{\text{yak.}} = 0,274 \text{ Om.}$$

$R_{\text{ş}}$  hem-de  $R_p$  – garşylyklaryň hasaplanylşlary:

$$\text{a) } A_1 = \frac{n_{01}}{n_0} = 0,5; n_1 = 0,3 \cdot n_{nom.} = 0,3 \cdot 2250 = 675 \text{ aýl/min;}$$

$$n_{01} = 0,5 \cdot n_0 = 0,5 \cdot 2408 = 1204 \text{ aýl/min;}$$

$$\Delta n_{s1} = n_{01} - n_1 = 1204 - 675 = 529 \text{ aýl/min.}$$

Goşmaça garşylygyň tapylyşy

$$R_{p1} = (529 - 158) \cdot \frac{0,274}{158 \cdot 0,5} = 1,29 \text{ Om.}$$

Şuntirleýji garşylygyň tapylyşy

$$R_1 = \frac{0,5}{1 - 0,5} \cdot 1,29 = 1,29 \text{ Om.}$$

$$\text{b) } A_2 = \frac{n_{02}}{n_0} = 0,25; n_2 = 0,15 \cdot n_{nom.} = 0,15 \cdot 2250 = 337,5 \text{ aýl/min;}$$

$$n_{02} = 0,25 \cdot n_0 = 0,25 \cdot 2408 = 602 \text{ aýl/min;}$$

$$\Delta n_{s,2} = n_{02} - n_2 = 602 - 337,5 = 264,5 \text{ aýl/min.}$$

Goşmaça birikdirilen garşylygyň tapylyşy

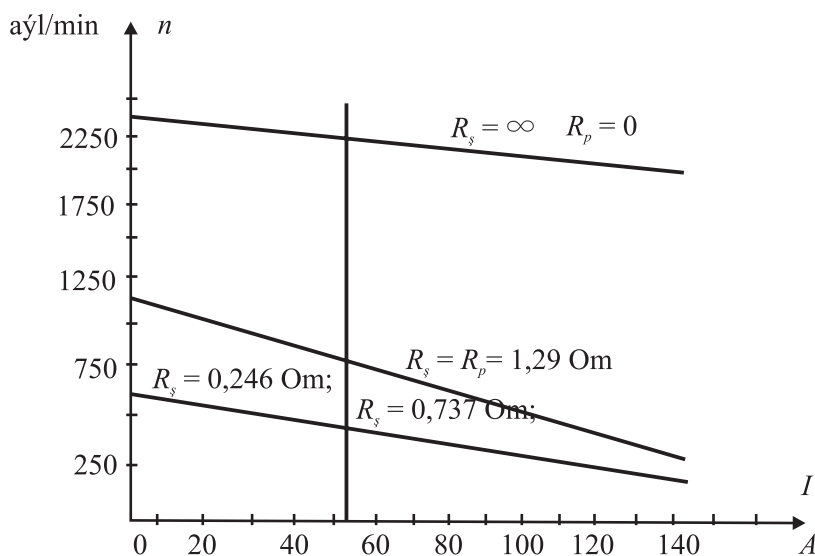
$$R_{p2} = \frac{264,5 - 158}{158} \cdot \frac{0,274}{0,25} = 0,737 \text{ Om.}$$

Şuntirleýji garşylygyň tapylyşy

$$R_{s2} = \frac{0,25}{1 - 0,25} \cdot 0,737 = 0,246 \text{ Om.}$$

3.15-nji çyzgyda tebigy häsiýetnama bilen ýakor şuntirlenendäki häsiýetnamalar görkezildi.





3.15-nji çyzgy. ПН-68 görnüşli hereketlendirijiniň ýakory şuntirlenendäki mehaniki häsiýetnamalar

### 3.5. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşy

Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilerde edil parallel oýandyryjyly hereketlendirijilerdäki ýaly aýlanýan tizligi sazlamagyň üç usuly bar, olar:

- ýakoryň zynjyrynda garşylygy üýtgedip tizligi sazlamak;
- oýandyryjy sarymynda togy üýtgedip tizligi sazlamak;
- hereketlendirijiä berilýän naprýaženiýäni üýtgedip tizligi sazlamak.

Bu üç sany usul tizligi häsiýetlendirýän deňlemeýen gelip çykýar:

$$\omega = \frac{U - I \cdot R}{k\Phi}.$$

*Ýakoryň zynjyrynda garşylygy üýtgedip tizligi sazlamak.* Hereketlendirijiniň ýakoryna garşylygy yzygider birikdirip, onuň tizligini esasy

tizlikden aşaklygyna tarap sazlap bolýar. Garşylygy näçe köpeltidigiňçe, şonça-da häsiýetnamanyň gatylygy ýumşaýar. Tizligi sazlamagyň diapazony ( $2 \div 3$ ) : 1 esseden geçmeýär, özi-de ýüklenýän ýükden bagly bolýar.

Ähli tizliklerde ýükleriň dürli bahalarynda hereketlendirijini doly we hiç hili nogsansyz ulanmak üçin, hereketlendirijiniň öz ýük momentiniň hemişelik ululygy saklanmalydyr hem-de ýakoryň togy özüne niýetlenilen nominal togunyň bahasyna deň bolmalydyr. Yzygider birikdirilen reostatyň garşylygynda ýitirilýän kuwwatyň bijaý ululygyna garamazdan, bu usul ýük göteriji-düşüriji kranlarda, massasy äpet ýükleri duran ýerlerinden gozgamaly (süýşürmeli) bolanda giňden ulanylýar.

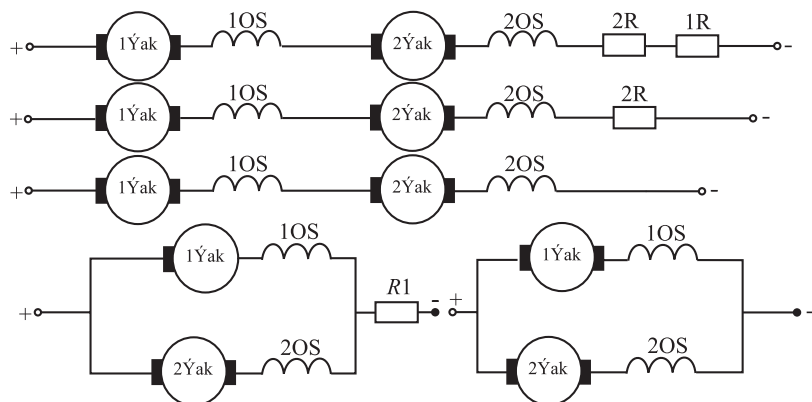
*Oýandyryjy sarymyň toguny üýtgedip tizligi sazlamak* usuly haçanda sazlamagy esasy tizlikden ýokarda gerek bolanda (talap ýüze çykanda) ulanylýar. Meselem, trolleybuslarda, tramwaýlarda, elektrikleşdirilen poýezdlerde, ýük aşaklygyna düşürilende, kuwwatly kranlarda şeýle ýagdaýlar döremegine hemişe sataşylýar.

Oýandyryjy sarym bilen ýakoryň sarymy özara yzygider birikdirilýändigleri sebäpli, şeýle hereketlendirijileri dolandyraýmak (aýlanýan tizligi sazlaýmak) ýeňil düşmeýär. Hereketlendirijini ýeňil sazlamak diňe parallel oýandyryjyly hereketlendirijilerde başardýar. Şonuň üçin-de, yzygider oýandyryjyly hereketlendirijilerde ýa hereketlendirijiniň oýandyryjy sarymyny ýa-da ýakory reostatlar bilen şuntirmek arkaly amala aşyrylýar. Aýdylyşy ýaly (OS) oýandyryjy sarym şuntirlenende aýlanýan tizligiň sazlanýş diapazonyny birneme giňeltmek başardýar.

Hereketlendirijä berilýän naprýaženiýäni üýtgedip tizligi sazlamak usuly ýa-ha aýratyn generator bilen iýmitlendirilende, ýa-da yzygider, parallel çatylan hereketlendirijiler arkaly amala aşyrylýar. 3.16-njy çyzgyda tizligi sazlamagyň baş görnüşli ýöriteleşdirilen elektrik shemalary görkezildi. Olardan ikisi reostatsyz (ýitgisiz) shemalardyr.

Setden iýmitlendirilýän hereketlendirijiniň naprýaženiýesini iki esse ulaldyp, 3.16-njy çyzgyda görkezilen shemalaryň kömegi bilen tizligi iki basgançakly üýtgedip bolýar. Bir hereketlendirijiniň deregine iki hereketlendirijiniň ulanylmagy dürli sebäpler bilen düşündirilýär (meselem, goýberiliş wagty mahowigiň momentini azaltmak maksady bilen), başga-da ençeme kuwwatly mehanizmlerde (transport ulgamlarynda, tramwaýlarda, kuwwatly

kesiji gaýçylarda) giňden ulanylýar. Täsin bir ýagdaý, ol hem iki sany meňzeş hereketlendiriji bir umumylaşdyrylan wala işleýärler.



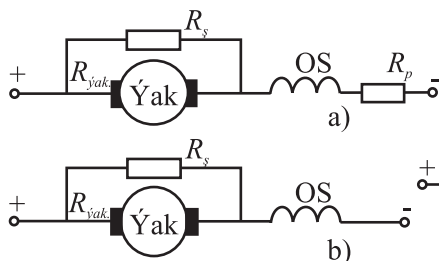
**3.16-njy çyzgy. Oýandyryjy sarymlary yzygider iki sany meňzeş hereketlendirijileriň kömegi bilen mehanizmleriň tizliklerini sazlamak üçin tekliplenen elektrik shemalar**

Ykdysady tarapdan seredeniňde-de, mehanizmler iki hereketlendirijili işledeniňde, özboluşly gowý taraplary bardyr, meselem, iki hereketlendirijini yzygider birleşdirip işledeniňde setiň naprýaženiýesi deň paýlanyp bir tizlikde işlese, parallel birleşdireniňde hereketlendirijiniň ikisine-de setiň naprýaženiýesi düşýär, netijede, hereketlendiriji ikinji (ýokarlandyrylan) tizlikde işläp başlaýar. Şeýle usul bilen mehanizmleriň tizligini hiç hili reostatsyz iki basgançakly işledip bolýar. Eger-de, şol iki basgançagyň aralaryndaky tizlikler gerek bolsa, onda ýakoryň zynjyryna yzygider  $1R$ ;  $2R$ .... reostatlary birleşdirip, islendik aýlanýan tizlikleri alyp bolýar.

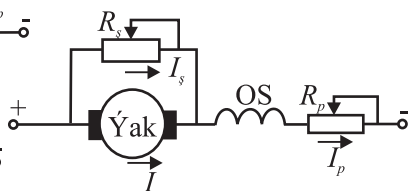
### **3.6. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýakorynyň ýa-da oýandyryjy sarymynyň şuntirlenip aýlanýan tizliginiň sazlanýlyşy**

Hereketlendirijiniň aýlanýan tizligini sazlamaly bolanda, meselem, tizligi nominal bahasyndan aşaklygyna peseltjek bolsaň, ýakoryň sarymyny şuntirmek arkaly amala aşyrylýar. Ýakory şuntirle-

megiň bolubiläýjek shemalarynyň üç görnüşi 3.17-nji hem-de 3.18-nji çyzgylarda görkezildi.



**3.17-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýakorynyň şuntirlenişiniň shemalary**



**3.18-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýakorynyň şuntirlenip tizligini sazlamagyň shemasy**

Eger-de 3.17-nji çyzgydaky “a” shemadan peýdalanylsa, onda naprýaženiýäniň belli bir bölegi  $R_p$  garşylykda ýiter, netijede,  $R_p$  garşylykdan akýan tok  $I_p = I_{\text{ýak}} + I_s$  toklaryň jemine deň bolar. Emma, juda kiçi ýüklerde (momentlerde) hereketlendirijiniň häsiýetnamasy ordinata okuna asimptotiki golaýlaşýanlygy sebäpli, häsiýetnama çendenaşa ýumşak häsiýete eýe bolýar hem-de ordinata oky bilen hiç haçan kesişmeýär.

Emma, ýokardaky “a” shema bilen deňşdirilende, has amatly ýagdaýy 3.17-nji “b” shemadan peýdalanylanda görmek bolýar. Bu shemada tizligiň peseldilmegini oýandyryjy sarymyň toguny ulaldyp, sonuň esasynda magnit akymynyň has köpeldilýänligi bilen amala aşyrylýar.

Bu ýagdaýda häsiýetnamanyň gutarnykly bahasy bolup, hereketlendirijiniň boş (ýüksüz) işleýän wagtyndaky ideal tizligine deňleşip, ordinata okuny kesip geçýär, ýagny asimptotika ýagdaý döremeýär. Netijede, şol şuntirleýji  $R_s$  reostatyň garşylygy näçe kiçi bolsa, şonçada boş (ýüksüz) wagtyndaky ideal tizligi aşak düşýär. (3.19-njy “a” çyzgydaky häsiýetnamalar toplumyny seljeriň) Şonuň üçin-de, ýüküň kiçi bahalarynda ideal tizlik has aşak gaçýar, tizlik aşak düşdigiçe-de, häsiýetnamalar gataýar (ýagny  $x$  okuna parallelleşmegi güýjeýär).

Dogrudan-da, eger ýüküň togy  $I = 0$  bolsa, onda hereketlendirijide döreýän EHG-niň tapylyşy

$$E = k \Phi \cdot \omega_0 = I_s R_s$$

hem-de hereketlendirijiniň aýlanýan ideal tizliginiň kesgitlenişi

$$\omega_0 = \frac{I \cdot R_s}{k \cdot \Phi} \quad (3.22)$$

görnüşe eýe bolar.

Eger-de hereketlendirijiniň ferromagnit bölekleriniň magnitleniş doýmagyny hasaba almasak hem-de  $\Phi = \alpha \cdot I_s$  diýip kabul etsek, onda

$$\omega_0 = \frac{R_s}{\alpha \cdot k} = K' \cdot R_s. \quad (3.23)$$

Bu deňlemeden şeýle netijä gelip bolýar, ýagny hereketlendirijiniň tizliginiň peselmegini oýandyryjy sarymda toguň köpeldileni bilen hereketlendirijiniň ferromagnit böleginde magnit doýgunlygy sebäpli çäklenýär diýlip düşündirilýär. Şeýle çäklenmeler özleşdirilen shemanyň kem tarapy hasaplanylýar.

Emma 3.18-nji çyzgyda görkezilen shemada öňki seredilen iki shemadaky nogsanlyklaryň (kemlikleri) döremezliginiň hötde-sinden gelmekligi başardýar. Şeýle shemada bir wagtyň özünde hem ýakora berilýän naprýaženiýäni peseldip hem-de togy üýtgedip, magnit akymyny peseldip ýa-da köpeldip bolýar. Dogrudanda, berlen islendik toguň bahasynda oýandyryjy sarymyň dürli bahalaryndaky togy alyp bolýar:

$$I_p = I + I_s.$$

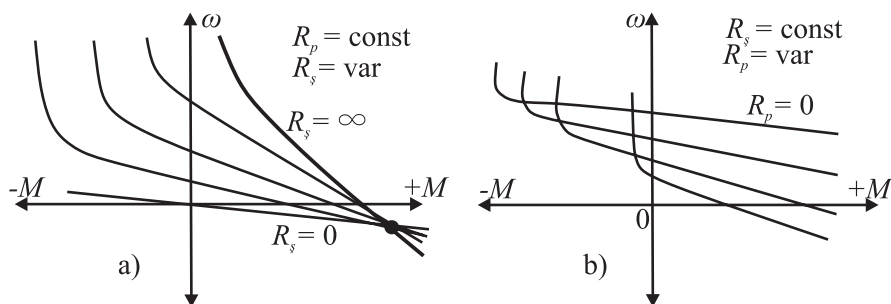
Bu deňlemede  $I_s$  – togy şuntirleýji garşylygy üýtgedip, islendik tizlige mahsus häsiýetnamalary alyp bolýar.

Hereketlendirijiniň tizliginiň sazlanýşy esasy tizlikden aşak ýeterlik diapazonda  $R_s$  bilen  $R_p$  garşylyklaryň gatnaşygyndan hem-de maşynyň magnitleniş doýgunyndan baglylykda sazlap bolýar.

Bu seredilýän ýagdaýda tizligi ep-esli peseldip, mehaniki häsiýetnamany bolsa gataldyp bolýar. Hödürlenilýän elektrik shema üçin 3.19-njy çyzgyda bu shemanyň mehaniki häsiýetnamalary görkezildi.

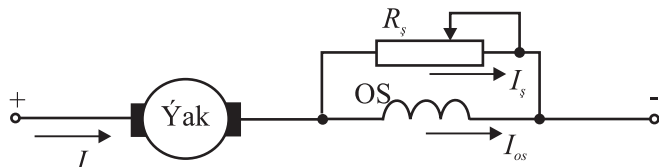
3.19-njy “a” çyzgyda görkezilen mehaniki häsiýetnamalar edil parallel oýandyryjyly hereketlendirijilerdäki ýaly (3.14-nji çyzga seret)

$R_p = \text{const}$  we  $R_s = \text{var}$  bolanda umumy bir nokatda kesişýärler. Bu häsiýetnamalar iki sany ýogynlandyrylan liniýalar bilen çäklenýärler. Predel ýagdaýlarda, ýagny  $R_s = \infty$  mehaniki häsiýetnama beýleki häsiýetnamalar bilen deňşdireninde ýumşakdyr. Emma  $R_s = 0$  bolanda ýakoryň gysgyçlary gysga utgaşdyrylan düzgünde işlär, ýakordaky naprýaženiýe nola deň bolar, mehaniki häsiýetnama koordinatyň merkezinden geçär we gaty bolar.



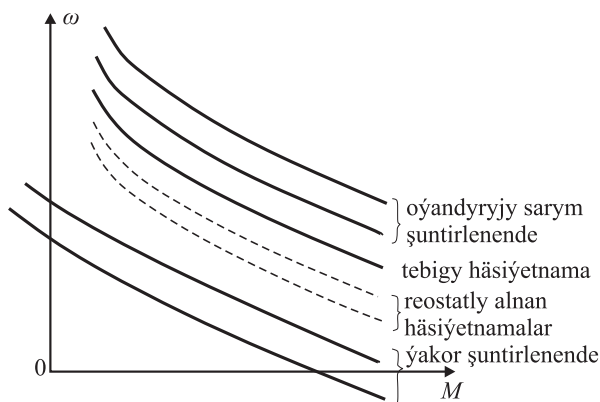
**3.19-njy çyzgy. Oýandyryjy sarmy yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň ýakory şuntirlenendäki mehaniki häsiýetnamalaryň toplumu**

Hereketlendirijiniň oýandyryjy sarmy şuntirlenip, onuň aýlanýan tizliginiň sazlanýş usuly 3.20-nji çyzgyda görkezilen shema arkaly amala aşyrylýar.



**3.20-nji çyzgy. Hereketlendirijiniň oýandyryjy sarmyny şuntirleýji garşylygy üýtgedip, yzygider birikdirilen ýakoryň aýlanýan tizliginiň sazlanýş shemasy**

Bu shemada tizligiň sazlanýş hereketlendirijiniň magnit akymyny azaldyp-köpeltmek arkaly amala aşyrylýar. Sebäbi, hereketlendirijiniň ýakoryna berilýän  $I$  – togy, şuntirleýji  $R_s$  garşylygy azaldyp-köpeltmek arkaly, öz islegimize görä üýtgedip bolýar, çünki oýandyryjy sarmyň togy  $I_{os} = I - I_s$  deňleme arkaly üýtgedip bolýandygy düşnükli. Şeýle shemalarda hereketlendirijidäki magnit akymyň peselýändig sebäpli, aýlanýan tizlik esasy tizlikden has ýokarda bolup geçýär.



**3.21-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijilerde onuň tizligini dürli usullar bilen sazlap alyp bolýandygynyň mehaniki häsiýetnamalary**

Bu shemalardan peýdalanyň tizlikleri sazlamak ykdysady tarapdan tygşytlý hasaplanylýar, sebäbi şuntirleýji garşylykdaky ýitirilýän kuwwat hem peselýär. Şeýle iş düzgünlerinde yzygider sarymly hereketlendirijiniň iş düzgünü parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň peseldilen magnit meýdanyndaky iş düzgünine golaýlaşýar. Munuň sebäbini oýandyryjy sarymyň garşylygynyň örän ujypsyzdygy üçin, şuntirleýji reostatyň-da garşylygy örän ujypsyz bolmalydygy bilen düşündirip bolýar.

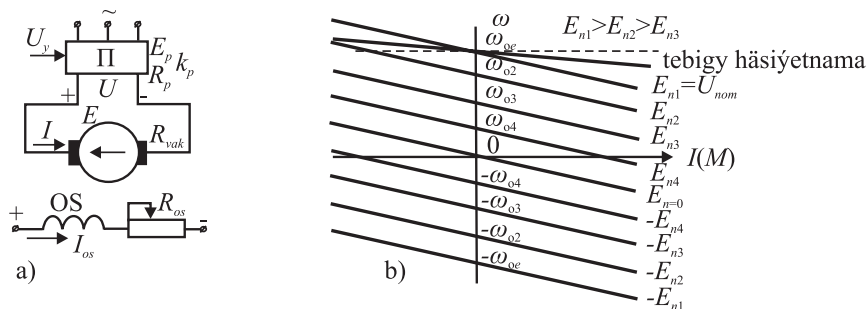
Hereketlendirijiniň kuwwaty hemişelik saklanylanda, onuň aýlanýan tizliginiň sazlanýşynyň çägi (predeli) 2:1 esseden geçmeýär.

Ýüklenýän ýüküň hemişelik momentinde bolsa bu çäklenmegiň predeli 2:1 esseden-de pes bolýar. Şeýle elektropriwodlar metallurgiýa zawodlarynda giňden ulanylýar. Elektropriwodyň hereketlendirijisiniň kuwwaty hemişelik saklanyp, tizligiň ösdürilmegi bilen momentiň peselmegi örän tygşytlý sazlanýş hasaplanylýar.

3.21-nji çyzgynyň iň ýokarky böleginde oýandyryjy sarymy şuntirlenende alnan mehaniki häsiýetnamalar görkezildi. Iň aşak böleginde bolsa hereketlendirijiniň ýakory şuntirlenende alnan mehaniki häsiýetnamalar görkezildi. Şol çyzgyda ýene-de hereketlendirijiniň tebigy häsiýetnamasy-da görkezildi. Çyzgydaky punktirli mehaniki häsiýetnamalar ýakoryň zynjyryna yzygider birikdirilen  $R_p$  – reostatlar arkaly alnandygyny aňladýar.

### 3.7. Hemişelik toguň hereketlendirijilerini üýtgeýän toguň çeşmesinden özgerdijiler arkaly iýmitlendirip tizlikleriň sazlanýşy

Hemişelik toguň hereketlendirijileriniň tizligini giň diapazonda sazlamak üçin 3.22-nji çyzgyda görkezilen shemadan peýdalanýarlar.



**3.22-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy garaşsyz çeşmeden iýmitlendirilýän hemişelik toguň ýakoryna berilýän naprýaženiýäniň üýtgedilip tizligiň (koordinatyň) sazlanýlyşy:**

*a – hereketlendirijiniň shema-birleşmesi; b – häsiýetnamalary*

Bu shemada hereketlendirijiniň ýakoryny ýörite dolandyryp bolýan (üýtgeýän togy hemişelik toguna özgerdijilerden-gönel-dijilerden) çeşmelerden iýmitlendirilip, girelgesi ýörite  $U_{dol.} = U_y$  dolandyryjy naprýaženiýe bilen sazlanýlýar. Şeýlelikde, 3.8-nji çyzgyda özleşdirilen  $G-D$  shemanyň deregine 3.22-nji çyzgyda görkezilen shema bilen çalşyryp bolýar. Shemada generatoryň deregine ionly özgerdijilerden ýa-da elektromaşynly, elektromagnitli, ýarymgeçirijili ýaly özgerdijilerden peýdalanyp bolýar. Oýandyryjy sarymy ýörite niýetlenilen hemişelik toguň çeşmelerinden (meselem, dolandyryp bolmaýan göneldijilerden) iýmitlendirilýär.

Üýtgeýän togy hemişelik toguna özgerdiji  $\Pi$  umumy ýagdaýda  $E_{\Pi}$  EHG-si we  $R_a$  garşylygy bilen hem-de  $k_y = E_{\Pi}/U_y$  güýçlendiriji koeffisiýenti bilen häsiýetlendirilýär, bu ýerde  $U_y$  – girelgede dolandyryjy signaly aňladýar. 3.22-nji “a” çyzgyda özgerdijiniň çykalgasyndaky  $U$  naprýaženiýe  $I$  tokdan baglydygyny



$$U=E_{\Pi}-IR_{\Pi} \quad (3.24)$$

deňlemede görmek bolýar.

Şeýlelikde, (3.24) deňlemeden peýdalanyp (2.4) hem-de (2.5) deňlemelere-de esaslansak, onda hemişelik toguň hereketlendiriji elektromehaniki we mehaniki häsiýetnamalarynyň  $\Pi$ -D ulgam üçin degişli deňlemelerini alarys:

$$\omega = \frac{E_{\Pi}}{k\Phi} - \frac{I(R_{yak} + R_{\Pi})}{k\Phi} = \frac{k_{\Pi} \cdot U_y}{k\Phi} - \frac{I(R_{yak} + R_{\Pi})}{k\Phi} = \omega_0 - \Delta\omega. \quad (3.25)$$

$$\omega = \frac{E_{\Pi}}{k\Phi} - \frac{M(R_{yak} + R_{\Pi})}{(k\Phi)^2} = \frac{k_{\Pi} \cdot U_y}{(k\Phi)^2} - \frac{M(R_{yak} + R_{\Pi})}{(k\Phi)^2} = \omega_0 - \Delta\omega. \quad (3.26)$$

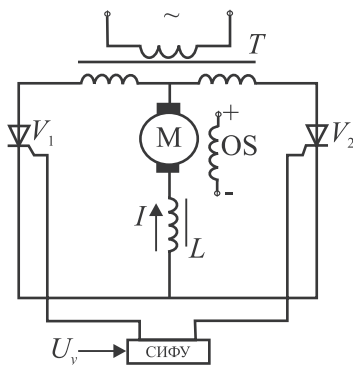
(3.25) we (3.26) deňlemelerden görnüşi ýaly,  $\Pi$  özgerdijiniň EHG-si üýtgedilende, hereketlendirijiniň aýlanan  $\omega$  tizligi EHG-ä görä üýtgeýändigini emeli alnan häsiýetnamalardan görmek bolýar. Şol emeli häsiýetnamalar zynjyrdaky  $R_{\Pi}$  garşylyga göni bagly bolup, örän uly eňňitligi hem-de tizligiň  $\Delta\omega$  ululykda orun üýtgemegini emele getirýär. Häsiýetnamalaryň eňňitligi 3.22-nji “b” çyzgyda görkezildi. Bu çyzgyny 3.9-njy çyzgyda görkezilen mehaniki häsiýetnamalar bilen özara deňeşdirip degişli netijeleri çykarmak ähmiýetlidir.

Häzirki döwürde hemişelik toguň hereketlendirijisiniň tizligini sazlamak üçin ýarym geçiriji abzallardan gurnalan statiki özgerdijiler giňden ulanylýar. Köplenç, tiristorly özgerdijiler has köp ulanylýar. Munuň sebäbini tiristorlary dolandyryp bolýandygy bilen hem-de olaryň kömeği bilen rewersli we rewerssiz iş düzgünlerini gurnap bolýandygy bilen düşündirilýär.

Üç fazaly üýtgeýän tokdan iýmitlendirilende özgerdijileri (hemişelik toga öwrüjileri) umumy nokatly ýa-da köprüli shemalardan ýygnap bolýanlygy  $G$ -D ulgamlar bilen deňeşdirilende, has tygşylylygy bilen tapawutlanýarlar.

Mysal hökmünde tiristorly özgerdijili-hereketlendiriji (ТП-D) ulgamyň shemasyny özleşdireliň. Bir fazaly çeşmeden iýmitlendirilýän umumy nokatly göneldiji  $T$  transformatordan, iki sany  $V_1$

hem-de  $V_2$  tiristorlardan we şol tiristorlar bilen dolandyrylýan СИФУ-lardan gurnalýar. (СИФУ – система импульсно-фазового управления). Türkmençe: fazasy impuls bilen dolandyrylýan ulgam-diýen manyny berýär. ТП özgerdiji zerur naprýaženiýe bilen hereketlendirijini üpjün edýär. Hereketlendirijini naprýaženiýäniň belli bahasy bilen üpjün etmek üçin tiristorlaryň katodyna dolandyrmak üçin berilýän naprýaženiýe bilen başlangyç  $\alpha$  burçuny üýtgetmek arkaly amala aşyrylýar. Tiristoryň  $\alpha$  burçunyň açylyan momenti (pursady) tiristoryň anodynyň potentsialy katodynyň potentsialyndan uly bolan ýagdaýda tiristordan tok akyp başlaýar. Şeýlelikde, TP özgerdiji  $E_{\Pi}$  EHG-siniň ortaça bahasy bilen hereketlendirijini iýmitlendirýär.



**3.23-nji çyzgy. Tiristorly özgerdiji-hereketlendiriji (ТП-Д) ulgamyň elektrik shemasy**

Haçan-da başlangyç faza burçy  $\alpha = 0$  bolanda, ýagny  $V_1$  hem-de  $V_2$  tiristorlar СИФУ-дан signal bilen dolandyrylýan wagty (tiristorlaryň açyk pursady) özgerdiji tiristorlar iki ýarym periodly göneldiji shema öwrülip, hemişelik toguň (HTD) hereketlendirijisini doly naprýaženiýe bilen iýmitlendirýär,  $E_{ort} = \frac{2 \cdot E_m}{\pi}$  deň bolar.

Eger-de СИФУ-nyň kömegi bilen  $\alpha \neq 0$  iş ýagdaýyny döretsek, onda göneldilen naprýaženiýäniň ortaça bahasy öňki ( $\alpha = 0$  pursatdaky) bahasyndan kiçi bolar. Göneldilen EHG-niň ortaça bahasynyň şol dolandyrylýan  $\alpha$  burçdan baglydygy şu aşakdaky deňleme arkaly amala aşyrylýar (kesgitlenilýär):

$$E_{ort} = \frac{E_{\max} \cdot m}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos \alpha = E_{ort} \cdot \cos \alpha. \quad (3.27)$$

Bu ýerde:  $m$  – fazalaryň sany (iki ýarym periodly göneldijiler üçin  $m = 2$ , üç ýarym periodly  $m = 3$  deň bolar);

$E_{\max}$  – özgerdiji (göneldiji) arkaly alnan EHG-niň maksimal (amplituda) bahasy;

$E_{ort,0} - (\alpha = 0)$  pursatda özgerdijiniň EHG-si.

Özgerdijiniň EHG-siniň pulsirleýji häsiýete eýe bolýandygy sebäpli, hereketlendirijiniň ýakoryna berilýän naprýaženiýe hem pulsirleýji häsiýete eýe bolar. Şonuň üçin-de hemişelik toguň (HTD) hereketlendirijisiniň düzüm işlemegine pulsirli tok zyýanly täsirlerini ýetirýär (kollektorlarynda garaşylmaýan uçgunlaryň döremegine, gerekmejek goşmaça ýitgilere, hereketlendirijiniň gyzmagyna ýaly zyýanly hadysalara getirýär). Bu aýdylan nogsanlyklary kiçeltmek (ortadan aýyrmak) üçin, hereketlendirijiniň ýakorynyň zynjyryna togy ýumşadyjy (has dogrusy togy tekizleýji, düzleýji)  $L$  – reaktorlardan peýdalanýarlar. Pulsirleýji togy has gowy düzlemek üçin üç fazaly göneldijilerden peýdalanmak amatlydyr.

Wentilli özgerdijilerden iýmitlenýän hemişelik toguň (HTD) hereketlendirijisiniň elektromehaniki hem-de mehaniki häsiýetnamalarynyň degişli deňlemelerini şu aşakdaky getirilen deňlemeler arkaly düşündirip bolýar:

$$\omega = E_{ort,0} \cdot \cos \frac{\alpha}{k\Phi} - I \frac{R_{yak} + R_{\Pi}}{k\Phi}; \quad (3.28)$$

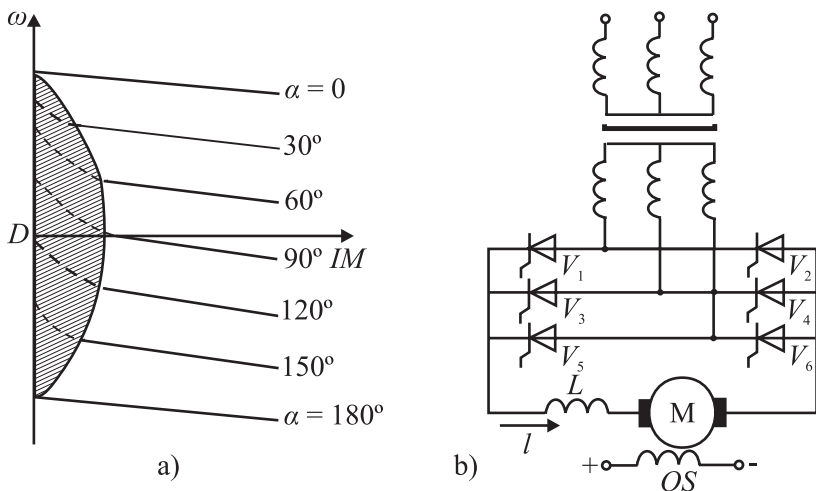
$$\omega = E_{ort,0} \cdot \cos \frac{\alpha}{k\Phi} - M \frac{R_{yak} + R_{\Pi}}{(k\Phi)^2}. \quad (3.29)$$

Bu ýerde:  $R_{\Pi} = x_T \cdot \frac{m}{2\pi} + R_T + R_L$  – özgerdijiniň ekwiwalent garşylygy;

$x_T$ ;  $R_T$  – transformatoryň ikilenji sarymyna getirilen ýitgileriň aktiw hem-de induktiw garşylyklary;

$R_L$  – düzleýji reaktoryň aktiw garşylygy.

(3.25) hem-de (3.26) deňlemeler esasynda gurlan degişli häsiýetnamalar 3.24-nji “a” çyzgyda görkezildi.



**3.24-nji çyzgy. TII-D shema boýunça rewerssiz elektropriwodyň a – häsiýetnamalary b – elektropriwod üçin tiristorlaryň köprüli rewerssiz ýygnaýan shemasy**

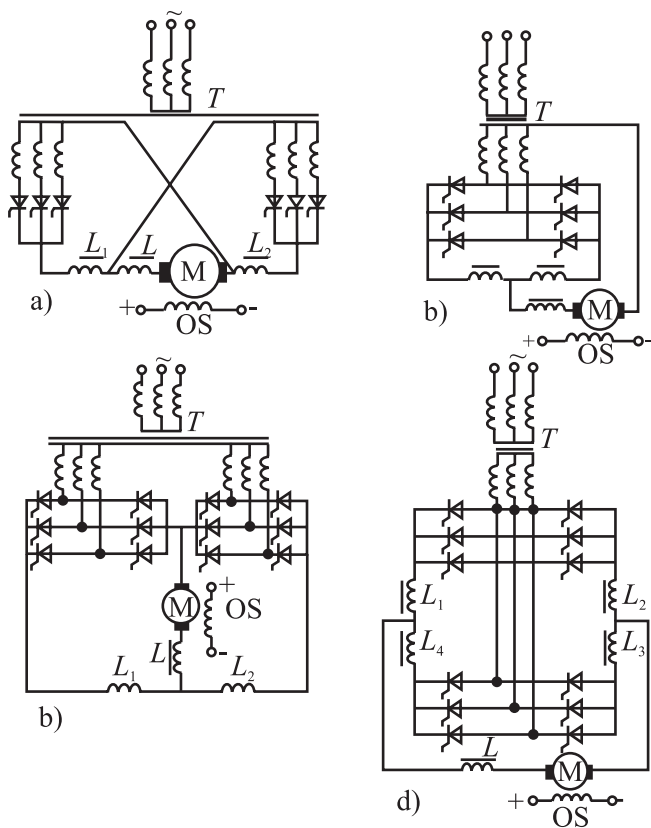
Bu häsiýetnamalaryň aýratyn bir tarapy, ol hem toklaryň üznüklü bolmagydyr. Bu üznüklü toklar ýörite ştrihlenen meýdançada görkezildi. Bu meýdançalarda tizlikleriň häsiýetnamalary göni däl liniýalar boýunça üýtgeýär diýilmegine sebäp bolýar.

Göneldiji tiristorlaryň diňe bir tarapa tok geçirýänligi sebäpli, häsiýetnamalar birtaraplaýyn bolup, diňe we çäryeklerde ýerleşýärler. Çyzgydan görnüşine görä, kiçi  $\alpha$  – burçlarda hemişelik toguň HTD hereketlendirijini ýokary tizliklerde işledýär.

Dolandyryjy  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  burça deň bolanda  $E_{\pi} = 0$  bolup, HTD dinamiki tormozlanyş iş düzgününde işleýär.

Elektropriwodyň üç fazaly çeşmeden tiristorly özgerdijiler arkaly iýmitleşdirilişiniň elektrik shemasy 3.24-nji “b” çyzgyda görkezildi. Şeýle köprüli shemada toguň pulsirlenişi 3.22-nji “a” çyzgydaky bir ýarym periodly (hatda, iki ýarym periodly) shema bilen deňeşdireniňde has kiçi bolýar.

Hemişelik toguň (HTD) hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary koordinatyň dört çäryeginde-de bolmagyny üpjün etmek üçin göneldijiniň rewersli shemasyndan peýdalanylýar. Şeýle rewersli shemalardan birnäçesi 3.25-nji çyzgydaky a, b, ç, d shemalarda görkezildi.



### 3.25-nji çyzgy. Elektropriwodyň tiristorlardan ýygnanan rewersli shemalary:

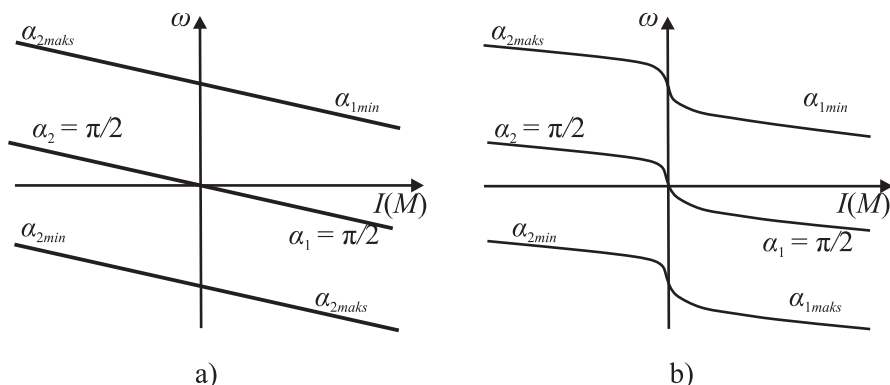
*a – nul çykalgalary özara çatryklaýyn; b – köprüli çatryklaýyn;  
 ç – nul çykalgaly, garşylyklaýyn-parallel; d – garşylyklaýyn-parallel köprüli*

Hemişelik toguň (HTD) hereketlendirijini koordinatyň dört çäryeginde-de işläř ýaly bir komplektde iki sany özgerdijilerden peýdalanyň-da rewersli shemany düzüp bolýandygyny ýatladýarys. Ýöne, bu işi amala aşyrmak üçin, hereketlendirijiniň oýandyryjy sarymyndan akýan toguň ugruny her sapar üýtgedilip durulmagy üpjün edilmelidir.

Wentilli özgerdijiler bilen hereketlendirijiniň rewersini dolandyrmak üçin iki sany komplektlenen wentillerden peýdalanylanda, ikisi bir gutuda ýa-da hersi aýratyn ýaşşıkde kompleklenilip bilner. Komplektlenen wentilleriň haýsy görnüşi ulanylanda-da şol wentilli elektropriwodyň mehaniki häsiýetnamalaryna özbołuşly täsirlerini ýe-

tirýärler. Şonuň üçin-de 3.25-nji çyzgyda görkezilen rewersli shemalaryň hersine aýratynlykda seredeliň.

Komplektler bilelikde ulanylanlarynda, wentillere birwagtyň özünde СИФУ-dan dolandyryjy impulsalary berip, bilelikde dolandyrmak mümkinçiligini döredip bolýar. Özi-de, dolandyryjy impulsalaryň aralyklaryndaky burç  $\alpha = \pi$  baha golaýlanda, şol komlektleriň biri göneldiji bolup işlese, beýlekisi inwertor iş düzgüninde işleýär (*inwersiýa* – latyn sözi bolup, orun çalyşdyryjy, orun üýtgediji ýaly manylary berýär). Göneldiji bilen inwertoryň EHG-leriniň ortaça bahalarynyň aralarynda  $E_{ort.impuls.} > E_{ort.göneld.}$  ýaly deňsizlik saklanylýar, ýöne EHG-leriň pursat bahalarynyň aralarynda hemişe tapawutlaryň bardygy sebäpli, kompletlerde deňleýji toklar döreýär. Şol özara deň däl toklary çäklendirmek maksady bilen, 3.25-nji çyzgylarda düzleýji  $L_1 \div L_4$  reaktorlar ulanylýar.



**3.26-njy çyzgy. Ylalaşdyryjy  $\alpha$  burçlar bilen dolandyrylyp bilelikde işledilende göni “a” hem-de egri “b” iş düzgünlerinde rewersli elektroprivodyň häsiýetnamalary**

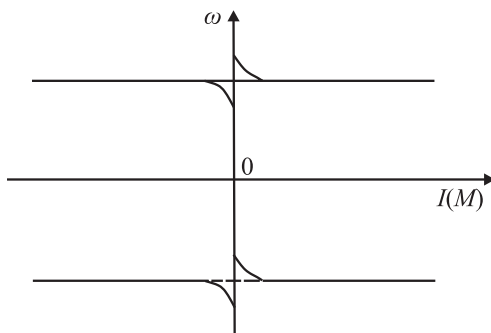
Hemişelik toguň hereketlendirijileriniň (HTD) häsiýetnamalarynyň görnüşleri, şol iki wentilli kompletleriň  $\alpha_1 \div \alpha_2$  burçlarynyň ylalaşdyrylyşlaryna bagly bolýar. Eger-de olaryň göni çyzykly ylalaşyklary gazanylanda,  $\alpha_1$  bilen  $\alpha_2$  burçlaryň jemi  $\pi$  ululyga deň bolýar. Şonuň üçin-de mehaniki häsiýetnamalar G-D ulgamlardaky häsiýetnamalar ýaly gös-göni bolýar (3.26-njy “a” çyzga seret).

Düzleýji (deňleýji) toklaryň pursat bahalarynyň tapawutlaryny çäklendirmek üçin kähälatlarda göni däl ylalaşyklardan peýdalanýarlar. Şeýle egri, ýagny göni däl ylalaşyklarda  $\alpha_1$  we  $\alpha_2$

burçlaryň jemi  $\pi$  ululykdan birneme tapawutlanýarlar. Munuň şeýledigini hereketlendirijiniň dinamik iş düzgüninden generator iş düzgünine geçende  $\omega$  tizligiň ep-esli ýokaryk galýandygyny 2.26-njy “b” çyzgyda görmek bolýar. Megerem şonuň üçindir, göni däl ylalaşykly iş düzgünleri önümçilikde juda seýrek ulanylýar.

*Aýratynlykda dolandyrmak.* Rewersli wentilleri (tiristorlary) aýratynlykda ulanyp elektropruwod dolandyrylanda, düzleýji toklaryň asla bolmazlygy talap edilende peýdalanylýar. Şular ýaly rewerslenýän tiristorly shemanyň esasy manysy, dolandyryjy impulsar tiristorly özgerdijileriň diňe bir komplektine berlip, priwod işledilýär. Beýleki ikinji komplekte impuls berilmeýänligi üçin bu komplekt işledilmän saklanylýar, sebäbi ondaky tiristor açylman ýapyklygynda galýar.

Özgerdijileri ýörite öçürip, açyp bilýän elektropruwodyň ugruny üýtgediji logiki gurnamalar (ЛПГУ) bilen amala aşyrylýar. Bu gurnama tiristorly özgerdijiniň toguny edara edip, sol aýratyn komplektleriň dolandyryjy logiki gurnama komplektleriň birini öçürip, beýlekisini işe goýbermek (girizmek) üçin bary-ýogy  $5 \div 10$  ms wagt sarp edilýändigini ýatlanyp geçilmäge mynasypdyr. Şonuň üçin-de hemişelik toguň hereketlendirijini bir energetiki düzgünden beýleki energetiki düzgüne geçende  $\omega$  – tizligiň okunyň golaýynda üzük-üzük toklaryň emele gelýändigini 3.27-nji çyzgyda görkezildi.



**3.27-nji çyzgy. Aýratynlykda dolandyrylýan rewerslenýän elektropruwodyň häsiýetnamalary**

Elektropriwodyň iş düzgünlerini sazlamagyň hem-de dolandyrmagyň dürli görnüşlerini özleşdirenimizden soň, TPI-D ulgamyň esasy häsiýetlerini belläp geçeliň.

Özleşdirilip geçilen ulgamyň in gowy, has mynasyp taraplaryna şu aşakdaky baş sany häsiýetleri aýtsa bolar:

1. Endigan hem-de tizligi giň diapazonda on görnüşli we ondan-da köp sazlap bolýanlygy.

2. Emeli (reostatly) häsiýetnamalaryň örän gatylygy.

3. Elektropriwodyň ýokary p.t.k-syny, şeýle-de transformatoryň p.t.k-synyň (0,93-0,98) bolýanlygy hem-de dolandyryjy göneldijiniň-de p.t.k-synyň (0,9 ÷ 0,92) töwereginde saklap bolýanlygy.

4. Elektrik maşynlarynyň sanynyň azalýanlygy.

5. Iş wagty hiç hili sesiň-gohuň bolmaýanlygy hem-de hyzmat etmegiň we işletmegiň (ekspluatasiýanyň) örän ýönekeýligi.

Elbetde, şeýle ulgamyň gowy-mynasyp taraplaryndan başga-da alty sany kem taraplaryny-da belläp geçmeklik wajypdyr. Ynha, şol TPI-D ulgama mahsus kem taraplar:

1. Özgerdijiniň diňe bir tarapyna togy geçirýänligi. Koordinatyň dört çäryeginde-de mehaniki häsiýetnamalary almak üçin rewersli komplektden iki sany özgerdijilerden peýdalanmaly bolýandygy.

2. Hemişelik toguň hereketlendirijiniň elektrik çykalgalarynda napryženiýäniň hem-de toguň pulsirleýji häsiýete eýe bolýanlygy sebäpli, elektropriwodyň işleýiş düzgüniniň ýaramazlanmagyna getirýär. Şol pulslary düzlemek üçin ýörite reaktorlary shemada ulanmaga mejbur bolunýar ýa-da üç fazaly göneldijilerden peýdalanylmaly bolýar. (3.25-nji çyzygyda görkezilen shemalary seljeriň!)

3. Bir energetiki iş düzgüninden ikinji energetiki iş düzgünine geçende toklaryň üzük-üzük bolýanlygy sebäpli, häsiýetnamanyň egrelmegine getirýär.

4. Tizligiň sazlamak diapazonyny giňeltdigiňçe elektropriwodyň kuwwat koeffisiýenti hasaplanýan  $\cos\varphi$  peselýär. Ynha, şol kuwwat koeffisiýentiň  $\varphi$  burçy üýtgeýän  $\alpha$  burça bagly bolýar. Şonuň üçin-de elektropriwodyň kuwwat koeffisiýenti

$$\cos\varphi \approx \cos\alpha$$

deňleme bilen kesgitlenilýär.



5. Wentilli (tiristorly) elektropriwodlar iýmitlendiriji çeşmeleriň toklarynyň, naprýaženiýeleriniň formalarynyň ýoýulmagyna getirýär.

6. Tiristorly TII özgerdijiler gohly seslerden, mehaniki urgulardan goralysynyň pesligi hem-de bolmalysyndan artykmaç toga, naprýaženiýä örän çydamsyz bolýar.

Görkezilen kemçiliklere garamazdan, häzirki döwürde TII-D ulgamlar hemişelik toguň hereketlendirijileriniň tizliklerini sazlamakda, dolandyrmakda giňden ulanylýar. Meselem, prokat (demri ýaýýan) stanlarynda, ekskawatorlarda, metal kesiji stanlarda TII-D ulgamlardan peýdalanýarlar.

### **3.8. Üýtgeýän toguň hereketlendirijileriniň aýlanýan tizlikleriniň sazlanşy**

Eger-de maşyn gurluşuk, prokat we beýleki agyr industrial zawodlarynda tizlikleri emañ bilen endigan (ýumşak) üýtgetmek gerek bolsa, onda hemişelik toguň hereketlendirijilerinden peýdalanylýandygy ýokarda giňişleýin bellenip geçildi. Emma, önümçilige düşýän gymmatyny azaltmak, mehanizmleriň iş düzgünlerini ýönekeýleşdirmek üçin kähatlarda üýtgeýän toguň hereketlendirijilerinden hem peýdalanýarlar. Meselem, haçan-da bary-ýogy iki sany tizlik bilen çäklenip bilýän iş düzgünlerinde öňe-yza, ýokaryk-aşak, çepe-saga ýa-da biri uly beýlekisi kiçi tizlik ýaly iki tizliklerde üýtgeýän toguň hereketlendirijilerinden peýdalanmak has amatlydyr.

Köplenç ýagdaýlarda, rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiler, kähatlarda bolsa rotoryň walynda misden ýörite ýasalan halka berkidilip, rotory fazaly asinhron hereketlendirijiler hem giňden ulanylýar.

Eger-de tizligi sazlamak zerurlygy ortadan aýrylsa, onda sinhron hereketlendirijilerden hem peýdalanylýar.

Asinhron hereketlendirijileriň tizliklerini sazlamakda iň köp ulanylýan usullaryň sanawy şu aşakdaky yzygiderlikde ýerleşdirildi:

- a) rotoryň fazasynyň zynjyrynda garşylyk ulanmak;
- b) polýuslaryň sanyny üýtgetmek;
- ç) iýmitlendiriji çeşmeden gelyän toguň ýygylgyny üýtgetmek;
- d) asinhron hereketlendirijini beýleki maşynlar bilen kaskadly birleşdirip işletmek.

Bu agzalan usullardan başga-da asinhron hereketlendirijileriň tizliklerini sazlamak üçin ýöriteleşdirilen usullardan peýdalanylýar, meselem, tizlikleri impulsly signallar bilen sazlamak, drosselleriň doýgunlygy diýilýän fiziki hadysalaryndan we başga-da dürli usullardan peýdalanmak bolar.

### **3.9. Asinhron hereketlendirijiniň rotorynyň zynjyryna garşylyk birleşdirilip aýlanýan tizlikleri sazlamak**

Rotoryň zynjyryna garşylyk birikdirilende, edil hemişelik toguň hereketlendirijilerindäki ýaly, rotory fazaly asinhron hereketlendirijiniň-de tizligini sazlap bolýar. Tizligiň sazlanýşynyň emaç bilen endigan üýtgeýşi rotoryň fazasyna birleşdirilýän garşylyklaryň başgançaklarynyň sanyna bagly bolýar. Sazlamak prosesiniň tizligi esasy tizlikden aşaklygyna tarap bolup, özi-de moment hemişelik ululygynda saklananda gowy hasaplanýar. Sazlamagyň diapazony hereketlendirijä ýüklenýän ýüke bagly bolýandygy sebäpli, üýtgäp durýan ululykdyr. Tizligiň pese gaçmagy bilen häsiýetnamalaryň gatylygy (жесткостлығы) ýumşamak bilen bolýar. Diapazonyň üýtgemegi  $(2 - 3) \div 1$  esseden geçmeýär. Garşylyk bilen hereketlendirijini sazlamagyň kem tarapy şol garşylyklarda elektrik energiýanyň hemişe harçlanyp, ýylylyk energiýasynyň bölünip çykýanlygydyr. Şu nukdaýnazardan seredeninde, ýüküň momentini hemişelik saklap, tizligi sazlamak beýle bir ähmiýetli hasaplanylmaýar.

Hemişelik toguň hereketlendirijisinde ýitginiň tapylyşy ýaly, üýtgeýän toguň asinhron hereketlendirijilerinde-de rotoryň zynjyryndaky ýitgi typma koeffisiýentine gönüden-göni baglydyr:

$$\Delta P_2 = P_1 \cdot s.$$

Bu ýerde:  $P_1$  – çeşmeden kabul edilýän kuwwat;

$s$  – typma koeffisiýenti.

Ýitgä görä baha kesilende, in bir bähbitli usul diýlip wentilýator momentli ýükde tizligiň sazlanlyşy hasaplanylýar, sebäbi tizlik pelseldigiçe berilýän kuwwat hem azalýar.

Şeýlelikde, rotoryň zynjyryna garşylyk birleşdirilip tizlikleriň sazlanýş usuly, elektrik energiýanyň ýitgisiniň köp bolýanlygy sebäpli, bu

usul has seýrek ulanylýar. Muña garamazdan, bu usul kranly gurnamalarda, wentilýator momentli priwodlarda hem-de gaýtalanyp, gysga wagtlaýyn işledilýän iş düzgünlerinde giňden ulanylýar.

### 3.10. Asinhron hereketlendirijiniň polýuslarynyň sanynyň üýtgedilip, aýlanýan tizlikleriň sazlanýşy

Asinhron hereketlendirijiniň sinhron burç tizligi ýymitlendiriji çeşmäniň  $f_1$  ýygylgyna hem-de statordaky  $p$  jübüt polýuslaryň sanyna baglydyr:

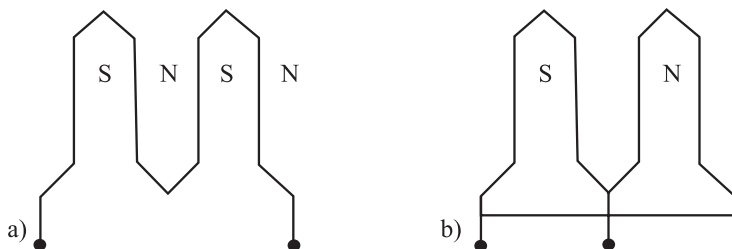
$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

ýa-da sinhron tizligiň bir minutdaky aýlawyna, aýl/min baglydyr:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}.$$

Şonuň üçin-de jübüt polýuslaryň sanyny üýtgedip, hereketlendirijiniň aýlanýan tizligini sazlap bolýar.

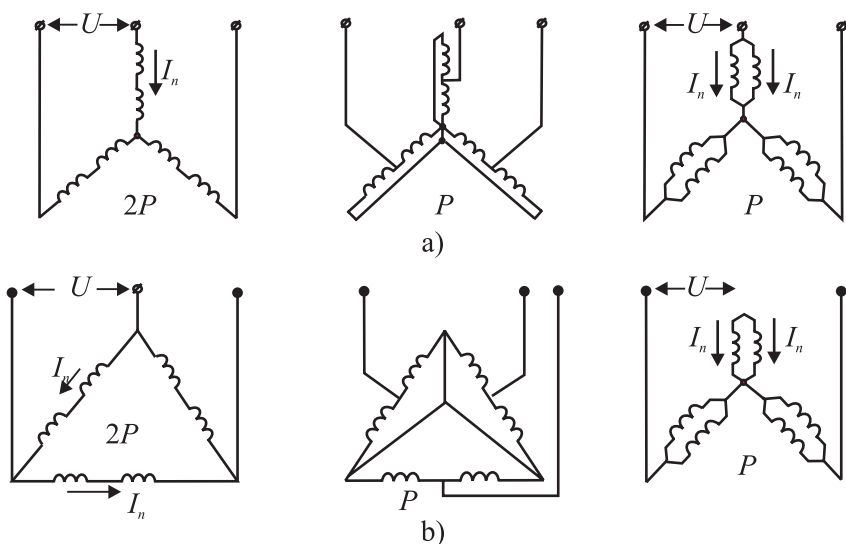
Hereketlendirijilerde jübüt polýuslaryň sanyny köpeldip ýa-da azaldyp aýlanýan tizligiň sazlanýşyna iň ýönekeý mysal 3.28-nji çyzgyda şertli görkezildi. Bu çyzgyda iki sany birmeňzeş polýus bir gezek özara yzygider birikdirilse, ikinji gezek olar özara parallel birleşdirilýärler. Şeýlelikde, iki jübüt polýusdan bir jübüt polýusly shema geçilýär, netijede, aýlanýan tizligiň iki esse köpelmegine sebäp bolýar.



3.28-nji çyzgy. Statordaky sarymlaryň yzygider birleşdirilişinden parallel birleşdirilişine geçiliş shemasy

Hakykatda, 3 fazaly zynjyrlarda bir shemadan beýleki shema geçiliş, ýagny iki jübüt polýusdan bir jübüt polýusa geçilişiniň shemalary 3.29-njy çyzgyda görkezildi.

Çyzgyda “a” shema statoryň sarymlary ýyldyz görnüşli birleşdirilende, iki jübüt polýusdan bir jübüt polýusla geçiliş shemalar görkezilen bolsa “b” shema statoryň sarymlary üçburçluk birleşdirilip, iki jübüt polýusdan bir jübüt polýusla geçiliş shemalary görkezildi. 3.29-njy çyzgyda ortada görkezilen shemalarda iki jübüt polýusly shemadan bir jübüt polýusla nädip geçilişleriniň shema birleşmeleri görkezildi. Sag gyradaky çetki shemalar bir polýusly shema geçilenden soňky gutarnykyly ýagdaýlary aňladýar.



**3.29-njy çyzgy. Statordaky sarymlaryň iki jübüt polýus ýagdaýyndan goşalandyrylan bir jübüt ýyldyzly shemalaryna geçilişi**

Hereketlendirijiniň statoryndaky sarymlary gerek bolanda goşalandyryp ýa-da iki sarymy yzygider birleşdirip, iki jübüt polýusly ýagdaýdan bir jübüt polýusly ýagdaýa we tersine geçirip bolýan hereketlendirijilere iki tizlikli hereketlendirijiler diýilýär.

Hereketlendirijiniň statoryndaky sarymyny bir ýyldyzly (iki jübüt polýusly) ýagdaýdan goşalandyrylan (bir jübüt polýusla) ýyldyzly shema geçilende, aýlanýan tizligiň iki esse ýokarlanmagy gazanylýar. Şeýle geçilişlerde momentiň ululygyny hemişelik saklamak mas-

lahat berilýär. Munuň şeýledigini käbir oýlanmalar arkaly düşündirmek mümkindir.

Munuň üçin liniýa naprýaženiýesini  $U'$  sarymlardan akmaly (zawod tarapyndan ygtyýar berlen) nominal togy  $I_n$  harplar bilen belgiläliň, onda sarymlar ýyldyz görnüşli birleşdirilen hereketlendirijiniň elektrik çeşmesinden kabul edýän kuwwaty

$$P_{1\lambda} = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I_{nom} \cos \varphi_{\lambda} = \sqrt{3} U I_{nom} \cos \varphi_{\lambda}$$

ululyga deň bolar. Emma, sarymlar her fazada goşalandyrylyp ýyldyza geçirilse, onda kuwwat iki esse artar.

$$P_{1\lambda\lambda} = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I_{nom} \cos \varphi_{1\lambda\lambda} = 2 \cdot \sqrt{3} U I_{nom} \cos \varphi_{1\Delta}.$$

Eger-de  $\cos \varphi_{1\lambda} \approx \cos \varphi_{1\lambda\lambda}$  diýip kabul etsek, hem-de hereketlendirijidäki ýitgileri hasaba almasak, onda tizligiň iki esse ulalanda, onuň kuwwaty hem iki esse ulalar. Eger-de tizligiň ösmegi bilen kuwwat iki esse ulalsa, onda hereketlendirijiniň momenti hemişelikligine galýar. Iki tizlikli hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary 3.30-njy çyzgyda görkezildi.

Aýratyn bir belenip geçilmeli zat, ol hem tizlik  $\omega_1$ -den  $\omega_2$ -ä tarap sazlananda, hereketlendiriji generator iş düzgünine geçip (3.30-njy çyzgyda punktir bilen görkezildi), daşky zynjyra energiýa berip başlaýar.

Eger-de 3.29-njy “b” çyzgydaky üçburçluk görnüşli shemalary seljersek, onda hereketlendirijiniň çeşmeden kabul edýän kuwwaty

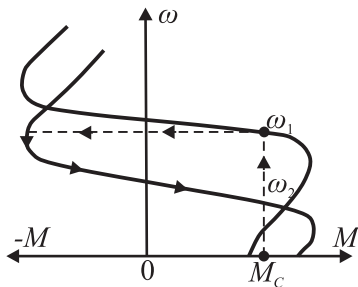
$$P_{1\Delta} = 3 \cdot U I_{nom} \cos \varphi_{1\Delta}$$

ululyga deň bolar. Emma, sarymlar her fazada goşalandyrylyp, ýyldyz shema geçirilse, onda kuwwat öňki seredilen shemadaky ýaly iki esse ulalmaz.

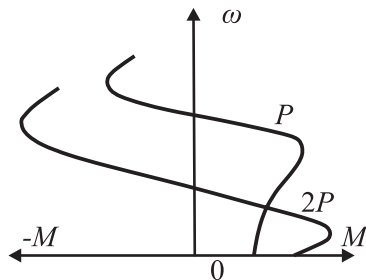
$$P_{1\lambda\lambda} = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} 2 \cdot I_{nom} \cos \varphi_{1\lambda\lambda} = 3,46 I_{nom} U \cos \varphi_{1\lambda\lambda}.$$

Soňky bu aňlatmalary seljersek, onda üçburçluk shemadan (iki jübüt polýusdan) goşalandyrylyp ýyldyz shema geçirilse, soňky kuwatyň kân bir köpelmeyänligini görse bolýar. Şol sähelçe köpelmek 15%-den geçmeýär. Elbetde, kuwatyň  $\cos\varphi_{1\Delta} \approx \cos\varphi_{1\Box}$  koeffisiýentleri özara takmynan deňleşenlerinde şeýle ýagdaýy almak bolýar.

Şular ýaly hereketlendirijiniň kuwваты takmynan hemişelik ululykda saklananda iki tizlikli hereketlendirijiniň tizliginiň sazlanýşynyň mehaniki häsiýetnamalary 3.31-nji çyzgyda görkezildi.



**3.30-njy çyzgy. Hereketlendirijiniň momenti hemişelik ululykda saklananda, iki tizlikli hereketlendirijiniň tizliginiň sazlanýşynyň mehaniki häsiýetnamalary**



**3.31-nji çyzgy. Hereketlendirijiniň kuwваты hemişelik ululykda saklananda, iki tizlikli hereketlendirijiniň tizliginiň sazlanýşynyň mehaniki häsiýetnamalary**

Bulardan başga-da, statoryň sarymlarynyň gapdalynda goşmaça ýene-de sarymlar birleşdirilip, şol 3.29-njy çyzgyda görkezilen shemalardan peýdalanyp üç, hatda, dört tizlikli hereketlendirijilerden peýdalanýarlar.

Dört tizlikli hereketlendirijilere berilýän naprýazeniýäniň ýygylgyny üýtgedip, şu aşakdaky ýaly dört sany tizlikleri almak bolýar 3000/1500/1000/500; 3000/1500/750/375; 1500/1000/750/500; 1000/750/500/375 [aýl/min] tizlikleri alyp bolýar.

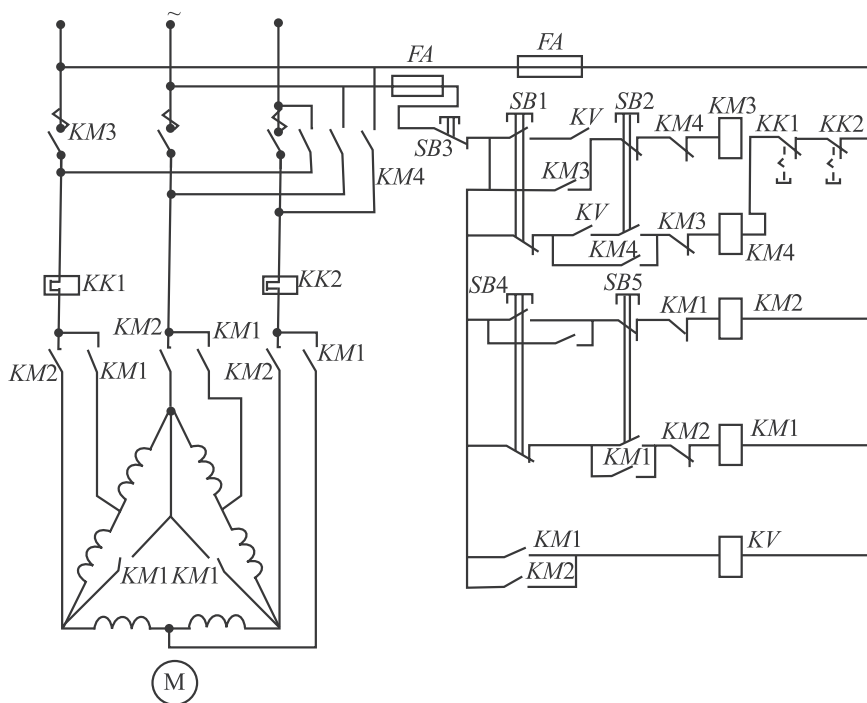
Bu getirilen tizlikleriň diapazon sazlanýşlary (6:1) – (8:1) essä çenli ýetýär.

Polýuslary üýtgedip tizlikleri sazlamak usuly emäýly (endigan) däl, basgançaklydyr.

Mysal hökmünde iki tizlikli asinhron hereketlendirijiniň dolandyrylyşynyň elektrik shemasyny özleşdireliň.

Seredilýän 3.32-nji çyzgyda rotory gysga utgaşdyrylan, tizligi iki basgançakly asinhron hereketlendirijiniň (AD) dolandyrylyş elektrik shemasy görkezildi.

Asinhron hereketlendirijiniň statoryndaky sarymlaryny özara üçburçluk ýa-da ýyldyz birleşdirilip, iki basgançakly tizlik gazanylýar. Meselem, statordaky sarymlaryň özara üçburçluk birleşdirilende hereketlendiriji pes tizlikde, soňra statordaky faza sarymlaryny goşalandyryp ýyldyz shema geçilip ikinji (ýokary) tizlikde işletmek hem-de şol bir wagtyň özünde hereketlendirijiniň rewersli işlemegi göz önünde tutulandyr.



**3.32-nji çyzgy. Iki tizlikli asinhron hereketlendirijiniň dolandyryş shemasy**

Uly tizlik KM1, pes tizlik KM2 kontaktorlaryň kömegi bilen “öňe” KM3 ýa-da “yza” KM4 kontaktorlar bilen hereketlendirijiniň rotorynyň aýlanyşy ýerine ýetirilýär.

Shemada blokirleýji KV rele hem-de dolandyryjy SB1, SB2, SB4, SB5 hem-de SB3 düwmeler (knopkalar) göz önünde tutulýar.

Elektropriwod ýylylykdan KK1 we KK2 ýylylyk releleri bilen hem-de gysga utgaşmakdan goraýjy FA elementler bilen üpjün edilýär.

Asinhron hereketlendirijini işletjek bolsaň, meselem, kiçi tizlikde SB4 düwmäni basylandan soň, KM2 hem-de KV işe girýär. Şeýlelikde, hereketlendirijiniň statoryndaky faza sarymlary özara üçburçluk shemada işläp başlaýarlar. Öz gezeginde KV rele KM3 we KM4 kontaktlaryň zynjyrlaryny işe girizilmegine taýýarlap goýýar. Soňra SB1 ýa-da SB2 düwmeleriň haýsy-da bolsa biri basylanda, degişlilikde ýa “öňe” ýa-da “yza” asinhron hereketlendiriji işläp başlaýar.

Hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi barmaly derejesine baransoň ikinji (ýokary) tizlige geçip bolýar. Ikinji tizlige geçmek üçin SB5 düwme basylanda KM2 öçýär, KM1 işläp başlaýar. Netijede, stator-daky üçburçluk shema birleşdirilen iki jübüt  $2p$  polýusly shema bir jübüt  $p$ -polýusly goşalandyrylan (jübütlenen) ýyldyz shema birleşmesine geçýär we AD hereketlendiriji ikinji (ýokary) tizligine geçýär.

Hereketlendirijini duruzmak (saklamak) üçin SB3 düwmäni basmak ýeterlikdir.

Shemada iki zynjyrly düwmelerden peýdalanylýandygynyň sebäbi, tötänlikde beýleki iş düzgünleri işlemez ýaly, mehaniki hem-de elektriki blokirowkalar bilen üpjün etmek maksady üçin ulanylýar, ýagny birwagtyň özünde KM1 we KM2 hem-de KM3 we KM4 kontaktlaryň işe girizilmezligini üpjün edýär. Şu maksat bilen agzalan kontaktlaryň işe başlanyndan açylmagyna niýetlenilen ýapyk KM1, KM2, KM3 we KM4 kontaktlaryndan peýdalanylýar.

### 3.11. Tok çeşmesiniň ýygylygyny üýtgedip asinhron hereketlendirijiniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşy

Ýygylygy üýtgedip, asinhron hereketlendirijiniň aýlanýan tizligini sazlap bolýanlygy

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

deňlemeden  $f_1$  ýygylyk üýtgedilse, hereketlendirijiniň  $\omega_0$  tizligini üýtgedip bolýanlygy aýdyň görünýär. Çeşmäniň ýygylygyny



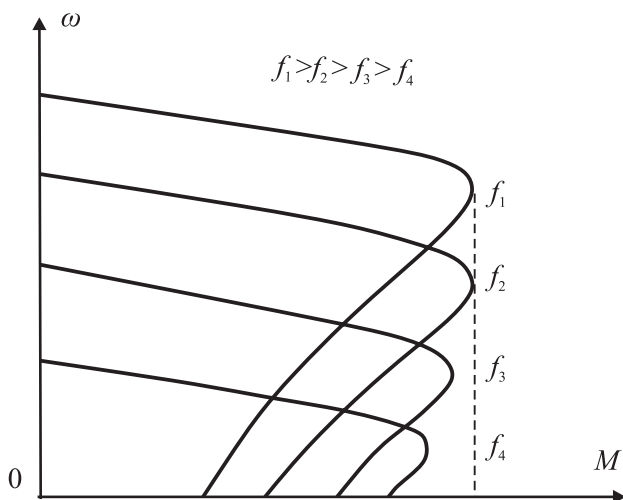
üýtgetmek üçin ýörite gurnalan generatordan ýa-da ýörite ýygylygy özgerdijilerden gurnalýar. Şular ýaly ýygylygy üýtgedýän özgerdijiler bir hereketlendirijini ýa-da birmeňzeş şertde işleýän birnäçe asinhron hereketlendirijileri iýmitlendirmek üçin ulanylýar. Şeýle toparlaýyn hereketlendirijiler prokat (demirleri ýaýyýjy) stanlarynda rolangalaryň (tigirleýjileriň) hereketlendirijilerini iýmitlendirmek has amatly hasaplanylýar, ýa-da deň şertde işleýän tekstil maşynlarynda, dürli-dürli konweýerli gurnamalarda giňden ulanylýar. Meselem, rolangalarda her bir rolang kuwwaty birnäçe kilowata deň bolan rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijileri ulanýarlar. Häzirki zaman metallurgiýa zawodlarynda şeýle hereketlendirijileriň sany ýüzlerçe, hatda, ondan-da köp ulanylýar.

Çeşmäniň ýygylygy üýtgedilende, tizligiň ähli diapazonlarynda mehaniki häsiýetnamalaryň aşa ýokary gatylygynyň saklanylmagyna hem-de artykmaç ýüklere bolan çydamlylygyna üns berilmelidir. Bu talaplary (şertleri) ýerine ýetirmek üçin, hereketlendirijiniň ferromagnit bölümlerinde magnit akymynyň hemişelik saklanylmagy üpjün edilmelidir. Asinhron hereketlendirijiler takmynan  $U \equiv f_1 \cdot \Phi$  deňlemäniň laýyklygy (тождество) ýerine ýetirilse, şol bildirilýän talaplar hem doly berjaý bolýar. Şonuň üçin-de magnit akymynyň sinhron saklanylmagyny  $U_1$  naprýaženiýäniň  $f_1$  ýygylyga bolan

$$\frac{U_1}{f_1} \equiv \Phi = \text{const}$$

gatnaşygyny hemişelik saklap amala aşyrylýar. 3.33-nji çyzgyda ýygylyk üýtgedilende, asinhron hereketlendirijiniň naprýaženiýesiniň ýygylyga bolan gatnaşygy  $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$  hemişelik saklananda, takmynan mehaniki häsiýetnamalary görkezildi.

Şeýle ýagdaýlarda mehaniki häsiýetnamalaryň gatylygy (жесткостлыгы) ýeterlik derejede ýokary ýagdaýda saklanýar.



**3.33-nji çyzgy. Ýmitlendiriji çeşmäniň ýygylklary üýtgedilende asinhron hereketlendirijiniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşynyň dürli ýygylklardaky mehaniki häsiýetnamalary**

Ýokary ýygylklarda typmanyň iň ýokary bahalary (kritiçeskligini) hemişeligini saklaýar, emma has pes ýygylklarda typmanyň kiçelýändigini çyzgyda görkezildi. Typmanyň kiçelmegini pes ýygylklarda naprýaženiýäniň-de gös-görte aşak gaçýandygy bilen düşündirilýär. Munuň şeýledigine (2.40) deňlemedäki parametrleriň täsirleri bilen baglaşdyryp bolýar.

$$M_k = \frac{3}{2\omega_0} \frac{U_f^2}{R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_k^2}},$$

bu ýerde

$$X_k = X_1 + X_2^1.$$

Uly ýygylklarda  $X_k$  garşylyk ulalýar we  $R_1$  garşylykdan ençeme esse köp bolýar, onda

$$M_k = \frac{3U_f^2}{2\omega_0 X_k}.$$

Eger-de  $X_k \equiv f_1$  hem-de  $\omega_0 \equiv f_1$  görnüşde deň güýçlüdiginı hasaba alsak, onda

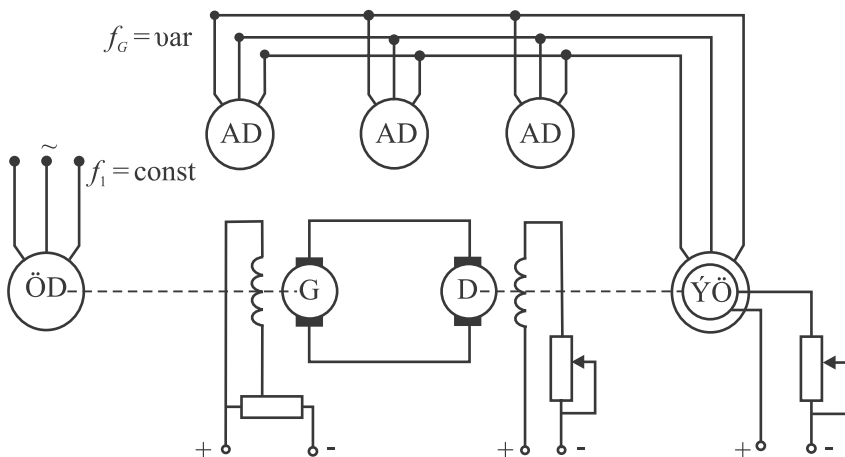
$$M_k = \frac{U_f^2}{f_1^2}$$

bolýandygyny delillendirsek, şonuň üçin-de tizlik sazlananda  $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$  hem-de  $M_k = \text{const}$  gatnaşyklar özleriniň hemişelikliginde saklanýarlar.

Has pes ýygylýklarda bu gatnaşyklaryň hemişelikleri bozulýar, sebäbi  $X_k = X_1 + X_2'$  garşylyklaryň kiçelýändigleri sebäpli,  $R_1$  garşylygyň täsiri aýyk duýulýar. Şonuň üçin-de statorda naprýaženiýäniň peselmegi typmanyň kiçelmegine sebäp bolýar.

Hereketlendirijiniň artykmaç ýüklere çydamlylygyny gowulandyrmak üçin, pes ýygylýklarda naprýaženiýäniň  $f$  ýygylýga görä mümkin gadar az kiçelmegini gazanmaly.

Ýygylýgy üýtgeýän çeşmeler hökmünde elektromaşyn özgerdijilerden, elektronly (ionly) çyralardan, ýarym geçirijili (tiristorly) özgerdijilerden peýdalanýarlar.



3.34-nji çyzgy. Ýygylýgy özgerdiji sinhron generatordan asinhron hereketlendirijileriň iýmitlendirilişiniň prinsipial shemasy

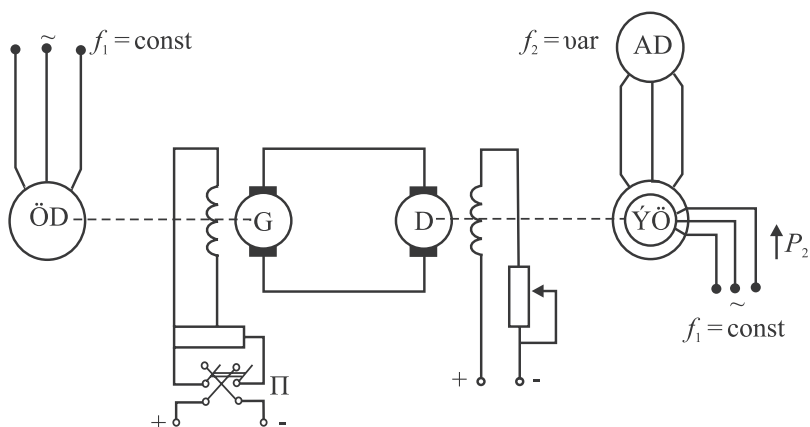
Mysal hökmünde sinhron özgerdiji bilen üýtgeýän ýyglygy al-nyşynyň shemasy 3.34-nji çyzgyda görkezildi. Bu shemada sinhron generator ýyglygyň özgerdijisi (ÝÖ) hökmünde işleýär, onuň tizligi *G-D* ulgamda işleýän hemişelik toguň hereketlendirijisi (HTD) bilen sazlanýar.

Sinhron generatordan ýyglygy üýtgeýän tok bir ýa-da birnäçe asinhron hereketlendirijileri iýmitlenýärler. Ýyglygy giň diapazon-da üýtgedip, asinhron hereketlendirijiniň tizligini emañ bilen endigan üýtgedip bolýar.

Eger-de gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiler birnäçe bolup, hemmesi birwagtyň özünde işleseler, onda ýyglygy özgerdiji (ÝÖ) sinhron generatorýň kuwwaty, şol gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijileriň kuwwatlarynyň jeminden az bolmaly däldir. Şeýle-de hemişelik toguň hereketlendirijisiniň hem-de generatorýnyň kuwwatlary ýyglygy özgerdiji sinhron generatorýň kuwwatyndan az bolmaly däldir.

Eger-de maksimal aýlanýan tizlikde asinhron hereketlendirijileriň kuwwatlarynyň jemini 100% diýip kabul etsek, onda ýyglygy özgerdiji agregatyň kuwwaty 400%-den ýokary bolmalydyr.

Asinhron hereketlendirijileriň ýyglygyny sazlaýjy hem-de olaryň ýyglygyny özgerdiji asinhron özgerdijiniň prinsipial shemasy 3.35-nji çyzgyda görkezildi.



**3.35-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň tizligini ýyglyk bilen sazlaýjy asinhron özgerdijiden iýmitlendirilişiniň prinsipial shemasy**

Bu shemada ýygylgy özgerdiji hökmünde rotorynda berkidilen üç sany kontakty mis halkaly asinhron maşynlar ulanylýar. Rotor berilýän üç fazaly tok bilen ÝÖ-de EHG oýandyrylýar. Shemadan görnüşi ýaly, ÝÖ-niň rotorynyň tizligi üýtgedilse, statordaky döreýän EHG-niň-de ýygylgy üýtgär. Seredilen bu iki shemalar biri-birinden ÝÖ-leriň rotoryna berilýän hemişelik ýa-da üýtgeýän toklary bilen tapawutlanýarlar.

Iki shemada-da ýygylgy sazlamak ÝÖ özgerdiji arkaly amala aşyrylýar. Aktiv kuwwatlaryň paýlanyşyny hemişelik toguň hereketlendirijisiniň walyndan  $P_{dw}$  hem-de ÝÖ-niň walyna berilýän  $P_2$  kuwwata deň bölýärler. Şeýlelikde, rotoryň hem-de statoryň ýygylklary bilen özara baglaşdyrýarlar, onda

$$P_2 = P_{A.D} \cdot \frac{f_1}{f_2} \quad (3.30)$$

hem-de

$$P_D = P_{A.D} \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_2}. \quad (3.31)$$

Bu gatnaşyklary özara işleseň, şu aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\frac{P_2}{P_D} = \frac{f_1}{f_2 - f_1}. \quad (3.31)$$

Meselem,  $f_2 = 100 \text{ G}_s$  we  $f_1 = 50 \text{ G}_s$  bolan ýagdaýda AD-nyň umumy kuwwatynyň ýarysy hemişelik toguň hereketlendirijisiniň walyndan kabul edilse, kuwwatyň beýleki ýarysy ýygylgy özgerdijiden kabul edýär. Şu düşüňjede hemişelik toguň hereketlendirijisiniň hem-de özgerdijiniň hususy ýitgileri göz önünde tutulmaýar.

Eger-de  $f_2$  ýygylgy  $f_1$  den köpeltjek bolsaň, onda özgerdijiniň rotoryny magnit meýdanynyň aýlanýan ugruna, azaltjak bolsaň tersine aýlamaly.

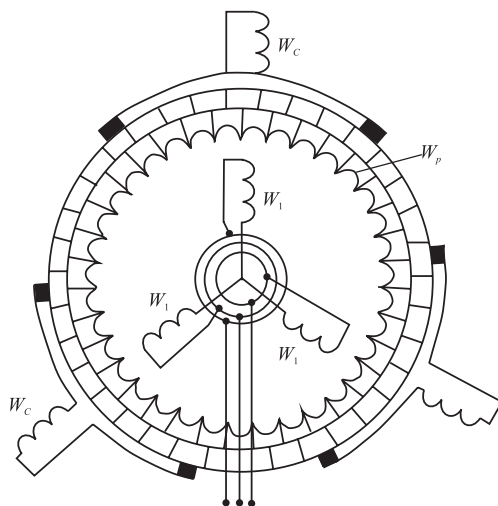
Tizligiň sazlanýşynyň diapazony  $(10 : 1) - (12 : 1)$  essä deň bolup bilýär.

Şeýle shemalar bilen tizligi sazlamagyň kem tarapy bahasynyň gymmatlygy, p.t.k-nyň pesligi, tutýan meýdanynyň (göwrüminiň) ululygy hem-de inersiýalylygy hasaplanýar.

### 3.12. Üýtgeýän toguň kollektorly hereketlendirijileriniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşy

Üýtgeýän toguň kollektorly hereketlendirijileri bir fazaly, üç fazaly hereketlendirijileriň arasynda iň köp ulanylýan (ýaýran) hereketlendirijiler bolup, özüniň aýlanýan tizliginiň sazlanýlyşynda emalylygy we endiganlygy bilen tapawutlanýarlar. Bir fazaly kollektorly hereketlendirijiler çekiji (dartyjy) mehanizmlerde ulanylýan bolsa, onda üç fazaly kollektorly asinhron hereketlendirijileri senagat priwodlarynda ulanylýar.

Kollektorly hereketlendirijileriň içinde rotoryndan iýmitlendirilýän Şrageriň üç fazaly kollektorly hereketlendirijisi senagat priwodlarynda has üstünlikli ulanylýar. Şeýle hereketlendirijileriň prinsipial shemasy 3.36-njy çyzgyda görkezildi.



3.36-njy çyzgy. Şrageriň kollektorly hereketlendirijisiniň prinsipial shemasy

Şrageriň hereketlendirijisiniň rotorynda iki sarym bolup, olaryň birinjisi  $W_1$  sarym rotorynda berkidilip oturdydan üç sany misden ýasalan halkalaryň kömegi bilen üç fazaly setden iýmitlendirilýär. Ikinji  $W_p$  sarym rotoryň kollektorlaryna birleşdirilip, hemişelik toguň hereketlendirijisiniň ýakoryny ýada salýar. Üçünji  $W_c$  sarym bolsa hereketlendirijiniň statorynda ýerleşdirilip, kollektorlara galtaşyp duran çotgalar arkaly iýmitlendirilýär.

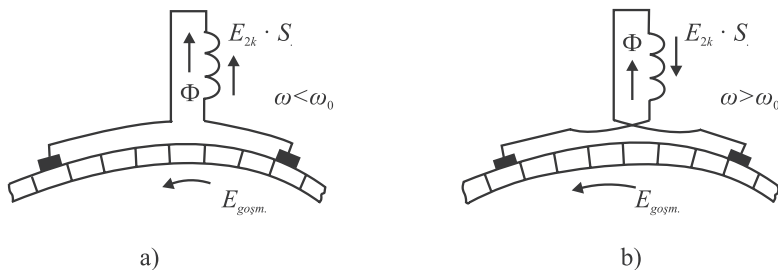
Hereketlendirijiniň rotorynda ýerleşdirilen birinji  $W_1$  sarymlarynda döreýän hem-de aýlanýan magnit meýdany statoryň  $W_s$  sarymlarynda EHG döredip, onda toguň akymynyň emele gelmegine sebäp bolýar. Netijede, aýlanýan magnit meýdany bilen statoryň sarymlaryndaky toklaryň özara täsirlerinden hereketlendirijiniň  $M$  momenti döräp, täsirini bildirip başlaýar.

Şeýlelikde, rotorda ýerleşdirilen ikinji  $W_p$  sarymda-da setiň ýygylgyna deň ýygylkly EHG-ni döredýär. Eger-de kollektorlaryň üstünde duran çotgalaryň hereketsiz ýagdaýda durandyklaryny hasaba alsak, onda kollektoryň zynjyrynda döreýän EHG-leriň ýygylgysy setiň ýygylgy bilen aýlanýan tizligiň ýygylgynyň tapawutlaryna deň bolar. Şonuň üçin-de statordaky toguň ýygylgysy bilen statora goşmaça berilýän EHG-niň ýygylyklary rotoryň islendik aýlaw tizliginde özara deňdirler.

Eger-de fazalaryň çotkalarynyň aralaryny süýşürüp ulaltsak, statoryň sarymynda goşmaça  $E_{goşm}$  – EHG öňki EHG-niň üstüne goşular. Bu goşmaça EHG-niň ululygy çotgalaryň aralary uzaklaşdygyça artýar hem-de statoryň  $E_{2k}$ -s EHG-siniň üstüne algebraiki goşulýar. Bu ýerde:  $E_{2k}$  rotoryň hereketsiz duran wagty statorda döreýän EHG-si,  $s$  rotoryň typmasy.

Eger-de hereketlendirijiniň walyndaky ýük hemişelik ululygyn-da saklanylsa hem-de  $E_{2k} \cdot s$  bilen  $E_{goşm}$  EHG-leriň ugurlary özara ters bolsalar, onda statoryň sarymyndaky tok peseler hem-de hereketlendirijiniň özüniň ösdürýän momenti-de peseler. Şonuň üçin-de hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi haýallaşar. EHG-leriň tapawudy ulalyp, toguň artmagy hereketlendirijiniň momentiniň ýüküň momentine täzeden deňleşýänçe dowam edýär.

Eger-de çotkalaryň süýşürilmegi aralarynyň gysylmagyna tarap bolsa, onda (3.37-nji “b” çyzga seret)  $E_{2k} \cdot s$  we  $E_{goşm}$  EHG-ler  $s > 0$  bolanda, ylalaşykly iş düzgüninde bolup, tok öser, hereketlendirijiniň momenti ulalar, rotoryň aýlanýan tizligi tizlener. Bu tizleniş ösüp, iň soňunda, ýagny aýlanýan tizlik sinhron tizlikden ýokary geçende  $E_{2k} \cdot s$  öz ugruny ters tarapa üýtgeder. Emma, durnukly iş düzgüninde  $E_{2k} \cdot s$  hem-de  $E_{goşm}$  EHG-ler ýene-de özara ters ugurly bolarlar (3.37-nji “b” çyzga seret).



**3.37-nji çyzgy. Çotgalaryň kollektorda ýerleşdirilişlerine görä tizligiň sazlanýşynyň hem-de ( $E_{2k} \cdot s$  bilen  $E_{goşm}$ ) EHG-leriň ugurlarynyň görkezilişiniň shemalary**

Şeýlelikde, üýtgeýän toguň kollektorly hereketlendirijisiniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşy, statordaky sarymynyň okuna görä, çotgalary ikitaraplaýyn simmetrik süýşürilmegi arkaly amala aşyrylýar.

Eger-de fazalaryň çotgalary deň potensially kollektor plastinalarynyň üstünde ýerleşdirilse, onda  $E_{goşm} = 0$  bolup, hereketlendiriji adaty kollektorsyz asinhron hereketlendirijileriň işleýişleri ýaly işläp başlaýarlar.

Iň pes tizliklerde goýberiliş momenti  $2 M_{nom}$  deň bolup, şol pursatda  $I_{goýb.} \approx 3 I_{nom}$  töweregi bolýar. Togy peseltmek gerek bolsa, onda statoryň sarymlarynyň zynjyrlarynda goşmaça reostatlardan peýdalanýarlar.

Kollektorly hereketlendirijileriň tizliklerini sazlamak diapazony 3:1 esse aralykda çäklenýär. Eger-de diapazony ulaltsak, onda hereketlendirijiniň göwrümini ulaltmaly bolýar, ýitgisi köpeliýär, bahasy gymmatlaýar.



Üýtgeýän toguň kollektorly hereketlendirijileriniň kem taraplaryna iş wagty kommutasiýanyň ululygyny, hereketlendirijide üç sarymyň bolmagy, göwrüminiň, agramynyň ulalmagyna, bahasynyň gymmatlanmagyna getirýär.

Eger-de tizligi sazlamagyň diapazony 3:1 esseligi kanagatlandyrsa, onda üýtgeýän toguň kollektorly hereketlendirijileri tekstil fabriklerinde, kagyz, poligraf kombinatlarynda we beýleki senagat kärhanalarynda giňden ulanylýar.

## **IV BAP**

# **ELEKTROPRIWODLARDA GEÇIŞ DÜZGÜNLERI**

### **4.1. Umumy ýagdaýlar**

Elektropriwodlarda bir durnukly iş düzgüninden beýleki bir durnukly iş düzgünine geçilmegine geçiş iş düzgünleri diýlip aýdylýar. Meselem, tizligiň, toguň ýa-da momentiň bir bahasyndan beýleki bir bahasyna böküp ýa-da emaç bilen geçmegine (üýtgemegine) aýdylýar.

Elektropriwodlarda geçiş (ýa-da geçiliş) iş düzgünleriniň döremegine hereketlendirijini sete birleşdirip (çatyp), işe goýberilýän pursady, bir tizlikde işläp duran hereketlendirijini pes ýa-da ýokary tizliklere geçirilmegi, rewersli iş düzgünleri, dolandyrylýan pursatlary, tormozlandyrylmagy ýaly we başga-da birnäçe iş düzgünleri sebäp bolup bilerler. Elektropriwodlarda geçiş (ýa-da geçiliş) düzgünleri heläkçilik bolanda-da, setiň ýygylgy ýa-da naprýaženiýesi üýtgände-de bolup biler.

Elektropriwodlarda geçiş iş düzgünlerini öwrenmek geçiş kanunlaryny takykklamak, degişli deňlemeler arkaly (geçiş parametrleriniň hasaplanýşyny başarmak,  $\Delta t$  wagt aralygynda ýagny geçiş iş döwrüniň dowamynda grafiklerini, diagrammalaryny gurup düşündirmegi başarmak we degişli netijeleri çykarmak) önümçilikde hemme taraplaýyn uly baha eýedir. Elektropriwodyň kuwwatyny dogry hasaplap, soňra mynasyp hereketlendirijileri saýlamak, awtomatik shemalarynda ulanylýan dolandyryjy enjamlary ýalňyşman dogry

saýlamak, goýberiliş ýa-da tormozlanýan wagty harçlanýan energiýanyň ýitgisini azaltmagyň usullaryny tapmak ýaly wajyp meseleler çözülen-de, diňe elektropriwodlarda geçiş düzgünlerini doly öwrenip, degişli netijeler çykarylyp, iş düzgünleri ýola goýulýar.

Diňe käbir çäklendirilen iş mehanizmleri taşlama işleri ýerine ýetirilende hasaba alynmaýar. Meselem, howa üfleýji (ýa-da sorujy) şemalladyjylar (wentilýatorlar), suwuklyklary sorujy ýa-da itekleýji mehanizmler (nasoslar) uzak wagtlap hiç hili geçişsiz işleýändigleri üçin, olaryň iş düzgünlerinde geçiliş döremeýändigleri sebäpli, olaryň häsiýetleri hasaba alynmaýar, emma beýleki mehanizmlerde gaýtalanyp durýan geçiliş iş düzgünleri hasaba alynýar, sebäbi islendik ululykdaky geçiliş iş düzgünleri elektropriwodyň umumy iş düzgünine ýeterlik derejede öz täsirini ýetirýär.

Mehanizmleriň önümçilik ukybyny artdyrmak üçin-de diňe bir optimal tizlikli, optimal kuwwatly mehanizmleri saýlamagy başarmakdan başga-da, geçiliş iş düzgüniniň sanyny azaltmak hem esasy meseleleriň biri bolup durýar.

Geçiş düzgünleri öwrenilende dürli elektrik hem-de mehaniki parametrleriň täsirleri hasaba alynmalydyr, meselem, naprýaženiýäniň, garşylyklaryň, induktiwlikleriň, mahowiginiň momentiniň täsirlerini, hatda, dolandyrmagyň usullaryny saýlap-seçenlerinde-de, shemalar üçin hasap işlerini ýerine ýetirenlerinde-de hasaba alynmalydyr. Tiz-tizden geçiliş düzgünleri gaýtalanyp durýan mehanizimlerinde-de harç edilýän energiýalar geçiş wagty uly bahalara eýe bolýar. Şonuň üçin-de geçiş düzgünleri hasaplananda, degişli parametrleri dogry saýlanmaklygyň ähmiýeti uludyr. Umuman, elektropriwodyň geçiş düzgünlerine mehaniki, ýylylyk hem-de elektromagnit ýaly energiýalaryň ählisiniň bilelikde täsir edýändiglerini hem-de olaryň özara täsirleriniň ykjam baglanyşykdadyklary hasaba alynmalydyr, ýöne ýylylyk energiýanyň geçiş düzgünine täsiri beýleki energiýalara garanyňda ujypsyzlygy sebäpli, geçiş düzgünlerinde ýylylyk energiýanyň ýitgisi hasaba alynmaýar.

Elektropriwodlarda geçiş iş düzgünleri hereketlendirijileriň hem-de mehanizmleriň işleýişleriniň dinamikasyna bagly bolýar. Şonuň üçin-de elektropriwodyň dinamikasyny öwrenmekligiň zerurlygy orta çykýar.

## 4.2. Elektropriwodlara täsir edýän güýçler we momentler

Mehanizmiň tizliginiň bir ýagdaýda durman, öňe-yza (postupatelnom) hereketlerinde (üýtgeýän pursatlarynda) mehanizmiň aktiw, ýagny hereket edýän  $F$  güýji hemişe şol mehanizmiň garşylygynyň  $F_c$  güýjüne hem-de onuň inersiýa  $m \frac{d\theta}{dt}$  güýçleriniň jemine deňleşmäge ymtylýandygy mälimdir. Eger-de jisimiň  $m$ -massasyny kg-da,  $\theta$  tizligini m/sek-da aňlatsak, onda inersiýa güýjüni we maşyna täsir edýän beýleki güýçleri nýuton  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sek}^{-2}$  ölçeg birliklerinde aňladyp bileris.

Ýokarda aýdylanlara esaslanyp, öňe-yza hereketler üçin güýçleriň deňagramlanyşygyny aňladýan deňleme şu aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$F - F_c = m \frac{d\theta}{dt} N. \quad (4.1)$$

Edil (4.1) deňlemä meňzedip, aýlanýan hereketler üçin-de momentleriň deňagramlaşmasyny aňladýan deňleme (priwodyň hereketiniň deňlemesi) şu aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} N \cdot \text{m}. \quad (4.2)$$

Soňky (4.2) deňlemede hereketlendiriji tarapyndan döredilýän (ýüwürüklenip aýlanýan) momenti hemişe şol priwodyň garşylygynyň  $M_c$  momentine hem-de onuň inersion ýa-da başgaça aýdylyşy dinamiki  $J \frac{d\theta}{dt}$  momentleriniň jemine deňleşmäge ymtylýar diýip bileris. Ýokardaky (4.1) we (4.2) deňlemelerde görkezilen priwodyň  $m$  massasy bilen  $I$  inersiýasy hemişelik ululykdyrlar. Şeýle çemeleşmek önümçilikde ulanylýan ähli mehanizmlere mahsusdyr.

Priwodyň inersiýalary şu aşakdaky deňleme bilen aňladylýar:

$$J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4g}, \text{kg} \cdot \text{m}^2.$$

Bu ýerde:  $\rho$  – inersiýanyň radiusy, m;

$D$  – inersiýanyň diametri, m;

$G$  – dartys güýji, N;

$g$  – 9,81 m/sek<sup>2</sup> – dartys güýjüniň tizleniş ululygy.

Eger-de, (4,2) deňlemeda  $I$  inersiýanyň momentini  $GD$  bilen, burç  $\omega$  tizligini  $n$  aýlaw tizligi bilen çalşyrsak hem-de amalda sekuntndan minuda geçip  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi n}{60}$  görnüşinde aňladyp, hasaba girizsek, onda praktiki hasaplamalarda ýönekeý

$$M - M_c = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (4.3)$$

görnüşli deňlemäni alarys.

Deňlemedäki

$$GD^2 = 4 \cdot g \cdot J, \text{ N} \cdot \text{m}^2 \quad (4.4)$$

ululyk, mehanizmiň mahowik (badynyň) momenti diýen ada eýedir. Hereketlendirijileriň rotorlary üçin mahowik momentleriniň bahalary degişli kataloglarda getirilýär.

(4.2) deňlemeden görnüşi ýaly, elektropriwod şu aşakdaky üç ýagdaýda işlemegi mümkindir:

1.  $M > M_c$  bolanda  $\frac{d\omega}{dt} > 0$  bolup, rotoryň aýlanyşy çaltlaşýar, priwodyň işleýşi tizlenýär.

2.  $M > M_c$  bolanda  $\frac{d\omega}{dt} < 0$  bolup, rotoryň aýlanyşy haýallaşýar, priwodyň işleýşi peselýär.

Elbetde, hereketlendirijiniň momentiniň minus bahasynda, meselem, tormozlanyş iş düzgünü dörende-de, hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi haýallanýar.

3.  $M = M_c$  bolanda  $\frac{d\omega}{dt} = 0$  bolup, rotoryň aýlanýan tizligi durnukly

iş düzgüninde işleýär.

Garşylygyň momentlerini iki görnüşli kategoriýa bölýärler, olar: reaktiw momentler hem-de aktiw ýa-da potensial momentler.

Reaktiw momente gysylmagy, kesmegi, sürtülmegi mysal getirse bolar, sebäbi olar priwodyň hereketiniň tersine täsir edýärler.

Aktiw ýagny potensial momente dartyş güýjüni hem-de maýyşgak jisimleriň gysylmagyny, süýndürilmegini, towlanmagyny mysal getirse bolar.

Umumy görnüşde priwodyň hereketiniň deňlemesi:

$$\pm M \pm M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4.5)$$

aňladylsa dogry bolar.

### 4.3. Priwodyň tizlenmeginiň hem-de haýallanmagynyň wagty. Iň amatly üstaşyryň gatnaşygynyň kesgitlenilişi

Ýokarda bellenip geçilişi ýaly (§4.1), geçiş düzgünleri (işe goýbermek, tormozlanmak, bir durnukly iş ýagdaýdan başga bir durnukly iş ýagdaýyna geçmek) önümçilikdäki işleýän mehanizmleriň öndürijiligine juda güýçli täsir edýär.

Priwodyň iş düzgünlerinde geçiş döwrüniň dowamlylygyny priwodyň hereketini häsiýetlendirýän (5.3) deňlemäni integrirlemek arkaly kesgitlenilýär.

Üýtgeýän ululyklary bölüşdirip  $dt$  wagta görä aňlatsak, onda

$$dt = \frac{J \cdot d\omega}{M - M_c}. \quad (4.6)$$

Hereketlendirijiniň tizliginiň  $\omega_1$  bahasyndan  $\omega_2$  bahasyna çenli dowam edýän  $t$  wagtyň tapylyşy

$$t_{1,2} = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{d\omega}{M - M_c}. \quad (4.7)$$

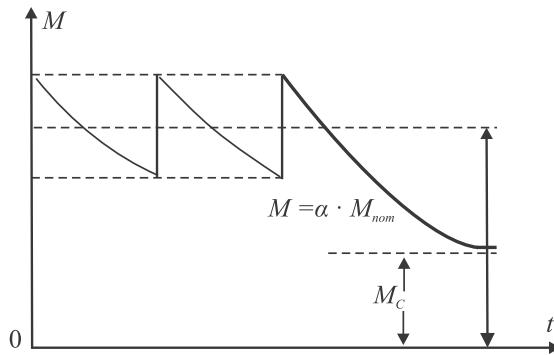
Bu integraly doly çözmek üçin hereketlendirijiniň hem-de mehanizmiň momentleriniň tizliklere bolan baglanyşygyny hökman bilmeli bolýarys. Iň ýönekeý ýagdaýda, ýagny  $M = \text{const}$ ,  $M_c = \text{const}$  we  $J = \text{const}$  bolanda

$$t_{1,2} = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M - M_c}. \quad (4.8)$$

Bu deňleme bilen, meselem, hereketlendirijini işe reostatly goý-berilende peýdalanmak amatly hasap edilýär.

Eger-de işiň dowamyndaky momentleri ortaça bahasy bilen çalşyryp  $M = \alpha \cdot M_{nom}$  görnüşde aňlatsak (4.1-nji çyzga seret), onda  $M_c = \text{const}$  kabul edip şu aşakdaky deňlemäni  $\omega = 0$ -dan tä  $\omega = \omega_{nom}$  aralyk üçin ýazyp bileris:

$$t_{push} = \frac{J \cdot \omega_{nom}}{\alpha \cdot M_{nom} - M_c}. \quad (4.9)$$



**4.1-nji çyzgy. Hereketlendirijiniň işe reostatly goýberilişiniň diagrammasy**

Eger-de hereketlendirijiniň momenti hemişelik bolman, üýtgeýän ululyk bolsa, onda geçiş düzgüniň dowamlylygyny kesgitlemek üçin (4.7) deňlemeden peýdalanmak maslahat berilýär. Deňlemeden görnüşi ýaly,  $M = M_c$  bolanda  $t$  wagt tükeniksize ymytylýar, diýmek, geçiş düzgüni tamamlanýar. İş ýüzünde tizlik takmynan  $\omega = 0,95 \cdot \omega_2$  baha ýetende, eýýäm geçiş düzgüni tamamlanýar, şol pursat hem  $t$  wagt özüniň iň soňky bahasyna (çäGINE) ýetýär.

Eger-de priwodyň dinamiki momenti minus baha eýe bolsa, onda priwodyň aýlanan tizligi haýallanýar. Şeýle ýagdaýlarda momentin deňlemesini şu aşakdaky görnüşde aňladýarlar:

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

Belli bolşy ýaly, hereketlendirijiniň momenti plýus baha eýe bolanda-da, priwodyň tizligi haýallanýar.

Soňky deňlemeden haýallanýan wagtyň tapylyşy

$$t_T = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{J \cdot d\omega}{-(M + M_c)} = \int_{\omega_2}^{\omega_1} \frac{J \cdot d\omega}{M + M_c}.$$

Eger-de  $J = \text{const}$ ,  $M = \text{const}$ ,  $M_c = \text{const}$  bolsa, onda

$$t_T = J \frac{\omega_1 - \omega_2}{M + M_c}. \quad (4.11)$$

Eger-de hereketlendirijiniň momenti we statik garşylyk özara çylşyrymly baglanyşykda bolsalar, onda hereketiň deňlemesini analitiki usul bilen işläp bolmaýar. Şular ýaly çylşyrymly baglanyşyklar döwründe, meseläni grafiki usul bilen ýa-da grafo-analitiki usul bilen işleýärler.

Eger-de hereketlendirijiniň rotorynyň  $J_{dw}$  inersiýa momenti önümçilikdäki mehanizmiň  $J_c$  inersiýasy hem-de garşylygyň  $M_c$  momenti berlen bolsa, onda hereketlendirijiniň walyna görä hereketiň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazyp bolýar:

$$iM - M_c = (J_c + kJ_{dw} \cdot i^2) \frac{d\omega_c}{dt}. \quad (4.12)$$

Bu ýerde  $k$  – inersiýa momentiniň üstaşyr geçirilmegini hasaba alýan koeffisiýentdir.

Elbetde, uly  $\frac{d\omega_c}{dt}$  tizlenme bolanda, rotoryň tiz gozganmagynyň  $t$  wagty minimuma ymtylar, onda (4.12) deňlemeden

$$\frac{d\omega_c}{dt} = \frac{iM - M_c}{J_c + k \cdot J_{dw} \cdot i^2}.$$

Maksimumy kesgitleniş usulyndan  $\frac{d\omega_c}{dt}$  peýdalanyp, üstaşyr  $i$  gatnaşygyň iň optimal (bähbitli) bahasy kesgitlenilýär:

$$i_{opt} = \frac{M_c}{M} + \sqrt{\left(\frac{M_c}{M}\right)^2 + \frac{J_c}{kJ_{dw}}}. \quad (4.13)$$

Eger-de garşylygyň  $M_c$  momenti ujypsyz bolsa, onda  $\frac{M_c}{M}$  gatnaşygy hasaba almasaň-da bolýar. Şeýle mümkinçilik döwründe

$$i_{opt} = \sqrt{\frac{J_c}{kJ_{dw}}}. \quad (4.14)$$

#### 4.4. Priwodyň hereketini aňladýan deňlemäniň grafiki hem-de grafoanalitiki çözülişi

Eger-de hereketiň deňlemesini analitiki (diňe deňlemeler) usuly bilen çözüp bolmaýan bolsa, onda adaty proporsiýa usulyndan ýa-da  $\Delta\omega$  tizligiň hem-de  $\Delta t$  – wagtyň sähelçe üýtgedilen bahalaryndan peýdalanyp meseläni işleýärler.

Bu usulyň düýp manysy juda ujypsyz döw tizligiň sähelçe üýtgemegini çäklendirilen  $\Delta\omega$  tizlik bilen hem-de juda ujypsyz  $dt$  wagtyň sähelçe üýtgemegini bolsa  $\Delta t$  wagtyň çäkli ( $t_n - t_{n-1}$ ) bahalary bilen çalşyryp işlemekden ybaratdyr. Özi-de, tizligiň her sapar sähelçe üýtgemeginde hereketlendirijiniň momentiniň hem-de garşylyk momentiniň ortaça bahalaryny her sapar mehaniki häsiýetnamalarynda grafiki usul bilen kesgitläp tapýarlar.

Proporsiýa usulyna aç-açan düşünmek üçin wentilýatoryň priwodynda ulanylýan rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň işleýişini özleşdireliň. Proporsiýa usuly elektropriwodyň hereketiniň deňlemesine esaslanýar.

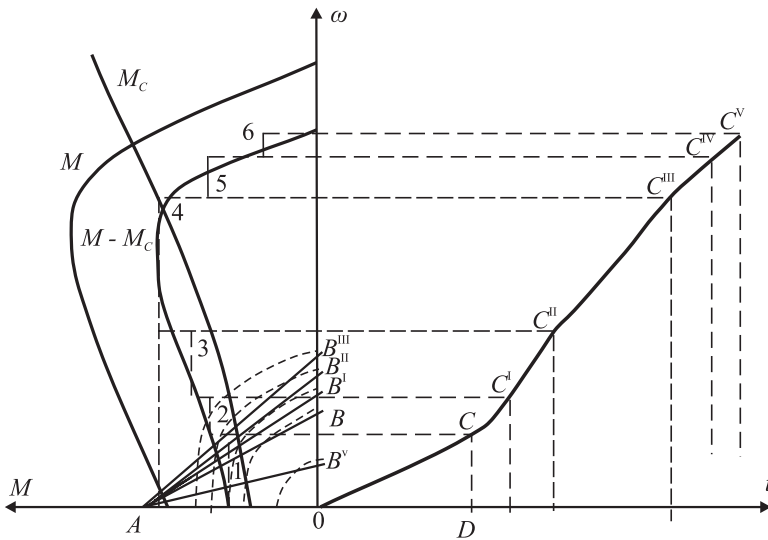
$$M - M_c = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}.$$

Eger-de käbir  $\Delta t$  wagt aralygynda momentleriň ( $M - M_c$ ) tapawudy hemişelik saklanýar diýip kabul etsek, onda proporsiýa deňligini alarys:



$$\frac{M - M_c}{J} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (4.15)$$

Proporsiýa usuly bilen (4.15) deňlemä esaslanyp  $\omega$  tizligiň  $t$  wagta bolan  $\omega = f(t)$  baglanyşygynyň grafiki gurluşy 4.2-nji çyzgyda görkezildi. Grafigi gurmagyň yzygiderligi aşakdaky tertipde amala aşyrylýar. Koordinatyň ikinji çäryeginde  $M = f(\omega)$  hem-de  $M_c = f_1(\omega)$  häsiýetnamalary gurup, olaryň grafiki tapawutlaryndan  $M - M_c = \psi(\omega)$  dinamiki momentiň egri çyzygyny-da ikinji çäryekde gurýarlar. Dinamiki momentiň häsiýetnamasynda  $M - M_c = \text{const}$  meýdançaly birnäçe ýagdaýlar döredip, basgançakly häsiýetnama bilen çalşylýar (4.2-nji çyzga seret). Basgançaklaryň sany näçe köp bolsa, şonça-da geçirilen hasaplar takyk netijeleri berýär.



**4.2-nji çyzgy. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijili ýelpewajyň mehaniki häsiýetnamalaryny grafiki gurup, proporsiýa usulyndan peýdalanylyşy**

Basgançaklara esaslanyp, her meýdança üçin hasaplanylýan dinamiki momentleriň bahalary ordinata oky boýunça dikligine ýerleşdirilýär. Meselem, birinji meýdança üçin  $\overline{OB}$  kesimi, ikinji meýdança üçin  $\overline{OB'}$  we ş.m. kesimleri alarys. Ordinata okunda belgilenip görkezilen  $B, B^I, B^{II}, B^{III}, B^{IV}, B^V \dots$  nokatlary  $I$  – inersiýanyň ululygyny

aňladýan  $A$ -nokady göni çyzyklar bilen birleşdirýärler. Soňra koordinatyň merkezinden  $\overline{AB}$  kesime parallel göni çyzyk geçirilip,  $\overline{OC}$  kesimi alýarlar. Bu  $\overline{OD}$  göni çyzyk birinji uçastkanyň momentiniň  $\omega = f(t)$  funksional baglanyşygyny aňladýar. Munuň şeýledigini  $AOB$  hem-de  $ODC$  üçburçluklaryň meňzeşdiklerinden görse bolýar, onda

$$\frac{\overline{OB}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{CD}}{\overline{OD}}.$$

Emma,  $\overline{OM} = M - M_c$ ;  $\overline{OA} = J$ ;  $\overline{CD} = \Delta\omega_1$ . Şeýlelikde,  $\overline{OD}$  kesim (4.15) deňlemä laýyklykda birinji meýdança üçin goýberiliş-pursatyny, ýagny  $\overline{OD} = \Delta t_1$  wagty aňladýar. Şular ýaly yzygiderlikde beýleki basgançakly uçastkalarda-da ýerine ýetirip, gözlenýän degişli  $\Delta t_2, \Delta t_3 \dots$  wagtlar kesgitlenilýär.

Grafikleri guranlarynda fiziki ululyklaryň hersi üçin özüne amatly, degişli masştablaryny başdan ahyryna çenli ýoýman, dürs berjaý edilmelidir

$$\frac{m_m}{m_l} = \frac{m_\omega}{m_t}.$$

Bu ýerde:

$m_M$  – momentniň masştaby;

$m_l$  – momentniň  $J$  inersiýasynyň masştaby;

$m_\omega$  – hereketlendirijiniň aýlaw tizliginiň masştaby;

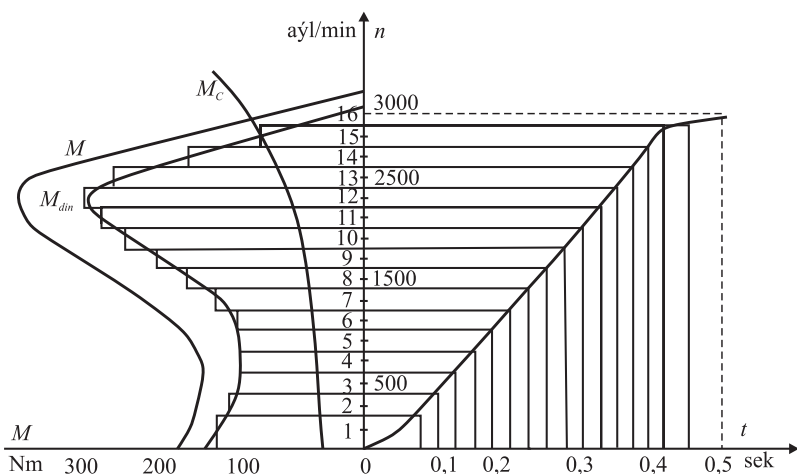
$m_t$  – wagtyň (pursadyň) masştaby.

Eger-de bu dört sany ululyklaryň üçüsiniň, meselem, momentniň, tizligiň hem-de wagtyň masştablary kabul edilse, onda dördünji fiziki ululygyň  $J$  inersiýasynyň masştabyňy kesgitläp anyklap bolýar.

Ýokarda özleşdirilen grafiki usul hemişelik toguň priwodlarynyň häsiýetnamalarynda-da geçiş düzgünlerini hasaplanlarynda öz güýjüni ýitirmeýär. Eger-de geçiş proseslerini analitiki deňlemeler bilen işläp bolmaýan ýagdaýlarda grafik usuldan diňe bir goýberiliş üçin däl-de, tormozlanyş düzgünlerinde-de giňden ulanylýar.

Tizligiň wagtdan  $\omega = f(t)$  baglanyşygyny gurmak üçin proporsiýa usulyndan başga-da  $t$  goýberiliş pursaty tapmak üçin, meýdançalaryň

usulyndan peýdalanyň, hereketiň deňlemesini grafoanalitiki integrirläp hem kesgitlenilýär. Bu usul bilen-de meseleler işlenende, hereketlendirijiniň hem-de işçi mehanizmiň mehaniki häsiýetnamalary berlip, soňra bu iki häsiýetnamalaryň grafiki tapawutlaryndan  $M_{din} = M - M_c$  dinamiki momentniň häsiýetnamasy gurulýar (4.3-nji çyzga seret).



4.3-nji çyzgy. Ýelpewaç priwodynyň goýberiliş wagtynyň tapylyşynyň grafiki

Dinamiki momentniň mehaniki häsiýetnamasy birnäçe meýdançalara bölünip, şol meýdançalardaky momentler öz meýdançalary üçin hemişelik saklanyp, olaryň ortaça bahalaryna düşünilýär. Her bir meýdança üçin şu aşakdaky görkezilen deňleme dogry hasaplanylýar.

$$\Delta t = J \frac{\Delta \omega}{M - M_c}. \quad (4.16)$$

Eger-de ähli meýdançalarda  $\Delta \omega$  özara deň bolsalar, onda goýberiliş wagtynyň tapylyş deňlemesi.

$$t = \sum_1^m (\Delta t) = J \cdot \Delta \omega \sum_1^m \frac{1}{M - M_c}. \quad (4.17)$$

Bu ýerde:  $m$  – meýdançalaryň sany;

$\Delta \omega$  – const – her meýdançada tizligiň inişi;

$M - M_c$  – her meýdançada dinamiki momentniň degişli ( $M_1; M_2, \dots$ ) bahalary.

**4.1-nji mesele.** Wentilýatoryň (howa üfleýjiniň ýa-da sorujynyň) priwody üçin goýberiliş wagtyny kesgitläp,  $n = f(t)$  baglanyşygynyň grafigini gurmaly. Priwodyň rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendiriji, A-72-2 görnüşli,  $P_{nom} = 40 \text{ kWt}$ ,  $n_{nom} = 2930 \text{ aýl/min}$ ,  $GD^2 = 7,5 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ . Hereketlendirijiniň  $n = f(M)$  hem-de mehanizmiň  $n = f_1(M_c)$  mehaniki häsiýetnamalary 4.3-nji çyzgyda koordinatyň ikinji çärýeginde görkezildi.

**Çözülişi.** Hereketiň deňlemesini integrirlemek üçin meýdançalaryň usulyndan peýdalanýarys. Priwodyň dinamiki momentiniň egri çyzykly häsiýetnamasyny  $M_{din} = M - M_c$  berlen momentleriň grafigi tapawutlary hökmünde gurýarys. Dinamiki häsiýetnamany basgançaklar bilen çalşyp, islendik  $i$  meýdança üçin goýberiliş-wagty hasaplanyşynyň deňlemesinden peýdalanýarys.

$$\Delta t_i = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n_i}{M_{din}}, [\text{sek}] \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 17).$$

Goyberilişin doly wagty

$$t = \sum_{i=1}^{17} \Delta t_i, [\text{sek}].$$

Hasaplamalaryň netijelerini 4.1-nji tablisada ýerleşdirýäris. 4.1-nji tablisada görkezilen bahalardan peýdalanyp aýlaw tizliginiň  $n(t)$  – grafigini gurýarys (4.3-nji çyzga seret). Goyberilişin doly wagty  $t = 0,44 \text{ sek}$ .

4.1-nji tablica

	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta n$ , aýl/min	200	200	200	200	200	200	200	200
$\Delta n$ , aýl/min	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
$M_{din}$ , N·m	116,8	104	100	99	104	113,8	129,5	145
$\Delta t_i$ , sek	0,0326	0,0367	0,0381	0,0385	0,0367	0,0335	0,0295	0,0264

4.1-nji tablisanyň dowamy

	9	10	11	12	13	14	15	16
$t$ , sek	0,0326	0,0693	0,1074	0,1459	0,1826	0,2161	0,2456	0,272
$\Delta n$ , aýl/min	200	200	200	200	200	100	100	100
$\Delta n$ , aýl/min	1800	2000	2200	2400	2600	2700	2800	2900
$M_{din}$ , N·m	165	196	222	235	219	188	148	91,3
$\Delta t$ , sek	0,0232	0,0195	0,0173	0,0163	0,0175	0,0102	0,013	0,0209
$t$ , sek	0,02952	0,03147	0,332	0,3483	0,3658	0,376	0,389	0,4099

Elektropriwodlar üçin geçiş düzgünleri işlenilende diňe bir işçi mehanizmiň häsiýetnamalary bilen çäklenilmän, dürli görnüşli hereketlendirijileriň-de häsiýetnamalaryny hasaba girizilmelidir. Dürli görnüşli hereketlendirijileriň häsiýetnamalarynyň esasy bir aýratynlyklary geçiş düzgünlerine güýçli täsirini ýetirmegidir.

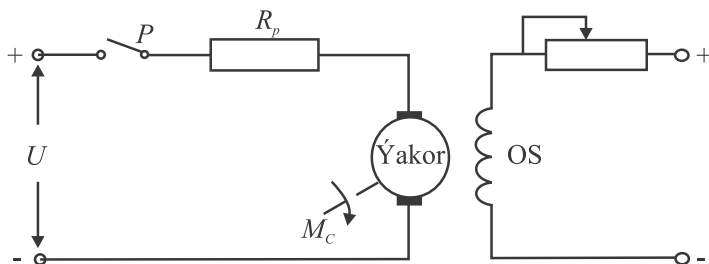
Umuman, elektropriwodlarda geçiş düzgünlerini özleşdirilmeginiň zerurlygy goýberiliş wagty tizligiň, toguň, momentiniň, hatda, geçilen ýoluň, tormozlanmagyň, rewers iş düzgüniniň  $t$  wagta görä üýtgeýiş kanunlaryny anyklap seljermekden ybaratdyr.

#### 4.5. Hemişelik toguň parallel oýandyryjyly hereketlendirijisinde geçiş düzgünleri

Elektrik zynjyrlarynda bolup geçýän tolgunmalaryň ähli görnüşleri geçiş düzgünleriniň döremegine sebäp bolýarlar. Mysal hökmünde 4.4-nji çyzgyda öçürilgi ýagdaýda görkezilen hemişelik toguň oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň ýakoryny  $p$  açar arkaly işe goýberilende döreýän geçiş prosesini özleşdireliň.

Görkezilen shemada hereketlendirijiniň ýakory bilen yzygider üýtgedilmeýän reostatyň  $R_p$  garşylygy birikdirilýär. Şeýlelikde, ýakor zynjyrynyň umumy garşylygy

$$R = R_{jak} + R_p.$$



#### 4.4-nji çyzgy.

#### Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň işe goýberilişiniň elektrik shemasy

Hereketlendiriji işe goýberilen pursaty derňelende: hereketlendirijiniň  $\Phi$  – magnit akymy, ýymitlendiriji çeşmäniň  $U$  naprýaženiýesi hem-de ýüküň  $M_c$  momenti hemişelik ululyklarynda saklanýarlar diýlip hasaplanylýar. Bulardan başga-da ýakoryň sarymyndaky ( $L_{yak} = 0$ ) induktiwlilik nola deň diýlip kabul edilýär.

Goýberiliş wagty hereketlendirijiniň elektrik hem-de mehaniki deňagramlylyklaryny elektrik hem-de mehaniki deňagramlylyklaryny aňladýan deňlemeleri.

$$U = c \cdot \omega + i R. \quad (4.18)$$

$$M = c \cdot i = I \frac{d\omega}{dt} + M_c. \quad (4.19)$$

Eger-de (4.19) deňlemeden ýakoryň  $i$  togunyň bahasyny tapyp, (4.18) deňlemede goýsak we emele gelen deňlemäniň iki tarapynda  $c$  koeffisiýente bölüp, ýönekeý algebräik amallary ýerine ýetirsek, şu aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\frac{U}{C} = \omega + \frac{I \cdot R}{C^2} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{M_c \cdot R}{C^2}$$

ýa-da

$$\omega_0 = \omega + T_M \frac{d\omega}{dt} + \Delta\omega_c. \quad (4.20)$$

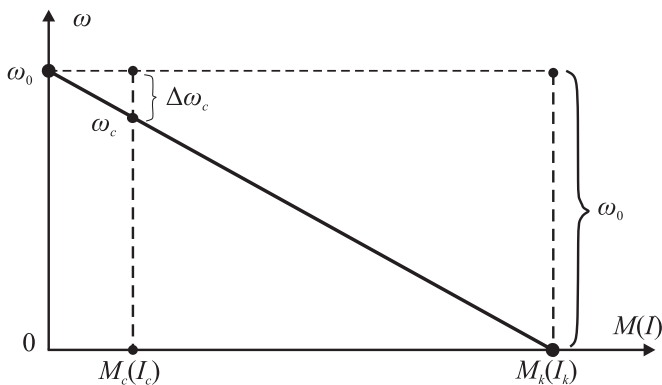
Bu ýerde  $\omega_0 = \frac{U}{C}$  – hereketlendiriji ýüksüz boş işlände aýlaw tizligi;

$$\Delta\omega_c = \frac{M_c \cdot R}{C^2} \quad - \text{ ýüklenen ýüke görä tizligiň eňaşak gaýdyşy}$$

(4.5-nji çyzga seret);

$$T_M = \frac{I \cdot R}{C^2} = \frac{I \cdot \omega_0}{M_k} \quad - \text{ wagtyň elektromehaniki hemişeligi.}$$

Wagtyň elektromehaniki hemişeligi diýlip  $I$  inersiýanyň momenti, ýagny hemişelik saklanýan momentiň ululygy  $M_k$  momentiň ululygyna deň saklananda, elektropriwodyň aýlanýan tizligi nol (hereketsiz) ýagdaýyndan ýüksüz (boş) işlände, ideal  $\omega_0$  tizligine ýetýänçä geçen wagt  $T$  aralyga düşünilýär. Wagtyň hemişeliginiň ululygynyň  $M_k$  momentden baglydygyny belläp geçmelidiris.



**4.5-nji çyzgy. Wagtyň elektromehaniki hemişeliginiň kesgitlenişine mysal**

Eger-de ýakor zynjyrynyň garşylygyny ulaltsak, onda  $M_k$  moment kiçelýär, netijede, wagtyň  $T_M$  hemişeligi öser. Elektromehaniki wagtyň  $T_M$  hemişeligi elektrik ýükünden bagly däl. (4.20) deňlemäni başgaça aňladyp ýazyp bolýar:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{T_M} = \frac{\omega_0 - \Delta\omega_c}{T_M}.$$

Bu deňlemäniň çözüdü

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_c + C \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (4.21)$$

Bu ýerde  $C$  – integrirlenmegiň hemişelik koeffisiýenti, geçiş düzgüniniň başlangyç şertlerinden tapylýar.

Meselem  $t = 0$  pursatda tizligiň başlangyç bahasy  $\omega = \omega_{başl.}$  bolýanlygy üçin

$$C = \omega_{başl.} - (\omega_0 - \Delta\omega_c) = \omega_{başl.} - \omega_c.$$

Şonuň üçin-de hereketlendirijiniň aýlanýan tizliginiň goýberiliş wagtyňy aňladýan deňlemesini aňsatlyk bilen ýazyp bolýar:

$$\omega = \omega_c + (\omega_{başl.} - \omega_c) e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (4.22)$$

Bu ýerde  $\omega_c$  – hereketlendirijiniň aýlanýan tizliginiň düzgünleşen (berkarar) tizligi (4.5-nji çyzga seret).

Meselem, hereketlendiriji duran ýagdaýyndan ( $\omega_{başl.} = 0$ ) oňa degişli ýükler doly ýüklenende, işe goýberilişiniň deňlemesi

$$\omega = \omega_c \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right). \quad (4.23)$$

Hereketlendiriji duran ýagdaýyndan ( $\omega_{başl.} = 0$ ) ýüksüz (boş) işe goýberilişiniň deňlemesi

$$\omega = \omega_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right). \quad (4.24)$$

Bu burç  $\omega$  tizlikleriniň deňlemelerine meňzeşlikde, aýlaw  $n$  tizlikleri üçin-de degişli deňlemelerini (aýl./min) ölçeg birliginde ýazyp bolýar.

$$n = n_c + (n_{başl.} - n_c) e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (4.22')$$



Eger-de hereketlendiriji hereketsiz ýagdaýyndan  $n_c$  tizlige çenli ýükli işe goýberilse, onda

$$n = n_c \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right). \quad (4.23)$$

Eger-de, hereketlendiriji hereketsiz ýagdaýyndan  $n_0$  tizlige çenli ýüksüz (boş) işe goýberilse, onda

$$n = n_0 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right). \quad (4.24)$$

Bu ýerde wagt  $T_M$  – hemişeliginiň kesgitlenişi başga görnüşde aňladylýar.

$$T_M = \frac{GD^2 \cdot R}{375 \cdot C_E \cdot C_M} = \frac{GD^2 \cdot n_0}{375 M_K}.$$

Hereketlendiriji ýükli we ýüksüz işlände diagrammadan wagtyň  $T_M$  hemişeliginiň grafikden tapylyşy 4.6-njy çyzgyda görkezildi. (4.22) hem-de (4.23) deňlemelere esaslansak, onda geçiş düzgüniň (prosesiň) dowamlylygy nazary düşünje bilen seredeniňde, tükeniksiz çenli dowam edýär. Emma, hakykatda (iş ýüzünde) geçiş düzgüniň dowamlylygy  $t_n = (3 - 4) T$  wagtda tamamlanýar.

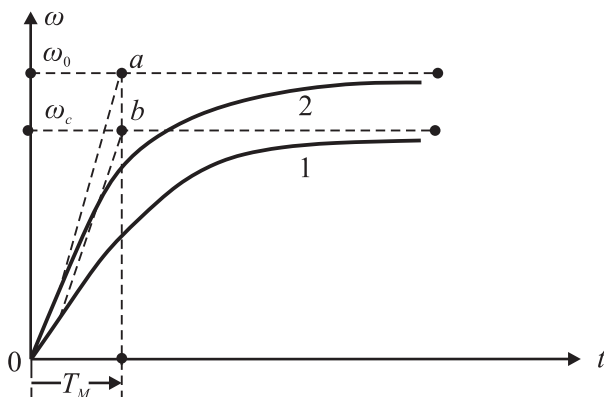
Dogrudan-da,  $t = \infty$  bolanda  $e^{-\frac{t}{T_M}} = 0$ ;  $\omega = \omega_c$ ;

$t = 3 T_M$  bolanda  $e^{-3} \approx 0,05$ ;  $\omega \approx 0,95 \cdot \omega_c$ ;

$t = 4 T_M$  bolanda  $e^{-4} \approx 0,02$ ;  $\omega \approx 0,98 \cdot \omega_c$ .

Şeýlelikde, bary-ýogy  $t = 3 T_M$  wagtda hereketlendirijiniň tizliginiň aýlawy barmaly hetdine 5% ýetmese-de, geçiş hadysasy tamamlandy diýse bolýar.

Eger-de hereketlendiriji üýtgemeýän  $M_K$  momentli işe goýberilse, onda hereketlendirijiniň tizligi  $t$  wagta görä göni çyzyk bilen üýtgär (4.6-njy çyzgyda *oa* hem-de *ob* göni çyzyklara seret).



**4.6-njy çyzygı. Sarymy parallel hereketlendiriji işe goýberilende (goýberiliş wagty)  $\omega = f(t)$  baglanyşygynyň egri çyzygy**

Şonuň üçin-de 2-nji egri çyzyga 0 merkezden galtaşýan göni çyzyk geçirip,  $\omega_0$ -dan  $t$  oka görä parallel geçirilen çyzyk bilen keşişýänçe dowam etsek,  $t = T_M$  wagta deň bolan  $\omega_0 \cdot a$  kesimi alarys.

Eger-de 1-nji egri çyzyga-da 0 merkezden galtaşýan göni çyzyk geçirsek, ýene-de  $t = T_M$  wagta deň bolan  $\omega_c \cdot b$  kesimi alarys.

Hereketlendiriji işe goýberilende, onuň ýakor zynjyryndan akýan togunyň  $t$  wagta görä baglanyşygy (4.19) deňleme-den kesgitlenilýär:

$$i = \frac{J \cdot d\omega}{C \cdot dt} + I_c.$$

Bu ýerde  $I_c = \frac{M_c}{C}$  elektrik ýükünden akýan tok (4.21) deňleme-den  $t$  wagta görä önüm alsak, onda

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{C}{T_M} e^{-\frac{t}{T_M}}$$

deňlemäni  $i$  toguň deňlemesindeki  $\frac{d\omega}{dt}$ -niň deregine goýsak, şu aşakdaky netijäni alarys:

$$i = -\frac{J}{C} \cdot \frac{C}{T_M} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} + I_c. \quad (4.25)$$

Başlangıç şartda,  $t = 0$  pürsatda  $i = I_{başl.}$  deň bolýanlygy sebäpli integrirlenmegiň  $C$  hemişeligi

$$C = -\frac{C \cdot T_M}{J} (I_{başl.} - I_c).$$

$C$  – koeffisiýentiň bahasyny (4.25) deňlemede ornunda goýsak, onda

$$i = I_c + (I_{başl.} - I_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (4.26)$$

Şeýlelikde, toguň başlangıç bahasynyň umumy görnüşde kesgitlenişiniň deňlemesi

$$I_{başl.} = \frac{U - E}{R}.$$

Eger-de hereketlendiriji gozganman duran ýagdaýyndan işe goýberilse, onda  $E$  – EHG nula deňligi sebäpli

$$I_{başl.} = I_K = \frac{U}{R}.$$

Netijede, ýakoryň togunyň kesgitlenişini şeýle bolar:

$$i = (I_K - I_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} + I_c. \quad (4.27)$$

Eger-de hereketlendiriji işe ýüksüz goýberilse, ýagny  $I_c = 0$  bolanda, onda

$$i = I_K \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}. \quad (4.28)$$

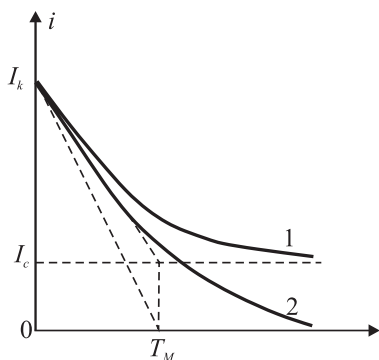
Ýokarda getirilen (4.27) hem-de (4.28) denlemelere esaslanyp, 4.7-nji çyzgyda  $i = f(t)$  baglanyşygyň grafigi görkezildi.

Eger-de hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamasy göni bolup, ýüküniň momenti hemişelik saklansa, onda 4.6, 4.7 hem-de 4.8-nji çyzgylar seljerilende  $\omega = f(t)$  we  $i = f_1(t)$  baglanyşyklaryň ýönekeý eksponent boýunça üýtgeýändigini çyzgylardan görse bolýar.

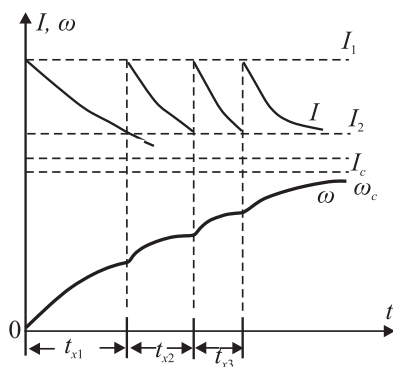
Hemişelik toguň çeşmelerinde sarymy parallel oýandyryjyly hereketlendirijileri işe goýberenlerinde, setiň naprýaženiýesini hemişelik ululykda saklap, olaryň goýberiliş wagtyndaky toklaryna hem-de goýberiliş wagtyndaky momentlerine degişli yrgyldylaryň kesgitlenen araçäkleri önünden kabul edilýär.

Şonuň üçin-de, hereketlendirijiniň işe goýberilen goýberiliş pursatyndaky wagtyny anyklamak üçin, tizligiň deňlemesinden peýdalanylan, toguň (4.26) deňlemesinden peýdalanmak has amatly hasaplanylýar.

Birnäçe basgançakly goýberilişin geçiş düzgüni 4.8-nji çyzgyda görkezildi. Şeýle geçiş iş düzgünlerinde üýtgeýän geçiş toklarynyň böküp durmagy, ýagny  $I_1$  tok bilen  $I_2$  tok aralykda saklanmagy, onuň gowy tapapy hasaplanylýar. Goýberilişin başynda  $I_{başl.} = I_1$  bahasyna ýetip, soňra tizligiň ösýänligi netijesinde, hereketlendirijiniň EHG-si hem ösýär. Şonuň üçin-de ýakoryň zynjyryndaky  $I$  tok peselip başlaýar we şonuň bilen birlikde hereketlendirijiniň momenti-de peselmek bilen bolýar.



**4.7-nji çyzgy. Sarymy parallel hereketlendiriji bir basgançakly (reostatsyz) işe goýberilen  $i = f(t)$  baglanyşyklarynyň egri çyzyklary:**  
1 – ýükli işe goýberilende, 2 – ýüksüz işe goýberilende



**4.8-nji çyzgy. Sarymy parallel hereketlendiriji birnäçe basgançakly (reostatly) işe goýberilende degişli diagrammalary**

Haçan-da ýakoryň togy  $I_2$  baha çenli peselende, reostatyň bir bölegi öçürilýär we  $I$  tok ýene-de  $I_1$  bahasyna bököýär we bu geçiş düzgün (geçiş prosesi) reostatyň ähli basgançaklarynda gaýtalanýar. Goýberilişin  $t$  wagtyň kesgitlenişini özleşdireliň. Munuň üçin (4.16) deňlemäni şu aşakdaky görnüşde özgerdip ýazalyň:

$$I_2 = I_c + (I_1 + I_c) \cdot e^{-\frac{t_x}{T_{Mx}}}. \quad (4.29)$$

Bu ýerde:  $I_1$  we  $I_2$  – goýberiliş toklarynyň üýtgemeginiň araçäkleri (4.8-nji çyzga seret);

$t_x$  – goýberiliş reostatynyň basgançaklarynda göz önünde tutulan geçilişin wagty;

$T_{Mx}$  – degişli basgançak üçin elektromehaniki wagtyň hemişeligi.

Reostatyň her basgançagy üçin niýetlenilen ýakoryň zynjyryndaky garşylyklaryň özlerine mahsus wagt hemişeligi anyklanylýar. Eger-de gözlenýän goýberiliş  $t_x$  wagta görä (4.29) deňlemäni işleseň, onda:

$$t_x = T_{Mx} \cdot \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c}. \quad (4.30)$$

Eger-de elektrik ýüküniň  $I_c$  togy goýberiliş wagty üýtgemän hemişelik ululygynda saklansa, onda natural logorifmdäki gatnaşyk hemişelik ululyga öwrülýär.

Şonuň üçin-de

$$t_x = k \cdot T_{Mx}. \quad (4.31)$$

Şeýlelikde, wagtyň geçmegi bilen reostatyň garşylygy ýakoryň zynjyryndan bölek-bölek aýrylýandygy sebäpli, elektromehaniki hemişeligiň wagty-da kiçelýär, bu bolsa, öz gezeginde, aralyk goýberilişleriň wagtlarynyň kiçelmegine sebäp bolýar, ýagny  $t_{x1} > t_{x2} > t_{x3}$  we ş. m.

Toguň wagta görä  $i = f(t)$  baglanyşygy 4.8-nji çyzgyda görkezil-di. Bu baglanyşyk (4.26) deňlemä esaslanyp guruldy. Şol ýerde tizligiň  $\omega = f(t)$   $t$  – wagtdan baglanyşygy-da ýerleşdirildi. Bu baglanyşyk öz gezeginde (4.22) deňlemä esaslanyp guruldy. Iň soňky basgançakda geçiş

düzgüni ( $I = I_c$  ýa-da  $\omega = \omega_c$  bolanda) wagt tükeniksize çenli dowam edýär. Amaly nukdaýnazardan bu wagt

$$t_x = (3 \div 4) \cdot T_{Mx}$$

geçenden soň, geçiş düzgün tamamlanýar.

**4.2-nji mesele.** Parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijisiniň parametrleri:  $P_{nom.} = 10$  kWt;  $U = 220$  W,  $I_{nom.} = 52,2$  A,  $n_{nom.} = 2250$  aýl/min,  $R_{yak} = 6,5\%$ ,  $GD^2 = 4,9$  N · m<sup>2</sup>. Hereketlendiriji iki basgançakly reostat arkaly işe goýberilýär.

Hereketlendirijiniň ýüküniň togy  $I_c = 0,5 \cdot I_{nom.}$ , momenti  $M_c = 0,5 \cdot M_{nom}$  bolanda,  $n = f(t)$  hem-de  $i = \varphi(t)$  baglanyşyklary hasaplap grafiklerini gurmaly.

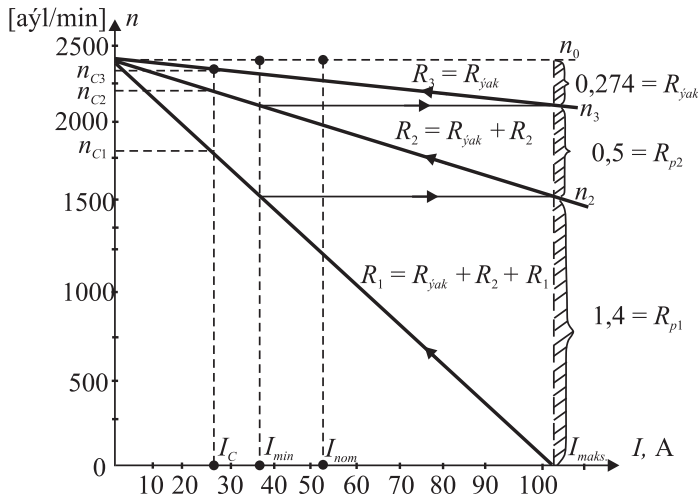
**Çözülişi.** Hereketlendirijiniň nominal garşylygy

$$R_{nom} = \frac{220}{52,2} = 4,21 \text{ Om.}$$

Ýakoryň garşylygy

$$R_{yak} = 0,065 \cdot R_{nom} = 0,065 \cdot 4,21 = 0,27 \text{ Om.}$$

Goyberiliş garşylyklaryny 4.9-njy çyzgyda geçiş düzgünleri görkezilen grafiki usuldan peýdalanyp kesgitleýäris.



4.9-njy çyzgy. Reostat garşylyklaryň kesgitlenişine mysal

Maksimal tok iki esse diýip kabul edýäris:

$$I_{maks} = I_1 = 2 \cdot I_{nom} = 104,4 \text{ A.}$$

Iki basgançakly geçiş düzgünini görkezmek üçin minimal togy ( $0,73 \cdot I_{nom}$ ) diýip kabul edýäris:

$$I_{min} = I_2 = 0,73 \cdot I_{nom} = 38 \text{ A.}$$

Iki basgançakly grafik taýýar bolandan soň (gurlup gutarylandan soň), garşylygyň masştabynyň  $R_{yakor} = 0,27 \text{ Om} = 13 \text{ mm}$  deň bolýandygyny anyklap, soňra  $R_{p1} = 1,4 \text{ Om}$ ,  $R_{p2} = 0,5 \text{ Om}$  deň bolýandyklary 4.9-njy çyzgydaky grafikleriň sag tarapynda görkezildi.

Hereketlendirijiniň EHG-siniň koeffisiýenti

$$C_E = \frac{U - I_{yak} \cdot R_{yak}}{n_{nom}} = \frac{220 - 52,2 \cdot 0,274}{2250} = 0,09 \frac{\text{W}}{\text{aýl/min}}.$$

Hereketlendirijiniň momentiniň koeffisiýenti hereketlendirijiniň EHG-siniň koeffisiýenti bilen özara baglanyşyklary

$$C_M = 9,55 \cdot C_E$$

onda,

$$C_M = 9,55 \cdot 0,09 = 0,86 \text{ N} \cdot \text{m/A.}$$

Şeýlelikde, hereketlendirijiniň sinhron (ýüksüz işlände) tizligi

$$n_0 = \frac{U}{C_E} = \frac{220}{0,09} = 2408 \text{ aýl/min.}$$

Geçiş düzgüniniň egri çyzyklarynyň hasaplamalary (4.22) hem-de (4.26) deňlemelerden peýdalanylyp ýerine ýetirilýär.

Birinji basgançak üçin geçiş prosesiniň deňlemeleri

$$n = n_{c1} + (0 - n_{c1}) \cdot e^{-\frac{t}{T_{M1}}};$$

$$i = I_c + (I_1 - I_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_{M1}}}.$$

Ýakor zynjyrynyň doly garşylygy

$$R_1 = R_{yak} + R_{p2} + R_{p1} = 0,27 + 1,4 = 2,11 \text{ Om.}$$

Elektromehaniki wagtyň hemişeligi

$$T_{M1} = \frac{GD^2 \cdot R_1}{375 \cdot C_E \cdot C_M} = \frac{4,9 \cdot 2,17}{375 \cdot 0,09 \cdot 0,86} = 0,35 \text{ sek.}$$

Hereketlendiriji durnukly iş düzgüninde işleýän wagty, ýagny  $I_c = 0,5 \cdot I_{nom.} = 0,5 \cdot 52,2 = 26,1 \text{ A}$  toga deň bolanda, 4.9-njy çyzgydaky grafikden rahatlanan tizlik  $n_{c1} = 1812 \text{ aýl/min.}$

Şeýlelikde, birinji basgançak üçin geçiş prosesiniň deňlemeleriniň çözülişleri:

$$n = 1812 - 1812 \cdot e^{-\frac{t}{0,35}};$$

$$i = 26,1 + (104,4 - 26,1)e^{-\frac{t}{0,35}} = 26,1 + 78,3e^{-\frac{t}{0,35}}.$$

1-nji basgançak üçin sarp edilen wagt

$$t_1 = T_{M1} \cdot \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c} = 0,35 \ln \frac{104,4 - 26,1}{38 - 26,1} = 0,65 \text{ sek.}$$

Soňra  $t$  wagta  $t = 0$ -dan  $t = 0,65$  sekunda çenli bahalar berip,  $n$  hem-de  $i$  ululyklary hasaplap, netijelerini 4.2-nji tablisa geçirýäris.

4.2-nji tablisa

$t$	sek	0	0,2	0,4	0,6	0,65
$n$	aýl/min	0	792	1236	1491	1538
$i$	A	104,4	70,1	50,9	40	38

Ikinji basgançak üçin geçiş prosesiniň deňlemeleri

$$n = n_{c2} + (n_{c2} - n_{c1})e^{-\frac{t}{T_{M2}}};$$

$$i = I_c + (I_1 + I_c)e^{-\frac{t}{T_{M2}}}.$$



Ýakor zynjyrynyň garşylygy

$$R_2 = R_{\dot{y}ak} + R_{p2} = 0,27 + 0,49 = 0,76 \text{ Om.}$$

Elektromehaniki wagtyň hemişeligi

$$T_{M2} = \frac{GD^2 \cdot R_1}{375 \cdot C_E \cdot C_M} = \frac{4,9 \cdot 076}{375 \cdot 0,09 \cdot 0,86} = 0,125 \text{ sek.}$$

Ikinji basgançakda hereketlendirijiniň rahatlanan tizligi

$$n_{c2} = 2192 \text{ aýl/min.}$$

2-nji basgançakda sarp edilen wagt

$$t_2 = T_{M2} \ell_n \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c} = 0,125 \cdot 1,884 = 0,236 \text{ sek.}$$

Ikinji basgançakda  $n$ - tizlik we  $i = tok$  üçin hasaplanan deňlemeler

$$n = 2192 + (1538 - 2192) e^{-\frac{t}{0,125}} = 2192 - 654 e^{-\frac{t}{0,125}}$$

$$i = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,125}}.$$

Bu deňlemelerde  $t$  wagt 0-dan 0,24 sek aralygynda üýtgeýär. Hasaplamalaryň netijelerini 4.3-nji tablisa geçirýäris.

4.3-nji tablisa

$t$	sek	0	0,05	0,1	0,15	0,24
$n$	aýl/min	1538	1760	1998	1995	2093
$i$	A	104,4	78,6	61,3	49,7	38

Üçünji basgançak üçin-de hasaplamalary ýokardaky 1-nji we 2-nji basgançaklardaky hasaplamalara meňzeş tertipde ýerine ýetirýäris (tebigy häsiýetnamasyna laýyklykda).

$$R_3 = R_{yak} = 0,27 \text{ Om}; \quad T_{M3} = \frac{4,9 \cdot 0,27}{375 \cdot 0,09 \cdot 0,86} = 0,045 \text{ sek};$$

$$n_{c3} = 2330 \text{ aýl/min}; \quad t_3 \approx 4T_{M3} = 0,18 \text{ sek};$$

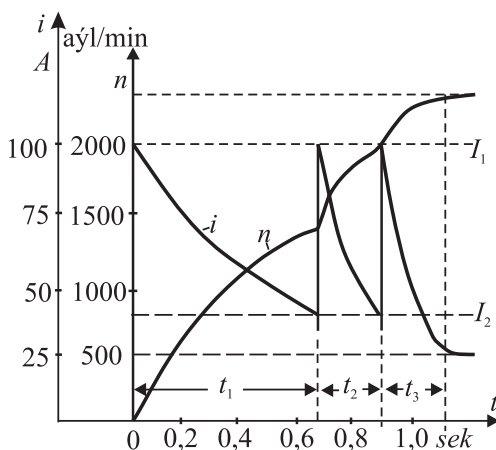
$$n = 2330 + (2093 - 2330)e^{-\frac{t}{0,045}} = 2330 - 237e^{-\frac{t}{0,045}}.$$

Hasaplamalaryň netijelerini 4.4-nji tablisa geçirýäris.

4.4-nji tablisa

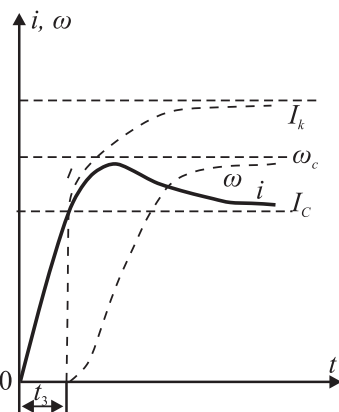
$t$	sek	0	0,05	0,1	0,18
$n$	aýl/min	2093	2252	2304	2326
$i$	A	104,4	51,2	34,6	27,5

Ýokardaky 4.2, 4.3 hem-de 4.4-nji tablisalardaky görkezilen hasaplamalardan peýdalanyň,  $n = f(t)$ ;  $i = \varphi(t)$  baglanyşyklaryň grafikleri 4.10-njy çyzgyda görkezildi.



4.10-njy çyzgy.

Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň goýberiliş wagtlary  $n = f(t)$  we  $i = \varphi(t)$  egri çyzyklary



4.11-nji çyzgy. Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň goýberilen wagty ýakoryň elektromagnit inersiýasyny hasaba girizip gurlan  $\omega = f(t)$  we  $i = f_1(t)$  diagrammalary

Eger-de elektromagnit prosesin geçýän wagtynyň dowamlylygy mehaniki prosesin geçýän wagtynyň dowamlylygy bilen deňleşse (ýa-da dowamlylyklary golaýlaşsalar), onda ýakor zynjyrynyň elektromagnit inersiýasynyň täsirini-de hasaba girizmeli bolýar.

Setin naprýaženiýesi hemişelik ululykda saklananda hem-de ýakoryň induktiwligi hasaba girizilende, hereketlendiriji herekete getirilen wagty (goýberiliş wagty) döreýän egri çyzyklar 4.11-nji çyzgyda görkezildi. Bu çyzgydan görnüşi ýaly, hereketlendirijiniň goýberiliş wagtyny iki etapa bölýärler.

**Birinji tapgyr.** Hereketlendirijiniň ýakoryny ýerinden gozgardyrmak üçin gerek bolan ýakordan akdyrylmaly toguny we  $t_3$  wagtyny kesgitlemek. Birinji etapda hereketlendirijiniň togunyň ulalmagy elektromagnit prosesiniň geçiş tizligine baglydygy hereketlendirijiniň ýakor zynjyry üçin ýazylan naprýaženiýeleriň deňlemesi bilen düşündirilýär:

$$U = Ri + L_{\dot{yak.}} \frac{di}{dt}. \quad (4.32)$$

Ýakoryň induktiwligi  $L_{\dot{yak.}} = \text{const}$  bolanda, (4.32) deňlemäniň çözüldi hereketlendiriji hereketsiz wagtyndaky ýakoryň toguny kesgitleýär.

$$i = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_{el.}}} \right) = I_k \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_{el.}}} \right). \quad (4.33)$$

Bu ýerde:  $I_k = \frac{U}{R}$  – gysga utgaşma wagty hereketlendirijiniň togy;

$T_{el.} = \frac{L_{\dot{yak.}}}{R}$  ýakor zynjyrynyň elektromagnit wagtynyň hemişeligi;

bu wagt elektromagnit prosesiniň geçiş tizliginiň dowamyny görkezýär.

$$T_{el.} = T_{el} \ln \frac{I_k}{I_k - I_c}. \quad (4.34)$$

**Ikinji tapgyr.** Hereketlendiriji  $t_3$  wagtdan ýakory aýlanyp başlanýar we onuň tizligi ösmegini dowam edýär, öz gezeginde, EHG-si ösüp hereketlendirijiniň ýakorynyň toguna öz täsirini ýetirýär. Şeýle iş düzgüninde degişli deňlemeleri şu aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$U = R \cdot i + L_{\text{yak.}} \frac{di}{dt} + e = R \cdot i + \frac{di}{dt} + c \cdot \omega \quad (4.35)$$

hem-de

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

Soňky deňlemäni c hemişelige bölsek

$$i = I_c + \frac{J}{c} \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.36)$$

(4.35) we (4.36) deňlemeleri bilelikde işleseň,  $i$  toga görä ikinji derejeli differensial deňlemäni alarys. Edil şeýle-de  $\omega$  tizlik üçin-de göni, 2-nji derejeli differensial deňlemäni alyp bolýar. Şol deňlemelere esaslanyp, 4.11-nji çyzygyda  $i = f_1(t)$  hem-de  $\omega = f(t)$  baglanyşyklar görkezildi.

#### 4.6. Hemişelik toguň parallel oýandyryjyly hereketlendirijisinde geçiş prosesiniň energetikasyny seljeriş

Hereketlendirijiniň setden kabul edýän kuwwaty waly arkaly energiýalaryň şu aşakdaky görnüşlerine paýlanýar diýse bolar, olar:

1. Ýüküň hötdesinden gelmek (ýagny ýüki ýeňip geçmek üçin harçlanýan kuwwat)

$$P_c = M_c \cdot \omega \text{ Wt.}$$

2. Hereketlendirijiniň dinamiki momenti bilen kesgitlenilýän elektropruwodyň aýlanýan massasynyň agdyklyk edýän artyk kinetik energiýasyny döretmek

$$P_{din} = M_{din} \cdot \omega = J\omega \frac{d\omega}{dt} \text{ Вт.}$$

3. Elektrik hereketlendirijidäki ýitgileri ýapmak. Eger-de sürtülme üçin ýitgini ýüküň kuwwatynyň düzümine goşsak, onda hereketlendirijidäki ýitgiler ýakor zynjyryndaky ýylylyk  $\Delta P_2 = R \cdot i^2$  ýitgiden hem-de sarymy oýandyrmak üçin harç edilýän energiýalaryň jemin-den emele gelýär.

Sarymy oýandyrmak üçin harç edilýän energiýanyň ujypsyzlygy sebäpli, bu ýitgi geljekde hasaba alynmaz.

Emma, geçiş wagty ýakor zynjyrynda ýitirilýän energiýa degişli hereketlendiriji saýlananda onuň kuwwatyna hem-de goşmaça reostat garşylygy saýlananda onuň göwrümlerine aç-açan öz täsirini ýetirýär.

Hemişelik toguň parallel oýandyryjyly hereketlendirijini işe goýberilende (geçiş wagty), ýakor zynjyrynda ýitirilen energiýanyň kesgitlenişiniň deňlemesi

$$\Delta A_{pusk} = \int_0^{t_{pusk}} R \cdot i^2 \cdot dt. \quad (4.37)$$

Hereketlendirijini bir basgançakly işe goýberilende elektrik deňagramlylygynyň deňlemesi

$$U \cdot i = E \cdot i + R \cdot i^2$$

ýa-da

$$R \cdot i^2 = U \cdot i - E \cdot i = M \cdot \omega_0 - M \cdot \omega. \quad (4.38)$$

Bu ýerde:  $U \cdot i$  – setden alynýan kuwwat;

$E \cdot i$  – elektromagnit kuwwat.

Eger-de hereketlendiriji ýüksüz ( $M_c = 0$ ) işe goýberilende, onda

$$M = J \frac{d\omega}{dt} \text{ we } dt = J \frac{d\omega}{M}. \quad (4.39)$$

Eger-de (4.37) deňlemä (4.38) we (4.39) deňlemelerden bahalaryny goýuşdyrsak:

$$\Delta A_{goýb.} = \int_0^{t_{goýb.}} M(\omega_0 - \omega) J \frac{d\omega}{M}$$

geçiş prosesi  $\omega_1 = \omega_{başl.}$  tizlikden  $\omega_2 = \omega_{ahyrky}$  tizlige çenli aralykda energiýanyň tapylyşy

$$\Delta A_{goýb.} = \int_{\omega_{başl.}}^{\omega_{ahyrky}} J(\omega_0 - \omega) d\omega. \quad (4.40)$$

Käbir resmi däl (şahsy) ýagdaýlarda, meselem, tizlik  $\omega_{başl.} = 0$  ýagdaýdan  $\omega_{ahyrky} = 0$  tizlige çenli aralykda energiýanyň tapylyşy

$$\Delta A_{goýb.} = \frac{J\omega_0^2}{2}, \text{Joul.} \quad (4.41)$$

Şeýlelikde, hemişelik toguň parallel oýandyryjyly hereketlendirijini ýüksüz işe goýberilende, ýakor zynjyrynda ýitirilýän energiýa tizligiň durnukly wagty elektropriwodyň mahowoý mas-sasynda toplanan kinetik energiýasyna deňdir.

Bu ýitgileriň ululygy ýakoryň zynjyryndaky garşylyklardan bagly dăldigini, ýagny hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalarynyň şekilinden, başgançaklaryň sanyndan, olaryň garşylyklaryndan hem-de goýberiliş wagtyndan bagly dăldigi bellemelidir.

Goýberiliş wagty hereketlendirijiniň bitiren işi şol geçiş döwrüniň dowamynda toplanan kinetik energiýasy bilen kesgitlenýär:

$$A_{meh} = \frac{J\omega_0^2}{2}.$$

Şeýlelikde, goýberiliş wagty ýakor zynjyrynda harçlanýan elektrik energiýa şol toplanan kinetik energiýasynyň iki esse bahasyna deňdir:

$$A_{el.} = A_{meh} + \Delta A_{goýb.} = J\omega^2. \quad (4.42)$$

Hereketlendiriji ýükli ( $M_c = \text{const}$ ) işe goýberilende:

$$R \cdot i^2 = M \cdot \omega_0 - M \cdot \omega = (M_c + M_j) \cdot (\omega_0 - \omega) \quad (4.43)$$

$$dt = \frac{Jd\omega}{Mj} \quad (4.43 \text{ a})$$

soňra (4.43) bilen (4.43 a) deňlemelerden peýdalanyp

$$\Delta A_{pusk} = \int_0^{t_{goýb.}} R \cdot i^2 dt = \int_0^{\omega_c} J(\omega_0 - \omega) d\omega + \int_0^{t_{goýb.}} M_c(\omega_0 - \omega) dt \quad (4.44)$$

ýa-da

$$\Delta A_{goýb.} = J \left( \omega_0 \cdot \omega_c - \frac{\omega_c^2}{2} \right) + M_c \left( \omega_0 t_{goýb.} - \int_0^{t_{goýb.}} \omega dt \right). \quad (4.45)$$

Bu (4.45) deňlemäniň birinji agzasy inersiýaly massanyň aýlawy tizlendirilende ýakor zynjyrynda ýitirilýän energiýadyr, ikinji agzasy ýakor zynjyrynda ýüküň momenti bar bolandaky ýitirilýän energiýadyr.

Eger-de  $\omega_c$  tizligiň  $\omega_0$  tizlikden tapawudy az bolsa, onda  $\omega_c \approx \omega_0$  diýip

$$\Delta A_{p.j} \approx \frac{\omega_0^2 J}{2}.$$

Ýük bilen baglanyşykly ýitgi

$$\Delta A_{goýb.c} = M_c \left( \omega_0 \cdot t_{goýb.} - \int_0^{t_{goýb.}} \omega dt \right).$$

Bu ýitgileriň ululygyny 4.12-nji çyzgydaky  $\omega = f(t)$  baglanyşykdan hasaplap çykarýarlar. 4.12-nji çyzgyda ştrihlenen meýdança tapawudy aňladýar, ýagny

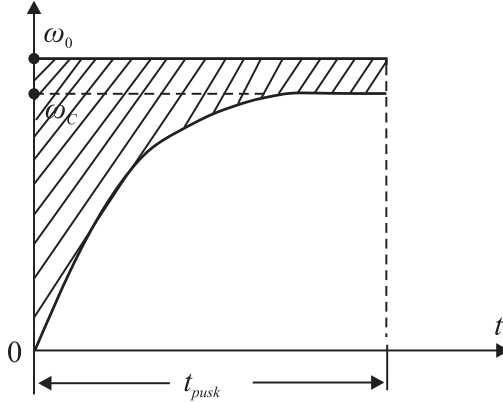
$$\omega_0 \cdot t_{goýb.} - \int_0^{t_{goýb.}} \omega dt = F.$$

Şeýlelikde,

$$\Delta A_{goýb.c} = M_c \cdot F. \quad (4.46)$$

Ýakor zynjyrynda “goýberiş” wagty umumy ýitgi

$$\Delta A_{pusk.c} = J \left( \omega_c \cdot \omega_0 - \frac{\omega_c^2}{2} \right) + M_c \cdot F. \quad (4.47)$$



**4.12-nji çyzgy. Parallel oýandyryjyly hereketlendirijide energiýa ýitgisiniň “goýberiliş” wagtynyň kesgitlenişine mysal**

Ýokarda alnan (4.47) deňlemäni köp basgançakly hereketlendirijiler işe goýberilende-de ýitgileri hasaplamak üçin ulanylýar.

Hereketlendiriji ýüksüz işleýän ( $M_c = 0$ ) wagty dinamiki tormozlananda, ýakor zynjyrynda ýitirilýän ýitgi (4.40) deňleme bilen anyklanylýar. Ýöne, dinamiki tormozlanyş wagty  $U = 0$ ,  $\omega_0 = 0$  bolýandygy hasaba alynmalydyr. Şonuň üçin-de dinamiki tormozlanyşy  $\omega_{başl.} = \omega_0$  tizlikden tä  $\omega_{ahyr.} = 0$  baha çenli diýip hasaplanylýar, onda:

$$\Delta A_{d.t.} = \int_{\omega_0}^0 (-J\omega) d\omega = \int_0^{\omega_0} J\omega d\omega$$

ýa-da

$$\Delta A_{d.T.} = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2}. \quad (4.48)$$



Hereketlendiriji dinamiki tormozlananda, ýakor zynjyrynyň ýitgisi (4.48) deňlemenden ( $M_c = 0$  bolanda) gelip çykýar we priwodyň mahowoy massasy toplanan kinetik energiýasy arkaly kesgitleniş:

$$\Delta A_{d.T.} = \frac{J \cdot \omega_c^2}{2} - M_c \int_0^{t_T} \omega \cdot dt. \quad (4.49)$$

Eger-de  $\omega = f(t)$  baglanyşyk berlen bolsa, onda (4.49) deňlemäniň ikinji goşulmasyny (agzasyny) kesgitlemek beýle bir kynçylyk döretmeýär.

Hereketlendiriji rewerslenende ýakor zynjyryndaky energiýanyň ýitgisi (4.40) deňlemenden kesgitlenýär. Eger-de rewers wagty  $U$  naprýaženiýäniň alamatynyň üýtgändigini hasaba girizsek, onda  $\omega_0$  tizlik hem öz alamatyny üýtgeder. Eger-de rewers ýüksüz ýerine ýetirilýän bolsa ( $M_c = 0$  bolanda), onda  $\omega_{basl.} = \omega_0$  tizlikden tä  $\omega_{ahyrk.} = \omega_0$  aralykda integrirleseň, onda:

$$\Delta A_{rew} = \int_{\omega_0}^{-\omega_0} J(-\omega_0 - \omega) d\omega.$$

Ýa-da

$$\Delta A_{rew} = \int_{-\omega_0}^{\omega_0} J(\omega_0 + \omega) d\omega \quad (4.50)$$

$$\Delta A_{rew} = 4 \frac{J\omega_0^2}{2}.$$

Rewerslenmek  $\omega = 0$  tizlige çenli ýerine ýetirilýän bolsa, onda polýary çalşyrylyp tormozlanýan wagty ýakor zynjyrynda ( $M_c = 0$  bolanda) ýitirilýän energiýanyň tapylyşy:

$$\Delta A_{rew.Torm} = 3 \frac{J\omega_0^2}{2}. \quad (4.51)$$

Şeýlelikde, hereketlendirijiniň polýarlary çalşyrylyp tormozlananda, ýakor zynjyrynda ýitirilýän energiýa toplanan kinetik energiýanyň üç essesine deň bolýar.

Bu energiýanyň bir bölegi  $\left(\frac{J\omega_0^2}{2}\right)$  elektrik hereketlendirijiniň waly bilen ýapylýan bolsa, beýleki  $\left(2\frac{J\omega_0^2}{2}\right)$  bölegi setden alynýar.

Görşümüz ýaly, rewers wagty ýakor zynjyrynda ýitirilýän energiýa toplanan kinetik energiýanyň dört essesine (4.50) deňdir. Munuň şeýledigini rewers wagty umumy proses polýarlary çalşyrylyp tormozlamakdan hem-de hereketlendirijini aýlanýan ugrunyň tersine aýlanmaga mejbur etmekden ybarat diýlip subut edilýär.

Eger-de rewerslenmek hem-de polýarlary çalşyrylyp tormozlanmak hereketlendiriji ýüklükä ( $M_c \neq 0$ ) ýerine ýetirilse, onda energiýanyň ýitgisini şu aşakdaky deňleme arkaly hasaplaýarlar:

$$\Delta A_{Tew.T.} = J \left( \omega_0 \cdot \omega_c + \frac{\omega_c^2}{2} \right) - M_c \int_0^{t_r} (\omega_0 + \omega) dt. \quad (4.52)$$

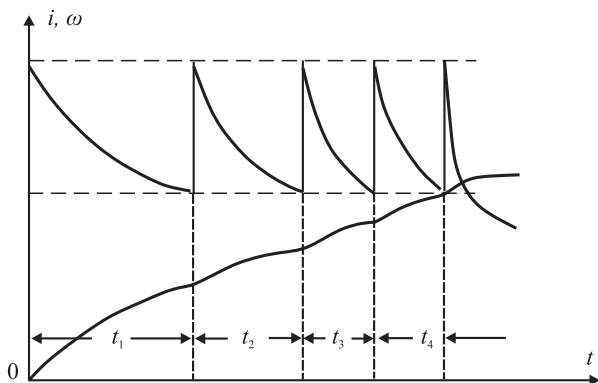
Bu (4.52) deňlemeden görnüşi ýaly, hereketlendiriji ýükli tormozlananda energiýanyň ýitgisi ýüksüz tormozlanandaky ýitgiden kiçi bolýar.

#### **4.7. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň priwodlarynda geçiş prosesleri**

Sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň priwodlarynda geçiş prosesleri grafoanalitiki usuldan peýdalanyň işlemeklik maslahat berilýär. Munuň sebäbi, hereketlendirijiniň magnit akymy ýakoryň togundan egri çyzykly baglanyşyklydygyna esaslandyrylýar.

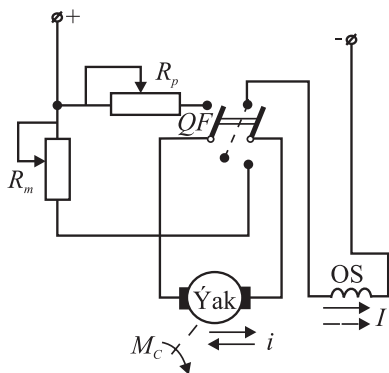
Esasy baglanyşyklar hasaplanylýan  $\omega = f(t)$  we  $i = f_1(t)$  diagrammalary gurmak üçin, ýakorda özleşdirilen grafoanalitiki usuldan peýdalanylýar.

Sarymy yzygider birikdirilen hereketlendiriji üçin birnäçe basgançakly iş düzgünlerinde  $\omega = f(t)$  tizligiň hem-de  $i = f_1(t)$  toguň takmynan egri çyzykly baglanyşyklary 4.13-nji çyzgyda görkezildi.

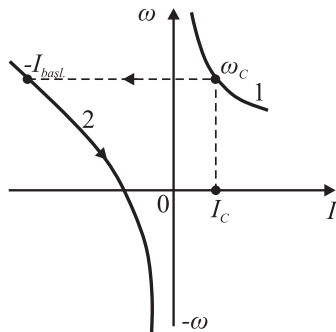


**4.13-nji çyzygy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň birnäçe basgançakly iş düzgünlerinde  $\omega = f(t)$  we  $i = f_1(t)$  baglanyşyklary**

Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýöriteleşdirilen rewersli elektrik shemasy 4.14-nji çyzygyda görkezildi. Çyzygyda ikiýanlaýyn  $QF$  açar ýokarky ýagdaýdan aşaky ýagdaýa geçilende, hereketlendiriji öňki işläp duran  $\omega = \omega_c$  we  $I = I_c$  durnukly ýagdaýyndan tersine aýlanmak düzgünine geçip işläp başlaýar. 4.15-nji çyzygyda 1-nji egri çyzyk hereketlendirijiniň hakyky (tebigy) häsiýetnamasyny, 2-nji egri çyzyk bolsa hereketlendirijiniň polýarlyklary üýtgedilenden soňky häsiýetnamasyny aňladýar.



**4.14-nji çyzygy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýöriteleşdirilen elektrik shemasy**



**4.15-nji çyzygy. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň  $\omega = f(i)$  rewersli häsiýetnamasy**

Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň priwodynda goýberiliş hem-de tormoz wagty mahowigi we statiki momentleri özara deň bolanlarynda hem-de deň derejeli tizliklerde energiýanyň ýitgileri bilen deňeşdireniňde, olar özara deňdir, kiçi ýa-da uly bolup bilerler.

Eger-de geçiş prosesi düzgüninde ýakoryň zynjyryndaky toguň ortaça bahasy nominal bahasyndan kiçi bolsa, hem-de momentniň-de ortaça bahasy nominal bahasyndan kiçi bolsa, onda geçiş prosesi-niň dowamlylygy uzaga çekýänligi sebäpli, yzygider oýandyryjyly hereketlendirijidäki ýitgi parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň ýitgisinden uly bolýar, emma toguň hem-de momentniň ortaça bahalary nominal bahalaryndan uly bolsa, onda geçiş prosesiniň dowamlylygy azalýanlygy sebäpli, yzygider oýandyryjyly hereketlendirijidäki ýitgi parallel oýandyryjyly hereketlendirijiniň ýitgisinden az bolýar. Eger-de ýakoryň togunyň hem-de momentiniň ortaça bahalary ýakoryň nominal toguna hem-de nominal momentine deňişlilik-de özara deň bolsalar, onda yzygider hem-de parallel oýandyryjyly hereketlendirijilerdäki ýitgileri-de özara deň bolýarlar.

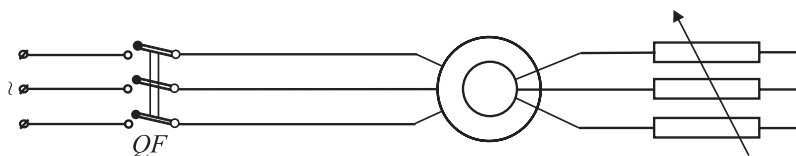
Eger-de oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijileriň ýakor zynjyryndaky ýitgini has takyk kesgitlemek gerek bolsa, onda deňişli hasaplamalardan öň  $i = f(t)$  baglanyşygyny gurup, ondan peýdalanmak maslahat berilýär.

#### **4.8. Üç fazaly toguň asinhron hereketlendirijili elektropriwodlarynda geçiş prosesleri**

Asinhron hereketlendirijili elektropriwodlarda geçiş düzgünleri seljerilende mehaniki proseslere garanyňda, elektromagnit prosesleri çalt geçýänligi sebäpli, bu proses hasaba alynmaýar.

Kuwwaty beýle bir uly bolmadyk hem-de orta kuwwatly rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijilerde goýberiliş (geçiş prosesi) doly naprýaženiýede amala aşyrylýar.

Kä halatlarda togy ýa-da momenti çäklendirmek maksady bilen, rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijileriň statorynda goşmaça aktiw ýa-da reaktiw garşylyklar arkaly goýberiliş amala aşyrylýar.



**4.16-njy çyzgy. Rotory fazaly (kontakty halkaly) asinhron hereketlendirijiniň ýöriteleşdirilen goýberiliş shemasy**

Rotorynda halkaly kontakltly hereketlendirijilerde goýberiliş ýörite  $R_{reost.}$  reostatlaryň rotor zynjyryna birleşdirilmekleri arkaly amala aşyrylýar (4.16-njy çyzga seret). Reostatyň basgançaklarynyň sany hem-de ululygy (kuwwaty) elektropriwodyň goýberilişiniň şertlerine bagly bolýar.

Eger-de asinhron hereketlendiriji ýüksüz ( $M_c = 0$ ) bir basgançakly işe goýberilýän bolsa hem-de hereketlendirijiniň momentiniň belli deňlemesinden

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K}}$$

peýdalansak, onda  $M$  momenti  $J \cdot \frac{d\omega}{dt}$  bilen çalşyp ýazyp bileris:

$$\frac{2 \cdot M_K}{\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K}} = J \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.53)$$

Belli bolşy ýaly,  $\omega = \omega_0 (1 - s)$ , onda

$$\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0 \cdot \frac{ds}{dt}$$

onda

$$\frac{2 \cdot M_K}{\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K}} = -J\omega_0 \cdot \frac{ds}{dt}.$$

Üýtgeýän ululyklara görä bölüp ýazsak, onda

$$dt = -\frac{J \cdot \omega_0}{2 \cdot M_K} = \left( \frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K} \right) ds$$

ýa-da

$$dt = -\frac{T_M}{2} \left( \frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K} \right) ds. \quad (4.54)$$

Bu ýerde  $T_M = \frac{I\omega_0}{M_K}$  – elektromehaniki wagtyň hemişeligi.

Elektromehaniki wagtyň  $T_M$  hemişeligi geçiş prosesiniň dowamynyda priwod  $I$  inersiýa momentinden  $M_K$  maksimal momentiň täsiri esasynda  $\omega_0$  tizlige ýetýänçä geçen wagty aňladýar.

Hereketlendirijiniň goýberiliş wagty (4.54) deňlemiden hasaplama bolýar:

$$t_{goyb.0} = \frac{T_M}{2} \int_{S_{ahyry}}^{S_{basl.}} \left( \frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K} \right) ds. \quad (4.55)$$

Hereketlendirijini hereketsiz ýagdaýdan ( $S_{basl.} = 1$ ) gozgamak wagtyň kesgitlenişi

$$t_{goyb.0} = \frac{T_M}{2} \left( \frac{1-S^2}{2S_K} + S_K \ln \frac{1}{S} \right). \quad (4.56)$$

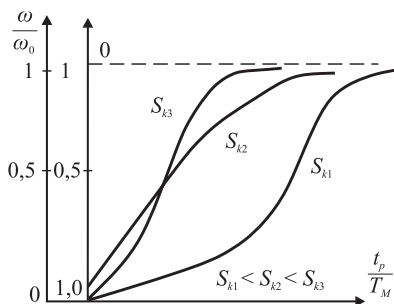
Eger-de  $s = 0$  diýip kabul etsek, onda  $t_p = \infty$ , emma, iş ýüzünde  $s$  öz bolmaly bahasyndan 0,05 (5%) tapawutlansa, geçiş prosesi tamamlandy hasaplanylýar. Onda hereketlendiriji ýüksüz işlände  $t$  wagtyň tapylyşy:

$$t_{goyb.0} = \frac{T_M}{2} \left( \frac{1-0,05^2}{2 \cdot S_K} + S_K \ln \frac{1}{0,05} \right).$$

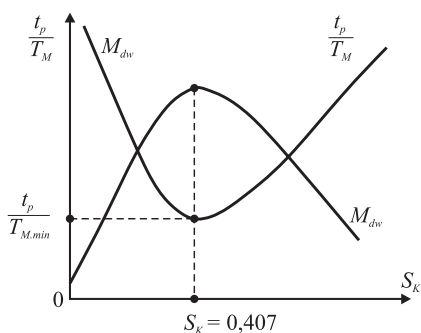
Eger-de birinji goşulmadaky ( $0,05^2 = 0$ ) diýip kabul etsek, onda

$$\frac{t_{pusk.0}}{T_M} = \frac{1}{4 \cdot S_K} + 1,5 \cdot S_K. \quad (4.57)$$

Şeýlelikde, wagtyň odnositel bahasy  $S_K$ -dan bagly bolup, rotor zynjyrynyň garşylygyna proporsional baglanyşykly bolýar (4.17-nji çyzga seret).



**4.17-nji çyzgy.** Typmanyň dürli  $S_K$  bahalarynda asinhron hereketlendiriji işe goýberilende  $S = f(t_p/T_M)$  baglanyşygynyň egri çyzyklary



**4.18-nji çyzgy.**  $M_{din}$ -niň hem-de  $t_p/T_M$ -niň dürli  $S_K$  typmadan baglanyşygynyň egri çyzyklary

(4.57) deňlemeden goýberilişin wagty  $S_K = 0,407$  deň bolanda özüniň minimal bahasyna eýe bolýar (4.18-nji çyzga seret):

$$\left( \frac{t_{goýb.0}}{T_M} \right)_{min} = 1,22.$$

Ähli deň şertlerde goýberilişin in minimal wagtyna hereketlendirijiniň momentiniň maksimal bahasy gabat gelýär. Momentiň bu effektiv bahasy 4.19-njy çyzgyda görkezilen 1,2 we 3 egri çyzyklaryň in uly peýdalysy 2-nji  $M = f(s)$  baglanyşyga gabat gelýär.

Hereketlendiriji ýüksüz ( $M_c = 0$ ) işe goýberilende-de, momentin effektiv bahasyny, ýokardaky kesgitlenişine meňzeşlikde (4.9) deňleme arkaly kesgitläp bolýar:

$$t_{goýb.0} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_{ef.p}}.$$

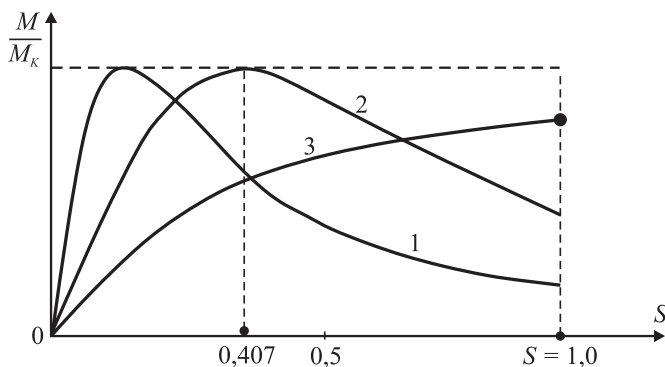
Bu deňlemeden goýberiliş wagty momentniň effektiw bahasynyň tapylyşy:

$$M_{ef.p} = \frac{J \cdot \omega_0}{t_{p.o}}.$$

Eger-de bu deňlemeden  $t_{p.o}$ -uň bahasyny (4.57) deňlemeden tapyp ornunda goýsak, onda

$$M_{ef.p} = \frac{M_K \cdot S_K}{0,25 + 1,5 \cdot S_K^2}. \quad (4.58)$$

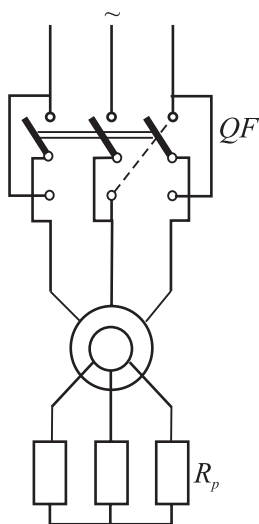
Momentniň effektiw bahasy, ýagny özüniň maksimal bahasyna  $S_K = 0,407$ -ä deň bolýar we  $M_{ef.p} = 0,81 \cdot M_K$ . 4.19-njy çyzgydan görnüşi ýaly, 2-nji egri çyzyk bildirilýän talaby ödeýär. Dogrudan-da, täsir edýän momentniň maksimal  $M_{dw}$  bahasyna wagtyň minimal bahasy gabat gelýär.



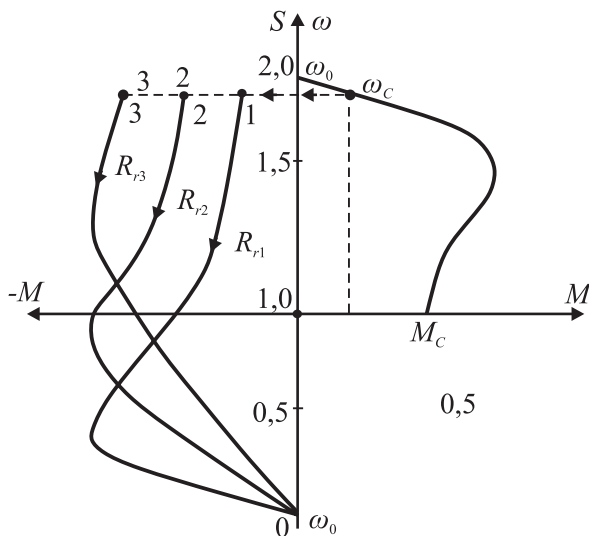
4.19-njy çyzgy. Typmanyň dürli SK bahalarynda  $\frac{M}{M_K} = f(s)$  baglanyşygynyň egri çyzyklary

Asinhron hereketlendirijini tersine aýlap togtatmak hem-de rewerslemek iş düzgünleri hereketlendirijiniň iki fazasyny çalşyrmak arkaly ýerine ýetirilýär (4.20-nji çyzga seret). 4.21-nji çyzgyda bolsa hereketlendirijiniň iş düzgüninden tersine aýlanyş düzgünine geçilişiniň  $\omega = f(M)$  häsiýetnamalary görkezildi. Çyzgyda 1-nji egri çyzyk rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň tormozlanyşyny aňlatsa, 2 we 3-nji egri çyzyklar hereketlendirijiniň reostaltly tormozlanyşyny aňladýar. Çyzgyda  $R_{p2} < R_{p3}$ .





4.20-nji çyzgy. Rewersirlenilýän asinhron hereketlendirijiniň ýöriteleşdirilen elektrik shemasy



4.21-nji çyzgy. Hereketlendiriji iş düzgüninden tersine aýlandyrylanda (iki fazasy çalşyrylanda)  $\omega = f(M)$

Eger-de  $M_c = 0$ ,  $S = \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0}$  diýip kabul etsek, onda priwodyň

hereketiniň deňlemesi

$$\frac{2M_K}{\frac{S_K}{S} + \frac{S}{S_K}} = J \cdot \omega_0 \frac{ds}{dt}$$

görnüşe eýe bolar.

Birnäçe özgertmelerden soň tormozlanyşyň dowamlylygynyň  $t$  wagty umumy görnüşde (4.55) deňlemä meňzeş bolýar.

Typma koeffisiýentiniň üýtgeýşi  $S_{başl.} = 2$ -den  $S_{ahyr.} = 1$  aralykda bolup geçýänligi sebäpli

$$tT_0 = T_M \left( 0,345 \cdot S_K + \frac{0,75}{S_K} \right). \quad (4.59)$$

Edil goýberilişdäki wagtyň minimal sarp edilişi ýaly, tersine aýlap (iki faza çalşyrylyp) tormozlanyşda-da wagt özüniň minimal bahasyna eýe bolýar, meselem,  $S_K = 1,47$  bolanda

$$\left( \frac{tT_0}{T_M} \right)_{\min} = 1,027.$$

4.21-nji çyzgydaky 3 belgili häsiýetnamada  $S_K = 1,47$  baha deň bolandaky ýagdaýy aňladylýar we tormoz momentiniň effektiw bahasy beýleki 1 we 2 belgili häsiýetnamalar bilen deňeşdirilende, iň uly baha eýe bolýar. Şeýlelikde, effektiw momentiniň tersine tormozlananda tapylyşy

$$M_{ef.T} = \frac{M_K \cdot S_K}{0,75 + 0,345 \cdot S_K^2}. \quad (4.60)$$

Eger-de  $S_K = 1,47$  bolanda tormozlanmagyň momenti maksimal bahasyna ýetýär we  $M_{ef.T.maks} = 0,98 M_K$  deň bolýar.

Goýberiliş ýa-da tormoz wagty effektiw momentiniň bahasy anyklanandan soň, momentiniň ( $M_c$ ) garşylygy-da hemişelik saklananda, hereketlendiriji ýüklükä tormozlanyşynyň hem-de goýberilişiniň wagty şu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

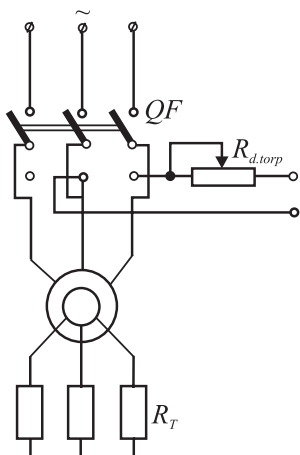
$$t_{pusk(T)} = \frac{J \cdot \omega}{M_{ef.p(T)} \mp M_c}. \quad (4.61)$$

Deňlemäniň maýdalawjysyndaky (–) minus alamat hereketlendirijiniň goýberilişini aňlatsa, (+) plýus alamat tormozlanyş düzgünlerini aňladýar.

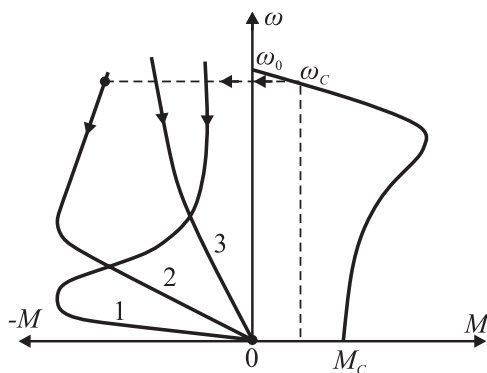
Hereketlendiriji rewersli işlände sarp edilýän wagt goýberilişiniň hem-de tormozlanmagyň wagtларыnyň jemine deňdir.

Dinamiki tormozlanyş diýlende, hereketlendiriji işläp durka, statoryň sarymynyň üç fazaly üýtgeýän toguň çeşmesinden öçürlip, hemişelik toguň çeşmesinden iýmitlendirilmegine düşünilýär (4.22-nji çyzga seret).

Dinamiki tormozlanyşyň degişli häsiýetnamalaryny hereketlendirijiniň rotorynyň zynjyryna goşmaça  $R_T$  garşylyklary birleşdirmek arkaly amala aşyrylýar (4.23-nji çyzga seret). Çyzgyda 1 belgili häsiýetnama  $R_T = 0$  wagtyndaky ýagdaýy aňladýar.



**4.22-nji çyzgy. Dinamiki tormozlanyşyň ýöriteleşdirilen elektrik shemasy**



**4.23-nji çyzgy. Hereketlendiriji düzgüninden dinamiki tormozlanyşa geçilişiniň  $\omega = f(M)$  häsiýetnamalary**

Statorda hemişelik toguny çäklendirmek üçin, statora goşmaça  $R_{d.torm}$  garşylykdan peýdalanylýar.

Eger-de hereketlendiriji ýüksüz tormozlanýan bolsa, onda aýlanýan tizligiň hereketiniň deňlemesi:

$$\frac{2 \cdot M_{maks}}{\frac{S_{maks}}{S} + \frac{S}{S_{maks}}} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.62)$$

Birnäçe özgertmelerden soň,  $S = \frac{\omega}{\omega_0}$  diýip kabul etsek, onda tormozlanyşyň wagtyň dowamy

$$t_{T.d} = \frac{T_M}{2} \left( S_{maks} \cdot \ln S + \frac{S^2}{2 \cdot S_{maks}} \right) \int_{S_{ahyry}}^{S_{başl.}}. \quad (4.63)$$

Haçan-da  $S_{başl.} = 1,0$ ;  $S_{ahyry} = 0,05$  bolanda, (4.63) deňleme şu aşakdaky ýaly görnüşe eýe bolar:

$$t_{T.d} = T_M \left( 1,5 \cdot S_{maks} + \frac{1}{4 \cdot S_{maks}} \right) \quad (4.64)$$

bu ýerde  $T_M = \frac{J\omega_0}{M_{maks}}$  – dinamiki tormozlanyşda wagtyň elektromehaniiki hemişeligi.

Käbir deňlemeleri özara deňeşdirip seljersek, onda (4.64) deňleme bilen (4.57) deňlemede meňzeşlikleri görse bolýar, şonuň üçin-de hereketlendiriji ýüksüz tormozlandyrylanda, goýberiliş wagtyndaky effektiv momentniň tapylyşyna meňzeş, dinamiki tormozlanyşyň effektiv momentiniň bahasy (4.58) deňlemeden kesgitlenilýär.

Ýokarda seredilen ençeme seljerişlerden gelip çykyşyna görä, tormozlanmagyň minimal wagty, edil goýberiliş wagtyndaky ýaly  $S_{maks} = 0,407$  ululyga gabat gelýär.

#### 4.9. Asinhron hereketlendirijili elektropriwodlarda geçiş wagtynda energiýalaryň ýitgileri

Asinhron hereketlendirijiniň goýberiliş wagty statoryndaky we rotoryndaky misden saralan sarymlaryndaky energiýanyň ýitgileri Joule-Lensiň kanuny esasynda kesgitlenilýär:

$$\Delta A_{pusk} = \int_0^{t_{pusk}} 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \cdot dt + \int_0^{t_{pusk}} 3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' \cdot dt. \quad (4.65)$$

Eger-de hereketlendiriji boş işlände  $I_2'$  toguň täsiriniň ujypsyzlygy sebäpli hasaba almasak, onda  $I_1 = I_2'$  diýip, (4.65) deňlemäni özgerdip ýazyp bileris:

$$\Delta A_{pusk} = \int_0^{t_{pusk}} 3 \cdot I_2'^2 (R_1 + R_2') \cdot dt. \quad (4.66)$$

Elektrik hereketlendiriji ýüksüz ( $M_c = 0$ ) işe goýberilende

$$dt = -\frac{J \cdot \omega_0}{M} \cdot ds. \quad (4.67)$$

Bulardan başga-da rotoryň zynjyryndaky ýitirilýän kuwwaty typmada sarp edilýän kuwwatyň üsti bilen-de aňlatsa bolýar:

$$3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' = M \cdot \omega_0 \cdot S. \quad (4.68)$$

Bu iki (4.67) we (4.68) deňlemelerden  $dt$ -niň hem-de  $3I_2'^2 \cdot R_2'$ -iň bahalaryny (4.66) deňlemede ornunda goýup, birnäçe özgertmelerden soň

$$\Delta A_{pusk} = \int_{S_{ahyrky}}^{S_{başl.}} J \cdot \omega_0^2 \left( 1 + \frac{R_1'}{R_2'} \right) \cdot s \cdot ds. \quad (4.69)$$

Hereketlendirijiniň rotoryny gozganmaýan ( $S_{başl.} = 1,0$ ) ýagdaýyndan tä sinhron ( $S_{ahyr.} = 0$ ) tizligine çenli

$$\Delta A_{pusk} = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} \left( 1 + \frac{R_1'}{R_2'} \right), \quad [\text{Joul}]. \quad (4.70)$$

Bu (4.70) aňlatmadaky iki goşulmanyň birinjisi  $\Delta A_{pusk.2} = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2}$  toplanan kinetik energiýa deň bolan rotor zynjyryndaky energiýanyň ýitgisini aňlatsa, onda ikinjisi  $\Delta A_{pusk.1} = \frac{J \cdot \omega_0^2 \cdot R_1}{2R_2'}$  goýberiliş wagty hereketlendirijiniň statoryndaky ýitirilýän energiýany aňladýar.

Işläp duran hereketlendirijiniň fazasyny çalşyryp tormozlananda ýitirilýän energiýa (4.69) deňlemeden kesgitlenilýär. Egerde integrirlemegiň predellerini  $S_{başl.} = 2$  we  $S_{ahyrky} = 1,0$  diýip kabul etsek, onda

$$\Delta A_T = 3 \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} \left( 1 + \frac{R_1'}{R_2'} \right). \quad (4.71)$$

Şeýlelikde, hereketlendiriji ýüksüz rewerslenip işledilende mis simlerindäki ýitirilýän energiýa

$$\Delta A_{rew} = 4 \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} \left( 1 + \frac{R_1'}{R_2'} \right). \quad (4.72)$$

Deňlemelerden görnüşi ýaly, geçiş prosesi wagty mis simlerde ýitirilýän energiýalar rotor zynjyrynyň garşylyklaryna baglydyr.

Eger-de statoryň aktiw garşylygy hemişelik saklananda, rotoryň aktiw garşylygyny ulaltsaň, statordaky ýitgi azalýar.

Dinamiki tormozlananda hereketlendirijiniň rotor zynjyrynda energiýanyň ýitgisi tormozlanmagyň başlanýan wagtyna çenli toplanan kinetik energiýasy bilen kesgitlenilýär, ýagny

$$\Delta A_{T.dw.2} = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2}. \quad (4.73)$$

Dinamiki tormozlananda statordaky ýitgi

$$\Delta A_{T.dw.1} = 3I_{ekw}^2 \cdot r_1 \cdot t_T. \quad (4.74)$$

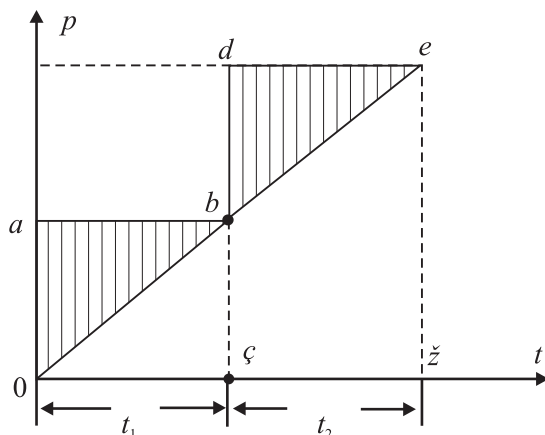
#### **4.10. Geçiş wagty elektropriwodlarda ýitirilýän energiýalaryň azaldylyşynyň usullary**

Geçiş prosesleriniň dowamynda ýitirilýän energiýalary azaltmak esasy meseleleriň biri bolup durýar. Ýokarda getirilen deňlemelere esaslansak, onda elektropriwodlaryň inersiýalaryny azaltmak arkaly amala aşyryp bolýar. Meselem, bir hereketlendirijiniň deregine kuwwaty iki esse kiçi iki sany hereketlendiriji bilen çalyşmak. Şeýle edilende hereketlendirijiniň rotorynyň diametri iki esse kiçelýär. Hereketlendirijileriň umumy massalarynyň köpelmegine garamazdan, mahowigiň momentleriniň jemi kiçelýär.

Mahowigiň momentini kiçeltmegiň başga bir ýoly, ol hem hereketlendirijiniň rotoryny uzaltmakdyr. Şeýle hereketlendirijiler metallurgiýada, agaçlary abatlaýyş (bejeriji) ýaly senagat pudaklarynda, elektroburlarda giňden ulanylýar. Şular ýaly hereketlendirijileriň rotorlary kiçi diametrli taýýarlanylýar.

Geçiş prosesleriniň dowamynda ýitirilýän energiýalary azaltmak, geçiş wagty hereketlendirijä berilýän naprýaženiýäni birnäçe basgançakly köpeltmek usulyndan hem peýdalanýarlar. Meselem, iki sany hereketlendirijini ilki naprýaženiýe boýunça yzygider, soňra se-

tiň naprýaženiýesine parallel birikdirilip işe goýberilse, geçiş prosesi iki basgançakly bolýar. 4.24-nji çyzgyda iki sany hereketlendirijiniň ilki yzygider, soňra parallel işledilende harç edilýän kuwwatyň  $t$  wagta görä diagrammasy görkezildi. Çyzgyda  $t_1$  aralyk hereketlendirijiler yzygider birikdirillende ýitirilýän energiýany aňlatsa,  $t_2$  aralyk sete parallel birleşdirilişini aňladýar.



**4.24-nji çyzgy. Hereketlendirijiler yzygider soňra parallel birikdirilende harçlanýan energiýanyň (kuwwatyň) takmynan grafigi**

Birinji basgançakda harçlanýan energiýa  $oabco$  gönüburçluk bilen kesgitlenilýär. Çyzgyda setden kabul edilýän kuwwat  $\overline{oa}$  kesim bilen kesgitlenilse, mehaniki kuwwat  $\overline{ob}$  göni çyzyk bilen düşündirilýär. Ştrihlenen üçburçlugyň meýdançasý birinji basgançakdaky ýitirilýän energiýany aňladýar. Şeýlelikde,  $oab$  hemde  $bde$  üçburçluklardaky ýitirilýän doly energiýa

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{J \cdot \omega_0^2}{2}$$

görnüşinde aňladylyp, bir basgançakly goýberileninden iki esse kiçi bolar. Şol bir wagtyň özünde hereketlendirijiniň walyna harç edilýän energiýa  $oez$  üçburçlugyň meýdançasý bilen kesgitlenilýär  $\left( \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} \right)$ .

Şeýlelikde, geçiş prosesi wagty harç edilýän doly energiýanyň deňlemesi

$$A_{el.} = \left( \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} + \frac{1}{2} \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} \right) = \frac{3}{4} \cdot J \cdot \omega_0^2. \quad (4.75)$$

Geçiş prosesleriň dowamynda energiýanyň ýitgilerini azaltmaga, ýene-de bir usuly setiň ýygylgyny üýtgedip işe goýbermekdir.

Iň soňky hasap edilýän usul, ol hem hereketlendirijiniň rotorynyň fazasyna garşylygy uly reostatlary birleşdirip, geçiş prosesini amala aşyrmakdyr. Bu usul has köp ulanylýar.

**4.3-nji mesele.** Iki tizlikli 1500 we 3000 aýl/min aýlanmaga niýetlenilen 2,5 kWt kuwwatly, rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň sarymlaryndaky ( $M_c = 0$  ýagdaýda) bir we iki basgançakly geçiş prosesi üçin ýitirilen energiýany hasaplamaly. Rotoryň inersiýa momenti  $J = 0,226 \text{ kG/m}^2$  bolanda, garşylyklarynyň özara gatnaşyklary  $\frac{R_1}{R_2} \approx 1,6$  deň.

**Çözülişi.** Birinji we ikinji sinhron burç tizlikleriniň tapylyşlary

$$\omega_{01} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \frac{1}{\text{sek}};$$

$$\omega_{02} = 2 \cdot \omega_{01} = 314 \frac{1}{\text{sek}}.$$

1. Göni işe goýberilende  $\omega_{02}$  tizlige çenli energiýanyň doly ýitgisi:

$$\Delta A_{push} = \frac{0,226 \cdot 314^2}{2} \cdot (1 + 1,6) = 11,1 \cdot 10^3 \cdot 2,6 =$$

$$= 28,85 \cdot 10^3 \text{ Wt} \cdot \text{sek} = 0,008 \text{ kWt} \cdot \text{sek}.$$

2. Basgançakly işe goýberilende ýitginiň kesgitlenişi:

a)  $\omega_{01}$  – tizlige çenli ýitirilen energiýa:



$$\Delta A_{pusk1} = \frac{0,226 \cdot 157^2}{2} \cdot 2,6 = 0,002 \text{ kWt} \cdot \text{sag.}$$

b)  $\omega_{01}$ -den  $\omega_{02}$ - tizlige çenli ýitirilen energiýa  $S_{başl.} = 0,5$ ;  $S_{ahyr.} = 0$

$$\Delta A_{pusk2} = \frac{0,226(314-157)^2}{2} \cdot 2,6 = 0,002 \text{ kWt} \cdot \text{sag.}$$

Basgançakly işe goýberilende energiýanyň doly ýitgisi:

$$\Delta A_{pusk1-2} = 0,004 \text{ kWt} \cdot \text{sag.} = \frac{\Delta A_{pusk}}{2}.$$

3. Tizlik  $\omega = \omega_{02}$ -den tä  $\omega = 0$  çenli iki fazasy çalşyrylyp tormozlananda, bir basgançakly goýberiliş üçin ýitirilen energiýasy

$$\Delta A_T = \frac{0,226 \cdot 3,14^2}{2} \cdot 3 \cdot 2,6 \frac{1}{3600 \cdot 10^3} = 0,024 \text{ kWt} \cdot \text{sag.}$$

4. Basgançakly tormozlananda ýitirilen energiýanyň kesgitlenişi:

a)  $\omega_{02}$ -den tä  $\omega_{01}$  tizlige çenli generatorly tormozlananda

$$\Delta A_{T1} = \frac{0,226 \cdot 157^2}{2} \cdot 2,6 \frac{1}{3600 \cdot 10^3} = 0,002 \text{ kWt} \cdot \text{sag.}$$

b)  $\omega_{01}$ -den tä  $\omega = 0$  tizlige çenli iki fazasy çalşyrylyp, yzyna aýlap tormozlananda

$$\Delta A_{T2} = \frac{0,226 \cdot 157^2}{2} \cdot 3 \cdot 2,6 \frac{1}{3600 \cdot 10^3} = 0,006 \text{ kWt} \cdot \text{sag.}$$

Basgançakly tormozlananda ýitirilen doly energiýanyň kesgitlenişi:

$$\Delta A_{T1-2} = 0,008 \text{ kWt} \cdot \text{sag.}$$

## **V BAP**

# **PRIWODLAR ÜÇİN ELEKTRİK HEREKETLENDİRİJİLERİN KUWWATLARINYŇ SAÝLANYLYŞY HEM-DE OLARYŇ ÝÜKLENIŞİNİŇ DIAGRAMMALARY**

## **5.1. Hereketlendirijileriň kuwwatlaryny saýlamak boýunça esasy düşüňjeler**

Mehanizmleriň kuwwatyna mynasyp kuwwatly hereketlendirijileri saýlamak örän wajyp hem-de örän çylşyrymly meseleleriň biri bolup, esasan-da, ykdysady tarapdan hemişe ünsden düşürilmän gelinýän iň esasy meseleliginde galýar, sebäbi hasap işlerine esaslanyp, dogry hereketlendirijileri saýlamak, hemişe tehnika-ykdysady görkezijilige (ýagny, öndürilýän önümleriň hiline we düşýän gymmatyna) göni öz täsirini ýetirýär.

Hereketlendirijiler saýlananda olara bildirilýän esasy talap, ol hem işçi maşynyň tehnologiýa proseslerine laýyk, hereketlendirijiniň kuwwatynyň kanagatlandyryandygydyr.

Eger-de hereketlendirijiniň kuwwaty kiçi bolsa, onda işçi mehanizmiň öndürilijiliginiň peselmegine, hereketlendirijiniň gyzmagyna, izolýasiýanyň köýmegine, netijede, hereketlendirijiniň hatardan çykmagyna hem-de ykdysady çykdajylara (ýitgilere) getirýär.

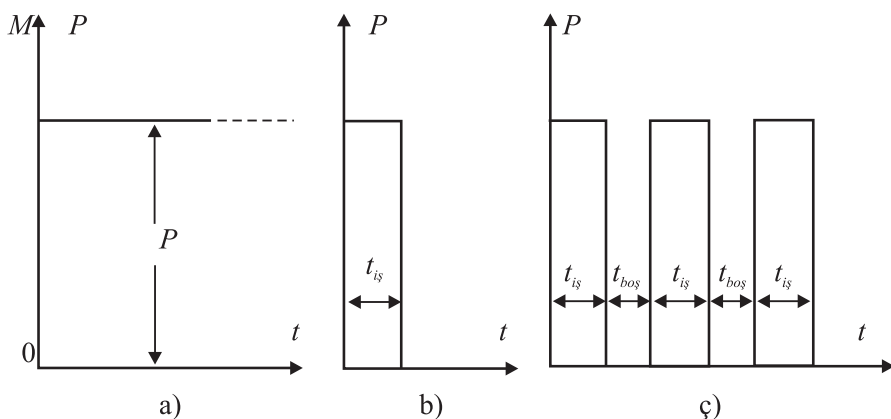
Eger-de saýlanan hereketlendirijiniň kuwwaty işçi mehanizmiň kuwwatyndan has artyk bolsa, onda elektropriwodyň ilkinji maýa goýumlarynyň gymmata düşýändigine, geljekde elektrik energiýanyň ýitgisiniň köpelmegine hereketlendirijiniň p.t.k-synyň peselmegine, eger-de asinhron hereketlendiriji bolsa kuwwat koeffisiýentiniň-de peselmegine, netijede, öndürilýän önümleriň gymmat düşmegine getirýär.

Hereketlendirijiniň kuwwaty saýlananda elektropriwodyň bitirýän işini, rugsat berilýän ýükleriň çägin, ýylylyk iş düzgüniniň bolmaly (normal) ýagdaýyny doly kanagatlandyryandygy tassyklanylandan soň saýlanýar.

Elektrik hereketlendirijileriň kuwwaty saýlananda diňe bir durnukly iş ýagdaýyndan başga-da, geçiş prosesi wagtyndaky emele gelýän goşmaça ýüklere-de çydamly bolmalydygy hasaba girizilmelidir.

Şonuň üçin-de, hereketlendirijiniň aýlanýan momentiniň, kuwwatynyň hem-de togunyň  $t$  wagta görä baglanyşyklarynyň  $M = f_1(t)$ ;  $P = f_2(t)$  hem-de  $i = f_3(t)$  diagrammalaryny gurýarlar. Umumy görnüşde şeýle diagrammalary üç topara bölýärler:

1. Dowamly iş düzgüni (5.1-nji (a) çyzgy).
2. Gysga wagtlaýyn iş düzgüni (5.1-nji “b” çyzgy).
3. Gaýtalanýan gysga wagtlaýyn iş düzgüni (5.1-nji “ç” çyzgy).



**5.1-nji çyzgy. Elektropriwodyň dürli iş düzgünleri üçin ýönekeýleşdirilen grafikleri:** a – dowamly; b – gysga wagtlaýyn; ç – gaýtalanýan gysga wagtlaýyn

5.1-nji (a) çyzgydan görnüşi ýaly, dowamly iş düzgüninde (sagatlap, hatda, gije-gündizläp) hereketlendiriji özüniň durnukly ýagdaýynda işleýändigini üçin temperaturasy gyzyyp, ýetmeli derejesinde işlemegi dowam edýär. Şular ýaly iş düzgüninde işleýän elektropriwodlara wentilatorlary, nasoslary, özgerdiji gurnamalary we başga-da ençeme mysallary getirse bolar.

Gysga wagtlaýyn iş düzgüniniň grafigi 5.1-nji (b) çyzgyda görkezildi. Şeýle iş düzgüninde işleýän elektropriwodlaryň temperaturasy gyzmaga ýetişmeýärler, sebäbi elektropriwodyň hereketlendirijini özüne mahsus nominal tizliginde işledilse-de, basym öçürilýändigini sebäpli, temperaturasy gyzyyp ýetişmeýär. Şular ýaly

iş düzgüninde işleýän elektropriwodlar demir ýollarynyň relslerini bir ugurdan başga bir ugra geçirmeli bolanda, açylyp-ýapylýan köprülerde, şlýuzlarda (suwuklyk bentlerinde) giňden ulanylýar. Şeýle elektropriwodlaryň boş, işlemän duran wagtynyň dowamlylygyny (pauzasyny) işleýän wagty bilen deňeşdireniňde, pauza wagty juda uzaga çekýär.

Iş düzgünleriniň 3-nji görnüşi gaýtalanyp gysga wagtlaýyn işleýän elektropriwodlardyr. Şular ýaly iş düzgünlerinde hereketlendirijiniň temperaturasy gyzyp-da, sowap-da ýetişmeýär. Bular ýaly iş düzgünlerinde işleýän hereketlendirijiler kranlarda, liftlerde, metal kesiji priwodlarda, transport priwodlarynda we başga-da ençeme önümçilik priwodlarynda ulanylýar. Şeýle iş düzgünlerinde işleýän elektropriwodlaryň ýükleri üçin ýönekeýleşdirilen ýükleriň grafigi 5.1-nji “ç” çyzgyda görkezildi.

Elektropriwodlaryň hereketlendirijilerine bildirilýän esasy talaplarynyň biri-de temperatura çydamlylygydyr. Dünýä standartyna laýyklykda temperatura çydamlylygy ýedi topara bölünýär. Ol toparlar *V*; *A*; *E*; *B*; *F*; *H* we *C* toparlardyr. Bu toparlar hakda gysgaça maglumatlara aýratynlykda seredeliň:

1. *V* topara degişli materiallaryň temperaturasy  $90^{\circ}\text{C}$  gyzgynlyga çenli bolup, pagta-kagyzly matalar, ýüpekden taýýarlanylýan örtükler, ýörite izolýasion suwukluga siňdirilen ýa-da çümdürilgi ýagdaýda saklanýan izolýasion materiallardyr.

2. *A* topara degişli materiallaryň temperaturasy  $150^{\circ}\text{C}$  gyzgynlyga çenli bolup, *V* topardaky materiallaryň hemmesi suwuklyk görnüşli izolýasion materiallara çümdürilen ýa-da siňdirilen ýagdaýy degişlidirler.

3. *E* topara degişli materiallaryň temperaturasy  $150^{\circ}\text{C}$  gyzgynlyga çenli bolup, birnäçe sintetik hem-de organiki plýonkalar hem-de şu topary kanagatlandyran beýleki materiallar degişlidirler.

4. *B* topara degişli materiallaryň temperaturasy  $130^{\circ}\text{C}$  gyzgynlyga çenli bolup, muňa slýudalar, asbestler we çüýşeli süýümler degişlidirler.

5. *F* topara degişli materiallaryň temperaturasy  $155^{\circ}\text{C}$  gyzgynlyga çenli bolup, muňa ýaga siňdirilen *B* toparyň materiallary degişlidirler.

6. *H* topara degişli materiallaryň temperaturasy  $180^{\circ}\text{C}$  gyzgynlyga çenli bolup, *B* we *F* topardaky materiallar kremniý-organiki materiallary bilen siňdirilip baglanyşykda taýýarlanylýarlar.

7. *C* topara degişli materiallaryň temperaturasy  $180^{\circ}\text{C}$  gyzgynlykdan ýokary temperatura niýetlenilip, bu topara degişli

materiallara kremniý materiallary, çüýşe, kwars ýaly fiziki, himiki ýa-da elektrik häsiýetleri bilen tapawutlanýan materiallar degişlidirler.

Ýokarda getirilen mysallara esaslansak, onda temperatura çydamlylyklaryna görä hereketlendirijileri saýlamaly bolanda, olara bolan talaplar hem dürli-dürli bolýar. Bu talaplardan başga-da ýüküň t wagta görä diagrammalary 5.1-nji çyzgydaky diagrammalar ýaly bolman, örän çylşyrymly, ýagny grafikleri basgançakly, eksponent, trapesiýa ýaly görnüşlerde işleýän elektropriwodlar hem az duş gelmeýär. Şonuň üçin-de hereketlendirijileriň kuwwatlaryny hasaplamak üçin umumy görnüşde kanagatlandyryňan hasaplanyş usullaryndan peýdalanylýar.

Eger-de hereketlendirijileriň kuwwatlary hasaplanandan soň saýlananda, olaryň temperatura çydamlylygy hasaba alynýan bolsa, onda geçiş wagty hereketlendirijilere ýüklenýän wagtlaýyn döreýän artykmaç ýük hem hasaba girizilmelidir. Wagtlaýyn döreýän ýükleriň momenti hasaba girizilen momentden köp bolmaly däl. Geçiş wagty artykmaç döreýän ýükleriň döremegi temperatura bagly däl.

5.1-nji tablisada rugsat berlen wagtlaýyn ýükleriň predelleri esse hasabynda görkezildi.

5.1-nji tablisa

№	Hereketlendirijiniň tipi	Moment boýunça artykmaç ýükleriň koeffisiýentleri
1	Hemişelik toguň hereketlendirijileri	2 (ýörite taýýarlanylýan hereketlendirijiler üçin 3-4 çenli)
2	Kontakty halkaly asinhron hereketlendirijiler üçin.....	2 – 2,5
3	Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijileri üçin .....	1,8 – 3
4	Sinhron hereketlendirijiler üçin .....	2 – 2,5 (ýörite taýýarlanylýan sinhron hereketlendirijiler üçin 3-4 çenli)
5	Üýtgeýän toguň kollektorly hereketlendirijileri üçin .....	2 – 3

Hemişelik toguň hereketlendirijilerinde gysga wagtlaýyn ýüklenmek prosesi kollektordaky döreýän kommutasiýanyň şertlerine laýyk kesgitlenýän bolsa, onda asinhron hem-de sinhron hereketlendirijilerde olaryň maksimal elektromagnit momentlerine laýyklykda kesgitleýärler.

## **5.2. Dowamly iş düzgünlerinde hereketlendirijileriň gyzmagy hem-de sowamagy**

Hereketlendirijiniň ýylylyk ýagdaýyny seljermek, islendik elektropriwodlary taslanlarynda hem-de ulananlarynda wajyp meseleleriň biri hasaplanylýar. Sebäbi, hereketlendirijiler işlänlerinde onuň gyzmak temperaturasy, oňa rugsat berlen temperaturasyndan geçmeli däldir. Mysal üçin gyzmak temperaturasy bolmaly temperaturasyndan  $8-10^{\circ}\text{C}$  ýokary ýagdaýda işlände, hereketlendirijiniň işlemeli ömrüniň iki esse gysgalmagyna getirýär.

Emma, elektrik hereketlendirijileriň ýylylyk (gyzmyk) ýagdaýyny geçiş prosesiniň wagtyny seljersek, kuwwatyna görä döräýjek artyk ýüküň ululygyny anyklap bolýar. Eger-de seljermeleriň netijeleri hereketlendirijiniň hasaplamalarynyň normativ parametrlerine deň ýa-da golaý bolsa, onda hereketlendirijiniň dogry saýlanandygyny aňladýar. Şeýle, oňat ýagdaýlarda elektropriwodyň tehnika-ykdysady görkezijileri, p.t.k-sy hem-de kuwwat koeffisiýenti-de iň gowy (ýokary) baha eýe bolýandygyny aňladýar.

Hereketlendirijiniň temperaturasynyň üýtgeýiş prosesiniň häsiýetini kesgitlemek üçin hereketlendirijiden bölünip çykýan ýylylyk  $dQ_1$  energiýanyň dt wagtda daşky gurşawa (giňişlige) berilişiniň deňleşigine (balansyna) seredeliň.

Ýylylygynyň bir bölegi  $dQ_2$  mukdarda daşky gurşawa bölünip çykýan bolsa, başga bir bölegi  $dQ_3$  mukdarda hereketlendirijide akumulirlenip hereketlendirijiniň barha gyzmagyna getirýär. Şeýlelikde, ýylylyk energiýanyň deňleşiginiň (balansynyň) deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$dQ_1 = dQ_2 + dQ_3. \quad (5.1)$$

Ýylylyk energiýanyň bu deňlenişiginiň (balansynyň) deňlemesini hereketlendirijidäki ýylylygyň parametrleri bilen aňlatsak, onda (5.1) deňlemäni özgerdip ýazyp bileris

$$\Delta p \cdot dt = A \cdot \tau \cdot dt + C \cdot d\tau. \quad (5.2)$$

Bu ýerde:  $\Delta p$  – hereketlendirijide ýitirilýän kuwwat [Wt];

$A$  – hereketlendirijiniň ýylylygy daşky gurşawa berijilik ukyby ýagny 1 sekundyň dowamynda hereketlendirijiniň  $1^\circ\text{C}$  temperaturada daşky gurşawa berýän ýylylyk mukdary,  $\frac{\text{Joul}}{\text{sek } 0_C}$ ;

$C$  – hereketlendirijiniň ýylylyk sygymy, ýagny 1 sekundyň dowamynda hereketlendirijiniň temperaturasyny  $1^\circ\text{C}$  ýokarlandyrmak üçin gerek gyzygynlyk  $\tau = t_{dw}^o - t_{gurşaw}^o$  – hereketlendirijiniň temperaturasynyň daşky gurşawyň temperaturasyndan tapawudyny aňladýan temperaturanyň ululygy.

(5.2)-nji deňlemäniň iki tarapynda ( $A \cdot dt$ ) bölsek, onda

$$\frac{\Delta p}{A} = \tau + \frac{C \cdot d\tau}{A d\tau}. \quad (5.3)$$

Şeýlelikde, hereketlendirijilerde ýylylyk prosesleri birnäçe sadalaşdyrmalardan soň birinji derejeli, göni differensial deňleme bilen häsiýetlendirip bolýar. Eger-de hereketlendirijilerde ýitirilýän kuwwat hemişelik bolsa, ýagny  $\Delta p = \text{const}$  ýagdaýda saklananda, onda (5.3) differensial deňlemäniň çözüdi:

$$\tau = (\tau_{başl.} - \tau_{durn}) \cdot e^{-\frac{t}{T_{gvm}}} + \tau_{durn}. \quad (5.4)$$

Bu ýerde:  $\tau_{durn} = \frac{\Delta p}{A}$  – hereketlendirijiniň gyzygynlygy ýokary galandan soň, durnukly saklanýan temperaturasy,  $^\circ\text{C}$ ;

$\tau_{gyzg.} = \frac{C}{A}$  hereketlendirijiniň gyzygynlygynyň wagty hemişeligi sek.

Bu  $T_{gyzg.}$  wagty hemişeliginiň fiziki manysy, haçan-da hereketlendirijiniň gyzan temperaturasy daşky gurşawa berilmän, özünde saklanýar diýlip hasap edilende (ideallaşdyrylanda), gyzygynlygyň

durnuklylygyny aňladýan wagt hemişeligidir. Dogrudan-da,  $A = 0$  bolanda (5.3) deňleme aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\Delta p \cdot dt = C d\tau.$$

Bu netijäni (5.2) deňlemeden hem görmek bolýar. Eger-de  $t = 0$  wagtda  $\tau_{başl.} = 0$  diýsek, onda bu netijäniň çep tarapyny  $t = 0$ -dan  $t = t_{durn.}$  aralyga çenli integrirlesek, sag tarapyny bolsa  $\tau = 0$ -dan  $\tau = t_{durn.}$  aralyga çenli integrirlesek, onda şu aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\Delta p \cdot t_{durn.} = C t_{durn.}$$

Eger-de  $\tau_{durn.} = \frac{\Delta p}{A}$  bahasyny ornunda goýsak, onda

$$\tau_{durn.} = \frac{C \tau_{durn.}}{\Delta p} = \frac{C}{A} = T_{gыз.}$$

görnüşde, san bahasynda gyzmagyň temperaturasynyň ululygyny alarys.

Şeýlelikde, (5.4) deňlemäni hereketlendiriji gyzanda-da, sowanda-da peýdalanmak bolýar. Diňe bir ýerine ýetirilmeli iş, ol hem  $i_{başl.}$  bilen  $\tau_{durn.}$  wagtyň hemişelikleriniň bahalaryny goýanyňda, ýerleriniň çalyşmazlygyna üns bermeklik galýar.

Bellenilmeli zat, ol hem käbir hereketlendirijiler gyzanda hem-de sowanda olar birmeňzeş däl wagt hemişelikleri bilen tapawutlanýarlar. Munuň sebäbi hereketlendirijiniň wagt hemişeliginiň daşky gurşawa ýylylygyň ýaýraýşyna ters proporsionallygy bilen düşündirilýär. Şonuň üçin-de hereketlendirijileriň temperaturasy sowanda (meselem, hereketlendiriji setden öçürilenden soň), ýylylyk berijilik şert üýtgeýänligi sebäpli-de, onuň wagt hemişeligi-de üýtgeýär.

Daşky gurşawa ýylylyk berijiligiň ýaramazlaşmagynyň sebäbini rotoryň aýlanman duranlygy bilen düşündirilýär.

$$\beta_0 = \frac{A_0}{A}. \quad (5.5)$$



Bu ýerde  $A_0$ ,  $A$  – hereketlendirijiniň rotorynyň aýlanman duran ýagdaýyndaky hem-de nominal tizliginde aýlanýarka, degişlilikde ýylylyk berijiligi.

Dürli görnüşde taýýarlanylýan hereketlendirijiler üçin bu ululyklaryň (parametrleriň)  $\beta_0$  – gatnaşyklarynyň bahalary aşakda görkezildi.

№	Hereketlendirijileriň görnüşleri	$\beta_0$
1	Ýapyk, üflenmesi garaşsyz	1
2	Ýapyk, mejbury sowadylmaýan	0,95 – 0,98
3	Ýapyk, özünde ýelpewaç oturdylan	0,45 – 0,55
4	Özünde oturdylan ýelpewajy goralgy	0,25 – 0,35

(5.5) deňlemeden peýdalanylýan rotory hereketsiz duran hereketlendirijiniň sowamagynyň wagt hemişeligiň kesgitlenişi

$$T_0 = \frac{C}{A_0} = \frac{C}{A \cdot \beta_0} = \frac{T_{gyzm.}}{B_0}.$$

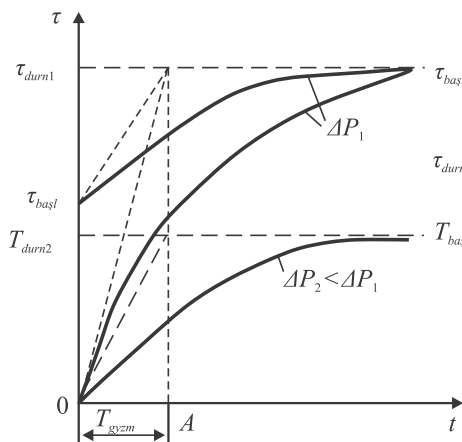
Rotory hereketsiz hereketlendirijiniň sowamagy gyzyşyndan haýal geçýänligi üçin  $\beta_0 \leq 1$  hem-de  $T_0 \geq T_{gyzm.}$

Dürli  $\tau_{başl.}$  hem-de  $\Delta p$ -niň bahalarynda hereketlendirijiniň gyzyşynyň emele getirýän egri çyzygy 5.2-nji çyzygyda görkezildi. Birnäçe ýönekeýleşdirilmelerden soň hereketlendirijiniň gyzmagy eksponentiň kanuny boýunça üýtgeýär hem-de wagtyň  $T_{gyzm.}$  hemişeligi bilen häsiýetlendirilýär. Hereketlendirijilerde ýitgi näçe köp bolsa, şonça-da temperaturanyň derejesi ýokarlanýar we durukly ýagdaýy-da ýokary temperaturada saklanýar.

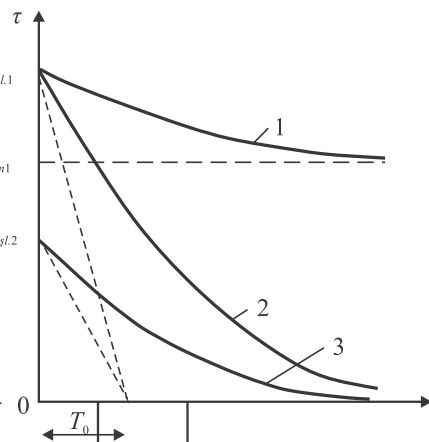
Temperaturanyň ýokarlanmagy nazaryýet nukdaýnazaryndan tükeniksize çenli dowam edýär, emma amaly nukdaýnazardan gymak temperaturasynyň dowamlylygy  $t_{durn} \approx (3 \div 4) T_{gyzg.}$  wagtda tamamlanýar.

Şeýlelikde, ýokary temperatura ýetmegiň wagty hereketlendiriji gyzanda wagt hemişeligidinden bagly, sebäbi hereketlendirijiniň ýylylyk sygymy onuň göwrümüne göni, ýylylyk berijiligi bolsa

onuň üstüniň meýdanyna göni proporsionaldyr. Hereketlendirijiniň kuwwaty näçe uly bolsa, onuň gyzmagynyň wagt hemişeligi-de uly bolýar. Gyzmak wagtyňyň hemişeligi, köplenç ýagdaýlarda, birnäçe minutdan birnäçe sagada çenli bolup biler.



**5.2-nji çyzgy. Hereketlendirijiniň gyzmagynyň grafiki**



**5.3-nji çyzgy. Hereketlendirijiniň sowamagynyň grafiki**

Hereketlendirijiniň sowamagynyň grafiki 5.3-nji çyzgyda görkezildi. Bu çyzgyda 1 belgili grafik ýüküniň azaldylyandygyny aňlatsa, onda 2 we 3 belgili grafikler hereketlendirijiniň setden öçürilenden soňky sowamagyny aňladýar. Hereketlendirijileriň sowamagynyň wagt hemişeligi  $T_{sow}$  ululyk bilen häsiýetlendirilýär.

### 5.3. Elektrik hereketlendirijileriň iş düzgünlerine görä toparlara bölünişleri

Dürli iş düzgünlerine baglylykda, hereketlendirijileriň gyzmagy seljerilende, hökmany suratda olardaky kuwwat ýitgileriniň  $t$  wagta görä üýtgeýiş grafiklerini bilmeklik iň esasy meseleleriň biri hasaplanylýar. Öz gezeginde, hereketlendirijilerdäki kuwwat ýitgileri hereketlendirijilere ýüklenýän elektro-mehaniki ýükleriň  $t$  wagta görä üýtgedilişine bagly bolýar. Şonuň üçin-de, hereketlendirijileriň ýylylyga görä iş düzgünlerini sekiz topara bölýärler.

1. *Hereketlendirijiniň dowamly we nominal iş düzgüni* ( $S_1$ ) – şeýle dowamly we nominal iş düzgünlerinde, hereketlendirijiniň temperaturasy özüniň işlemeli nominal temperaturasyňa baryp ýetýär. Şeýle grafiklerden biri 5.1-nji “a” çyzgyda görkezildi. Çyzgyda  $M = f(t)$  momentniň hem-de  $P = f(t)$  kuwwatyň baglanyşyklary özara meňzeşdikleri üçin bir grafik bilen çäklenildi.

2. *Gysga wagtlaýyn nominal iş düzgüni* ( $S_2$ ) – şeýle iş düzgünlerinde, belli bir döwür aralygynda işledilýär we soňra öçürilýär. Hereketlendiriji indiki iş düzgünine çenli sowap ýetişýär. Şeýle grafiklerden biri 5.1-nji “b” çyzgyda görkezildi. Şeýle iş düzgüni 10, 30, 60 we 90 min dowam etmegi mümkindir.

3. *Gaýtalanýan gysga wagtlaýyn nominal iş düzgüni* ( $S_3$ ) – şeýle iş düzgünlerinde gysga wagtlaýyn iş döwri hem-de hereketlendirijiniň öçürilýän döwri yzly-yzyna gaýtalanyp durýar, özü-de, iş hem-de pauza (işsiz) döwürleri tiz-tizden gaýtalanyp durýandygy sebäpli, gyzygynlyk temperaturasy özüniň nominal (durnukly) temperatura-syna baryp ýetýär. Şeýle grafiklerden biri 5.1-nji “ç” çyzgyda görkezildi.

Iş düzgüniniň doly döwürleri takmynan 10 min wagta deň bolup, iş hem-de boş (pauza) periodlarynyň jemine deňdir. Şeýlelikde, doly iş düzgüni işiň dowamlylygynda gaýtalanyp işläp durmagy bilen häsiýetlendirilýär.

$$\text{ÝID}\% = \frac{t_{is}}{t_{is}} \cdot 100\% = \frac{t_{is}}{t_{doly}} \cdot 100\%. \quad (5.6)$$

Bu ýerde:  $t_{is}$  – iş periodynyň wagty;

$t_0$  – boş (pauza) döwrüniň wagty;

$t_{doly} = t_{is} + t_0$  – doly döwrüň wagty.

Gysga wagtlaýyn gaýtalanyp işleýän hereketlendirijileriň iş düzgünleri 15, 25, 40 we 60% bolup bilerler. Bu seredilen üç görnüşli iş düzgünleri ( $S_1$ ,  $S_2$  we  $S_3$ ) jemi serediljek 8 sany iş düzgünleriň içinde iň esasyly hasaplanylýar. Şeýlelikde, bu üç iş düzgünlerinden başgadan ýene-de baş sany iş düzgünlerini tapawutlandyrsa bolýar.

4. *Gaýtalanýan gysga wagtlaýyn nominal iş düzgüni ýygý-ýygýdan kadalaşdyrylan ýagdaýda işe goýberilişi* ( $S_4$ ) – bu iş düzgüninde üýtgemeyän (hemişelik saklanýan) ýükde işleýän döwri hereketlen-

diriji öçürilenden soňky boş döwri bilen gezekleşip (ýerlerini çalşyp) işlänlerinde hereketlendirijiniň gyzgynlygy barmaly nominal temperaturasyna baryp ýetmeýär. Şeýlelikde, bu iş düzgüninde iş wagtynyň dowamy, bir sagatdaky goýberilişin sany, elektropriwodyň getirilen momentleriniň jemi hereketlendirijiniň ýakorynyň (rotorynyň) inersiýa momentine bolan gatnaşygy kadalaşdyrylýar.

5. *Gaýtalanýan gysga wagtlaýyn nominal iş düzgüni ýygy-ýygydan işe goýberilip hem-de elektrik usulda tormozlanyşy* ( $S_5$ ) – bu iş düzgüninde hemişelik saklanýan ýükde gysga wagtlaýyn goýberilişin iş döwri hereketlendirijiniň öçürilen boş döwri bilen gezekleşdirilip kadalaşdyrylyşy 4-nji  $S_4$  iş düzgünine meňzeşdir. İş wagty hereketlendirijiniň temperaturasy özüniň bolmaly temperaturasyna çenli baryp ýetmeýär.

6. *Gezekleşdirilýän nominal iş düzgüni* ( $S_6$ ) – bu iş düzgüninde hereketlendirijiniň öçürilmeyän ýagdaýynda boş we iş düzgünleri özara gezekleşdirilýärler. Bu iş düzgüninde-de hereketlendirijiniň gyzgynlyk temperaturasy özüniň barmaly nominal temperaturasyna çenli baryp ýetişmeýär. Bu düzgün ýüke görä dowamlylygy bilen häsiýetlendirilýär.

$$\dot{YID} \% = \frac{t_{i\dot{s}}}{t_{i\dot{s}} + t_{bo\dot{s}}} \cdot 100\%.$$

Bu ýerde:  $\dot{YID}\%$  – ýükli işledilmeginiň dowamlylygy;

$t_{i\dot{s}}$  – işledilýän döwrüň dowamlylygy;

$t_{bo\dot{s}}$  – boş (işledilmeyän) döwrüň dowamlylygy.

$\dot{YID}\%$ -niň kadalaşdyrylan bahalary 15, 20, 40 we 60% bolup biler.

7. *Gezekleşdirilýän nominal iş düzgüninde ýygy-ýygydan rewerslenişi* ( $S_7$ ) – bu iş düzgüninde rewersiň döwrüniň dowamlylygy ýük hemişelik saklanandaky periodynyň dowamlylygy bilen özara gezekleşdirilýärler. Bu iş düzgüninde-de hereketlendirijiniň gyzgynlyk temperaturasy özüniň barmaly nominal temperaturasyna çenli baryp ýetişmeýär. Bu iş düzgüninde rewersleriň sany bir sagatda 30, 120 we 240-a çenli bolup bilýär.

8. *Gezekleşdirilýän nominal iş düzgüninde iki ýa-da ondan-da köp burç tizligine geçilmegi* ( $S_8$ ) – bu iş düzgüninde takyk bir ýükünde işleýärkä, belli bir burç tizlikden başga bir burç tizligine geçirilýändigini bilen tapawutlanýar. Bu iş düzgüninde-de hereketlendirijiniň gyzgynlyk

temperaturasy özüniň barmaly nominal temperaturasyna çenli baryp ýetmeýär. Bir sagatda kadalaşdyrylan periodyň sany 30, 60, 120, 240-a çenli bolup biler. Inersiýa koeffisiýenti (1,2; 1,6; 2; 2,5; 4) bolup bilýär.

#### **5.4. Dowamly ýüklenen hereketlendirijileriň kuwwatlarynyň saýlanyşlary**

Halk hojalygynyň dürli pudaklarynda dürli mehanizmleriň birnäçe görnüşleri hemişelik ýüki bilen uzak wagtlap işleýärler.

Şeýle mehanizmleriň hereketlendirijileriniň kuwwatlaryny saýlamak beýle bir kynçylyklary döretmeýär. Sebäbi, şeýle mehanizmleriň kabul edýän kuwwatlary önünden belli bolýar.

Bular ýaly iş düzgünlerinde hereketlendirijilere ýüklenýän ýüküne ýa-da gyzmagyna aýratyn hasaplamalar talap edilmeyär, çünki zawod tarapyndan ähli hasaplanmalarda bolaýjak maksimal ýükler we temperaturalar göz önünde tutulýar.

Ýükleri hemişelikliginde saklanyp uzak wagtlap dowamly işleýän mehanizmler üçin degişli hereketlendirijiler katalogdan saýlanylýar. Eger-de katalogda gerek bolan kuwwatly hereketlendiriji ýok bolsa, onda şol gerek bolan kuwwata golaý ulurak kuwwatly hereketlendirijiler saýlanylýar.

Eger-de mehanizmiň kuwwaty belli bolmasa, onda şol mehanizm üçin ähli hasaplamalary ýerine ýetirip, soňra degişli hereketlendirijileri saýlamak maslahat berilýär. Şular ýaly mehanizmler hökmünde nasoslar, wentilýatorlar bolup bilerler.

*Nasoslar üçin hereketlendirijileriň kuwwatyny kesgitlemek.* Şeýle nasoslara halk hojalygyny suw bilen üpjün edýän nasoslar, mehanizmi ýaglaýjylar, suwuklyklar bilen sowadyjylar, nebiti, benzini, ýagy we başga-da enjeme suwuklyklary iteriji ýa-da sorujy nasoslar degişlidirler. Nasoslaram öz gezeginde iki görnüşli bolmagy mümkin, olar porşenli ýa-da merkezden daşlaşdyryjy nasoslara bölünýärler. Islendik nasosyň öndürjiligi edaranyň kabul edijileri tarapyndan buýrulýar, emma beýikligi suwuklygy akdyrmak üçin aralyga hem-de döredilmeli basyşa (napora) bagly bolýar.

Nasoslar üçin hereketlendirijiniň kuwwaty şu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär.

$$P = \frac{V \cdot \gamma \cdot H}{\eta_{nas} + \eta_{geçirış}} \cdot 10^3 \text{ kWt.} \quad (5.7)$$

Bu ýerde:  $V$  – nasosyň öndüriligi,  $\text{m}^3/\text{sek}$ ;

$\gamma$  – suwuklygyň udel agramy,  $\text{N}/\text{m}^3$ ;

$H$  – suwuklygy götermegiň beýikligi,  $\text{m}$ .

Bu  $H$  beýiklik dört sany beýiklikleriň jeminden ybaratdyr:

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4.$$

Bu ýerde:  $H_1$  – sorulmagyň beýikligi, ýagny suwuklugyň üstünden nasosyň okuna çenli beýiklik;

$H_2$  – nasosyň okundan suwuklygyň tä iň ýokarky barmaly nokady;

$H_3$  – ýokarky iki beýiklikdäki ýitgileri hasaba alýan basyş (zarba);

$H_4$  – turbalardan suwuklyklaryň erkin akmagyny üpjün edýän basyş (napor);

$\eta_{nas} \eta_{geçirış}$  – nasosyň p.t.k-sy hem-de hereketlendirijiden nasosa geçirilýän p.t.k-sy.

Porşenli nasoslarda p.t.k 0,8-0,9; ýokary basyşly merkezden daşlaşdyryjy nasoslarda p.t.k 0,5-0,8, pes basyşly merkezden daşlaşdyryjy nasoslarda p.t.k 0,3-0,6.

(5.7) deňleme arkaly hasaplanan hereketlendirijiniň kuwwatynyň ululygy hereketlendirijiniň peýdaly kuwwatyny aňladýar.

*Wentilýatorlar üçin hereketlendirijileriň kuwwatyny saýlamak.* Wentilýatorlar üçin hereketlendirijileriň kuwwatlaryny öndüriligi boýunça sekuntda metr kub hasabynda hem-de basyşy (napory)  $h$ ,  $\text{N}/\text{m}^2$  hasabynda kesgitleýärler. Önümçilikde, köplenç ýagdaýda, basyş suw sütüniniň millimetr hasabynda ölçenýär. ( $1 \text{ mm suw sütüni} = 9,81 \text{ N}/\text{m}^2$ ). Ganatly wentilýatorlarda basyş  $h = 4\text{--}10 \text{ mm}$  suw sütünine çenli, merkezden daşlaşdyrýan wentilýatorda basyşy üç topara bölýärler:

1. Pes basyşly wentilýatorlarda  $h = 100\text{--}400 \text{ mm}$  suw sütüni;
2. Orta basyşly wentilýatorlarda  $h = 100\text{--}400 \text{ mm}$  suw sütüni;
3. Ýokary basyşly wentilýatorlarda  $400$  we ondan-da ýokary  $\text{mm}$  suw sütüninden bolup biler.

Wentilýatorlar üçin hereketlendirijiniň kuwwaty şu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär.

$$P = \frac{V \cdot h}{\eta_{nas} \cdot \eta_{geçirış}} \cdot 10^3 \text{ kWt.} \quad (5.8)$$

Bu ýerde:  $V$  – iteklenýän ýa-da sorulýan howanyň mukdary (öndüriligi),  $\text{m}^3/\text{sek}$ ;

$h$  – wentilýatoryň basyşy (napory),  $\text{N/m}^2$ .

*Wentilýatorlarda p.t.k:* Kuwwatly wentilýatorlarda 0,5-0,8; orta kuwwatly merkezden daşlaşdyrýan wentilýatorlar üçin 0,3-0,5 hem-de pes kuwwatly wentilýatorlar üçin 0,2-0,35.

Hereketlendirijä ýüklenýän ýüküň kuwwaty giň gerimde üýtgeýän bolsa, onda hasaplanyp tapylan ortaça kuwwat hakyky bolmaly kuwwatdan ep-esli kiçi bolmagy mümkindir. Bu bolsa hereketlendirijiniň ýokary temperaturada işlemegine, işlemek ömrüniň gysgalmagyna sebäp bolýar.

Şonuň üçin-de, hereketlendirijileri hasaplamak üçin başga usullardan peýdalanmak maslahat berilýär. Meselem, ýitgileriň ortalasdyrylan bahalaryny tapmak usuly. Bu usulyň esasy maksady, berlen ýükde hereketlendirijiniň ýitgileriniň ortaça  $Q_{ort}$  bahasyny tapyp, nominal  $Q_{nom}$  ýitgi bilen özara deňeşdirilýär we olaryň  $Q_{ort} = Q_{nom}$  deňligini gazanyp, degişli hasaplar ýerine ýetirilýär. Şeýle deňlik ýerine ýetirilende hereketlendiriji özüne niýetlenilen temperaturasynda işleýär.

Ýüküň  $P$  kuwwatynyň  $t$  wagtyň dowamynda üýtgeýän  $P = f(t)$  diagrammasy 5.4-nji çyzgyda görkezildi. Şol diagrammada-da başga masştabda kuwwat ýitgisiniň  $Q = f(t)$  baglanyşygy-da ýerleşdirildi.

*Ikinji usul yzygider golaýlaşyp hasaplamak usuly.* Ilki bilen hereketlendirijiniň kuwwaty berlen ýüküň grafiginden ugur alyp hasaplanýlar, meselem, ortaça kuwwaty ätiýaçlyk  $k = 1,1 - 1,3$  koeffisiýente köpeldilýär. Soňra p.t.k-nyň baglanyşygyndan peýdalanyp, her bölejik wagt üçin kuwwatyň ýitgisi kesgitlenilýär. Şeýlelikde, ýitgileriň ortalasdyrylan bahasynyň hasaplanyşynyň deňlemesi

$$Q_{ort} = \frac{Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2 + Q_3 \cdot t_3 + \dots + Q_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}. \quad (5.9)$$

Ýitgileriň grafigini gurmak üçin hereketlendirijiniň p.t.k-synyň  $\eta = f(t)$  grafiginden peýdalanmaly. Eger-de bu baglanyşyk berilmedik bolsa, onda şu aşakdaky deňlemeden peýdalanyp p.t.k-ny ha-

saplamak maslahat berilýär (В. П. Андреев Ю. А. Сабинин, Основы электропривода, 1963, 457 sahypa seret).

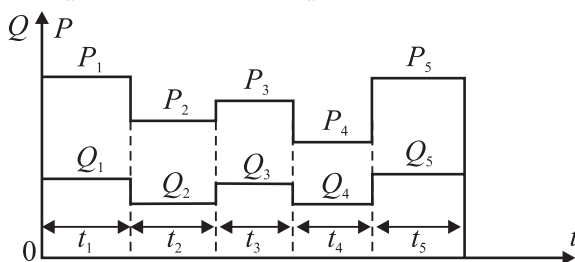
$$\eta_x = \frac{P_{nom} \cdot \xi}{P_{nom} \cdot \xi + Q_x} = \frac{1}{1 + \left( \frac{1}{\eta_{nom}} - 1 \right) \frac{\Upsilon}{\xi} + \xi} \quad (5.10)$$

Bu ýerde:  $\xi = \frac{P_\eta}{P_{nom}}$  koeffisiýent,  $P_{nom}$  – hereketlendirijiniň nominal kuwwaty;

$P_\eta$  – maksimal p.t.k-daky kuwwat

$$\Upsilon = \frac{Q_x - Q_{nom} \cdot \xi^2}{Q_{nom} - Q_x}.$$

Bu ýerde:  $Q_x$  – ýitgi, islendik  $P_x$  – kuwwata mahsus ýitgi.



5.4-nji çyzgy. Üýtgeýän ýüküň aktiw kuwwatlarynyň ýükleniş diagrammasy hem-de  $Q$  ýitgileriniň grafikleri

## 5.5. Ekwiwalent toguň, momentiniň hem-de kuwwatyň usullary

Ekwiwalent toguň usuly hereketlendirijiniň togunyň  $t$  wagta görä grafigi belli (berlen) bolanda ulanylýar. Bu usulda  $t$  wagtyň dowamynda hereketlendirijide kä azalyp, kä köpeliş üýtgeýän toklaryň ortaça bahasy, bir ekwiwalent  $I_{ekw}$  tok bilen çalşyrylýar.



Netijede, bu  $I_{ekw}$  toguň bahasyndan hasaplanyp çykarylan kuwwat ýitgisi hakyky toklaryň täsirinden emele gelýän hakyky kuwwat ýitgileriniň jeminde deň (golaý) bolmalydyr. Şol ekwiwalent toguň ululygy şu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$I_{ekw}^2 = \frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + \dots + I_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}. \quad (5.11)$$

Bu deňlemeden gözlenýän ekwiwalent toguň bahasy kesgitlenilýär:

$$I_{ekw} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + \dots + I_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}. \quad (5.12)$$

Ekwiwalent toguň usuly hereketlendirijiniň gyzmagy sebäpli emele gelýän kuwwat ýitgilerine esaslanýar. Ýöne, walynda oturdylan wentilýator bilen hereketlendirijiniň sowadylmagy (gyzgyňlyk temperaturasy) onuň rotorynyň tizligine bagly bolýar. Pes tizliklerde hereketlendirijiniň sowamagy erbetleşýär.

Ekwiwalent toguň ululygy anyklanandan soň, hereketlendirijiniň nominal togy bilen deňeşdirip görýärler. Deňeşdirilende hemişe  $I_{ekw} \leq I_{nom.}$ , deňsizlik ýa-da deňlik şerti ýerine ýetirilmelidir.

Hereketlendirijiler ýüklenýän ýüküne görä-de anyklanyp, iň aňrybaşy ýüküniň näçe bolmalydygy takyklanmalydyr, meselem, hemişelik toguň hereketlendirijisi üçin

$$\frac{I_{maks.}}{I_{nom.}} \leq \lambda_i.$$

Bu ýerde:  $I_{maks.}$  – ýüküň grafiginde maksimal toguň bahasy;  
 $\lambda_i$  – toga görä ygtyýarlyk koeffisiýenti, hemişelik toguň hereketlendirijileri üçin  $\lambda_i = 2 \div 2,5$ .

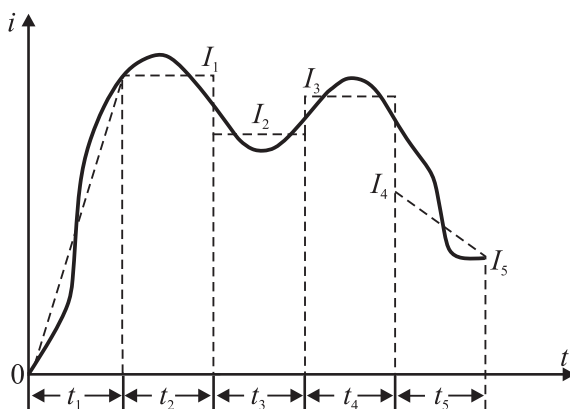
Eger-de üýtgeýän toguň asinhron hereketlendirijisi üçin barlag işlerini geçirmeli bolsa, onda ygtyýarlyk  $\lambda$  koeffisiýenti momentleriň deňsizligi arkaly ýerine ýetirilýär.

$$\lambda \cdot M_{nom} \geq M_{maks.}$$

Eger-de bu deňsizligiň şerti ýerine ýetmeýän bolsa, onda kuwaty uly hereketlendirijini saýlamak maslahat berilýär.

Eger-de toguň diagrammasy çylşyrymly bolsa, (meselem, 5.5-nji çyzygyda görkezilen diagramma seret) onda diagrammany punktir geçirilen çyzyklar bilen gönüleýärler hem-de birnäçe meýdançalara bölýärler. Şeýle meýdançalar üçin ekwiwalent toguň kesgitlenişiniň deňlemesi

$$I_{ekw} = \sqrt{\frac{1}{\sum_t^n} \int_0^{\Sigma t} i^2 \cdot dt.} \quad (5.13)$$



**5.5-nji çyzygy. Elektrik ýüküniň  
egri çyzykly grafiginiň göneldilen  
kesimler bilen çalşylyşy**

Egri çyzykly grafikler göneldilen kesimler bilen çalşylandan soň,  $I_{ekw}$  togy (5.12) deňleme bilen hasaplanylýar. Eger-de diagrammada üçburçluk bar bolsa, onda (5.13) deňlemäni işlese

$$I_{ekw} = \frac{I_1}{\sqrt{3}}. \quad (5.14)$$

Dogrudan-da, grafigiň birinji meýdançasynyda tok göni çyzygyň kanunyna görä ( $y = kx$ ) görnüşde üýtgeýär, ýagny

$$I = \alpha t, \quad (5.15)$$

bu ýerde

$$\alpha = \frac{I_1}{t_1} = \text{const.} \quad (5.16)$$

Soňra (5.15) deňlemäni (5.13) – ornunda goýsak, şu aşakdaky netijäni alarys:

$$I_{ekw.1} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \alpha^2 \cdot t_1^2 dt} = \frac{\alpha \cdot t_1}{\sqrt{3}}. \quad (5.17)$$

Eger-de (5.17) deňlemede  $\alpha$ -nyň bahasyny (5.16) peýdalanyp ornunda goýsak, onda

$$I_{1ekw.} = \frac{I_1}{\sqrt{3}}.$$

netijäni alarys.

Trapesiýa görnüşli meýdança-da (meselem, 5.5-nji çyzgyda başinji meýdança) ýene-de üçburçluk meýdançadaky usuldan peýdalanyp, başinji meýdança üçin  $I_{5ekw.}$  ekwiwalent togy tapyp bileris, şeýlelikde

$$I_{5ekw.} = \sqrt{\frac{I_4^2 + I_4 \cdot I_5 + I_5^2}{3}}. \quad (5.18)$$

Şeýlelikde, (5.12), (5.14) hem-de (5.18) deňlemelerden peýdalanylýsa, onda islendik görnüşli diagrammalar üçin ekwiwalent toguň örän takyk bahasyny hasaplap bolýar.

Iş ýüzünde, köplenç halda,  $M$  momentniň ýa-da  $P$  kuwwatyň grafiklerinden peýdalanyp hereketlendirijileri saýlamaly bolýar. Şeýle ýagdaýlarda ekwiwalent toguň usulyna esaslanyp, oňa meňzeş ekwiwalent momentniň ýa-da ekwiwalent kuwwatyň usullaryndan-da peýdalanylýar.

Magnit akymy hemişelik ululygynda saklanýar diýip hem-de moment bilen tok özara göni baglanyşykdadyklaryny (proporsionaldyklaryny) göz önünde tutup we ýene-de elektromagnit momenti hereketlendirijiniň walyndaky momentine deň diýsek, onda ekwiwalent momentniň deňlemesini ýazyp bileris:

$$M_{ekw.} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}. \quad (5.19)$$

Ekwiwalent kuwwatyn usuly (deňlemesi) (5.19) deňlemeden gelip çykýar, sebäbi kuwwat bilen momentiň hem özara göni baglanyşygynyň bardygundan ugur alýarlar, onda

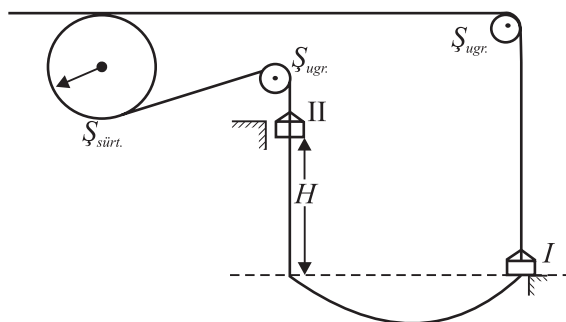
$$P_{ekw.} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}. \quad (5.20)$$

Ýokarda seredilen bu üç ekwiwalent usullaryň içinde, iň bähbitlisi (amatlysy) ekwiwalent toguň usuly hasaplanylýar. Bu usuldan üýtgeýän toguň asinhron hereketlendirijilerini saýlamaly bolanda-da, has şowly peýdalanýarlar.

## 5.6. Şahtalarda ulanylýan elektropriwodlaryň ýük göterijiliginiň diagrammalary

Şahtalarda ulanylýan elektropriwodlaryň ýük göterijiliginiň diagrammalaryny gurmak üçin şahtalarda ulanylýan ýük göterijili, kapasly, şkiwli, tanaply mehanizmlerini özleşdireliň.

Şahtalarda ulanylýan şkiwli, tanaply ýük göteriji ulgamyň kinematik shemasy 5.6-njy çyzgyda görkezildi.



**5.6-njy çyzgy. Tanaply deňagramlaşdyrylan şkiwli ýük göterijiniň adaty şahtalarda ulanylýan ulgamyň kinematik shemasy**

Shemadaky şertli belgiler: I we II – kapaslar kapaslara  $G$  ýük ýüklenýär we ýokary göterilýär.  $S_{sürt.}$  sürtenip işleýän şkiw priwodyň hereketlendirijisi bilen göni birleşdirilýär,  $S_{ugr.}$  ugrukdyryjy şkiwler,  $H$  şahtanyň çuňlugy.

Tanap şkiwleriň kömegi bilen elektropriwodyň hereketlendirijisi arkaly herekete getirilýär. Ýük göterijileriň diagrammalaryny gurmak üçin, ilki bilen hereketlendirijiniň kuwwatyny kesgitlemeli

$$P = k \cdot G' \cdot g \cdot 10^{-3} \text{ kWt.}$$

Bu ýerde:  $g$  – nominal tizlik, m/sek;

$$G' = \frac{G}{\eta} = 1,2 \cdot G - \text{şertli agyrlyk güýji, N.}$$

Bu ýerde:  $\eta$  – ýükgöterijiniň p.t.k-sy;

$k = 1,2 - 1,25$  – dinamiki momentniň täsirini hasaba alýan koef-fisiýent.

Hasaplamalar geçirilende garşylyklaryň momentini kesgitlemek kynçylyklary döretmeýär.

$$M_c = F_c \cdot R.$$

Bu ýerde:  $R$  – sürtenip işleýän şkiwiň radiusy;

$F_c = 1,2 \cdot G$  – şkiwiň töweregine täsir edýän güýç.

Hereketlendirijiniň dinamiki momentiniň kesgitlenişiniň deňle-mesi

$$M_{din} = J \frac{d\omega}{dt}.$$

Bu iki momentniň jemi hereketlendirijiniň ösdürýän momentini aňladýar.  $M = M_c + M_{din}$

Moment bilen  $\omega$  tizlik belli bolanda kuwwatyň tapylyşy:

$$P = M \cdot \omega \cdot 10^{-3} \text{ kWt.}$$

Şahtanyň iş düzgünini özleşdirmek üçin şahta bilen baglanyşykly parametrlerden peýdalanyň bir meseläni doly işläp özleşdireliň.

**5.1-nji mesele.** Şahtada ýükleri göterip-düşürmek üçin ulanylýan, tanapy deňagramlaşdyrylan, şkiwi sürtenip işleýän priwodyň hereketlendirijileriniň kuwwatlaryny kesgitlemeli hem-de ýüklenýän ýükleriň diagrammasyny gurmaly. Ýükleri göterijileriň öndüriligi 2520 kN/sag. Priwod iki sany hereketlendirijileri bilen sürtenip işleýän şkiwi umumy bir walda gurnalyp işledilýär.

Hasaplary ýerine ýetirmek üçin berlen esasy parametrler:

1. Şahtanyň çuňlugy  $H = 915$  m.
2. Peýdaly ýüküň agyrylyk güýji  $G = 58,8$  kN.
3. Her bir kapasyň (kletň) agyrylyk güýji  $G_k = 47,75$  kN.
4. Her kapasa niýetlenen wagonjagazyň agyrylyk güýji  $G_w = 29,4$  kN.
5. In esasy hem-de deňagramlaşdyrylan tanaplaryň her 1 metri üçin agyrylyk güýjüniň jemi  $G_{kan} = 106$  N/m.
6. Sürtenip işleýän şkiwiň diametri  $d = 6,44$  m.
7. Sürtenip işleýän şkiwiň agyrylyk güýji  $G_s = 143$  kN.
8. Sürtenip işleýän şkiwiň inersiýasynyň diametri  $D_s = 0,67 \cdot d_s$ .
9. Ugrukdyrylan şkiwiň diametri  $d_{u.s} = 5$  m.
10. Ugrukdyrylan şkiwleriň hersiniň agyrylyk güýji  $G_{u.s} = 47,5$  kN.
11. Ugrukdyrylan şkiwiň inersiýasynyň diametri  $D_{u.s} = 0,7 \cdot d_{u.s}$ .
12. Ýükleri göterijiniň nominal tizligi  $\vartheta_{nom} = 16$  m/sek.
13. Ýokary göterilendäki tizlenme  $a_1 = 0,89$  m/sek<sup>2</sup>.
14. Ýokary göterilende haýallanyş  $a_3 = 1$  m/sek<sup>2</sup>.
15. Bir aýlawyň (periodyň) dowamlylygy  $t_{dow} = 89,2$  sek.
16. Peýdaly ýüküň köpelmegi bilen sürtenişiň göterimi 20%-e deň.

**Çözülişi.** Hereketlendirijiniň takmynan kuwwatyny aşakdaky deňleme bilen anyklaýarys:

$$P_{nom.} = \frac{1,2 \cdot G \cdot \vartheta_{nom.}}{1000} = \frac{1,2 \cdot 58,8 \cdot 10^3 \cdot 16}{1000} = 1130 \text{ kWt.}$$

Dinamiki momentniň täsirini 1,25-e deň diýlip önünden hasaba girizýäris. Şonda iki hereketlendiriji üçin kuwwatyň jemini kesgitleýäris.

$$P = 1,25 \cdot P_{nom} = 1,25 \cdot 1130 \approx 1400 \text{ kWt.}$$

Bir hereketlendirijiniň kuwwatyny 700 kWt diýip kabul edýäris.

Hereketlendirijiniň nominal tizliginiň hasaplanyşy

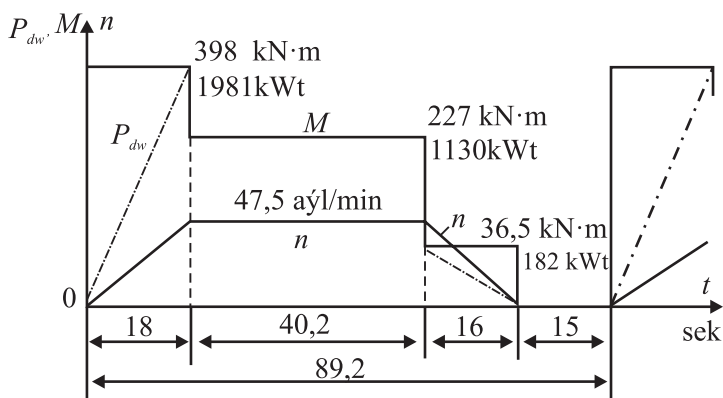
$$n_{nom.} = \frac{60 \cdot \vartheta_{nom.}}{\pi \cdot d_s} = \frac{60 \cdot 16}{3,14 \cdot 6,44} = 47,5 \text{ aýl/min.}$$

Hereketlendirijiniň kuwwaty 700 kWt hem-de tizligi 47,5 aýl/min bolanda, onuň mahowiginiň momenti katalogdan  $G \cdot D_{dw}^2 = 1065 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ . Iki hereketlendirijiniň mahowoý momenti  $2 \cdot GD^2 = 2130 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ .

Garşylygyň momentini hasaplamalaryň şerti bilen, sürtenip işleýän şkiwiň diametrini hasaba girizip kesgitleýäris:

$$M_c = 1,2G \frac{d_s}{2} = 1,2 \cdot 58,8 \cdot 3,22 = 227 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

Bir iş döwründe (89,2 sekunda)  $n$  tizligiň,  $M$  momentiň hem-de  $P_{dw}$  kuwwatyň t wagta görä baglanyşyklarynyň diagrammalary 5.7-nji çyzgyda görkezildi.



5.7-nji çyzgy. Şahmada ýük göterijiniň ýüklenmek diagrammasy

Tizlenmegiň wagty

$$t_1 = \frac{\vartheta_{nom}}{\alpha_1} = \frac{16}{0,89} = 18 \text{ sek.}$$

Tizlenme wagty kapasyň geçen ýoly

$$h_1 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2} = \frac{0,89 \cdot 18^2}{2} = 144,3 \text{ m.}$$

Haýallanmagyň wagtynyň dowamlylygy

$$t_3 = \frac{g_{nom}}{a_3} = \frac{16}{1} = 16 \text{ sek.}$$

Haýallanmagyň wagtynda kapasyň geçen ýoly

$$h_3 = \frac{a_3 \cdot t_3^2}{2} = \frac{1 \cdot 16}{2} = 128 \text{ m.}$$

Durnukly iş düzgüninde hem-de tizliginde geçilen ýol

$$h_2 = H - h_1 - h_3 = 915 - 144,3 - 128 = 642,7 \text{ m.}$$

Durnukly iş hereketinde sarp edilen wagt

$$t_2 = \frac{h_2}{g_{nom}} = \frac{642,7}{16} = 40,2 \text{ sek.}$$

Dynç (pauza) wagty

$$t_4 = t_{dow} - t_1 - t_2 - t_3 = 89,2 - 18 - 40,2 - 16 = 15 \text{ sek.}$$

Dinamiki momenti kesgitlemek üçin hereketlendirijiniň walyna getirilen tutuş ulgamyň mahowoý momentlerini hasaplaýarys.

Sürtenip işleýýän şkiwiň mahowoý momenti

$$GD_{\text{ş}}^2 = G_{\text{ş}} \cdot D_{\text{ş}}^2 = 143 (0,67 \cdot 6,44)^2 = 2730 \text{ kN} \cdot \text{m}^2.$$

Ugrukdyryjy şkiwiň mahowoý momenti

$$GD_{u,\text{ş}}^2 = G_{u,\text{ş}} \cdot D_{u,\text{ş}}^2 = 47,5 (0,7 \cdot 5)^2 = 584 \text{ kN} \cdot \text{m}^2.$$

Ugrukdyryjy şkiwiň aýlanýan tizligi

$$n_{u,\text{ş}} = \frac{60 \cdot g_{nom}}{3,14 \cdot 5} = 61 \text{ aýl/min.}$$

Ugrukdyryjy şkiwleriniň ikisiniň bilelikde hereketlendirijiniň walyna getirilen mahowoý momenti



$$2GD_{u.s}\left(\frac{n_{u.s}}{n_{dw}}\right) = 2 \cdot 584 \left(\frac{61}{47,14 \cdot 5}\right) = 1920 \text{ kN} \cdot \text{m}^2.$$

Ulgamyň ähli aýlanýan bölekleriniň hereketlendirijiniň walyna getirilen mahowý momentleriniň jemi

$$GD_1^2 = 2130 + 2730 + 1920 = 6780 \text{ kN} \cdot \text{m}^2.$$

Tutuş ulgamyň ýokaryk-aşak (поступательная) hereket edýän bölekleriniň agramlyk güýji

$$G' = G + 2 G_{\text{kapas}} + 2 G_{\text{wagon}} + G_{\text{kanat}} \cdot L_{\text{kanat}},$$

bu ýerde

$$L_{\text{kanat}} \approx 2H + 90 = 2 \cdot 915 + 90 = 1920 \text{ m.}$$

(goşmaça goşulan 90 m sürtenip işleýän şkiwler bilen ugrukdyryjy şkiwleriň hereketlerini öz içine alýar).

Şeýlelikde,

$$G' = 58,8 + 2 \cdot 47,75 + 2 \cdot 29,4 + 0,106 \cdot 1920 = 416,7 \text{ kN.}$$

Ulgamyň ýokaryk-aşak hereket edýän mehanizmleriň massalarynyň getirilen mahowý momentleriniň jemi

$$GD_2^2 = \frac{365 \cdot G' g_{\text{nom}}^2}{n_{\text{dw}}^2} = \frac{365 \cdot 416,7 \cdot 16^2}{47,5^2} = 17350 \text{ kN} \cdot \text{m}^2.$$

Tutuş ulgamyň getirilen mahowý momenti

$$GD^2 = GD_1^2 + GD_2^2 = 6780 + 17350 = 24130 \text{ kN} \cdot \text{m}^2.$$

Priwodyň tizlenýän wagty dinamiki momenti

$$M_{\text{din.tizl.}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_{\text{nom}}}{t_1} = \frac{24130}{375} \cdot \frac{47,5}{18} = 171 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

Priwodyň haýallanýan wagty dinamiki momenti

$$M_{\text{din.hayal.}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_{\text{nom}}}{t_3} = -\frac{24130}{375} \cdot \frac{47,5}{16} = -190,5 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

Hereketlendirijiniň ösdürýän momenti:

$$M = M_c + M_{din}.$$

1. Tizlenmede  $t_1 = 18$  sek;  $M_1 = 227 + 171 = 398 \text{ kN} \cdot \text{m}$ .

2. Durnukly iş düzgünde  $t_2 = 40,2$  sek;  $M_2 = 227 \text{ kN} \cdot \text{m}$ .

3. Haýallanmada  $t_3 = 16$  sek;  $M_3 = 227 + 190,5 = 36,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$ .

4. Pauza  $t_4 = 15$  sek;  $M_4 = 0$ .

Bu dört aralyklar üçin bir iş döwrüniň ýük  $M = f(t)$  diagramasy 5.7-nji çyzgyda görkezildi. Şol çyzgyda-da hereketlendirijiniň walynyň kuwwat grafigi ýerleşdirildi.

$$P_{dw} = \frac{M \cdot n}{9,55} \cdot 10^{-3}.$$

Ýüküň diagrammasyndan ekwiwalent momenti kesgitleýäris.

$$M_{ekw.} = \sqrt{\frac{398^2 \cdot 18 + 227^2 \cdot 40,2 + 36,5 \cdot 16}{0,75 \cdot 18 + 40,2 + 0,75 \cdot 16 + 0,5 \cdot 15}} = 260 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

0,5; 0,75 – koeffisiýentler wentilýasiýanyň (üflenmegiň) şertleriniň erbetleşmegini öz içine alýar.

Hereketlendirijiniň artykmaç ýüklenmegine barlanyşynyň netijesi

$$\frac{M_1}{M_{ekw}} = \frac{398}{260} = 1,52 < 2.$$

Iki hereketlendirijiniň ekwiwalent kuwwaty

$$\begin{aligned} P_{ekw} &= \frac{M_{ekw.} \cdot n_{nom}}{9,55} \cdot 10^{-3} = \frac{260 \cdot 47,5 \cdot 10^{-3}}{9,55} = \\ &= 1290 \text{ kWt} < P_{nom} = 1400 \text{ kWt}. \end{aligned}$$

Şeýlelikde, saýlanan hereketlendiriji gysga wagtlaýyn artykmaç ýüklenilýän ýüklere hem-de gysga wagtlaýyn gyzgynlyga bildirilýän talaplary kanagatlandyrýar.

## VI BAP

# ELEKTROPRIWODLARYŇ AWTOMATIK DOLANDYRYLYŞY

### 6.1. Elektropriwodlary awtomatik dolandyrmak üçin ulanylýan elementleriň şertli belgilenişleri

Senagat kärhanalarynda ýokary hilli önümleriň öndürilişlerini artdyrmagyň esasy şertleriniň biri, ol hem elektropriwodlary awtomatlaşdyryp dolandyrmakdyr.

Elektropriwodlary awtomatlaşdyryp dolandyrmak diýlende, islendik şertlerde işe başlanyş pursatlary, tizlikleri sazlamagy, tormozlamagy, rewerslemegi hem-de tehnologiýa proseslerine bildirilýän talaplara görä, iş düzgünlerine durnukly we dowamly programmirläp dolandyrylmagyna düşünilýär.

Bu bildirilýän talaplary doly kanagatlandyrmak üçin ýöriteleşdirilen enjamlardan, gurnamalardan, awtomatikanyň elementlerinden, mehanizmlerinden peýdalanýarlar. Häzirki zaman awtomatik dolandyrylýan shemalaryň düzüminde onlarça, hatda, yüzlerçe awtomatikanyň elementleri jemlenýär. Şonuň üçin-de shemalary taslanlarynda, projektirlänlerinde, elementlerde montaj ýa-da abatlaýyş işleri geçirilende, hatda, shemalary okamaly bolanda-da, belli bir derejede kynçylyklar döreýär. Ýnha, şol kynçylyklaryň döremezligi üçin elementleriň şekillerinden hem-de şertli belgilerinden peýdalanýarlar. Elementleriň şertli belgileri dünýä standartyna laýyk gelmelidir. Şertli belgiler üýtgedilmän ýerine ýetirilende, birnäçe kynçylyklar ortadan aýrylýar we shemalar ýeňil okalýar.

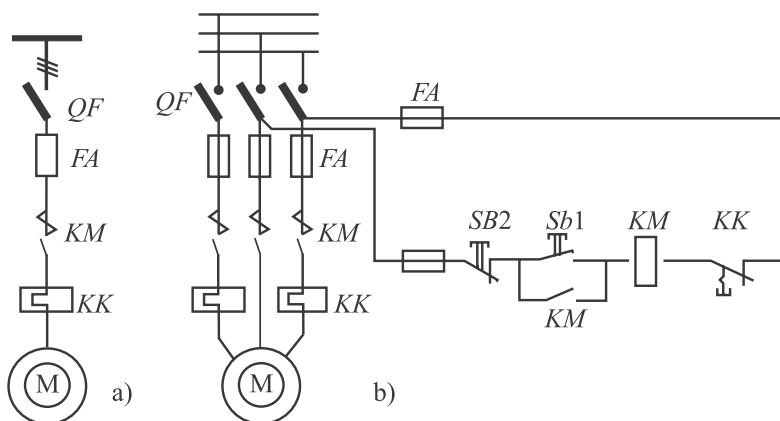
Ozaly bilen shemalaryň iki kategoriýa bölünýändiglerini bellemelidiris: birinjisi esasy toguň zynjyryna, ikinjisi kömekçi toguň zynjyryna bölünýärler. Esasy (baş) toguň zynjyryna hereketlendirijä gelýän hem-de generatoradan gaýdýan uly toklaryň zynjyrlaryna aýdylýar. Bu zynjyrlary shemalarda ýognaldylan liniýalar bilen çyzmaklyk kabul edilendir. Kömekçi zynjyr diýlip dolandyryjy elementlere barýan

kiçi toklaryň zynjyrlaryna aýdylýar, meselem kontaktorlaryň, releleriň tegeklerini birleşdirýän simlere, olaryň kontaktlaryny özara birleşdirýän we ş. m. tok geçiriji simlere aýdylýar. Bulardan başga-da kömekçi zynjyra signalizasiýalar, dürli görnüşli goraglar, blokirowkalar degişlidirler. Kömekçi zynjyrlary shemalarda inçeldilen liniýalar bilen çyzmaklyk kabul edilendir.

Bejeriş, abatlaýyş hem-de montaj işlerinde-de ýeňillikler bolar ýaly shemanyň görnüşlerini üç topara bölýärler, olar:

1. Prinsipial (işleýiş prinsipini aňmak üçin) shema.
2. Elementleri görkezilen shema.
3. Montaj işleri üçin niýetlenilen shema.

1. *Prinsipial shemada* diňe işleýiş prinsipine düşünmek üçin esasy bir bölegini, meselem, üç fazaly zynjyrlarda diňe bir fazasyny görkezmek bilen çäklenilýär. Şular ýaly shemalardan rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň bir fazasynyň shemasy 6.1-nji (a) çyzgyda görkezildi. Ýöriteleşdirilen (prisipli) shemalarda esasy uly toguň zynjyryndan bir liniýasy görkezilýär.



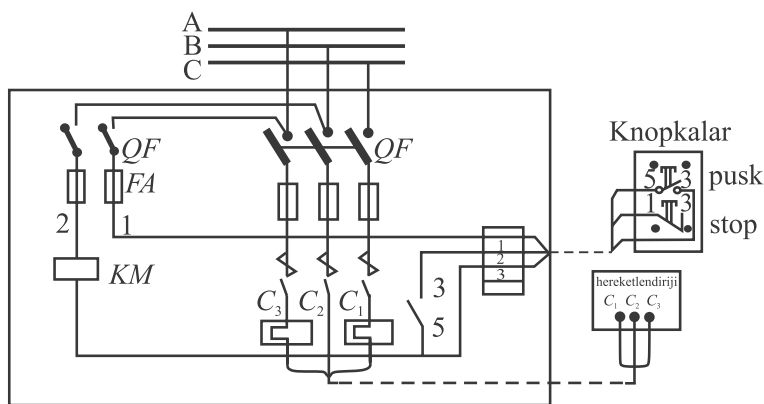
**6.1-nji çyzgy. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijini dolandyrýş: a – prinsipial, b – elementli shemasy**

2. *Elementli shemada* ähli abzallaryň, mehanizmleriň, elementleriň şertli belgileriniň özara çatylyşlary we baglanyşyklary görkezilýär.

Shemalarda elementleri ýeňil okamak üçin, olary özara iň amatly ýagdaýlaryny tapyp ýerleşdirýärler. Olaryň giňişlikde ýerleşdiriliş ýagdaýlaryna garamazdan (ýagny kinematikasyna, gurluş-strukturasyna garamazdan), diňe tok geçiriji simleriniň çyzykly çatylyşlaryny görkezmeklik bilen kanagatlanylýar. Her bir element shemalarda özüne mahsus şertli belgilenişleri bilen grafiki aňladylýar.

Bulardan başga-da, şertli belgileriň gapdallarynda degişli harplar bilen belgilenýärler, meselem: öçüriji awtomatlar  $QF$ , toguň gysga utgaşmagynda goraýjylar  $FA$ , ýylylykdan goraýjy releler  $KK$ , kontaktorlar  $KM$ , ýarym geçiriji diodlar we tiristorlar  $VS$ , stop ýa-da goýberiliş üçin basylýan knopkalar (düwmekikler)  $SV$  ýaly harplar degişli elementleriň şertli belgileriniň golaý ýanlarynda ýazylyp görkezilýär (6.1-nji (b) çyzga seret).

3. *Montaž shemada* uly we kiçi tok geçiriji simler, kontaktorlaryň, releleriň, olaryň açylýan we ýapylýan kontaktlary hem-de beýleki elementler ýörite niýetlenilen panellerde berkidilip ýygnaýarlar (6.2-nji çyzga seret).

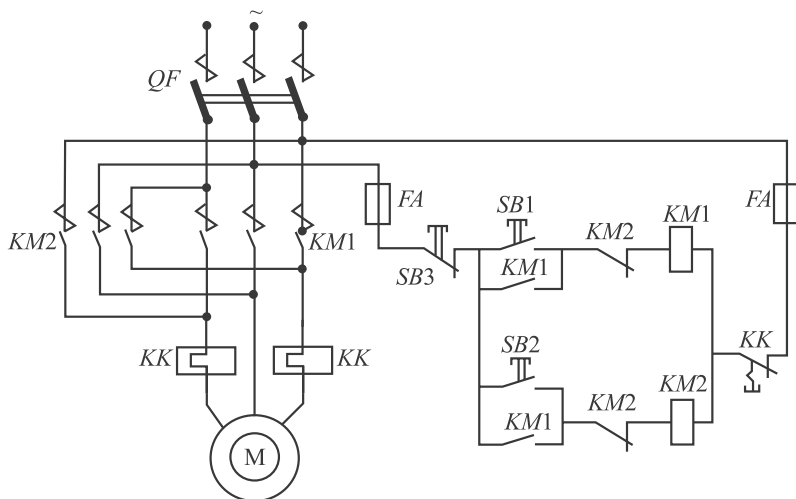


**6.2-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijini dolandyrmagyň  
montaž shemasynyň paneli hem-de daşky  
shemalary**

## 6.2. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň işe goýberilişini, rewerslenişini hem-de togtadylyşyny awtomatik dolandyrmak

Rotory diňe bir tarapa aýlanyp işleýän hem-de tormozlanýan asinhron hereketlendirijiniň awtomatlaşdyrylan shemasy 6.1-nji “b” çyzgyda görkezildi. Shemadan görnüşi ýaly, hereketlendirijini işletmek üçin *SB1*, tormozlamak üçin bolsa *SB2* knopkalaryň üstlerinden basmaklyk ýeterlikdir. Hereketlendirijini toguň gysga utgaşmagynadan *FA* goraýjylar, gyzmagyndan bolsa *KK*-ýylylykdan goraýjy relelerden peýdalanýarlar.

Eger-de hereketlendirijini rewersli işletmek gerek bolsa, onda 6.3-nji çyzgyda görkezilen shemadan peýdalanmak maslahat berilýär.

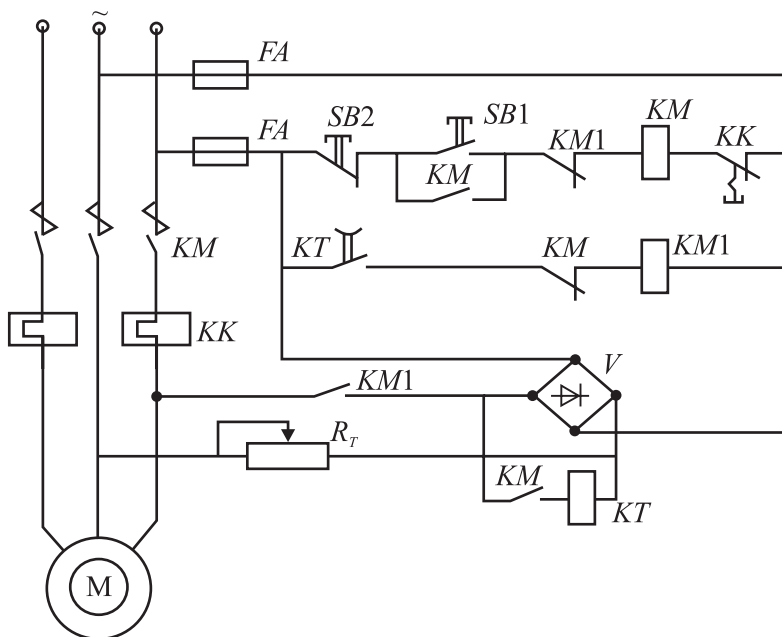


**6.3-nji çyzgy. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň rewersli dolandyryş shemasy**

Hereketlendirijini rewersli işletmek üçin esasy elementler *KM1* we *KM2* magnitli işe goýberiji kontaktorlardyr. Hereketlendirijini haýsy tarapa aýlamak gerek bolsa, deňişlilikde *SB1* ýa-da *SB2* knopkalaryň haýsy-da bolsa biriniň üstünden basmaklyk ýeterlikdir. Hereketlendirijini duruzmak (tormozlamak) işi *SB3*

knopkanyň üstünden basmak arkaly ýerine ýetirilýär. Hereketlendiriji awtomatik  $QF$  öçürijiden, gysga utgaşdyryjy toguň  $FA$  goraýjysyndan hem-de ýylylykdan goraýjy  $KK$  relelerden peýdalanyňp goralýar. Bulardan başga-da, setiň naprýaženiýesi tötänlikde öçen ýagdaýlarynda hereketlendirijiniň öçmegini  $KM1$  we  $KM2$  kontaktlar üpjün edýär.

**Dinamiki tormozlanýş.** Asinhron hereketlendirijiniň işe göni goýberilmeginiň hem-de wagtyň prinsipine laýyklykda dinamiki tormozlanmagynyň dolandyryjy shemasy 6.4-nji çyzgyda görkezildi. Bu shemanyň düzüminde liniýa  $KM$  kontaktory, tormozlaýjy  $KM1$  kontaktor, wagtly (sagat mehanizmlili) işleýän elektromagnit  $KT$  rele, tormozy sazlaýjy  $R_t$  rezistor,  $V$  göneldiji hem-de  $SB1$  we  $SB2$  dolandyryjy knopkalar ýaly awtomatik dolandyrmagyň esasy elementleri ýerleşdirildi.



6.4-nji çyzgy. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň işe göni goýberilmeginiň hem-de dinamiki togtanmagyň dolandyryş shemasy

Shemany (elektrik zynjyry) goramak üçin toguň gysga utgaşmagyndan *FA* goraýjy hem-de hereketlendirijiniň gyzmagyndan goraýjy ýylylygyň *KK* releleri göz önünde tutulandyr. *SB1* knopkanyň üstünden bassaň, *KM* kontaktor özüniň ýakoryny çekip, açyk kontaktlaryny ýapýar we hereketlendiriji işläp başlaýar. Şol bir wagtyň özünde *KT* rele ýmitlenip, *KM1* kontaktoryň zynjyryndaky *KT*-kontaktyny ýapýar, ýöne *KM1* kontaktor işlemez, sebäbi *KM* kontaktoryň bu zynjyrdaky *KM* ýapyk kontakty açyk ýagdaýa geçýär.

Hereketlendirijini açmaga üçin *SB2* knopkanyň üstünden basmak ýeterlidir. Sebäbi, *KM* kontaktor özüniň hereketlendirijiniň üç fazasyndaky *KM* kontaktlaryny açyp, hereketlendirijini setden açýar. Şol bir wagtyň özünde *KM1* kontaktoryň zynjyryndaky *KM* kontaktyny ýapýar we tormozlamagyň *KM1* kontaktory işläp başlaýar we hereketlendirijiniň statoryndaky iki fazany hemişelik tok bilen *V* göneldiji ýmitlendirip, dinamiki tormozlanmak başlanýar. Wagtyň *KT* relisi açýanlygy sebäpli, sazlanyp goýlan wagtyň dowamynda *KM1*- kontaktoryň zynjyryndaky *KT* kontaktyny açýar we şonça wagtyň dowamyndan soň hereketlendirijide dinamiki tormozlanmak tamamlanýar, sebäbi *V* göneldiji hereketlendirijiniň statoryndaky iki fazasyny ýmitlendirmegini bes edýär we hereketlendiriji ilki başdaky nol ýagdaýyna eýe bolýar.

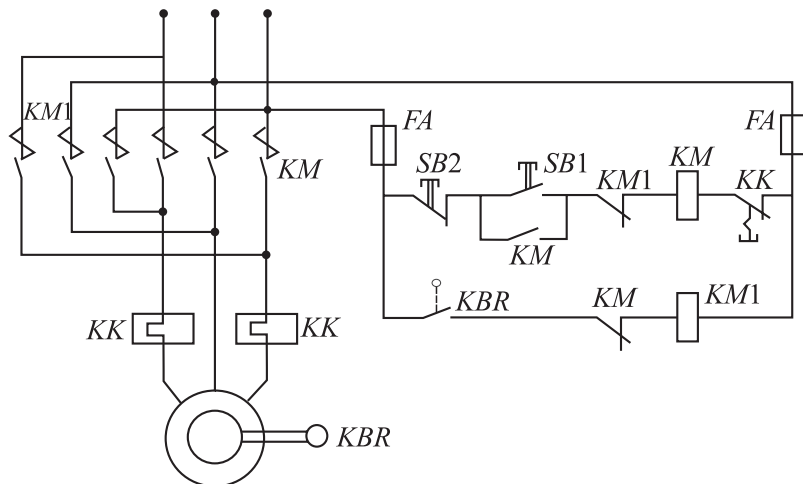
Dinamiki tormozlanmagyň intensiwligi (tiz ýa-da haýal saklanmagy)  $R_T$  rezistory sazlamak bilen amala aşyrylýar. Goýberiliş wagty *KM* bien *KM1* kontaktorlar parallel işlemez ýaly, olar özara blokirleýji kontaktlar bilen üpjün edilýär.

*Fazalary çalşyryp tormozlamak.* Asinhron hereketlendirijiniň statoryna gelyän üç fazaly naprýaženiýäniň islendik iki fazasynyň orunlaryny çalşyrsak, onda statoryň aýlanýan magnit meýdany öňki aýlanýan ugrunyň tersine tarap aýlanyp başlar, netijede, hereketlendirijiniň rotory-da öňki aýlanýan ugrunyň tersine aýlanmaga mejbur bolup, onuň tizligi haýallap, nol ýagdaýa geler we soňra ters ugruna tarap aýlanyp başlar.

Asinhron hereketlendirijiniň iki fazalarynyň ornuny çalşyryp, tersine aýlap, tormozlamagyň shemasy 6.5-nji çyzgyda görkezildi. Bu shemanyň düzüminde liniýa *KM* kontaktory, tormozlaýjy *KM1* kontaktor, *SB1* we *SB2* dolandyryjy knopkalar, ýylylygyň (gyzgyňlykdan



goramagyň) *KK* rele goraýjylyk, toguň gysga utgaşmagyndan *FA* goraýjylyk ýaly awtomatik dolandyrmagyň esasy elementleri ýerleşdirildi.



**6.5-nji çyzgy. AD-niň statoryna gelýän üç fazaly naprýaženiýäniň iki fazasynyň orunlaryny çalşyp, tersine aýlap togtatmagyň dolandyrys shemasy**

Tizligiň prinsipine esaslanyp, tormozlanýan bu usul, hereketlendirijiniň tizligini barlag edýän *KBR* rele arkaly amala aşyrylýar. Bu *KBR* rele elektromehaniki rele bolup, *AD*-nyň waly bilen mehaniki baglanyşykda ýygnaýlar. Bu reläniň işleýiş prinsipi şular ýalydyr. *AD* işlemän duran ýagdaýynda hem-de pes tizlikde işleýän wagty ( $10 \div 15\%$ )  $n_{nom}$ , *KBR* kontakt açyk, ýokary tizliklerde bolsa ýapyk ýagdaýda işleýär. *SB1* knopkanyň üstünden bassaň, *KM* kontaktor özüniň açyk kontaktlaryny ýapýar we hereketlendiriji işläp başlaýar. Şol bir wagtyň özünde *KM* kontaktor *KM1* kontaktoryň zynjyryndaky özüniň ýapyk *KM* kontaktyny açýar we *KM1* kontaktory böwetleýär. Şonuň üçin-de *KBR* releniň pes tizlikdekä ýapylan kontakty *KM1* kontaktora hiç hili täsirini ýetirmeýär hem-de *KM1*-öçürilgi ýagdaýynda saklanýar.

Hereketlendirijini duruzmak üçin *SB2* knopkany basmak ýeterlikdir. Şonda *KM* kontaktor setden oçýar we hereketlendirijiniň statoryndaky zynjyrdaky üç sany *KM* kontaktlary açýar hem-de *KM1* kontaktoryň zynjyryndaky açylygy duran kontaktyny ýapýar. Netijede, *KM1* kontaktor işläp başlaýar we hereketlendirijiniň statoryna *ACB* zzygiderlikli ters naprýaženiýäniň berilmegini üpjün edýär we hereketlendirijiniň aýlanýan tizligi

peselip, tormozlanmak prosesi başlanýar. Tizlik peselip nominal tizligiň ( $10 \div 15$ )-ine deňleşende *KBR* rele öz ýapylgy duran kontakyny *KM1* kontaktoryň zynjyrynda açýar we *KM1* kontaktor hereketlendirijini setden öçürýär. Şeýlelikde, tormozlanyş döwri (möwsümi) tamamlanýar we hereketlendiriji saklanyp, ilki başdaky ýagdaýyna gelýär.

### 6.3. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijileri awtomatik dolandyrmak

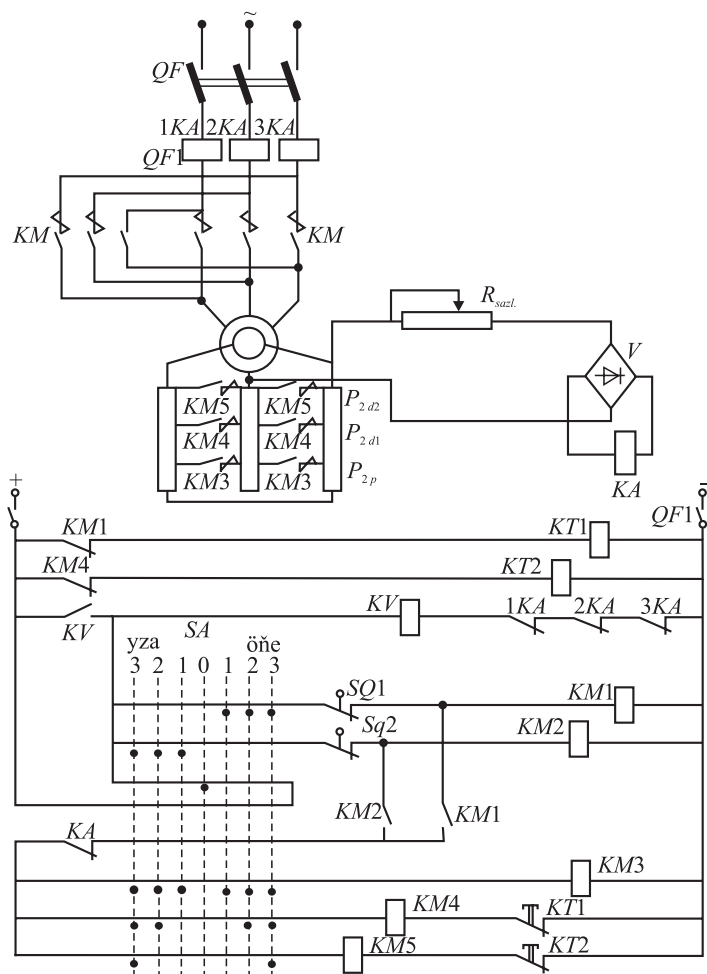
Rotory fazaly asinhron hereketlendirijini wagt prinsipi boýunça işe goýbermegiň hem-de EHG-niň prinsipi boýunça rewersirlenmegiň dolandyryjy shemasy 6.6-njy çyzgyda görkezildi. Asinhron hereketlendiriji üýtgeýän toguň çeşmesinden ýmitlendirilse, dolandyryjy shemasy hemişelik toguň çeşmesinden ýmitlendirilýär. Bu shemada *AD*-ny dolandyryan organ hökmünde *SA*- komanda-kontrolýordan peýdalanýarlar. Ol ýedi sany ýagdaýa eýe bolup, olaryň biri nol ýagdaý bolsa, onda “öňe” üç we “yz” üç ýagdaýlara eýe bolup bilýär.

Shemada buýruk berilýän kontrolleriň iş ýagdaýlary punktir çyzyjyklaryň üstünde gara tegmiller (nokatlar) bilen görkezildi. Shemanyň düzümine girýän elementler: *KM1* we *KM2* liniýa kontaktorlary; *KM3*, *KM4*, *KM5* tizligi basgançakly üýtgedýän we rewersleýji kontaktorlary; *KT1*, *KT2* – wagt releleri; *KA* tersine aýlanmagy üpjün ediji rele; *V* göneldiji; *R<sub>s</sub>* sazlaýjy rezistor; *R<sub>2p</sub>*, goýberilişiň garşylygy; *R<sub>2d1</sub>* we *R<sub>2d2</sub>* basgançakly garşylyklar. Shemadaky elementleri gormak üçin *1KA*, *2KA*, *3KA* belgili maksimal tokdan goraýjy releler; *KV* – naprýaženiýe relesi, *QF1* awtomatly öçüriji, *SQ1* we *SQ2* ýoluň ahyryndaky öçürijiler. Bu öçürijileriň üstünden mehanizm geçende hereketlendirijini setden öçürýärler.

Hereketlendirijini işe goýbermek üçin *QF* hem-de *QF1* öçürijileri sete birleşdirýärler. Komanda-kontrolýor *SA* nol ýagdaýynda bolmaly.

Schema hemişelik naprýaženiýe berlenden *KT1* we *KT2* releler *KM4* hem-de *KM4* kontaktorlary öçürýär. Naprýaženiýäniň relesi *KV* hem ýmitlenýär, bu şahada *1KA*, *2KA* hem-de *3KA* kontaktlar yzygider birleşdirilgi ýagdaýda görkezildi. *KV* rele setiň naprýaženiýesi peselende-de, hereketlendirijini öçürer ýaly sazlap goýýarlar. Asinhron hereketlendirijiniň tizligini ýokary galdyrmak üçin, komanda-

kontroly “öňe” ýa-da “yza” tarap 1,2 soňra 3-nji ýagdaýlara towlap geçirmek arkaly amala aşyrylýar.

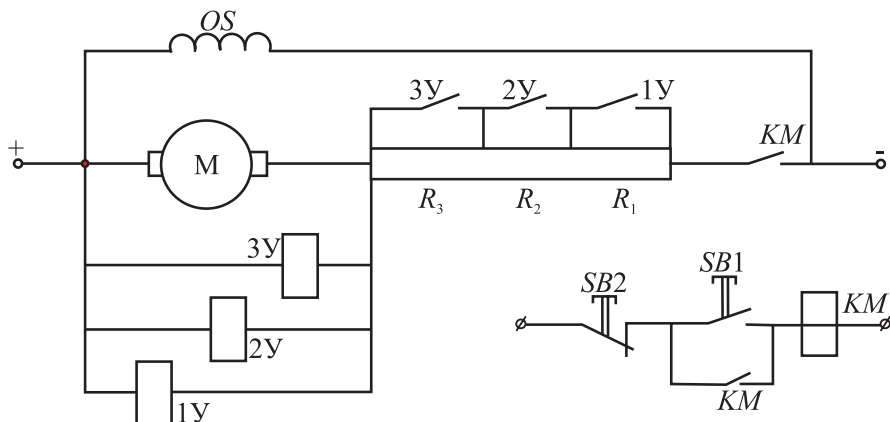


**6.6-njy çyzgy. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijiniň rewersli dolandyrylýan shemasy**

Hereketlendirijini rewersli işletmek üçin-de komando-kontrol-dan hem-de KM1 we KM2 kontaktorlardan peýdalanýarlar. Tormozlanyş göneldijiden iýmitleňýän KA rele arkaly ýerine ýetirilýär. Şular ýaly shemalar ýük göteriji-düşüriji ýa-da äkidiji-getiriji işler (me-selem, gyzgyn äpet peçlerde) giňden ulanylýar.

## 6.4. Hemişelik toguň hereketlendirijileriniň awtomatlaşdyrylyşyna birnäçe mysallar

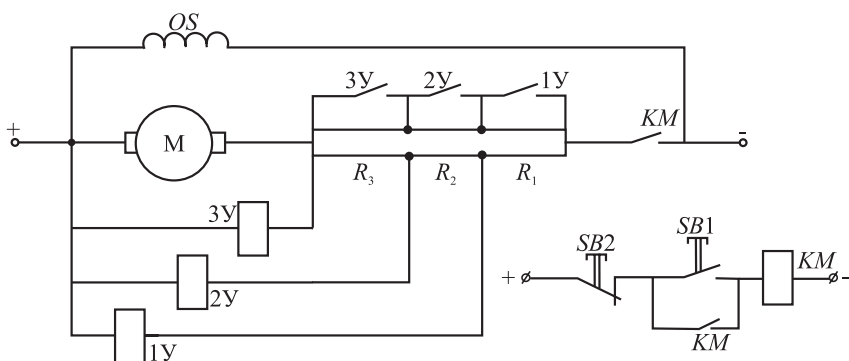
Oýandyryjy sarymy parallel birleşdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň awtomatlandyrylan shemasynyň tizlik boýunça ýönekeýleşdirilen bölegi 6.7-nji çyzgyda görkezildi.



6.7-nji çyzgy. Hemişelik toguň hereketlendirijisiniň EHG funksiýaly işe goýberilişiniň awtomatlaşdyrylan shemasynyň ýönekeýleşdirilen görnüşü

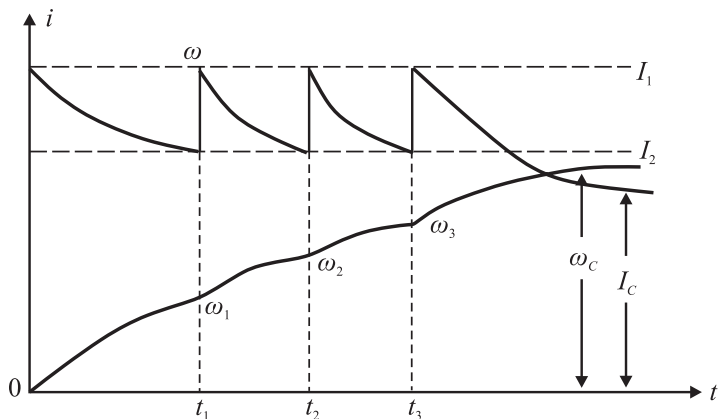
Her bir tizlendiriji 1Y, 2Y we 3Y kontaktorlar özlerine mahsus naprýaženiýede işläp,  $R_1$ ,  $R_2$  we  $R_3$  garşylyklary şuntirleýärler. Hereketlendirijiniň tizliginiň ýokarlanmagy bilen EHG-si-de ösýär. Belli bir tizlige ýetende 1Y kontaktor öz ýakoryny çekýär we  $R_1$  garşylygy 1Y – açyk kontaktyny ýapýar, soňra 2Y, ondan soňra 3Y kontaktor işläp  $R_1$ ,  $R_2$  we  $R_3$  garşylyklar doly şuntirlenip, hereketlendiriji özüniň iň ýokarky tizligine ýetip işlemegini dowam edýär. Hereketlendirijini duruzmak üçin  $SB_2$  stop knopkanyň üstünden basmak ýeterlidir. Bu shemanyň kem tarapy hökmünde tizlendiriji kontaktorlaryň dürli naprýaženiýelere sazlanyp işledilmegi hasap edilýär. Bu ýetmezçiligi 6.8-nji çyzgyda görkezilen shemadan peýdalanyň aýryp bolýar.

Bu shemada hereketlendirijiniň ýakory diňe 3Y kontaktor bilen parallel bolup, deň naprýaženiýeden iýmitlenýärler. Beýleki 1Y we 2Y kontaktorlar  $R$  garşylygyň dürli nokatlaryna birleşdirilýär. Şeýlelikde, ähli 1Y, 2Y we 3Y kontaktorlary bir deň naprýaženiýeden iýmitlener ýaly sazlap bolýar.



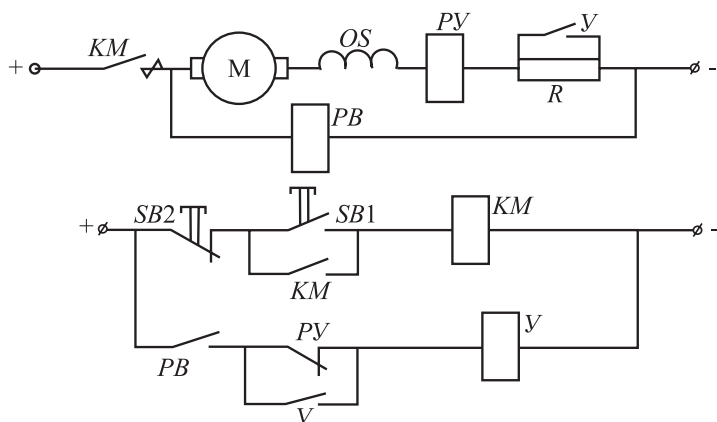
**6.8-nji çyzgy. Hemişelik toguň hereketlendirijisiniň EHG funksiýaly işe goýberilişiniň awtomatlaşdyrylan shemasynyň üýtgedilen görnüşi**

Dolandyrylyş toguň funksiýasy bolanda toguň iki takyk bahalarynyň aralygynda dolandyrylýar. Toguň ( $I_2$  bilen  $I_1$  toklaryň aralygyn-da) t wagta görä üýtgeýşi 6.9-njy çyzgyda üç basgançakly baglanyşykda görkezildi.



**6.9-njy çyzgy. Garşylygy üç basgançakly hereketlendirijiniň goýberiliş diagrammasy**

Toguň ilkinji bököň bahasy  $I_1$  hereketlendirijiniň momentine bildirilýän talabyna esaslanyp anyklanylýar. Tizligiň ösmegi bilen hereketlendirijiniň togy peselýär. Haçan-da toguň peselmegi  $I_2$  baha deňleşende  $R$  reostatyň garşylygynyň bir bölegi (bir basgançagy) şuntirlenýär, tok ýene-de  $I_1$  bahasyna bököýär. Hereketlendirijiniň togunyň  $I_2$  bahasyny berlen elektrik ýüküne görä iň pes tizlenmä laýyk saýlaýarlar. Şonuň üçin-de  $I_2$ -niň bahasy hemişe  $I_c$  tokdan ýokarda (uly) bolmalydyr.



**6.10-njy çyzgy. Dolandyryş toguň funksiýasy bolanda bir basgançakly dolandyryş shemasy**

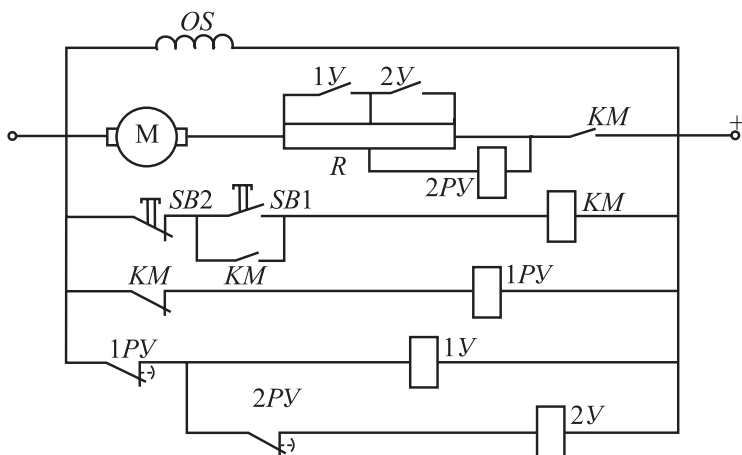
Dolandyrmak toguň funksiýasy bolanda dolandyrmagyň sanawy ýakoryň zynjyryndaky reostatyň basgançaklarynyň sanyna görä degişli releler arkaly ýerine ýetirilýär. Bir basgançakly dolandyryşyň iň ýönekeý awtomatlaşdyrylan shemasy 6.10-njy çyzgyda görkezildi.

Hereketlendirijiniň işledilişi *SB1* knopka basylanda hereketlendiriji haýal işläp başlaýar. Goýberiliş wagty uly tokda toguň *R**V* relesi *Y* reläni açýrýar. Hereketlendirijiniň tizligi ösdügiçe tok azalyp başlaýar we toguň relesi öz ýakoryny goýberýär we *V* tizlendiriji rele işläp başlaýar, *R* garşylyk şuntirlenýär, hereketlendiriji özüniň nominal tizliginde işläp başlaýar. Hereketlendirijini duruzmak üçin *SB2* knopkanyň üstünden basmak ýeterlikdir.

Dolandyrylyş *t* wagtyň funksiýasy bolanda, 6.9-njy çyzgydaky diagrammadan görnüşi ýaly,  $\omega = f(t)$  hem-de  $i = f_1(t)$  baglanyşyklarda basgançakly ösüşler reostaty bölek-bölek şuntirmek arkaly, belli bir *t* wagtyň dowamynda amala aşyrylýar. Diagrammadan görnüşi ýaly, garşylygyň birinji basgançagy  $t_1$  wagtdan soň şuntirlenýär, şeýle-de garşylygyň ikinji we üçünji basgançaklary-da özlere mahsus  $t_2$  we  $t_3$  wagtdan soň degişlilikde şuntirlenýärler. Ýnha, şonuň üçin-de awtomatik dolandyrylyşy wagta görä-de dolandyryp bolar diýen düşüňjeden ugur alyp, awtomatik dolandyryş wagtyň funksiýasy diýilýär. Şular ýaly dolandyryşda sagat mehanizmleri relelerden peýdalanýarlar. Sagat mehanizmleri releleri takykklan wagta görä sazlap, shemalarda ulanylýarlar. Şeýle awtomatik dolandyrylýan shemalardan iň bir ýönekeýi 6.11-nji çyzgyda görkezildi.

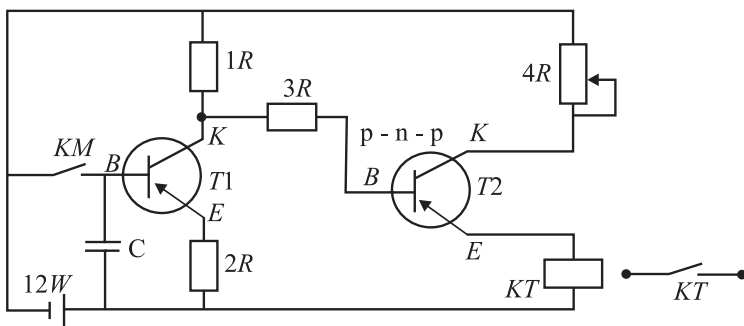
6.11-nji çyzgydaky shemada görkezilen elementleriň atlary:

$M$  – hereketlendirijiniň ýakory,  $R$  – iki basgançakly reostat,  $OS$  – oýandyryjy sarym,  $SB1$  – “pusk” knopkasy,  $SB2$  – “stop” knopkasy,  $1PY$  we  $2PY$  – sagat mehanizimli releleriň tegekleri we kontaktlary,  $KM$  – liniýa kontaktoryň tegegi we kontaktlary,  $1Y$  we  $2Y$  – tizlendiriji releleriň tegekleri hem-de kontaktlary.



**6.11-nji çyzgy. Hereketlendirijiniň dolandyrylyşy  $t$  wagtyň funksiýasyna deňişli bolanda awtomatik dolandyrylyşyň bir böleginiň shemasy**

Soňky döwürlerde sagat mehanizimli releleriň dereğine ýarym geçirijili (tranzistorly) shemalardan peýdalanmak önümçilikde giňişleýin orun tapdy. Şeýle tranzistorlardan ýygňalan wagt relesi 6.12-nji çyzgyda görkezilen shemanyň işleýiş düzgünini özleşdirmek üçin ýeterlikdir.



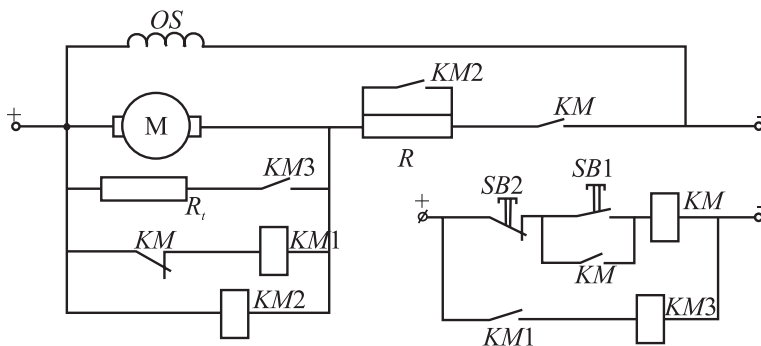
**6.12-nji çyzgy. Tranzistorly wagt relisiniň shemasy**

Shemadan görnüşi ýaly,  $KM$  kontakt ýapylandan  $C$  kondensator zaryadaly, çeşmäniň naprýaženiýesine deňleşýänçe zaryadlanýar. Haçanda  $KM$  kontakt täzeden açylsa,  $C$  sygymyň naprýaženiýesi  $2R$  garşylyga siňip (razrýadlanyp) başlar we birinji tranzistoryň bazasynyň potensialy peselmek bilen bolýar, kollektordaky tok köpeler. Şeýlelikde, ikinji tranzistoryň bazasynyň naprýaženiýesi peselip, ikinji tranzistoryň hem togy köpeli,  $KT$  reläniň işlemegine sebäp bolýar we özüniň  $KT$  açyk kontaktny ýapýar. Reläniň işlemegine çenli sarp edilen wagtyň dowamlylygy  $R$ ,  $C$  parametrlerden bagly bolup, 2-2,5 sekunda çenli dowam edýär.

## 6.5. Elektrik hereketlendirijileri togtatmagyň awtomatlandyrylyşyna birnäçe mysallar

Awtomatlaşdyrylan gurnamalaryň elektrik hereketlendirijilerini dürli usullar bilen tormozlamakda iň köp ulanylýany polýarlaryny (üç fazaly hereketlendirijilerde fazalaryny) çalşyryp, tersine aýlamak usullarydyr. Hereketlendirijileri generator düzgüninde işledip, sete energiýa berip tormozlamak usuly seýrek ulanylýar.

Dinamiki tormozlanyşyň iň ýönekeý awtomatlaşdyrylan elektrik shemasy 6.13-nji çyzgydaky shemada görkezildi.



6.13-nji çyzgy. Dinamiki dolandyrmagyň awtomatlaşdyrylan shemasy

Bu shemada tormozlanyş tizligiň funksiýasy (EHG-niň funksiýasy-da diýilýär) boýunça tormozlanylýar. Liniýa  $KM$  kontaktory öçürilenden soň, onuň iş wagty açyk duran  $KM$  kontaktny ýapylyp  $KM1$  kontaktory ýakora parallel birikdirýär. Öz gezeginde  $KM1$  kontaktor tormozlaýjy



*KM3* kontaktory çeşmä birikdirýär. *KM3* kontaktor  $R_t$  garşylygy ýakora şuntirleýär we tormozlanyş prosesi başlanýar. Hereketlendirijiniň tormozlanyşy *KM1* kontaktor öçýänçä dowam edýär. Tizlik peselenden soň *KM1* öçse-de, hereketlendiriji haýal tizlik bilen aýlanmagyny dowam edýär we öz statiki momentiniň täsiri zerarly saklanýar.

Dinamiki tormozlamagyň garşylygynyň näçe bolmalydygynyň hasabyny Kirhgofyň ikinji kanunyna (ýagny EHG-leriň jemi garşylyklara düşýän naprýaženiýeleriň jemine deňligine) esaslanyp kesgitläp bileris:

$$E = (R_{\dot{y}akor} + R_{torm}) \cdot I. \quad (6.1)$$

Bu ýerde  $E$  hem-de  $I$  dinamik tormozyň başlanýan wagty hereketlendirijiniň ýakoryndaky EHG-si we togy.

Dinamiki tormozlanyşda daşky  $R_{torm}$  garşylygyň tapylyşy

$$R_{torm} = \frac{E}{I} - R_{\dot{y}akor} \quad (6.2)$$

ýa-da

$$R_{torm} = \frac{E_{maks.}}{I_{rugs.}} - R_{\dot{y}akor}. \quad (6.3)$$

Bu ýerde:  $E_{maks.}$  – ýakorda iň ýokary EHG;

$I_{rugs.}$  – ýakordan akýan iň uly (rugsat berlen) tok;

$E_{maks.}$  – EHG-niň kesgitlenişi

$$E_{maks.} = E_{nom.} \cdot \frac{\omega_{maks.}}{\omega_{nom.}}. \quad (6.4)$$

Bu ýerde:  $\omega_{maks}$  – tormozyň başlan wagtyndaky tizlik;

$\omega_{nom}$  – hereketlendirijiniň nominal aýlaw tizligi;

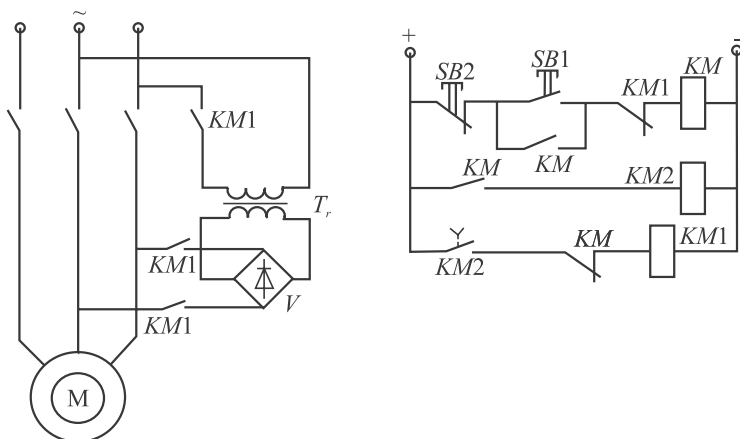
$E_{nom}$  – nominal tizlik wagty nominal EHG;

Bu  $E_{nom}$  – EHG-niň kesgitlenişi

$$E_{nom} = U - R_{\dot{y}ak} \cdot I. \quad (6.5)$$

Hereketlendirijiniň tormozlanyşynyň dowamlylygyny azaltmak üçin, köplenç, iki-üç basgançakly reostatlardan peýdalanýarlar. Köp basgançakly garşylyklar (reostatlar) ulanylanda, onuň tormozlandyryş she-ma bölegi-de, basgançaklaryň sanyna laýyklykda çylşyrymlaşýar.

Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijileri tormozlaşdyrmagyň dürli shemalaryndan iň ýönekeý awtomatlaşdyrylan shemasy 6.14-nji çyzgydaky shemada görkezildi.



**6.14-nji çyzgy. Asinhron hereketlendirijiniň dinamiki tormozlanýşyny dolandyrmagyň awtomatlaşdyrylan shemasy**

Tormoza çenli hereketlendiriji üýtgeýän toguň üç fazaly setine birleşdirilen hem-de wagt relesi  $KM2$  liniýa kontaktoryň  $KM$  kontakty arkaly hemişelik toguň çeşmesinden iýmitlenip, tormozlaýjy  $KM1$  kontaktory açurilgi ýagdaýda saklanmagyny üpjün edýär. Hereketlendirijini tormozlap saklamak üçin  $SB2$  knopkanyň üstünden basmak ýeterlidir.  $SB2$  knopka basylandan soň, wagtly işleýän  $KM2$  rele belli bir wagt aralygynda öz ýapyk duran kontakty açylança, tormozlaýjy  $KM1$  kontaktor işlemegini dowam edýär we  $T_r$  transformator iýmitlenýär we göneldiji  $V$  wentil işläp, hereketlendirijiniň statorynyň haýsy-da bolsa iki fazasyna hemişelik tok berip, hereketlendirijiniň tormozlanmagyny mejbur edýär. Wagt relesiniň sazlanýşyna laýyklykda, belli bir wagtdan soň, hereketlendirijiniň aýlanmagy tamamlanýar.

*Polýarlaryny üýtgedip tormozlamak* önümçilikde işledilýän mehanizmleriň aglabasynda öňe-yza, ýokaryk-aşak, çepe-saga ýaly hereketler giňden ulanylýar. Şeýle mehanizmleri işletmek üçin asinhron hereketlendirijilerini-de, hemişelik toguň hereketlendirijilerini-de rewersli işletmegiň zerurlygy döreýär. Ýokardaky bölümlerde bellenilip geçilişi ýaly, hereketlendirijileri rewersli işletmek üçin hereketlendirijilere berilýän naprýaženiýäniň polýarlaryny (üç fazaly zynjyr bolsa, iki fazasynyň ornuny) çalşyrmak ýeterlidir.

Hereketlendirijiniň polýarlary üýtgedilende ondaky tok örän uly bahalara eýe bolýar, sebäbi tormoz wagty hereketlendirijidäki indusirlenýän EHG setiň naprýaženiýesi bilen arifmetik goşulýar. Şol togy kesgitlemegiň deňlemesi

$$I = \frac{U + E}{R}.$$

Deňlemeden gelip çykyşyna görä, tok iki essä çenli köpelmegi mümkindir. Şeýle uly togy çäklendirmek üçin goýberiliş wagty ulanylýan reostatlaryň garşylyklaryndan başga-da goşmaça garşylyklardan-da peýdalanýarlar. Rewers üçin ulanylýan relelere, kontaktorlara, tizligiň releleri ýa-da rewersiň releleri, kontaktorlary diýilýär.

Basgançaklaryň garşylyklarynyň sanyny anyklamak üçin şu aşakdaky deňlemä esaslanyp hasaplaýarlar:

$$U + E = I (R_{\text{ýakor.}} + R_y + R_p). \quad (6.6)$$

Bu ýerde:  $R_{\text{ýak.}}$  – ýakoryň garşylygyny, goşmaça polýuslaryň garşylygyny, çotgalarda döreýän garşylyklary öz içine alýar.

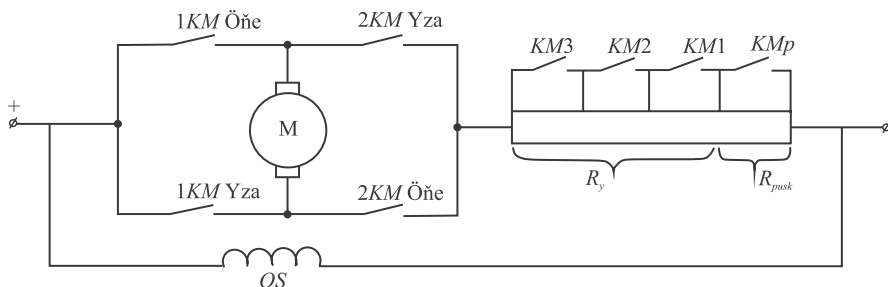
$R_y$  – tizligi basgançakly ýokarlandyrmak üçin ulanylýan garşylyklar.

$R_p$  – pusk wagty ulanylýan garşylyk.

Gözlenýän  $R_{\text{pusk}}$  garşylygy (6.6) deňlemeden hasaplap bolýar:

$$R_{\text{pusk}} = \frac{U + E_{\text{maks.}}}{I_{\text{rugs.}}} - (R_{\text{ýakor.}} + R_y). \quad (6.7)$$

Şeýle rewersli hereketlendirijileriň iň ýönekeýleşdirilen shemasy 6.15-nji çyzgyda görkezildi.



**6.15-nji çyzgy. Polýarlary üýtgedilip tormozlanýan hemişelik toguň hereketlendirijisiniň prinsipial shemasy**

Sarymy parallel oýandyryjyly hemişelik togunyň hereketlendirijileri üçin  $E_{maks} = U$  diýip kabul edilyär. Beýleki hereketlendirijiler üçin  $E_{maks}$  hem-de  $I_{rugs.}$  (6.4) hem-de (6.8)

$$I_{rugs.} = I_{rugs.nom} \cdot \frac{\omega_{nom}}{\omega_{maks}} \quad (6.8)$$

deňlemeler arkaly kesgitlenýärler.

Häzirki döwürde iň köp ulanylýan mehanizmlerden biri-de ýaşaýyş we edara jaýlarynda ulanylýan elektrik liftleridir. Gurluşy boýunça iň ýönekeý we kämilleşdirilen liftiň elektrik shemasy 6.16-njy çyzgyda görkezildi.

Lifti işletmek we tormozlamak üçin, shemada iki sany komplekt knopkalar göz önünde tutulandyr. Olaryň bir komplekti kabinada, ikinji komplekt bolsa daşynda jaýyň her gatynyň kabina münülyän meýdançasyndaky gapynyň golaýynda lifti çagyryjy knopkalar berkidilip goýulýar.

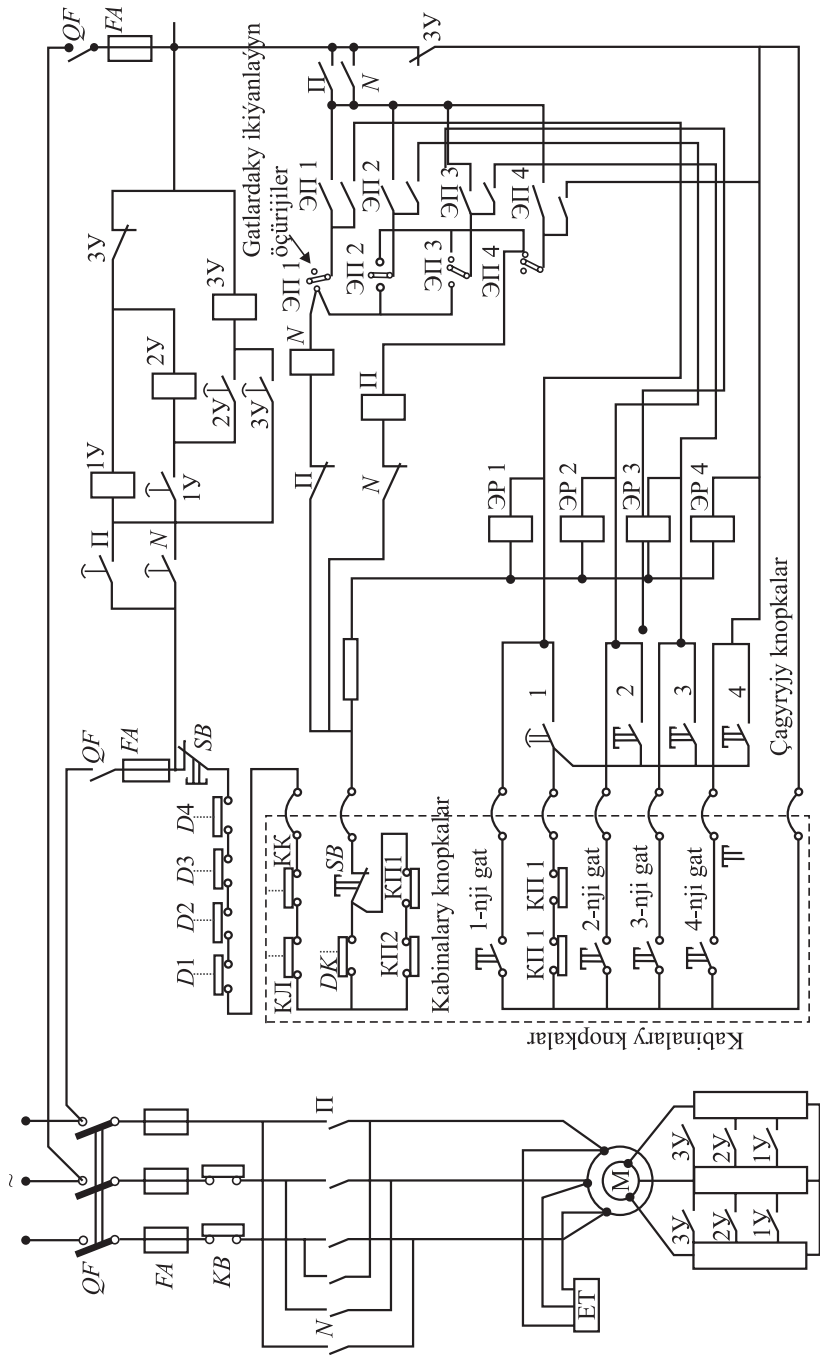
Ikinji komplekt hasap edilýän ähli knopkalar meýdançanyň KPII knopkasy bilen yzygider birleşdirilýär. Kabinada ýük (adam) ýok wagty bu KPII kontakt ýapykdyr. Kabinada ýük bar wagty KPII kontakt açyk bolýar.

Meýdançanyň KPI2 kontakty kabinanyň kontakty bilen parallel birleşdirilýär. Şeýlelikde, kabinada ýüküň ýok wagty KPI2 ýapyk, ýük bar wagty KPI2 açykdyr.

Edaralaryň, jaýlaryň gatlarynda berkidilen (ЭП1 ... ЭП4) ikiýanlaýyn açarlar kabinadan aşakdakylary sag tarapa birleşdirilen ýagdaýa, kabinadan ýokardaky açarlar çep tarapa birleşdirilen ýagdaýa eýe bolýarlar. 6.16-njy çyzgydaky shema lift 2-nji gatda duran ýagdaýa gabat getirilip çyzyldy.

Eger-de 4-nji gatyň knopkasynyň üstünden bassak, onda 4-nji gataky ЭП4- kontaktor işlar hem-de B liniýa kontaktor özüniň açyk B kontaktlaryny ýapar we asinhron hereketlendiriji işläp başlar, lift assa, ýuwaşlyk bilen ýokaryk galyp başlar. Soňra tizlendiriji 1Y, 2Y, 3Y, releler sazlanylan wagta görä dowamly işläp, rotordaky garşylyklary yzly-yzyna gysga utgaşdyryp, hereketlendirijiniň aýlanýan tizligini ýokarlandyralar. Lift 4-nji gata baranda, ikiýanlaýyn ЭП4 açar ortalyk ýagdaýyny eýelär we B kontaktory öçürer. B kontaktor öz gezeginde ЭП4 kontaktory öçürer, hereketlendiriji öçer, lift durar.

Seredilen bu shema liftleriň işleýiş prinsipleriniň manysyna düşünmek üçin ýerleşdirildi.



6.16-nyj çyzgy. Düwmeli dolandyrylýan liftiň shemasy

## PEÝDALANYLAN EDEBIÝATLAR

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistanyň durmuş-ykdysady ösüşiniň döwlet kadalaşdyrylyşy, I, II tom. – Aşgabat, 2010.
2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistan – sagdynlygyň we bagtyýarlygyň ýurdy. – Aşgabat, 2012.
3. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Döwlet guşy. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2013.
4. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Bilim – bagtyýarlyk, ruhubelentlik, rowaçlyk. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2014.
5. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşin täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. 7-nji tom. – A., 2014.
6. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşin täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. 8-nji tom. – A., 2015.
7. ГОСТ 16593-79. Электроприводы. Термины и определения.
8. Андреев В. П., Сабинин Ю. А. Основы электропривода. – М. - Л., 1963. 772 стр.
9. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981 г. 576 стр.
10. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода. – М. 1965., 544 стр.
11. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 416 стр.
12. Ökdirow A. Elektropriwoddan golýazma konspekti. – Aşgabat, 2003. 268 sah.
13. Вешеневский С. Н. Расчет характеристики и сопротивлений для электродвигателей. – М.: Энергия, 1977., 432 стр.
14. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. 576 стр.
15. Соколов М. М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. – М.: Энергия 1976, 488 стр.

16. *Сиротин А. А.* Автоматическое управление электроприводам. – М.: Энергия, 1969. 560 стр.
17. *Филиппов Б. А., Ильинский Н. Ф.* Основы электропривода. – М.: МЭИ, 1977. 203 стр.
18. *Батоврин А. А., Дашевский П. Г.* и др. Цифровые системы управления электроприводами. – Л.: Энергия, 1977. 256 стр.
19. Электротехнический справочник. Т. 3. – М.: Энергоиздат, 1982. 560 стр.
20. *Миллер Е. В.* Электрооборудование и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: “Высшая школа”, 1965. 304 стр.
21. *Устатенко С. Т.* и др. Выполнение электрических схем по ЕСКД, изд. стандартов. – М.: 1989. 328 стр.

## MAZMUNY

Giriş. ....	7
-------------	---

### I BAP ELEKTROPRIWODYŇ DINAMIKASYNYŇ ESASLARY

1.1. Elektropriwod barada düşünje . . . . .	9
1.2. Elektropriwodyň hereketini aňladýan esasy deňlemeler. . . . .	11
1.3. Elektropriwodyň aýlanýan hereketini aňladýan esasy deňlemesinden gelip çykýan birnäçe ýagdaýlar . . . . .	12
1.4. Statiki garşylyklaryň hem-de mahowikleriň getirilen momentleri . .	17
1.5. Güýjüň we mahowik massanyň öňe-yza göni hereketlerini aýlanýan herekete getirmek . . . . .	20
1.6. Elektropriwody işe goýbermek (pusk) we işini togtatmak (tormoz) üçin $t$ -wagtyň dowamlylygyny kesgitlemek . . . . .	22
1.7. Dinamiki moment göni baglanyşyk boýunça üýtgände $t$ -wagtyň dowamlylygyny kesgitlemek . . . . .	24
1.8. Hereketlendiriji işe goýberilende ýa-da işläp durka togtadylanda, onuň walynyň gyşarma $\alpha$ burçunyň kesgitlenişi. . . . .	27

### II BAP ELEKTROPRIWODYŇ MEHANIKI HÄSIÝETNAMALARY

2.1. Önümçilik mehanizmleriniň we elektrik hereketlendirijileriň mehaniki häsiýetnamalary . . . . .	28
2.2. Elektrik hereketlendiriji bilen önümçilik mehanizminiň bilelikdäki mehaniki häsiýetnamalary . . . . .	32
2.3. Parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijisiniň mehaniki häsiýetnamasy . . . . .	34
2.4. Parallel oýandyryjyly hereketlendirijiler üçin mehaniki häsiýetnamalary gurmak . . . . .	38



2.5. Parallel oýandyryjyly hereketlendirijileriň tormozly iş düzgünleriniň mehaniki häsiýetnamalary . . . . .	46
2.6. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary . . . . .	58
2.7. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň togtayyşly iş düzgüniniň mehaniki häsiýetnamalary . . . . .	70
2.8. Hemişelik toguň hereketlendirijisinde oýandyryjy sarymlaryň kowçum (bilelikde) birleşdirilişiniň mehaniki häsiýetnamalary. . . . .	75
2.9. Asinhron hereketlendirijiniň mehaniki häsiýetnamalary . . . . .	78
2.10. Asinhron hereketlendirijiniň togtama iş düzgünlerinde işledilendäki mehaniki häsiýetnamalary . . . . .	93
2.11. Sinhron hereketlendirijiniň mehaniki hem-de burç häsiýetnamalary .	104

### **III BAP**

#### **ELEKTROPRIWODLARYŇ AÝLANÝAN TIZLIKLERINIŇ SAZLANDYRYLYŞY**

3.1. Elektropriwodlaryň aýlanýan tizliklerini sazlamagyň esasy görkezijileri . . . . .	110
3.2. Parallel oýandyryjyly hemişelik toguň hereketlendirijilerinde aýlanýan tizlikleriň sazlanýşy . . . . .	118
3.3. Generator – hereketlendiriji ulgamlarynda oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijileriniň aýlanýan tizlikleriniň sazlanýşy. . . . .	128
3.4. Oýandyryjy sarymy parallel hereketlendirijiniň ýakorynyň şuntirlenep aýlanýş tizliginiň sazlanýşy . . . . .	135
3.5. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hemişelik toguň hereketlendirijisiniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşy. . . . .	145
3.6. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň ýakorynyň ýa-da oýandyryjy sarymynyň şuntirlenip aýlanýan tizliginiň sazlanýlyşy . . . . .	147
3.7. Hemişelik toguň hereketlendirijilerini üýtgeýän toguň çeşmesinden özgerdijiler arkaly ýymitlendirip tizlikleriň sazlanýşy. . . .	152
3.8. Üýtgeýän toguň hereketlendirijileriniň aýlanýan tizlikleriniň sazlanýşy .	161
3.9. Asinhron hereketlendirijiniň rotorynyň zynjyryna garşylyk birleşdirilip aýlanýan tizlikleri sazlamak . . . . .	162
3.10. Asinhron hereketlendirijiniň polýuslarynyň sanynyň üýtgedilip, aýlanýan tizlikleriň sazlanýlyşy . . . . .	163

3.11. Tok çeşmesiniň ýygylgyny üýtgedip asinhron hereketlendirijiniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşy . . . . .	168
3.12. Üýtgeýän toguň kollektorly hereketlendirijileriniň aýlanýan tizliginiň sazlanýşy . . . . .	174

#### **IV BAP**

### **ELEKTROPRIWODLARDA GEÇİŞ DÜZGÜNLERI**

4.1. Umumy ýagdaýlar . . . . .	177
4.2. Elektropriwodlara täsir edýän güýçler we momentler . . . . .	179
4.3. Priwodyň tizlenmeginiň hem-de haýallanmagynyň wagty. Iň amatly üstaşyryň gatnaşygynyň kesgitlenilşi . . . . .	181
4.4. Priwodyň hereketini aňladýan deňlemäniň grafiki hem-de grafoanalitiki çözülişi . . . . .	184
4.5. Hemişelik toguň parallel oýandyryjyly hereketlendirijisinde geçiş düzgünleri . . . . .	189
4.6. Hemişelik toguň parallel oýandyryjyly hereketlendirijisinde geçiş prosesiniň energetikasyny seljeriş . . . . .	204
4.7. Oýandyryjy sarymy yzygider birikdirilen hereketlendirijiniň priwodlarynda geçiş prosesleri . . . . .	210
4.8. Üç fazaly toguň asinhron hereketlendirijili elektropriwodlarynda geçiş prosesleri . . . . .	212
4.9. Asinhron hereketlendirijili elektropriwodlarda geçiş wagtynda energiýalaryň ýitgileri . . . . .	220
4.10. Geçiş wagty elektropriwodlarda ýitirilýän energiýalaryň azaldylyşynyň usullary . . . . .	222

#### **V BAP**

### **PRIWODLAR ÜÇIN ELEKTRIK HEREKETLENDIRIJILERIN KUWWATLARINYŇ SAÝLANYLYŞY HEM-DE OLARYŇ ÝÜKLENIŞINIŇ DIAGRAMMALARY**

5.1. Hereketlendirijileriň kuwwatlaryny saýlamak boýunça esasy düşüňjeler . . . . .	226
5.2. Dowamly iş düzgünlerinde hereketlendirijileriň gyzmagy hem-de sowamagy . . . . .	230
5.3. Elektrik hereketlendirijileriň iş düzgünlerine görä toparlara bölünişleri	234
5.4. Dowamly ýüklenen hereketlendirijileriň kuwwatlarynyň saýlanyşlary	237
5.5. Ekwiwalent toguň, momentiň hem-de kuwwatyň usullary . . . . .	240
5.6. Şahtalarda ulanylýan elektropriwodlaryň yük göterijiliginiň diagrammalary . . . . .	244

## **VI BAP**

### **ELEKTROPRIWODLARYŇ AWTOMATIK DOLANDYRYLYŞY**

6.1. Elektropriwodlary awtomatik dolandyrmak üçin ulanylýan elementleriň şertli belgilenişleri . . . . .	251
6.2. Rotory gysga utgaşdyrylan asinhron hereketlendirijiniň işe goýberilişini, rewerslenişini hem-de togtadylyşyny awtomatik dolandyrmak . . . . .	254
6.3. Rotory fazaly asinhron hereketlendirijileri awtomatik dolandyrmak . .	258
6.4. Hemişelik toguň hereketlendirijileriniň awtomatlaşdyrylyşyna birnäçe mysallar . . . . .	260
6.5. Elektrik hereketlendirijileri togtatmagyň awtomatlandyrylyşyna birnäçe mysallar . . . . .	264
Peýdalanylan edebiýatlar . . . . .	270

*Alyhan Ökdirow, Annameret Meredow,  
Jahansoltan Meredowa*

# ELEKTROPRIWODYŇ ESASLARY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Redaktory	<i>S. Ärnazarow</i>
Teh. redaktory	<i>T. Aslanowa</i>
Suratçy	<i>Ý. Peskowa</i>
Kompýuter bezegi	<i>A. Nurýagdyýew</i>
Neşir üçin jogapkär	<i>O. Annaýew</i>

Ýygnamaga berildi 30.10.2014. Çap etmäge rugsat edildi 01.12.2015.

Ölçeği 60x90  $\frac{1}{16}$ , Edebi garnitura.

Çap listi 17,25. Şertli çap listi 17,25. Hasap-neşir listi 10,4.

Neşir № 60. Sargyt № 26. Sany 500.

Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň “Ylym” neşirýaty.

744000. Aşgabat, Türkmenbaşy şaýoly, 18.

Türkmen döwlet neşirýat gullugynyň Aşgabat çaphanasy.

744020. Aşgabat, 2029-njy köçe, (Esgerler), 7.