



**Коммерциялық емес
акционерлік қоғам**

**АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА
ЖӘНЕ
БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электржетегі және
автоматтандыру
кафедрасы

ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

5B071800 - Электр энергетикасы мамандығының студенттері үшін
курстық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2017

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: М.А. Мустафин, Н.К. Алмуратова. Электр жетегі. 5В071800 - Электр энергетикасы мамандығының студенттері үшін курстық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар. – Алматы: АЭЖБУ, 2017.-25 б.

Әдістемелік нұсқаулықа жұмыстың орындалу бағдарламасы, дайындау әдістері және тәжірибе жүргізу, алынған есептерге қорытынды жүргізу берілген.

Әдістемелік нұсқаулық 5В071800 – Электр энергетикасы мамандығы бойынша білім алатын студенттерге арналған.

Сурет. 11, кесте 3, әдеб. – 4 атау.

Пікір беруші: Курпенов Б.К.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ 2017 ж. баспа жоспары бойынша шығарылады.

© КЕАҚ «Алматы энергетика және байланыс университеті», 2017ж.

2017 ж. жиынтық жоспар, реті. 22

Марат Аскарлович Мустафин
Нургуль Канаевна Алмуратова

ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

5B071800 - Электр энергетикасы мамандығының студенттері үшін
курстық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Редактор Ж. Изтелеуова
Стандарттау бойынша маман Н.Қ. Молдабекова

_____басуға қол қойылды
Таралымы 50 дана.
Көлемі 1,5 оқу.-бас.әд.

Пішіні 60x84 1/16
Баспаханалық қағаз №1
Тапсырыс бағасы 750 тенге.

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы
050013, Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126.

Кіріспе

Заманауи автоматтандырылған электр жетектерінің негізгі функционалды міндеттері:

- жүргізу үрдісін басқару, тежеу, реверс (басқару функциялары). Бұл функцияларын автоматтандырылған электр жетегінің тұйықталмаған жүйесі орындай алады;

- берілген мәндерді тұрақты ұстап тұру (ток, жылдамдық, жай-күйі, қуат және т.б.с.с.) (Тұрақтандыру функциясы). Бұл функция тек автоматтандырылған электр жетегінің тұйықталған жүйесі арқылы орындалуы мүмкін. Кері байланыс арқылы тұйықталатын шама, негізгі реттелетін шама болып табылады;

- жүйеге ендіретін өзгерілетін кіріс дабылын бақылау (қадағалау функциясы). Бұл тапсырма тек тұйықталған жүйелерде орындалуы мүмкін. Заманауи қадағалау жүйесі, әдетте, үш тізбекті құрайды;

- автоматтандырылған электр жетегі жұмысының бейімді режимдерін таңдау (бейімдеу функциясы). Тапсырма тұйықталған жүйелерде орындалуы мүмкін.

Автоматтандырылған электр жетегі жүйесі, негізгі функциялардан басқа және де келесідей қосымша жұмыс жасайды:

- электр қозғалтқышы мен жабдықты қысқа тұйықталудан қорғау, ток бойынша асқындаудан, кернеу бойынша және т.б.;

- операциялардың белгілі бір жүйелілігін қамтамасыз ететін және апаттық режимдерден сақтайтын, блоктау;

- дабыл қағу.

Реттелетін тұрақты ток электр жетектері, координаттардың кең аймақта тез, дәл және үздіксіз реттеу артықшылықтарына ие. Қолданыстағы тұрақты ток электр жетектері тиристорларының қуат аймағы киловаттан, бірнеше мың киловаттқа дейін созылады (мысалы, металл илеу). «Тиристорлы түрлендіргіш - қозғалтқыш» (ТТ - Қ) жүйесі күрделі аналогты және сандық басқару жүйелерімен, сондай-ақ микропроцессорлық жүйелермен жабдықталған, бұл электр жетегінің жоғары деңгейде реттеуге мүмкіндік береді.

1 Курстық жұмысқа тапсырма

Берілген курстық жұмыста айналу жылдамдығын тұрақтандыру және жүргізу токтарын азайту мақсатында, «тиристорлық түрлендіргіш - қозғалтқыш» жүйесіндегі реттелетін тұрақты ток электр жетегі есептеледі. Курстық жұмыстың негізгі міндеті - өзіндік шығармашылық жұмыс дағдыларын дамыту және жобалаудың негізгі кезеңдерімен танысу. Курстық жұмысты орындау нәтижесінде студенттер автоматтандырылған электр жетек элементтерін есептеу және таңдау әдістерін игеруі, автоматтандырылған басқару жүйесін талдау және сараптау, электрмеханикалық және күштік

электронды құрылғыларды компьютерде моделдеу және есептеу үшін ЭЕМ бағдарламаларын қолдану дағдыларын меңгеруі тиіс.

Курстық жұмысты орындау үшін:

а) каталог бойынша электр қозғалтқышын таңдап, оның табиғи электрмеханикалық сипаттамасын және минималды жылдамдық кезіндегі сипаттамасын есептеу және тұрғызу;

б) ТТ – Қ сұлбасы бойынша электр жетегінің күштік принципіалды сұлбасын есептеу және тұрғызу (түрлендіргіш сұлбасын өз вариантына сау таңдау), сұлбаның негізгі элементтерін таңдау;

в) электр жетегінің тұйықталмаған жүйесінің статикалық электрмеханикалық сипаттамасын есептеу және тұрғызу;

г) электр жетегінің автоматты басқару жүйесінің функционалды сұлбасын тұрғызу, қажетті кері байланыс мөндерін және токтың үзілу түйінін есептеу (үзілу тогы – $1,5 I_H$, тоқтау тогы $-2 I_H$);

д) электр жетегінің тұйықталған жүйесінің статикалық электрмеханикалық сипаттамаларын есептеу және тұрғызу.

Тапсырма нұсқалары 1 және 2 кестеден, студенттің сынақ кітапшасының нөмірінен және фамилиясының алғашқы әріпімен таңдалады $\eta_H = 0,92$ $U_H=220$ В.

1 к е с т е

Сынақ кітапшасының соңғы саны	Қуат Р, кВт	Жылдамдық, n, айн/мин	
		А - К	Л - Я
1	1	3000	1500
2	1,5	1500	1000
3	2,2	3000	1000
4	3,2	1500	1000
5	4,5	3000	1500
6	6	3000	1000
7	8	1500	1000
8	10	1000	750
9	14	1500	750
0	19	1000	750

2 к е с т е

Сынақ кітапшасының соңғысының алдындағы саны	Жылдамдықты реттеу аймағы D	Статикалық қателік $\Delta\omega, \%$	Түрлендіргіш сұлбасы
1	5	5	3 ф. нөлдік
2	7	6	3 ф. көпірлік
3	10	5	3 ф. нөлдік
4	12	7	3 ф. көпірлік

5	9	5	3 ф. нөлдік
6	8	9	3 ф. көпірлік
7	11	6	3 ф. нөлдік
8	6	8	3 ф. көпірлік
9	15	6	3 ф. нөлдік
0	10	6	3 ф. көпірлік

3 к е с т е – ТТ сериялы күштік трансформаторлардың техникалық берілгендері

Түрі	Номиналды қуаты, кВА	Номиналды кернеу, U, В		Қысқа тұйықталу шығыны, Вт	Қысқа тұйықталу кернеуі, % номиналдыдан
		біріншілік	екіншілік		
ТТ-1,0	1,0	380/220	104, 208, 260, 400	40	6
ТТ-1,6	1,6	380/220		56	5
ТТ-2,5	2,5	380/220		88	5
ТТ-6	6,0	380/220		210	5
ТТ-8	8,0	380/220		280	5
ТТ-11	11,0	380/220		385	5
ТТ-14	14,0	380/220		490	5
ТТ-19	19,0	380/220		665	5
ТТ-25	25,0	380/220		875	5
ТТ-35	35	380/220		1025	5

Курстық жұмыс қорғауға 20 беттен кем болмайтын есептеу – түсініктеме жазба түрінде жіберіледі.

2 «Тиристорлы түрлендіргіш - қозғалтқыш» сұлбасының электр жетегі

Тұрақты токтың реттелетін электр жетектерінің көп таралған түрі «Тиристорлы түрлендіргіш - қозғалтқыш» сұлбасы (ТТ-Қ 1 сурет).

Тұрақты ток қозғалтқыш (ТТҚ) зәкірінің тиристорлы түрлендіргіштен (ТТ) қоректенген кезіндегі электрмеханикалық сипаттаманың теңдеуі келесідей түрде болады:

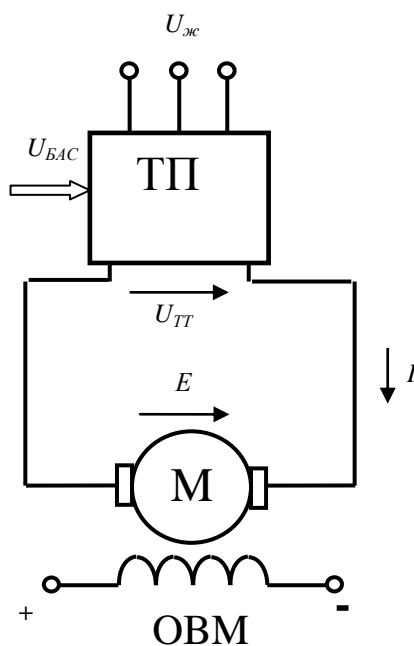
$$\omega = \frac{U_{ТТ}}{k\Phi_H} - \frac{(R_{я} + R_T)}{k\Phi_H} I_{я}, \quad (1)$$

мұндағы ω – қозғалтқыш зәкірінің бұрыштық айналу жылдамдығы;

$U_{ТТ}$ – ТТ-ің шығысындағы кернеу;

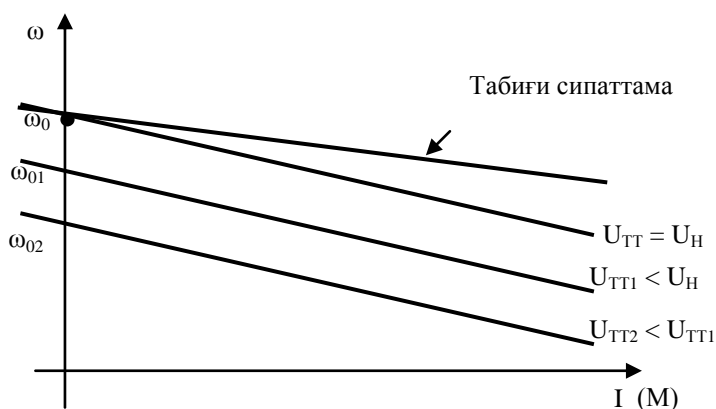
k – қозғалтқыштың коэффициенті;

Φ_H – номиналды магнит ағыны;
 R_3 – қозғалтқыш зәкірінің активті кедергісі;
 R_T – тиристорлы түрлендіргіштің эквивалентті кедергісі;
 I_3 – зәкір тізбегінің тоғы.



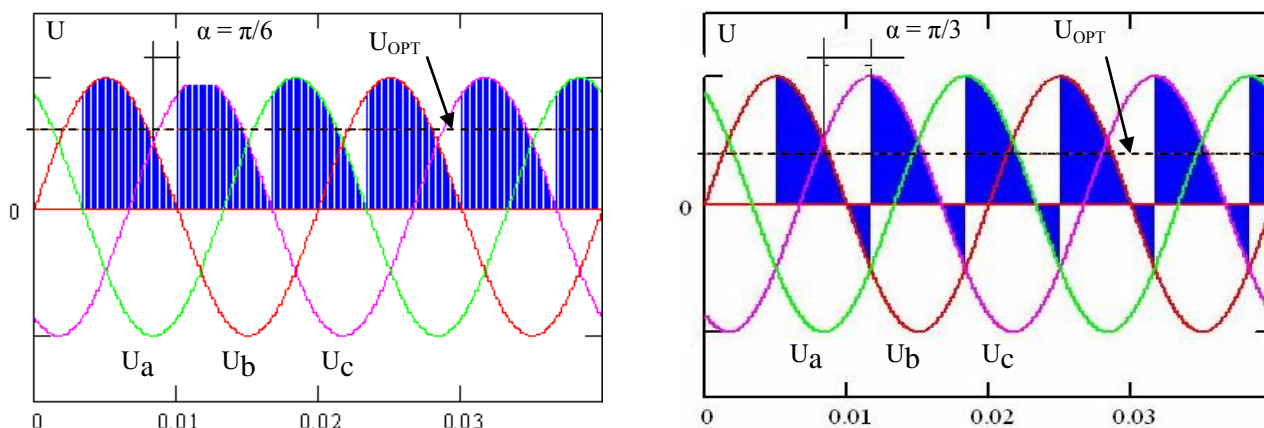
1 сурет

Түрлендіргіш кедергісінің әсер етуінің нәтижесінде, электр қозғалтқышының тұйықталмаған басқару тізбегіндегі сипаттамалары табиғи сипаттамасына қарағанда қатаң болып келеді (2 сурет). Дегенмен, қазіргі заманауи тиристорлы түрлендіргіштерде жүктемені өзгерткен кезде жылдамдықты тұрақтандыратын түрлі кері байланыстар пайдаланылады.



2 сурет

ТТ әрекет ету принципі, кернеумен қоректенетін оң жарты периодты тиристор кілт секілді ашып, қозғалтқышқа кернеудің осы жарты период бөлігін ғана береді (сурет 3).



3 сурет

Бұл жағдайда жүктемедегі орташа түзетілген кернеудің мәні U_{OPT} клапанның ашылуының кешігу бұрышымен, яғни басқару бұрышы α -мен анықталады. Үздіксіз токтың m - фазалық бақыланатын түзеткіш үшін:

$$U_{OPT} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} m U \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha, \quad (2)$$

мұнда U_{d0} – $\alpha=0$ кезіндегі ТТ-ің шығысындағы түзетілген максималды кернеу.

U_{d0} түзетілу сұлбасы арқылы және сұлбаға берілетін кернеу шамасы арқылы анықталады (қоректенетін трансформатордың екілік фазалық кернеуі $U_{2\phi}$):

$$U_{d0} = k_{C\Phi L} U_{2\phi}. \quad (3)$$

Түзетілу сұлбалары үшін коэффициент: көпірлік $k_{C\Phi L} - 2,34$ және нөлдік $k_{C\Phi L} - 1,17$.

3 Электр қозғалтқышын таңдау және электрмеханикалық сипаттаманы есептеу

Тұрақты ток электр қозғалтқышын каталог арқылы немесе тапсырмаға сәйкес үшінші кестеден таңдауға болады.

3 к е с т е – II сериялы қозғалтқыштар, номиналды кернеуі 220 В

	Қуат, кВт	Зәкір тогы, А	ПӘК, ш.б.
1	1	6,0	0,92
2	1,5	8,7	0,92

3	2,2	13,3	0,92
4	3,2	18,3	0,92
5	4,5	24,3	0,92
6	6	33,0	0,92
7	8	43,0	0,92
8	10	58,0	0,92
9	14	79,0	0,92
10	19	105,0	0,92

Қоздырылуы тәуелсіз тұрақты ток қозғалтқыштарының табиғи электрмеханикалық сипаттамаларын тұрғызу үшін:

$$\omega(I_3) = \frac{U_{3H}}{k\Phi_H} - \frac{R_{3\Sigma}}{k\Phi_H} I_3, \quad (4)$$

каталогтардағы қозғалтқыштың зәкір тізбегіндегі кедергі мәнін табу керек немесе оны шамамен алынған формулаға сәйкес жуықтап анықтау керек

$$R_3 \approx 0,5 \frac{U_{3H}}{I_{3H}} (1 - \eta_H). \quad (5)$$

$k\Phi_H$ мәні токтың және айналу жылдамдығының номиналды кезінде (4) формула арқылы анықталады:

$$k\Phi_H = \frac{U_{3H}}{\omega_H} - \frac{R_{3\Sigma}}{\omega_H} I_{3H}. \quad (6)$$

Табиғи электрмеханикалық сипаттама екі нүкте арқылы тұрғызылады (4 сурет): номиналды режим координаттарымен:

$$I_3 = I_{3H}, \quad \omega = \omega_H = \frac{\pi n_H}{30},$$

және бос жүріс режимі координаттарымен:

$$I_3 = 0, \quad \omega = \omega_0 = \frac{U_3}{k\Phi_H}.$$

Номиналды жүктеменің минималды берілген жылдамдығы:

$$\omega_{\min} = \frac{\omega_H}{D}, \quad (7)$$

қозғалтқыштың статорының кернеу мәнін төмендегідей төмендету қажет:

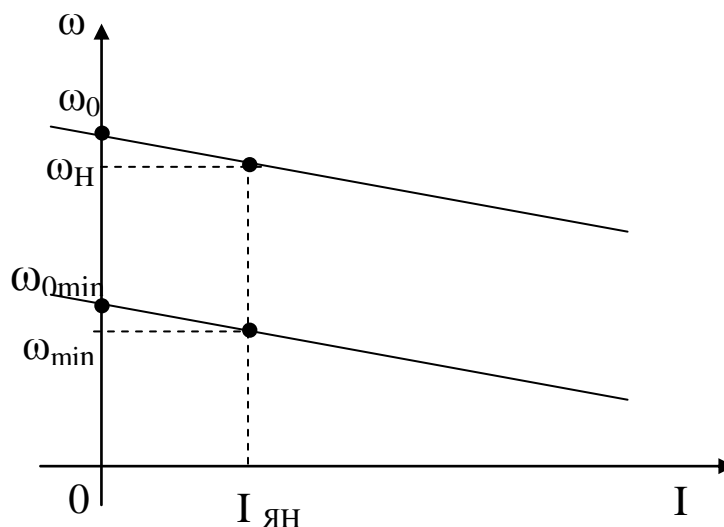
$$U_{3\min} = k\Phi_H \omega_{\min} + I_H R_3. \quad (8)$$

Төмендетілген жылдамдық үшін электрмеханикалық сипаттама номиналды жүктеме нүктелерімен келесі координаттар арқылы тұрғызылады (4 сурет):

$$I_3 = I_{3H}, \quad \omega = \omega_{\min},$$

және бос жүріс режимі келесі координаттармен:

$$I_3 = 0, \quad \omega = \omega_{0\min} = \frac{U_{3\min}}{k\Phi_H}.$$



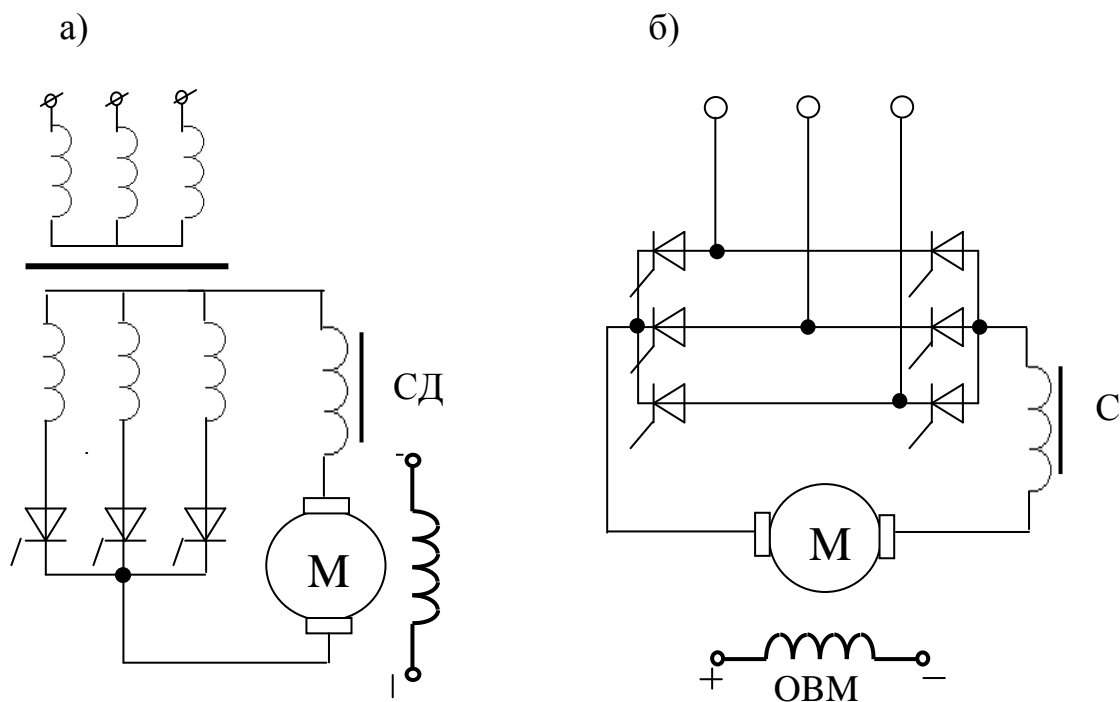
4 сурет – Қозғалтқыштың электрмеханикалық сипаттамасы

4 Тиристорлы түрлендіргіштің күштік сұлбасының элементтерін таңдау және есептеу

5 суретте курстық жұмыста есептелетін, электр жетегінің ТТ-Қ жүйесіндегі күштік тізбегінің принципіалды сұлбасының түрлері көрсетілген.

Үш фазалы нөлдік сұлба 10 кВт қуатқа дейінгі электр жетектерінде қолданылады (5,а сурет). Бұл сұлбаның көпірлік сұлбаға қарағандағы

кемшіліктері шығыс кернеуінің гармоникалық құрамының нашарлығы және трансформатордың қосымша магниттелуі.



5 урет

4.1 Күштік трансформаторды таңдау және есептеу

Бастапқыда трансформатордың қажетті қосалқы кернеуі берілген кернеу үшін (бастапқы орам) анықталады. Бұл жағдайда кейбір қор коэффициенттерін ескеру қажет:

- K_u – желі кернеуінің рұқсат етілген төмендеуін ескеретін, кернеудің қор коэффициенті, $K_u=1,05$;

- K_α - максималды басқару сигналы кезіндегі клапанның толық ашылмауын ескеретін қор коэффициенті (реверсивті емес түрлендіргіштер үшін $K_\alpha=1$, ал реверсивті түрлендіргіштер үшін $K_\alpha=1,2$);

- K_R - трансформатордың орамалары мен клапандарындағы кернеудің жүктеме кезіндегі төмендеуін ескеретін коэффициент, сондай-ақ коммутация бұрышының болуы ($K_R=1,05$).

Сұлбаға берілетін түзетілген кернеу:

$$U_{2\phi} = K_H K_u K_\alpha K_R U_{дн}, \quad (9)$$

мұнда K_H -сұлба коэффициенті (4 кесте);

$U_{дн}$ – қозғалтқыш зәкірінің номиналды кернеуі.

Екінші реттік орамдағы токтың есептелген әсер етуші мәні формуладағы қозғалтқыштың $I_{дн}$ номиналды ток мәні негізінде анықталады:

$$I_2 = K_i K_{T2} I_{dH}, \quad (10)$$

мұндағы K_i - тікбұрыштан ток пішінінің ауытқуын ескеретін коэффициент (тәжірибе бойынша $K_i = 1,05 \dots 1,1$);

K_{T2} – фазалық токтың нақты мәнінің түзетілген токқа қатынасын анықтайтын коэффициент, оның мәндері 4 кестеде тек активті жүктеме үшін берілген.

Активті-индуктивті жүктеме немесе ЭҚК-не қарсы жұмысы кезінде жалпылама мән ретінде пайдалануға болады.

4 к е с т е

Сұлбаның атауы	K_H	$K_{u \max}$	K_{T2}	K_{T1}	K_M
Екі жарты периодты көпірлі	1,11	1,57	1	1	1,11
Үш фазалы нөлдік	0,854	2,09	0,577	0,817	1,345
Үш фазалы көпірлі	0,427	1,05	0,815	0,817	1,045

Трансформатордың типтік қуатын есептеу K_M коэффициентін қолдану арқылы трансформатордың бастапқы және қайталама орамасының қызуын ескере отырып жүргізіледі (K_{T1} , K_{T2} және K_M коэффициенттерінің мәндерін негіздеу «Өндірістік электроника» курсына берілген). Осылайша, қозғалтқыштың якорын қоректендіретін түрлендіргіштің трансформаторы үшін типтік қуаты келесі формула бойынша есептеледі:

$$S_T = K_H \cdot K_u \cdot K_a \cdot K_R \cdot K_i \cdot K_M \cdot U_d I_d. \quad (11)$$

Трансформатор типтік қуаты және екінші реттік кернеуі арқылы таңдалып, бірінші реттік ток арқылы қызуға тексеріледі:

$$I_1 = K_i \cdot K_{T1} \cdot I_d, \quad (12)$$

трансформация коэффициентін ескергенде.

Таңдалған трансформатор үшін фазадағы активті және индуктивті орам кедергілері:

$$R_T = \frac{u_k U_{1\phi H}}{100 I_{1H} k_T^2}, \quad (13)$$

$$x_T = \frac{\Delta P_{K3}}{m I_{1\phi H}^2 k_T^2}. \quad (14)$$

Күштік сұлбаның вентильдерін таңдау, ол арқылы өтетін ток ағымның орташа мәнімен (салқындату жағдайларын есепке ала отырып) және вентильге қолданылатын кернеудің максималды ең лездік мәнімен жүзеге асырылады.

Түрлендіргіш вентильдерін таңдау әдістемелері [1,2] көрсетілген.

4.2 Тегістегіш реакторлардың (дроссель) индуктивтілігін есептеу

ТТ сұлбаларында екі түрі күштік индуктивтік элементтері пайдаланылады: теңдестіру (УД) және тегістеу (СД) реакторлары (дроссельдер).

Теңдестіру дроссельдері реверсивті түрлендіргіштердегі айнымалы теңдестіру тогының амплитудасын шектеу үшін қолданылады. Курстық жұмыста тек реверсипсіз ТТ сұлбалары есептеледі, сондықтан тегістеуші дроссельдер ғана есептеледі.

Тегістегіш реакторлардың орындайтын негізгі екі функциясы: якорь тізбегіндегі токтың шыңырауын (пульсация) шектейді және үздіксіз токтар аймағында жұмысты қамтамасыз етеді.

Шыңыраудың салыстырмалы мәні I_e^* 0,02-ден аспайды және келесідей есептеледі:

$$I_e^* = \frac{I_e}{I_H} = \frac{e_e^* \cdot U_d}{I_H \cdot \omega_0 (L_{ТЕГ} + L_3 + L_T)}. \quad (15)$$

Мұнда e_e^* - ЭҚК шыңыраудың салыстырмалы мәні;

I_H - қозғалтқыштың номиналды тогі;

$L_{ТЕГ}, L_3, L_T$ – қозғалтқыш якорының және трансформатордың тегістегіш реактордың индуктивтілігі (катодты дроссель);

$\omega_0 = 2\pi f m$ – шыңыраудың бұрыштық жиілігі;

f - желі жиілігі;

m – шыңырау саны (үш фазалы нөлдік сұлба үшін $m = 3$, көпірлік сұлба үшін $m = 6$).

Арнайы есептеулер арқылы ашылу бұрышы мен фазалар санының қатынасының қисықтары алынған e_e^* . e_e^* мәні максималды ашылу бұрышынан $\alpha_{макс}$, сәйкесінше қозғалтқыштың минималды жылдамдығына сай алынады. Жұмыста қаралып отырған электр жетектері жиі жүргізу мен тежелу шарттары үшін алынған, сондықтан көпірлік $e_e^* = 0,24$ және нөлдік $e_e^* = 0,52$ түзеті сұлбалары үшін мәндері.

(9) мәнінен тізбектің жалпы индуктивтілігі:

$$L_{3T} = L_{ТЕГ} + L_3 + L_T = \frac{e_e^* \cdot E_{2OPT}}{I_e^* \cdot \omega_0 \cdot I_{НОМ}}, \quad (16)$$

$L_{ТЕГ}$ ізделетін мәні. Тегістеу реакторының болған жағдайында (14) формуланың сол жағына олардың индуктивтілігі қосылады.

Трансформатордың индуктивтілігі:

$$L_T = x_T / 2\pi f, \quad (17)$$

қозғалтқыштың якорь тізбегіндегі индуктивтілік эмпирикалық формула бойынша:

$$L_3 = C_x \cdot \frac{U_H}{I_H \cdot \omega_H \cdot \rho} \quad (18)$$

мұнда коэффициент $C_x = 0,5 \dots 0,6$ компенсацияланбаған машиналар үшін, $C_x = 0,25$ компенсацияланған машиналар үшін.

Реактордың номиналды тогы қозғалтқыштың номиналды тогынан кем болмауы тиіс.

Шыңырауды тегістеу шарттарынан анықталған индуктивтілік мәнін L_{3T} , үзікті токтар аймағы шегінің шартымен тексеру қажет:

$$I_{III.Y} \leq I_{c \min}. \quad (19)$$

Минималды кедергі моментін $M_{c \min}$ біле отырып, минималды статикалық токты $I_{c \min}$ табу қиын емес. Реттелетін бұрыш өскен сайын, шекті-үздіксіз ток $I_{III.Y}$ өседі. Сондықтан оны α_{\max} бұрышы арқылы есептейміз

$$I_{III.Y} = \frac{E_{3T}}{2\pi f L_{3T}} \left(1 - \frac{\pi}{m} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m}\right) \sin \alpha_{\max}. \quad (20)$$

Егер $I_{г.непр} > I_{c \min}$ болса, онда $I_{III.Y} = I_{c \min}$ шартын белгілей отырып, (20) формуласынан L_{3T} жаңа мәнді, содан кейін $L_{ТЕГ}$ (16) тегістеуші дроссельдің индуктивтілігін анықтаймыз.

Жиі іске қосу және тежеу режимінде жұмыс істейтін жүйелерді есептеу барысында L_{3T} мәнін шектік-үздіксіз тогымен индуктивтілігін тексеру қажет емес.

4.3 Электр жетегі мәндерін анықтау және электрмеханикалық сипаттамаларын тұрғызу

Түрлендіргіштің ішкі эквивалентті кедергісі

$$R_T = R_{TT} + n \cdot R_{TEI} + R_K \quad (21)$$

Көпірлік сұлба үшін R_{TT} екі есе көп (екі фазалық орам кедергісі). Коммутациялық кедергі мәні:

$$R_K = \frac{x_T \cdot m}{2\pi}, \quad (22)$$

мұнда m – түзетілетін фаза саны (үшфазалы нөлдік сұлба үшін $m = 3$, көпірлік сұлба үшін $m = 6$).

n мәні тізбектей жалғанған тиристорлар санын білдіреді (көпірлік сұлба үшін екі еселенеді).

Зәкір тізбегіндегі эквивалентті кедергі келесідей болады:

$$R_3 = R_3 + R_{II} \quad (23)$$

Бұдан ары тұйықталмаған жүйедегі электр жетегінің статикалық электромеханикалық сипаттамалары есептеледі. Түрлендіргіштің номиналды жылдамдық және номиналды жүктеме кезіндегі ЭҚК-і тең болуы керек:

$$E_H = k\Phi_H \omega_H + \Delta U + I_H R_3, \quad (24)$$

мұнда $\Delta U = \Delta U_K + \Delta U_{III}$ - қозғалтқыштың түйіспелік щеткаларындағы және тиристорлар өтпелеріндегі кернеу төмендеуі.

Статикалық сипаттамасы токтың өзгеру формуласы арқылы алынады:

$$\omega(I) = \frac{E_H - \Delta U - I \cdot R_3}{k\Phi_H}. \quad (25)$$

Номиналды жүктеме және минималды жылдамдық кезіндегі түрлендіргіштің ЭҚК:

$$E_{n.\min} = \frac{k\Phi_H \omega_H}{D} + \Delta U + I_H \cdot R_3. \quad (26)$$

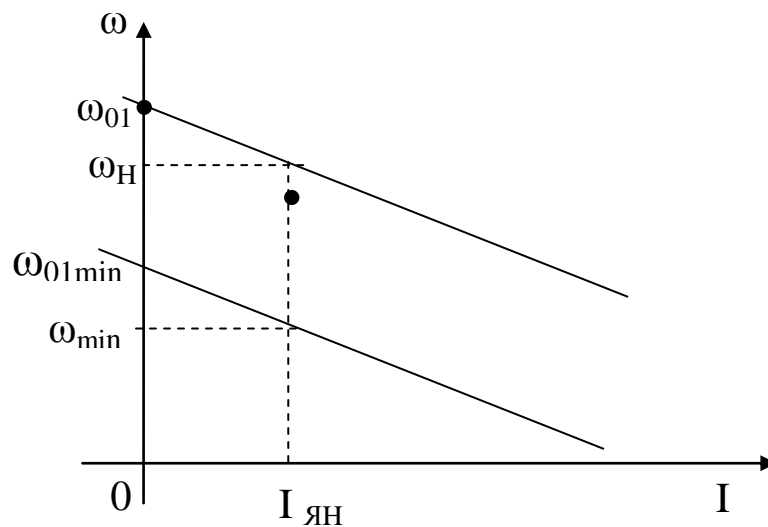
Статикалық сипаттама токтың келесі формула бойынша өзгеру кезінде, минималды жылдамдықтар үшін алынады:

$$\omega(I) = \frac{E_{n.\min} - \Delta U - I \cdot R_3}{k\Phi_H}. \quad (27)$$

Жоғарғы және төменгі статикалық сипаттамалар (21), (23) формулалары бойынша тұрғызылады және бір сызбада көрсетіледі (6 сурет), мұнда:

$$\omega_{01} = \frac{E_H - \Delta U}{k\Phi_H};$$

$$\omega_{01\min} = \frac{E_{n.\min} - \Delta U}{k\Phi_H}.$$

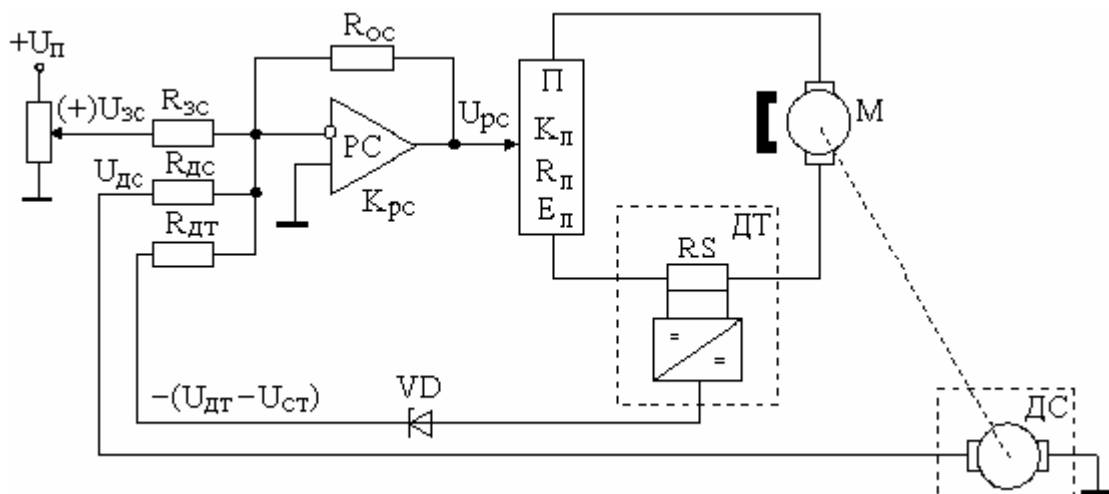


6 сурет

5 Жылдамдықты және өшіруші токты теріс кері байланысты қос тізбекті электр жетегі жүйесі

Алдыңғы есептеулерден көріп отырғанымыздай, вентильді түрлендіргішті электр жетегінің механикалық сипаттамаларының қатандығы салыстырмалы түрде аз. Осыған байланысты, электр жетегі жүйелерінде жылдамдықты реттеу диапазонын кеңейту үшін, оң мәнді якорь тогы байланысы, немесе жылдамдық пен кернеудің теріс кері байланысы пайдаланылуы мүмкін. Вентильді түрлендіргіште және қозғалтқыштың якорьінде ток мәнін шектеу үшін токтың теріс кері байланысын (өшіру тогі) қолдануға болады. Бұл жағдайда электр жетегі экскаватор сипаттамасына ие.

Жылдамдықты және өшіру тогі (кешіктірілген кері байланыс) бойынша теріс кері байланысты АЭЖ жүйесі 7 суретте көрсетілген.



7 сурет

Якорь тогының мәніне байланысты, электр жетегінің екі жұмыс режимі болуы мүмкін:

$$а) I < I_{Y3Y}, |U_{TD}| < U_{CTVD}.$$

Жұмыстық аймақта тек бір теріс жылдамдықты кері байланыс жұмыс істейді (күшейткішке тоқтық кері байланыс сигналы қолданылмайды). Басқару кернеуі ($R_{BC} = R_{JD}$ кезінде) тең болады:

$$U_{BAC} = (U_{BC} - U_{JD}) \cdot K_{JP}. \quad (28)$$

Түрлендіргіштің ЭҚК-і, электр қозғалтқышының ЭҚК-і және баламалы кедергісінде кернеудің төмендеуімен теңестіріледі

$$E_T = U_{BAC} \cdot K_T = E + I \cdot R_{\Delta} \quad (29)$$

мұнда $E = k \cdot \Phi_H \cdot \omega$ - ТТҚ-ның зәкірінің ЭҚК-і;

K_T – түрлендіргіштің күшейткіш коэффициенті.

Жылдамдық датчигінің кернеуі қозғалтқыш якорінің жылдамдығына пропорционал

$$U_{JD} = K_{JD} \cdot \omega. \quad (30)$$

(28), (29) және (30) теңдеулерінің ортақ шешімі, жылдамдықты теріс кері байланысты электр жетегінің бірінші бөлімінің электромеханикалық сипаттамасын (31) береді

$$(U_{BC} - K_{JD} \cdot \omega) \cdot K_{JP} \cdot K_T = k \cdot \Phi_H \cdot \omega + I \cdot R_{\Delta},$$

$$U_{BC} \cdot K_{JP} \cdot K_T + K_{JD} \cdot \omega \cdot K_{JP} \cdot K_T = k \cdot \Phi_H \cdot \omega + I \cdot R_{\Delta},$$

$$\omega = \frac{U_{BC} K_{JP} K_m K_{\kappa}}{1 + K_{JP} K_m K_{\kappa}} - \frac{I R_{\Delta} K_{\kappa}}{1 + K_{JP} K_m K_{\kappa}}, \quad (31)$$

мұнда $K_{\kappa} = I/k\Phi_H$ – қозғалтқыштың беру коэффициенті.

б) $I > I_{\text{YЗУ}}, |U_{\text{ТД}}| > U_{\text{СТ VD}}$.

Токтың осы аймағында жылдамдықты реттегіштің кірісінде екі кері байланыс бір мезгілде әрекет етеді:

- жылдамдық сипаттамасын қатаңдатуға ұмтылатын жылдамдық сигналы;

- жылдамдық сипаттамасын жұмсақ жасауға ұмтылатын ток бойынша сигнал.

Қажетті сипаттаманы алу үшін ток бойынша кері байланыс басым болады. Басқару сигналы келесі мәнге тең болады:

$$U_{\text{БАС}} = (U_{\text{BC}} - U_{\text{ЖД}} - U_{\text{ДТ}} + U_{\text{СТ}}) \cdot K_{\text{ЖР}}, \quad (32)$$

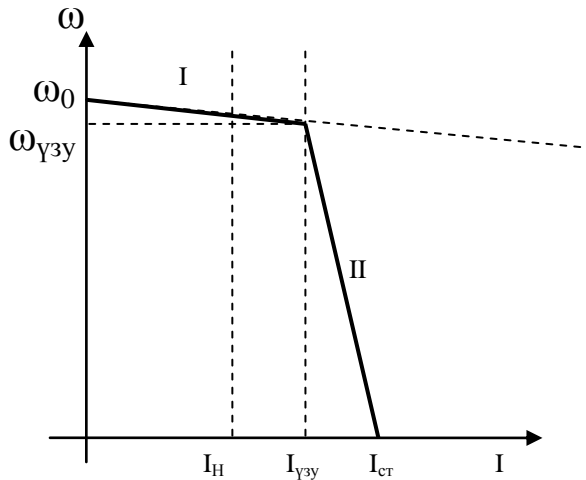
мұнда $U_{\text{ТД}} = \beta \cdot I \cdot R_{\text{Э}}$ – ток датчигінің сигналы;

$U_{\text{СТ}}$ – стабилитронның бұзылу кернеуі.

Бірлескен теңдеулерді (29), (30) және (32) шешетін болсақ, жылдамдық пен токтың кері байланыс болған кезде электр жетегінің электромеханикалық сипаттамасының екінші бөліміне өрнек (33) аламыз:

$$[U_{\text{BC}} - \omega \cdot K_{\text{ЖД}} - \beta \cdot I \cdot (R_a + R_T) + U_{\text{СТ}}] \cdot K_{\text{ЖР}} \cdot K_T = c_e \cdot \Phi_H \cdot \omega + I \cdot (R_a + R_T),$$

$$\omega = \frac{U_{\text{bc}} K_{\text{жр}} K_m K_{\kappa} + U_{\text{ст}} K_{\text{жр}} K_m K_{\kappa}}{1 + K_{\text{жр}} K_m K_{\text{жр}} K_{\kappa}} - \frac{I R_{\text{Э}} (1 + \beta K_{\text{жр}} K_m) K_{\kappa}}{1 + K_{\text{жр}} K_m K_{\text{жр}} K_{\kappa}}. \quad (33)$$



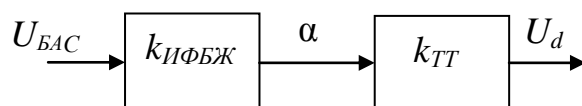
8 сурет

Жылдамдығымен және өшіруші токты екі тізбекті теріс кері байланысты АЭЖ жүйесінің статикалық сипаттамалары 8 суретте көрсетілген.

Мұндай сипаттаманы қалыптастыру үшін түрлендіргіштің, жылдамдық және ток датчиктерінің, реттегіштердің параметрлерін есептеу қажет.

4.1 Басқарылатын түзеткіш АБЖ бірлігі ретінде

Басқарылатын түзеткіштің статикалық қасиеттерін талдай отырып, оның құрылымдық сұлбасын ыңғайлы екі бірлікті байланыс арқылы көрсетуге болады (5 сурет): импульстік-фазалық басқару жүйелері (ИФБЖ) және тиристорлы түрлендіргіші (күштік блогы). ИФБЖ кіріс сигналы - бұл басқару кернеуі, ол тиристордың реттеу бұрышын α түрлендіреді және күштік блогының шығысында U_d түзетілген кернеудің орташа мәнін анықтайды.



9 сурет

ИФБЖ беру коэффициенті - басқару бұрышының артуы басқару кернеуінің артуына байланысты:

$$k_{ИФБЖ} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta U_{БАС}} \left(\frac{\text{эл.град}}{В} \right). \quad (34)$$

Тиристордың түрлендіргіштің өзіндік беру коэффициенті - түзетілген кернеудің орташа мәнінің артуы - тиристордың басқару бұрышын ұлғайту:

$$k_{ТТ} = \frac{\Delta U_d}{\Delta\alpha} \left(\frac{В}{\text{эл.град}} \right). \quad (35)$$

Басқарылатын түзеткіштің жалпы арту коэффициенті - түзетілген кернеудің орташа мәнінің басқару кернеуінің артуына қатынасы:

$$k_{АРТУ} = \frac{U_d}{U_{БАС}} \quad (36)$$

Құрылымдық сұлбаға байланысты:

$$k_{АРТУ} = k_{ИФБЖ} k_{ТТ}. \quad (37)$$

Тиристорлы түрлендіргіштің динамикалық режимдеріндегі электр жетегінің құрылымдық сұлбасының элементі ретінде беріліс функциясы бар инерциялық байланысқа ие

$$W_T(p) = \frac{k_T}{T_T p + 1} \quad (38)$$

Уақыттың тұрақты мөлшерінің шамасы T_T әртүрлі жазылуы өте күрделі факторлардан тәуелді. Сондықтан практикалық есептеулерде T_T мәнін 0,005-тен 0,015 с -қа дейінгі диапазонда қабылданады.

4.2 Басқарылатын түзеткіштің статикалық сипаттамаларын есептеу мысалы

Берілгені:

- түрлендіргіш көпірлік сұлбамен жиналған, $k_{cxl}=2.34$;
 - $U_{жс} = 220$ В – трансформатордың вентильді орамасының фазалық кернеуі;

- $U_{бас\ max} = 10$ В – басқарудың қабылданған максималды кернеуі.

Арккосинусоида сипаттамасындағы ИФБЖ инвертордың реттеу бұрышы:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{U_{бас}}{U_{бас\ max}}\right). \quad (39)$$

ИФБЖ-ның сызықтық сипаттамасында инвертордың реттеу бұрышы:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{U_{бас}}{U_{бас\ max}}\right). \quad (40)$$

Тиристорлы түрлендіргіштің көпірлік сұлбасындағы түзеткіштің ЭҚК-і:

$$E_{du} = k_{cx} U_c \cos\alpha. \quad (41)$$

ИФБЖ-ның әртүрлі нұсқалары үшін инвертордың күшейту коэффициенті (39), (40), (41) формулаларды сәйкес анықтау үшін «Mathcad» қосымшасын қолдану арқылы есептеу бағдарламасы пайдаланылуы мүмкін. «1» индексі сызықты ИФБЖ белгіленеді.

Исходные данные

$U_c := 220$ вторичное фазное напряжение трансформатора

$k_c := 2.34$ коэффициент мостовой схемы

$u_m := 10$ максимальное напряжение управления

Решение

$E_{do} := k_c \cdot U_c$ максимальное выпрямленное напряжение

$\beta(U_u) := \arccos\left(\frac{U_u}{u_m}\right)$ характеристика арккосинусоид. СИФУ

$\beta_1(U_u) := \left(\frac{\pi}{2}\right)\left(1 - \frac{U_u}{u_m}\right)$ характеристика прямоуг. СИФУ

Характеристика ТП с арккосинусоидальной СИФУ

$E(U_u) := E_{do} \cdot \cos(\beta(U_u)) \text{ float } ,4 \rightarrow 51.48 \cdot U_u$

Характеристика ТП с прямоугольной СИФУ

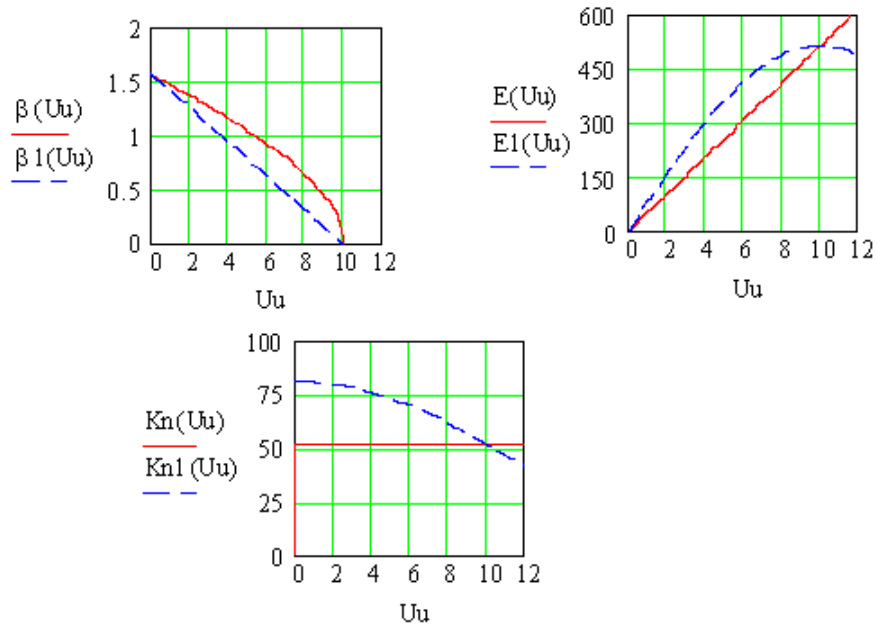
$$E1(Uu) := Edo \cdot \cos(\beta1(Uu)) \rightarrow 514.80 \cdot \cos\left[\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \left(1 - \frac{1}{10} \cdot Uu\right)\right]$$

Кп инвертора с арксинусоидальной СИФУ

$$Kn(Uu) := \frac{E(Uu)}{Uu}$$

Кп инвертора с прямоугольной СИФУ

$$Kn1(Uu) := \frac{E1(Uu)}{Uu}$$



10 сурет – Mathcad бағдарламасында алынған басқарылатын түзеткіштің статикалық сипаттамалары

10 суретте ИФБЖ-ны (а), түрлендіргіш (б) және түзеткішті беру коэффициентінің (с) реттеу сипаттамаларын есептеу нәтижелері келтірілген.

Суреттегі тұтас сызық арксинусоидаль ИФБЖ кезіндегі түзеткішінің, ал үзік сызық сызықтық ИФБЖ кезіндегі сипаттамаларын көрсетеді. Бірінші жағдайда k_{II} - тұрақты мән, екінші жағдайда реттеу аумағында өзгереді. Кейінгі есептеулер үшін ЭҚК-і түзеткішінің белгілі бір механизмі үшін k_{II} мәнін анықтаймыз.

4.3 Кері байланыс мәндерін анықтау

Номиналды жүктеме кезіндегі тұйықталмаған жүйенің жылдамдығының өзгеруі:

$$\Delta\omega_{\text{ТҮЙЫҚТАЛМАҒАН}} = \frac{I_H \cdot R_{\Sigma}}{C}. \quad (42)$$

Тұйықталған жүйедегі жылдамдығының өзгеруі:

$$\Delta\omega_{\text{ТҮЙЫҚТАЛҒАН}} = \frac{\omega_H}{D} \cdot \frac{\delta_{\text{ТҮЙЫҚ}}}{1 - \delta_{\text{ТҮЙЫҚ}}} \quad (43)$$

мұнда $\delta_{\text{ТҮЙЫҚ}} = \frac{\Delta\omega\%}{100}$ - шартты белгідегі статикалық қателік.

(31) сәйкес тұйықталған жүйедегі жылдамдығының өзгеруі:

$$\Delta\omega_{\text{ТҮЙЫҚ}} = \frac{I_H R_{\Sigma}}{k\Phi_H + K_{\text{жр}} K_T K_{\text{жд}}} = \frac{I_H R_{\Sigma} K_{\kappa}}{1 + K_{\text{жр}} K_T K_{\text{жд}} K_{\kappa}} \quad (44)$$

мұнда $K_{\kappa} = 1/k\Phi_H$ – қозғалтқыштың беріліс коэффициенті.

Жылдамдық бойынша кері байланыстың қажетті кері байланысы:

$$K_{\text{КБ}} = K_{\text{жр}} K_{\text{жд}} = \frac{\Delta\omega_p - \Delta\omega_{\text{тұйық}}}{\Delta\omega_{\text{тұйық}} \cdot K_T K_{\kappa}}. \quad (45)$$

K_T күшейу коэффициентінің шамасы ең аз дегенде түрлендіргіштің реттеу сипаттамасынан алынады. Қажетті кері байланыс коэффициенті бойынша нақты мәнге ие:

$$K_{\text{жд}} = \frac{U_{\text{Н.ПГ}}}{\omega_{\text{Н.ПГ}}}$$

Жылдамдық реттегішінің күшейту коэффициенті:

$$K_{\text{жр}} = \frac{K_{\text{КБ}}}{K_{\text{жд}}}. \quad (46)$$

4.4 Өшіру тогы мен жылдамдық бойынша теріс кері байланысты электр жетегі сипаттамаларын есептеу және тұрғызу

Жоғарыда көрсетілген сұлбаны пайдаланған кезде қозғалтқыштың статикалық сипаттамасы 8 суретте көрсетілген және екі бөлімнен тұрады.

$I < I_{\text{yzy}}$ бірінші бөлімінде өшіру тогы жұмыс істемейді. АБЖ белгіленген жылдамдықтың тұрақтылығын сақтау режимінде жұмыс істейді. Жүктеме функциясының жылдамдығы (31) өрнегі бойынша өзгереді. Теңдеуде (31) жылдамдық пен токтың номиналды мәндерінде жоғарғы және төменгі сипаттамалардағы кернеу анықталады:

$$U_{\text{Б.Ж.}} = \frac{\omega_H (1 + K_{\text{жр}} K_T K_{\text{жд}} K_{\kappa})}{K_{\text{жр}} K_T K_{\kappa}} + \frac{I_H R_{\text{Э}}}{K_T K_{\text{жр}}};$$

$$U_{\text{Б.Т.}} = \frac{\omega_H (1 + K_{\text{жр}} K_T K_{\text{жд}} K_{\kappa})}{DK_{\text{жр}} K_T K_{\kappa}} + \frac{I_H R_{\text{Э}}}{K_T K_{\text{жр}}}. \quad (47)$$

Бос жүрістің жоғарғы және төменгі сипаттамалары үшін жылдамдықтар анықталады:

$$\omega_{0\text{Ж}} = \frac{U_{\text{Б.Ж.}} K_{\text{жр}} K_T K_{\kappa}}{1 + K_{\text{жр}} K_T K_{\text{жд}} K_{\kappa}};$$

$$\omega_{0\text{Т}} = \frac{U_{\text{Б.Т.}} K_{\text{жр}} K_T K_{\kappa}}{1 + K_{\text{жр}} K_T K_{\text{жд}} K_{\kappa}}. \quad (48)$$

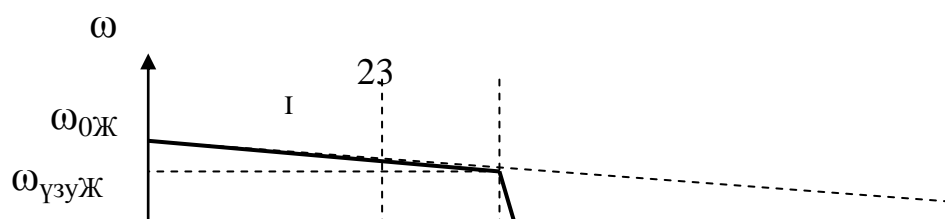
Жоғарғы ($\omega_{\text{yzyЖ}}$) және төменгі ($\omega_{\text{yzyЖ}}$) сипаттамаларындағы кесу жылдамдығы $I = I_{\text{КБ}}$ үшін (31) теңдеумен анықталады. Бірінші бөлімнің электромеханикалық сипаттамасы 11 суретке сәйкес есептеу нүктелерімен тұрғызылады

Екінші бөлімде $I \geq I_{\text{yzy}}$, өшіру тогының нәтижесі ретінде, сипаттаманың бұрылуы (29) теңдеуге сәйкес келеді. Екінші бөлімнің жоғарғы сипаттамасы ($I_{\text{yzyЖ}}$, $\omega_{\text{yzyЖ}}$; $I_{\text{ст}}$, $\omega_{\text{ст}}$) нүктелерінен өтуі үшін, $U_{\text{ст}}$ және β мәндерін $I = I_{\text{yzy}}$ (29) теңдеуіне сәйкес есептейміз:

$$\beta = \frac{\omega_{\text{yzy}} (1 + K_{\text{жр}} K_T K_{\text{жд}} K_{\kappa}) - R_{\text{Э}} K_{\kappa} (I_{\text{ст}} - I_{\text{yzy}})}{K_{\text{жр}} K_T K_{\kappa} (I_{\text{ст}} - I_{\text{yzy}})}, \quad (49)$$

$$U_{\text{ст}} = \frac{I_{\text{ст}} R_{\text{Э}} (1 + \beta K_{\text{жр}} K_T) - U_{\text{БЖ}} K_{\text{жр}} K_T}{K_T K_{\text{жр}}}. \quad (50)$$

Есептеулерге сәйкес теңдеулер (33), (49), (50) бойынша құрастырылған екінші секцияның сипаттамасы келесі нүктелер арқылы өтеді (11 сурет).



Қорытындылай келе, алынған нәтижелерді сипаттап, орындалған жүйенің негізгі параметрлерін берілгендермен салыстыру қажет.

Мазмұны

	Кіріспе.....	3
1	Курстық жұмысқа тапсырма.....	3
2	«Тиристорлы түрлендіргіш - қозғалтқыш» сұлбасындағы электр жетегі.....	5
3	Электр қозғалтқышын таңдау және электрмеханикалық сипаттаманы есептеу.....	6
4	Тиристорлы түрлендіргіштің күштік сұлбасының элементтерін таңдау және есептеу.....	8
4.1	Күштік трансформаторды таңдау және есептеу.....	9
4.2	Тегістегіш реакторлардың (дроесель) индуктивтілігін есептеу.....	8
4.3	Кері байланыс мәндерін анықтау.....	19

4.4	Өшіру тогы мен жылдамдық бойынша теріс кері байланысты электр жетегі сипаттамаларын есептеу және тұрғызу.....	20
	Әдебиеттер тізімі.....	22

Әдебиеттер тізімі

- 1 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. - СПб.: Энергоатомиздат, 2000.- 496 б.
- 2 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 2004. - 416 б.