



**Коммерциялық емес  
акционерлік қоғам**

**ГУМАРБЕК ДӘУКЕЕВ  
АТЫНДАҒЫ  
АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА  
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС  
УНИВЕРСИТЕТИ**

Электр машиналары  
және электр жетегі  
кафедрасы

### **КҮШТІК ТҮРЛЕНДІРГІШ ҚҰРЫЛҒЫЛАР**

5B071800 – Электрэнергетика мамандығының студенттері үшін есептеу-сызба жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: С.Б. Алексеев, К.О. Гали, Э.Б. Даркенбаева. Күштік түрлендіргіш құрылғылар. 5B071800 – Электр энергетикасы мамандығының студенттері үшін есептеу-сызба жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау.– Алматы: Ғ.Ж. Дәукеев атындағы АЭЖБУ, 2021. - 19 б.

Күштік түрлендіргіш құрылғылар курсы бойынша есептеу-сызба жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау. «Түзеткіштің күштік элементтері мен сипаттамаларын есептеу», «Үш фазалы кернеу инверторын есептеу», Үш фазалы көпірлік түзеткіш сұлбасын Matlab бағдарламасында моделін құрастыру және реттеу тақырыптары негізінде тапсырмалар берілген.

Есептеу-сызба жұмыстары 5B071800-Электрэнергетика мамандығының студенттеріне арналған.

Сурет - 5, кесте - 3, әдеб. – 7 атау.

Пікір беруші: ИМЖК каф. доценті, PhD, С.Қ.Абильдинова

«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2020 ж. жоспары бойынша басылды

© «Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ, 2021 ж.

## Мазмұны

Кіріспе.....	4
1 Тапсырма № 1.Түзеткіштің күштік элементтері мен сипаттамаларын есептеу..	5
1.2 Сұлбаның күштік элементін есептеу.....	6
1.3 Түзеткіштің реттемелік сипаттамасы.....	8
1.4 Түзеткіштің шықпалық сипаттамасы.....	8
1.5 Түзеткіштің пайдалы әсер коэффициенті.....	9
1.6 Түзетілген кернеудің және түзеткіштің бірінші реттік тогының жоғары гармоникалар.....	9
2 Тапсырма №2. Үш фазалы кернеу инверторын есептеу.....	11
2.1 Техникалық тапсырма және алғашқы мәліметтер.....	11
2.2 Есептеулерді орындау.....	11
2.3 Тиристор және кері токтың диодтары арқылы жүретін токтың орташа мәнін есептеу.....	12
2.4 Компенсациялаушы конденсаторды есептеу.....	14
2.5 ЖТ-АҚ жүйесін Matlab бағдарламалық ортасында модельдеу.....	14
3 Тапсырма №3. Үш фазалы көпірлік түзеткіш сұлбасын Matlab бағдарламасы моделін құрастыру және реттеу.....	15
3.1 Техникалық тапсырма.....	15
Әдебиеттер тізімі.....	19

## Кіріспе

Қазіргі уақытта асинхронды электр жетегі тұрақты ток қозғалтқыштарын көлік, станоктер және т.б осы сияқты салалардан ығыстырып көбірек қолданыс табуда, себебі асинхронды қозғалтқыш анағұрлым жақсырақ пайдаланылушы сипаттамаларға ие.

Бірақ мұндай қозғалтқыштарды реттеу үшін жиілік түрлендіргіштері немесе инверторлар қажет. Қазіргі кезде биполярлы және өрістік транзисторлардың артықшылықтарын біріктіретін, ысырмалары оқшауландырылған биполярлы транзисторлардың (IGBT) негізінде жасалған ендік-импульстік модуляцияның (ЕИМ) инверторлары танымал бола бастады. Алдыңғы қатардағы өндірушілер бірнеше транзисторларды бір корпусте біріктіретін IGBT-транзисторларды және модульдерді кең ассортиментте шығаруда.

Бұл жұмыста алты кілттен тұратын, ЕИМ-лы үш фазалы жиілік түрлендіргішінің элементтері есептеледі және таңдап алынады.

# 1 Тапсырма №1 Түзеткіштің күштік элементтері мен сипаттамаларын есептеу

## 1.1 Тапсырма

1.1.1 Түзеткіштің берілген сұлбасы үшін есептеу және сұлбаның элементтеріне таңдау жүргізу.

1.1.2 Түзеткіштің реттемелік сипаттамасын активті жүктеме үшін есептеу.

1.1.3 Түзеткіштің шықпалық сипаттамасына басқару бұрышының берілген мәні үшін есептеу жүргізу

1.1.4 Түзеткіштің ПӘК анықтау.

1.1.5 Түзетілген кернеу мен тоқтың жоғары гармоникаларына есептеу жүргізу.

1.1.6 Түзеткіштің шықпалық кернеуінің диаграммасын берілген басқару бұрышы –  $\alpha$  үшін сызу.

1 кесте – Тапсырманы орындауға берілген мәндер

Нұсқа №	Кернеу мәні $U_d$	Ток мәні $I_d$	$\alpha$	Нұсқа №	Кернеу мәні $U_d$	Ток мәні $I_d$	$\alpha$
1	170	3,9	45	18	520	36	55
2	170	6,2	55	19	180	5,5	65
3	170	9,8	65	20	180	8,8	75
4	345	11,5	75	21	180	13,8	40
5	435	12	40	22	350	17	50
6	500	16	50	23	355	16,0	60
7	350	27	60	24	445	17	70
8	440	43	70	25	440	18	25
9	550	37	25	26	675	16	35
10	175	6,5	35	27	680	15	20
11	175	10	20	28	355	39	30
12	175	16,5	30	29	445	43	25
13	360	11	25	30	675	25	30
14	450	17	35	31	680	25	35
15	485	16	20	32	420	19	20
16	360	38	30	33	585	18	30
17	450	42	45	34	385	49	45
				35	400	40	55

## 1.2 Сұлбаның күштік элементін есептеу

Басқарылатын түзеткіштің күштік элементтерін есептеу  $U_d$  және  $I_d$  берілген мәндері бойынша орындалады. Күштік трансформатор  $I_1$  мен  $I_2$  есептік мәндері және  $U_2$  кернеу мен  $S_i$  қуат бойынша таңдалады.

Трансформатордың екінші реттік орамасындағы есептік қуат келесі формуламен анықталады:

$$U_{2\phi} = k_u k_c k_a k_R U_{d0}, \quad (1.1)$$

мұнда  $k_u$  - түзеткіштің берілген сұлбасы үшін  $U_{2\phi} / U_{d0}$  қатынасын сипаттайтын есептік коэффициент (0,427);

$k_s$  - кернеу бойынша қор коэффициенті, ол кернеудің  $U=0.9U_d$  дейін төмендеуін ескереді :  $k_s = (1.05 \div 1.1)$ ;

$k_R$  - трансформатордың орамаларында және вентильдерде түсетін кернеулерді ескеретін кернеу бойынша қор коэффициенті;

$k_a$  - максимал басқару сигналы кезінде вентильдердің толықтай ашылмауын ескеретін қоркоэффициенті,  $k_a = 1.05 \div 1.10$ .

Екінші реттік ормадағы токтың есептік кернеуі:

$$I_2 = k_1 k_i I_d, \quad (1.2)$$

мұнда  $k_i$  - вентильдегі анодтық ток пішінінің төрт бұрыштан ауытқуын ескеретін коэффициент  $k_i = 1.05 \div 1.10$ ;

$k_1$  - берілген сұлба үшін идеалды түзеткіште  $I_{2\phi} / I_d$  токтардың қатынасын сипаттайтын сұлба коэффициенті ( 0,815).

Күштік трансформатордың қуаты келесі формуламен анықталады:

$$S_T = k_s k_a k_i k_c k_R U_d I_d, \quad (1.3)$$

мұнда  $k_s$  - берілген сұлбадағы идеалды түзеткіш үшін қуаттар қатынасын сипаттайтын сұлба коэффициенті  $S_i / U_d \cdot I_d$  , ( $k_s = 1.045$ ).

Трансформатор қуаты және келесі шарттар бойынша таңдалады:

$$S_n \geq S_i, U_2 \geq U_{2ecen}, I_2 \geq I_{2ecen}. \quad (1.4)$$

Есептеу негізінде таңдалатын трансформатор параметрлері келесі 1.2 кестеде көрсетілген.

## 1.2 кесте - Трансформатор параметрлері

№	Параметрлер	Белгіленулері	Мәндері
1	1 Номиналды қуат ( $\kappa VA$ )	$S_H$	
2	2 Бірінші реттік орам кернеуі ( $B$ )	$U_{1H}$	
3	3 Екінші реттік орам кернеуі ( $B$ )	$U_{2H}$	
4	4 Қысқа тұйықталу кернеуі ( $BT$ )	$P_{K3}$	
5	5 Қысқа тұйықталу кернеуі ( $B$ )	$U_{K\%}$	

Тиристорларды таңдау тиристор арқылы жүретін токтың орташа мәні арқылы және суытылуы мен кері кернеудің максимал мәнін ескерумен жүргізіледі.

$$I_{dcp} = K_1 \frac{I_d}{k_0 m} \quad (1.5)$$

мұнда  $K_1$  – ток бойынша қор коэффициенті (2 – 2,5);  
 $m=3$  – трансформатордың шықпалық орамасындағы фазалар саны;  
 $k_0$  - тиристордың суытылу қарқынын ескеретін коэффициент;  
 $\kappa = 1$ , күштеп суытқанда және  $\kappa = 0,3 \div 0,35$  стандартты радиатор арқылы ауамен табиғи суытқан кезде.

Кері кернеудің мәні:

$$U_{bmax} = k_z k_0 U_{d0} \quad (1.6)$$

мұнда  $k_z$  - кернеудің коммутация кезінде өзгеруін және желідегі кернеудің өсуін ескеретін кернеу бойынша қор коэффициенті (1,5 – 1,8);  
 $k_0$  - сұлбаның түріне байланысты болатын кері кернеу коэффициенті (1,065);

$U_{d0}$  -  $\alpha=0$  болған кездегі түзеткіштің кернеуі.

Басқарылатын түзеткіштерде вентильдерге желілік және сұлбалық асқын кернеу әсер етеді. Сұлбалық асқын кернеулер қайталанатын және қайталанбайтын сипатта болуы мүмкін. Қайталанбайтын сипаттағы асқын кернеу түзеткішті желіге қосу және ажыратуға байланысты.

РС – сүзгінің конденсаторның сиымдылығын таңдаған кезде ең қауіпті себептердің бірі–трансформатордың түзеткішті қоректендіріп тұрған орамасын бос жүріс кезінде ажыратудан немесе түзеткіштің индуктивті жүктемесінің тогын ажыратқышпен ажыратудан пайда болатын асқын кернеуді болдырмау үшін келесі өрнекті пайдалануға кеңес беріледі.

$$C = \frac{2}{3} \frac{U_k S_T k_n^2}{\omega_c (U_m^2 - U_p^2)} \quad (1.7)$$

мұнда  $U_k$ - қысқаша тұйықтау кернеуі (салыстырмалы мәні);  
 $S_T$  – трансформатордың номинал қуаты (ВА);  
 $k_n$  - асқын жүктеме тогының номиналға қатынасы ( $k_n = 2$ ) ;  
 $\omega_c$  – желідегі айнымалы кернеудің бұрыштық жиілігі;  
 $U_{неп}$  - вентил үшін рұқсат етілген қайталанбайтын кернеудің мәні;  
 $U_p$  - вентилдегі жұмыстық кернеудің амплитудасы;  
 $RC$  - сүзгінің тізбегіндегі кедергі токтың ең жоғары мәні бойынша келесі шарттан анықталады.

$$R \leq \frac{U_{нп} - U_p}{K_{II} I_H}. \quad (1.8)$$

### 1.3 Түзеткіштің реттемелік сипаттамасы

$U_d$  кернеудің  $\alpha$  тәуелділігін басқарылатын түзеткіштің реттемелік сипаттамасы деп атайды.

Үш фазалы көпірлік түзеткіш үшін  $\alpha \leq 60$  кезде сипаттама келесі формуламен көрсетіледі.

$$U_d = U_{d0} \cos(\alpha). \quad (1.9)$$

$\alpha \geq 60$  болғанда және активті жүктеме кезіндегі сипаттама:

$$U_d = U_{d0} (1 + \cos(60 + \alpha)). \quad (1.10)$$

### 1.4 Түзеткіштің шықпалық сипаттамасы

Шықпалық сипаттама келесі формула бойынша тұрғызылады:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{3I_d x_a}{\pi} \quad (1.11)$$

мұнда  $x_a$  – екінші реттік орамаға келтірілген толық индуктивті кедергі.

$$x_a = \frac{U_{к\%} U_1}{I_{1H} \cdot k_T^2 \cdot 100}, \quad (1.12)$$

мұнда  $I_{1H}$  – трансформатордың бірінші реттік орамасындағы ток,



$$I_{1n} = \frac{I_2}{k_T}. \quad (1.13)$$

мұнда  $k_T$  – трансформациялық коэффициент;

$$k_T = \frac{U_2}{U_1}. \quad (1.14)$$

### 1.5 Түзеткіштің пайдалы әсер коэффициенті

Түзеткіштің ПӘК жүктемеге беретін активті қуаттың және қоректендіруші желінің қондырғысынан тұтынатын толық активті қуаттың қатынасымен сипатталады.

Түзеткіш сұлбасындағы активті шығындар келесі құрауыштардан қосылады, қоректендіруші трансформатордағы қосынды шығындар:

$$P_\Sigma = P_0 + k_{ж}^2 P_{кТ}. \quad (1.15)$$

мұнда  $P_0$  – бос жүріс шығыны;

$P_{кТ}$  – қысқаша тұйықтау шығыны;

$k_{ж}$  – трансформатордың жүктемелік коэффициенті  $k_{ж} = I_2 / I_{2n}$  ( $k_{ж} = 1$ ).

Вентильдердегі шығындар келесідей түрде анықталады:

$$\Delta P_b = m \Delta U_a I_a. \quad (1.16)$$

мұнда  $m$  – түзеткіш сұлбасындағы вентильдер саны;

$\Delta U_a$ ,  $I_a$  – вентильде түсетін кернеу және вентиль арқылы жүретін орташа ток.

Түзетілген токты идеалды тегістеген кезде түзеткіштің ПӘК келесі түрде көрсетілуі мүмкін:

$$\eta = \frac{P_d}{P_d + \sum \Delta P}. \quad (1.17)$$

### 1.6 Түзетілген кернеудің және түзеткіштің бірінші реттік тогының жоғары гармоникалары

Түзетілген кернеудің екі құрамы болады: түзетілген орташа кернеуге тең болатын тұрақты және айнымалы, ол гармоникалар спектрінен тұрады, түзеткіш үлкен индуктивтілікпен жұмыс істеген жағдайда оның тогы үзіліссіз

болады және реттемелік сипаттама барлық негізгі сұлба үшін бір формуламен көрсетіледі

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha . \quad (1.18)$$

Бұл, түзетілген кернеудің жоғары гармоникаларының амплитудаларын табу үшін ортақ формула пайдаланылуы мүмкін деген сөз

$$U_{mn} = U_{d0} \cdot \cos \alpha \frac{2}{m^2 n^2 - 1} \sqrt{1 + m^2 n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} , \quad (1.19)$$

мұнда  $U_{mn}$  -  $n$  – ші жоғары гармониканың амплитудасы;  
 $n$  – жоғары гармониканың реті;  
 $m$  – желілік кернеу периодындағы түзеткіштегі толықсу саны ( $m=6$ ).

Түзеткіш желіден тұтынатын ток синусоидалы емес және негізгі гармоника мен жоғары гармоникалар спектрінен құралады.

Түзеткіш желіден тұтынатын токтың пішіні оның сұлбасына және қоректендіруші трансформатордың бірінші реттік орамасын жалғау сұлбасына тәуелді болады. Тұтынатын токқа гармоникалық анализ Фурьенің тригонометриялық қатарына жіктеу арқылы жүргізілуі мүмкін.

Үш фазалы көпірлік түзеткіштің бірінші реттік тоғын жіктеу келесідей болады:

$$i = \frac{2\sqrt{3} \cdot I_d}{\pi k_T} \cdot (\cos \theta - \frac{1}{5} \cos 5\theta + \frac{1}{7} \cos \theta - \frac{1}{11} \cos 11\theta + \dots) . \quad (1.20)$$

$n$  – ші гармониканың амплитудасы

$$I_{mn} = \frac{2\sqrt{3} \cdot I_d}{\pi k_T} \cdot \frac{1}{n} . \quad (1.21)$$

мұнда  $k_T = U_{1f} / U_{2f}$  - трансформатордың трансформациялық коэффициенті.

Идеалды түзеткіштен айырмашылығы нақты түзеткіштерде комутация үрдісін ескерсе жоғары гармоникалардың амплитудалары түзеткіштің амплитудаларына тәуелді болады және  $U_d$  мен  $I_1$  тек қана амплитудасы өзгереді, жоғары гармоникалардың реттері бұрынғы қалпында қалады.

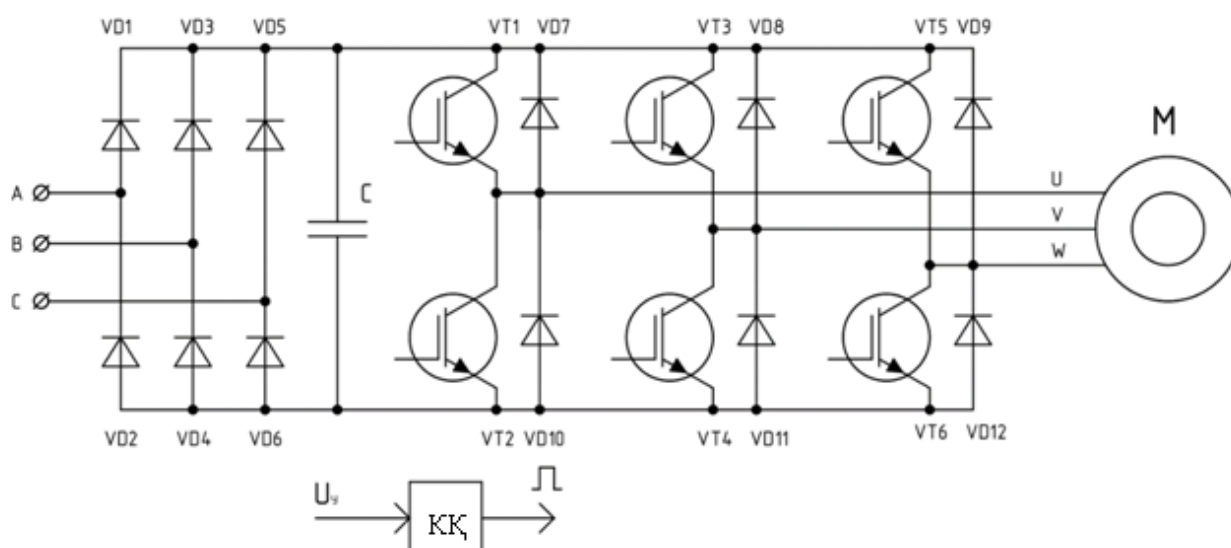
## 2 Тапсырма №2 Үш фазалы кернеу инверторын есептеу

### 2.1 Техникалық тапсырма және алғашқы мәліметтер

Қысқаша тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың берілген параметрлері бойынша жиілік түрлендіргішінің элементтеріне есептеу жүргізу керек.

4 кесте - 4А112МА6У3 қозғалтқыштың параметрлері

Қуат $P_n, кВт$	380 В кезіндегі номинал ток $I_n, А$	Номинал айналу жиілігі $n_n,$ айн/мин	Қуат коэффициенті, $\cos\varphi$
3	7.41	1000	0.76



1 сурет – Ендік-импульстік модуляциялы автономды кернеу инверторының сұлбасы

### 2.2 Есептеулерді орындау

2.2.1 ЕИМ-лы АКИ қорек көзінің кернеуін есептеу:

$$U_H = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \frac{U_{SN}}{\mu_{\max}} \quad (2.1)$$

мұнда  $U_H$  - қозғалтқыштың статорындағы желілік кернеудің номинал мәні;

$\mu_{\max}$  - модуляция коэффициентінің рұқсат етілген максимал мәні.

Идеалды АКИ үшін  $\mu_{\max} = 1$ . Іс жүзінде әрқашанда  $\mu_{\max} < 1$ , себебі жиілік периодының белгілі бір бөлігін коммутация үрдісі алады. Заманауи IGBT транзисторларды пайдаланған кезде негізгі  $f_k$  жиілік 16 кГц, ал  $\mu_{\max} \rightarrow 1$  дейін жетеді.

Модуляция коэффициентінің максимал мәнін келесі формуламен есептеуге болады:

$$\mu_{\max} = 1 - 4f_k t_B \quad (2.2)$$

мұнда  $t_B$  - транзистордың ажыратылатын уақыты;

$f_k = 2\text{кГц}$  болған кезде.

$$\mu_{\max} = 1 - 4f_k t_B = 1 - 4 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 0.992$$

Осыдан:

$$U_H = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \frac{380}{0.992} = 625.54 \text{ В} \quad (2.3)$$

### 2.3 Тиристор және кері токтың диодтары арқылы жүретін токтың орташа мәнін есептеу

Негізгі жиілік пен модуляция жиілігінің қатынасының еселігі үлкен болған кезде транзистор арқылы жүретін токтың орташа мәнін есептеу үшін келесі формуланы пайдаланамыз:

$$I_{VT} = \frac{I_{sm}}{2\pi} \left(1 + \frac{\pi\mu}{4} \cos \varphi_S\right) \quad (2.4)$$

мұнда  $I_{sm}$  - қозғалтқыштың статорындағы токтың амплитудалық мәні;

$\varphi_S$  - инвертордың шықпасындағы токтың бірінші реттік гармоникалары мен жүктеме кернеуінің арасындағы фазалардың ығысу бұрышы.

Статор тогының амплитудалық мәнін табамыз:

$$I_{sm} = \frac{P_H \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi}, \quad (2.5)$$

$$I_{sm} = \frac{3 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.76} = 8.48 \text{ А.}$$

Статор тогының шығарылған амплитудалық мәні бойынша, транзистордегі токтың орташа мәнін есептейміз

$$I_{VT} = \frac{8,48}{2 \cdot 3,14} \left(1 + \frac{3,14 \cdot 0,992}{4} \cdot 0,76\right) = 2,149 \text{ A.} \quad (2.6)$$

Егер АКИ өте төмен шықпалық жиілікте жұмыс істеу керек болса, онда тиристор үшін ең ауыр режим, ол ұзақ уақыт бойы жүктеме тогының амплитудалық мәнін коммутациялаған жағдайда болады. Кері токтың диоды арқылы өтетін токтың орташа мәнін келесі формула бойынша анықтаймыз:

$$I_{VD} = \frac{I_{sm}}{2\pi} \left(1 - \frac{\pi\mu}{4} \cos \varphi_s\right), \quad (2.7)$$

$$I_{VD} = \frac{8,48}{2 \cdot 3,14} \left(1 - \frac{3,14 \cdot 0,992}{4} \cdot 0,76\right) = 0,55 \text{ A.}$$

АКИ транзисторлар мен диодтарды таңдауды инвертордың кірмесіндегі кернеу бойынша асқын кернеуді ескеріп жүргізеді, олар компенсациялаушы конденсаторда ток АКИ-ан қорек көзіне қарай бағытталғанда (тежеу) пайда болуы мүмкін. Бұл кернеуді конденсатордағы рұқсат етілген асқын кернеуге  $\Delta U_C$  байланысты таңдайды.

Кірмедегі кернеудің есептік мәні

$$U_n = 625.54 \text{ В}$$

$$\Delta U_C = 100 \text{ В}$$

$$U_{VT.max} = U_n + \Delta U_C = 625.54 + 100 = 725.54 \text{ В.} \quad (2.8)$$

Алынған мәндер бойынша ішіне International Rectifier фирмасы шығаратын 6MBi10S-120 маркалы кері диод орнатылған IGBT-транзисторды таңдаймыз, оның сипаттамалары 5-кестеде келтірілген.

5 кесте – транзистордың параметрлері

$I_K, \text{ A}$	$U_{KЭ \max}, \text{ В}$	$P_{\max}, \text{ Вт}$	$U_{KЭ.пр}, \text{ В}$
15	1200	75	2.3

5 кестедегі шартты белгілер:

$I_K$  –  $15^\circ\text{C}$  кезіндегі, коллектордың максимал тогы [А];

$U_{KЭ \max}$  – К – Э максимальь кернеу, [В];

$P_{\max}$  – максималь қуат, [Вт];

$U_{KЭ пр}$  – кернеудің тікелей түсуі, [В].

## 2.4 Компенсациялаушы конденсаторды есептеу

Тежеуіш режимінің шешуші мәні болмайтын, бірқатар электр жетектері үшін АКИ қоректендіруге әдеттегі басқарылмайтын түзеткіштерді пайдалануға рұқсат етіледі. Бұл кезде энергияны желіге рекуперациялау мүмкін емес, дегенмен энергияның қозғалтқыш пен инверторда шығын түрінде сейілу есебінен АҚ шектеулі тежегіш моментімен генератор режимінде жұмыс істей алады. АКИ  $\varphi > \frac{\pi}{6}$  болған кезде, біржақты өткізетін қорек көзінен (түзеткіштен) қоректендіргенде АКИ кірмесіне компенсациялаушы конденсатор орналастыру қажеттілігі пайда болады, ол ток қорек көзіне қарай бағытталған уақыт кезінде энергияны қабылдайды. Компенсациялаушы конденсатордың сиымдылығы келесі формула бойынша анықталуы мүмкін:

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu I_{sm}}{f_K \Delta U_C} \sin^2 \frac{\varphi_S - \pi/6}{2}, \quad (2.9)$$

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu I_{sm}}{f_K \Delta U_C} \sin^2 \frac{\varphi_S - \pi/6}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{0.992 \cdot}{2 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 100} \sin^2 \frac{40.5 - 30}{2} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ Ф.}$$

Зерттеу нәтижесі бойынша, компенсациялаушы конденсатордың сиымдылығы шықпалық жиілікке тәуелсіз болады. Бұл жағдай өте аз болатын шықпалық жиіліктерде жұмыс істеу үшін ЕИМ –ың АКИ синусоидалық заңдылық бойынша пайдалануға мүмкіндік береді. Компенсациялаушы конденсатордың сиымдылығы негізгі жиілікке кері пропорционал болады. Негізгі жиіліктің жоғарылығы жеткілікті болуының арқасына, ЕИМ бар АКИ – дегі компенсациялаушы конденсатордың сиымдылығы, ЕИМ жоқ АКИ салыстырғанда аз болуы заңды. Инвертор активті-индуктивті жүктемемен кернеу көзі ретіндегі жұмыс істеген кезде, яғни асинхронды қозғалтқышпен, АҚ және тұрақты ток звеносының арасында реактивті энергияның алмасуы қамтамасыз етіледі.

## 2.5 ЖТ-АҚ жүйесін Matlab бағдарламалық ортасында модельдеу

Сұлбадағы элементтердің осциллограмасын алу үшін Simulink және Simpower Sistem элементтерінен және блоктар дестесінен ЖТ-АҚ жүйесінің моделін аламыз (2.2 сурет). Анықтамадан асинхронды қозғалтқыштың орынбасу сұлбасының салыстырмалы бірліктегі параметрлерін жазып аламыз және оны абсолютті бірлікке айналдырамыз (6 кесте). Ол үшін базалық кедергіні  $R_\sigma = U_\phi / I_\phi$  анықтаймыз. Салыстырмалы бірліктегі параметрлерді  $R_\sigma$  көбейтеміз және кестеге енгіземіз.

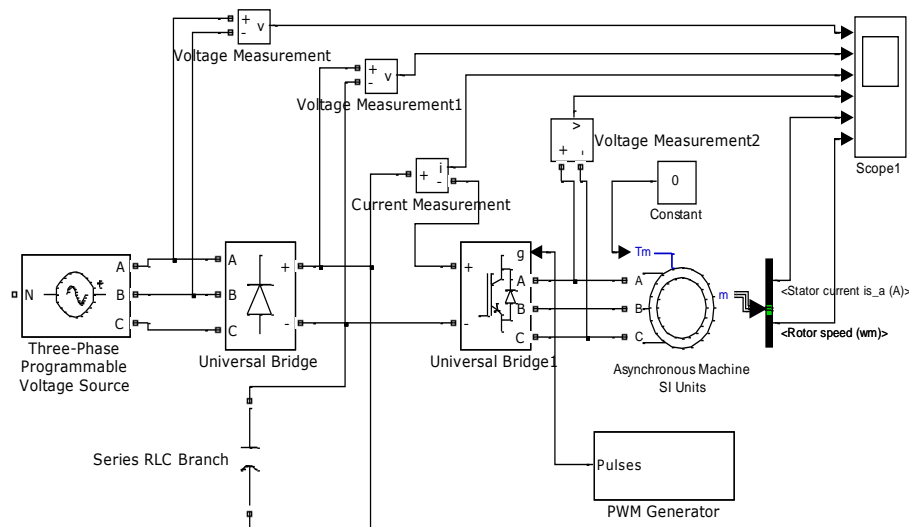
6 кесте – Орынбасу сұлбасының параметрлері

№ п/п	Аталуы	Белгіленуі	Салыстырмалы бірліктегі мәні
1	Қозғалтқыштың типі		
2	Негізгі магнит ағынының индуктивті кедергісі	$X_{\mu}$	Ом
3	Статор орамасының активті кедергісі	$R_1$	Ом
4	Статор орамасының индуктивті кедергісі	$X_1$	Ом
5	Статор орамасына келтірілген ротор орамасының активті кедергісі	$R_2'$	Ом
6	Статор орамасына келтірілген ротор орамасының индуктивті кедергісі	$X_2'$	Ом

Электр қозғалтқышының индуктивтілігі келесі формула бойынша есептеледі

$$X = \omega L = 2\pi fL . \quad (2.10)$$

Алынған моделдегі блоктардың әрбіреуіне бағдарламаның сұрауы бойынша қажетті мәндер қойылады, моделдеу параметрлері беріледі, осциллограф бабына келтіріледі. Барлығын бабына келтіргеннен кейін бағдарламаны жүргізеді. 2 - суретте зерттелетін моделдің сұлбасы келтірілген.



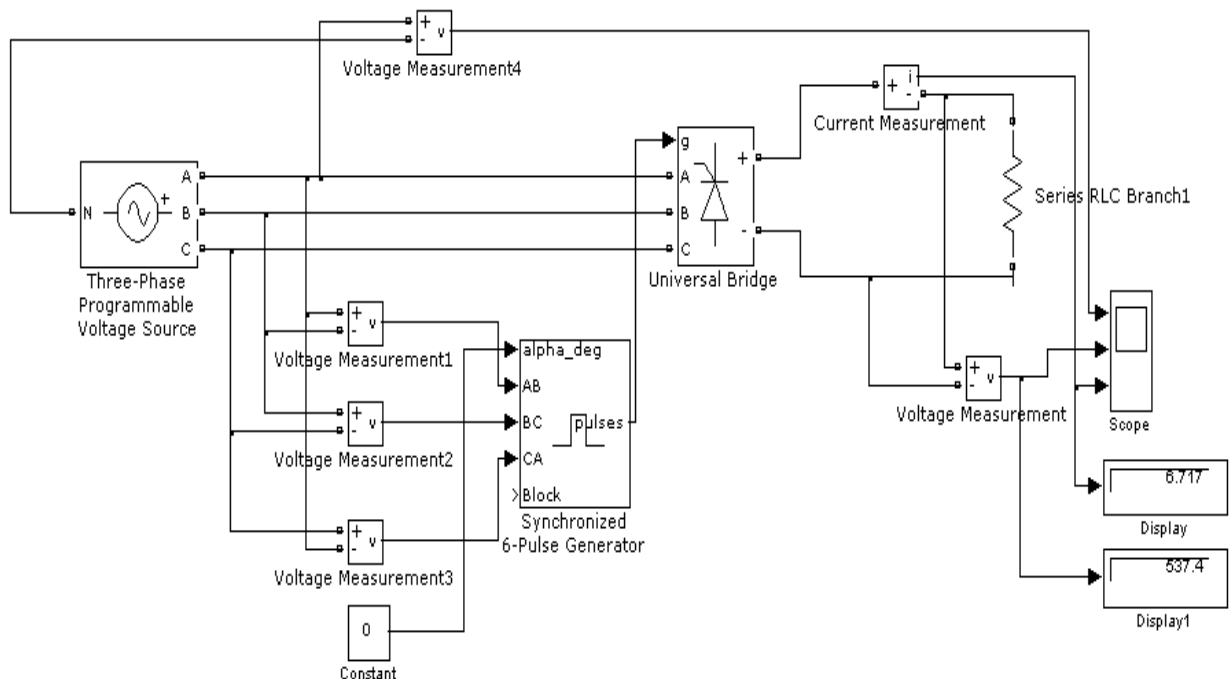
2 сурет – Зерттелетін моделдің сұлбасы

### 3 Тапсырма №3. Үш фазалы көпірлік түзеткіш сұлбасын Matlab бағдарламасында моделін құрастыру және реттеу

#### 3.1 Техникалық тапсырма

Үш фазалы көпірлік түзеткіш сұлбасының берілгендерін және есептелген нәтижелерін пайдаланып (1 тапсырма):

- 1) Matlab бағдарламасында түзеткіштің моделін құрастыру және реттеу (3 сурет);
- 2) берілген басқару бұрыштары бойынша кернеулердің және токтардың осциллограммаларын алу;
- 3) реттемелік сипаттамаларды түсіру және сызу;
- 4) берілген басқару бұрыштары үшін шықпалық сипаттамаларды түсіру және сызу;
- 5) тұрақты ток тізбегіне индуктивтілік қосқан кездегі сұлбаның жұмысын токтар мен кернеулердің осциллограммаларын түсіріп зерттеу;
- 6) алынған нәтижелерге талдау жасап шығу, қортынды жасау.



3 сурет – Түзеткішті зерттейтін моделдің сұлбасы

3 және 4 суреттерде үш фазалы көпірлік түзеткіштің басқару бұрыштарының  $\alpha = 0^0$  және  $\alpha = 60^0$  тең болған кездегі кернеулері мен токтарының осциллограммалары мысал ретінде көрсетілген.

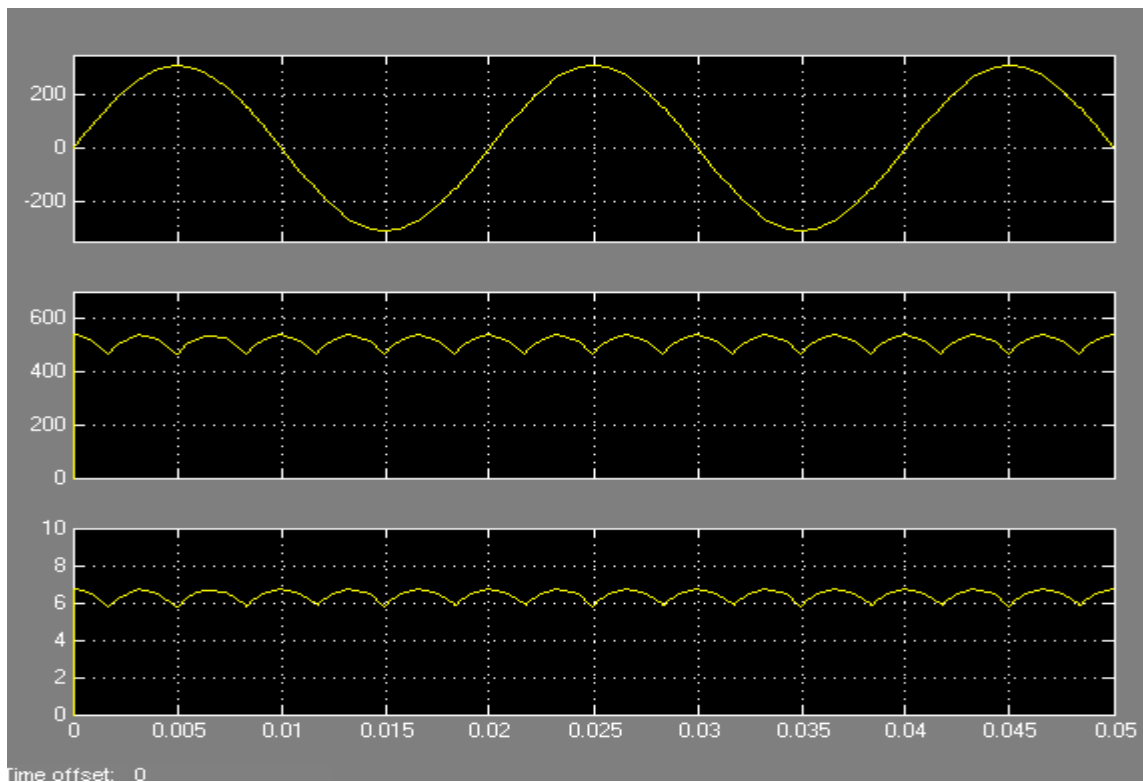
7 кесте – Тапсырманы орындауға берілген мәндер

Нұсқа №	Кернеу мәні $U_d$	Ток мәні $I_d$	$\alpha$	Нұсқа №	Кернеу мәні $U_d$	Ток мәні $I_d$	$\alpha$
1	170	3,9	45	18	520	36	55
2	170	6,2	55	19	180	5,5	65
3	170	9,8	65	20	180	8,8	75
4	345	11,5	75	21	180	13,8	40

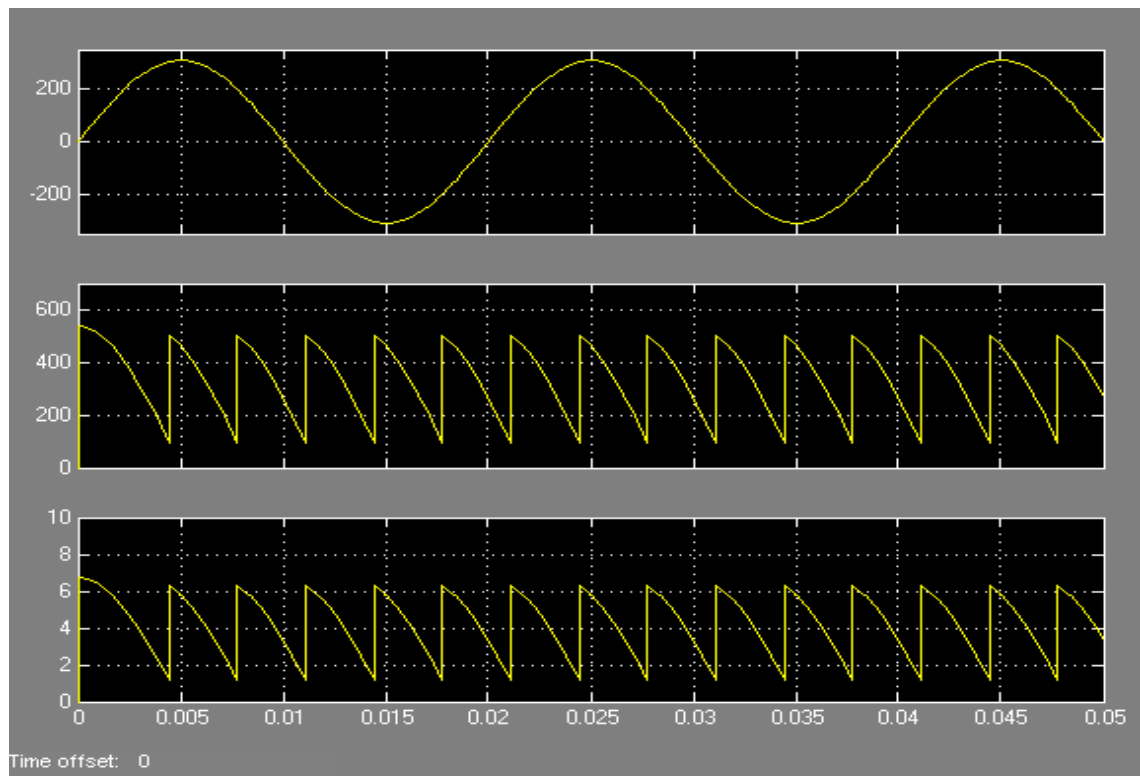


7 кесте жалғасы

Нұсқа №	Кернеу мәні $U_d$	Ток мәні $I_d$	$\alpha$	Нұсқа №	Кернеу мәні $U_d$	Ток мәні $I_d$	$\alpha$
5	435	12	40	22	350	17	50
6	500	16	50	23	355	16,0	60
7	350	27	60	24	445	17	70
8	440	43	70	25	440	18	25
9	550	37	25	26	675	16	35
10	175	6,5	35	27	680	15	20
11	175	10	20	28	355	39	30
12	175	16,5	30	29	445	43	25
13	360	11	25	30	675	25	30
14	450	17	35	31	680	25	35
15	485	16	20	32	420	19	20
16	360	38	30	33	585	18	30
17	450	42	45	34	385	49	45
				35	400	40	55



4 сурет -  $\alpha = 0^\circ$  болған кездегі кернеулер мен токтардың осциллограммалары



5 сурет -  $\alpha = 60^\circ$  болған кездегі кернеулер мен токтардың осциллограммалары

## Әдебиеттер тізімі

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – Москва: Энергоиздат, 1981.
2. Алексеев С.Б. Силовые преобразовательные устройства. Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2006.
3. С. Рама Редди Основы силовой электроники. - Москва: Энергия, 1998.
4. Поздеев А. Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах / А.Д. Поздеев. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. - 172 с.
5. Алексеев С.Б. Силовые преобразовательные устройства и микропроцессорные системы. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 050718- Электроэнергетика. – Алматы: АИЭС, 2007.
6. Алексеев С.Б. Силовые преобразовательные устройства и микропроцессорные системы. Методические указания к выполнению лабораторных работ. - Алматы: АИЭС, 2008.
7. <http://www.chipdip.ru/> - Каталог IGBTElectronics

Сергей Борисович Алексеев  
Какимжан Оралович Гали  
Эльмира Байджумаевна Даркенбаева

## КҮШТІК ТҮРЛЕНДІРГІШ ҚҰРЫЛҒЫЛАР

5B071800 – Электрэнергетика мамандығының студенттері үшін есептеу-  
графикалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау

Редактор: Ж.Н. Изтелеулова  
Стандарттау бойынша маман: Е.Т. Данько

Басуға \_\_\_ қол қойылды  
Таралымы 50 дана.  
Көлемі 1,4 оқу.-бас.әд.

Пішіні 60x84 1/16  
Баспаханалық қағаз №1  
Тапсырыс \_\_Бағасы 700 тенг.

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