



**Коммерциялық емес
акционерлік
қоғам**

**АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ
БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электротехника
кафедрасы

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА

№1-4 есептеу-сызбалық жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар. 5B071700 – Жылу энергетикасы мамандығы үшін

Алматы 2019

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: Баймағанов А. С., Нурова А. И. Электротехника және электроника №1-4 есептеу-сызбалық жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар. 5B071700 – Жылу энергетикасы мамандығы үшін. – Алматы: АЭЖБУ, 2019. – 31 бет.

Әдістемелік зерттеменің ішінде әдістемелік нұсқаулар және негізгі электротехника және электроника курсы бойынша төрт есептеу-сызбалы тапсырмалар бар. Есептеу-сызбалық жұмыстарды орындау студенттерге тұрақты және үшфазалы синусоидалы токтардың сызықты электр тізбектердің есептеу әдістерімен игеруді көмектеседі, реактивтік қуатты қарымталау мәселесімен және синхронды машиналардың сипаттамаларын есептеумен таныстырады. Электроника пәнінен транзисторлық кернеу күшейткіштің құрылысымен және оны есептеуді көрсетеді.

Есептеу-сызбалық тапсырмалар 5B071700 – Жылу энергетика мамандық-тарының студенттеріне арналған.

Без. – 5, кесте – 9, әдебиет көрсеткіші – 8 атау.

Пікір беруші: к.т.н., профессор М. М. Аршидинов

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2019 жылғы баспа жоспары бойынша басылады.

Кіріспе

Жұмыстың ішінде 5B071700 – Жылу энергетика мамандықтарының студенттері үшін «Электротехника және электроника негіздері» пәні бойынша әдістемелік нұсқаулар және есептеу-сызбалық тапсырмалар кіреді.

Бұл пәнді оқып білу үшін оқу жоспар бойынша 210 сағат бөлінеді, оның ішінде 140 сағат – өзіндік жұмысқа арналған, оның ішінде СӨОЖ – 15 сағат және СӨЖ – 125 сағат. Аудиториялық сабақтар барлағы 70 сағат және оның ішінде: дәрісхана сабаққа – 30 сағат, 15 сағат – зертханалық және 15 сағат машықтану сабақтар, бақылауға – 10 сағат. Студенттер электротехниканың және электрониканың курстарының негізгі бөлімдері бойынша төрт есептеу-сызбалық жұмыстарды орындау керек.

Электротехника және электроника негіздері пәнін оқып білу мақсаты электр тізбектерді және электронды құрылғыларды есептеудің негізгі әдістерді қолданудың қалыптастыруы, электр тізбектерде трансформаторларда, электр машиналарда және электронды құрылғыларда физикалық үрдістер туралы білімді білу. Мұнда келесі тақырыптар бойынша есептеу-сызбалық тапсырмалар келтірілген:

- сызықты тұрақты тоқтық электр тізбегін есептеу;
- үшфазалы электр тізбектерді есептеу;
- электр машиналардың сипаттамаларын есептеу;
- сұлбасы жалпы эмиттермен жиналған, транзисторлық кернеу күшейткішті есептеу.

Есептеу-сызбалық жұмыстар келесі тарауда келтірілген. Әрбір тапсырманың бірнеше сұлбалардың және нәтиже мәліметтерінің нұсқалары бар. Нұсқаның нөмірін студент оқуға түскен жылымен таңдайды (тақ немесе жұп), сәйкесті кестеден сынақ кітапшасының ақырғы және ақырғы алдындағы номердің цифрасы бойынша есептеу-сызбалық жұмыстарды А4 форматты парақтарға безендіру керек. Сызбаларды тұрғызғанда және кейбір есептеулерді MathCAD бағдарламаларында орындауы ыңғайлы. Барлық сызбалы тұрғызулар таңдалған масштабты сақтаумен орындалу керек. Қаріп белгілер және физикалық шамалардың өлшемдері және сұлбаның элементтерінің сызба бейнелері сәйкесті МЕМСТ – тың талаптарына жауап беру керек.

Титулдың бетінде университеттің атауы, жұмысты орындаған студент тобының шифры және сынақ кітапшасының нөмірі, жұмысты қабылдаған оқытушының аты-жөні көрсетіледі. Есептеу-сызбалық жұмыстар тапсырмадан басталады. Тапсырма толық жазылады, нұсқаға қарай нәтиже мәліметтерді және керекті суреттерді көрсету керек. Есепті түсініктермен анықтау керек. Барлық теңдеулер, олардың түрлендірулері және есептік кейіптемелері жалпы түрде жазылуы керек, ал сандық шамалар тек соңғы кезде қойылады. Бұл жағдай керекті түрлендірулерді орындалуын жеңіл бақылауын және есептік кейіптемелердің дұрыстығын көрсетеді. Сандардың өлшемдері СИ жүйеге сәйкес болу керек. (B , A , Om , Bm , var , BA және т.б.).

1 Есептеу-сызбалық жұмыс №1. Тұрақты ток сызықты электр тізбектерін есептеу

Жұмыстың мақсаты: тұрақты ток тізбектерді есептеудің негізгі әдістерін тексеру.

1.1 Тапсырма

1.1 – суретте келтірілген сұлба үшін 1.1 және 1.2 кестенің мәліметтері бойынша сұлбаның тармақтарындағы токтарды есептеу керек, кедергілер мен қорек көзінің бойындағы кернеулерді U_1 және U_2 , қорек көзінің үш комбинациялы ЭҚК E_1 және E_2 , қорек көзінің (ЭҚК бар сұлбалар үшін) немесе J_1 және J_2 идеал токтары бар (идеал токтары бар сұлбалар үшін) қателігін және қуаттар балансын (тепе-теңдігін) тексеру керек.

Есептеу үшін беттесу әдісін және бірлік ток әдісін пайдалануға болады. Есептеу қорытындысын кесте түрінде келтіріңдер.

1.1 кесте – Сұлбаның нұсқасы және қорек көзінің ішкі кедергілері

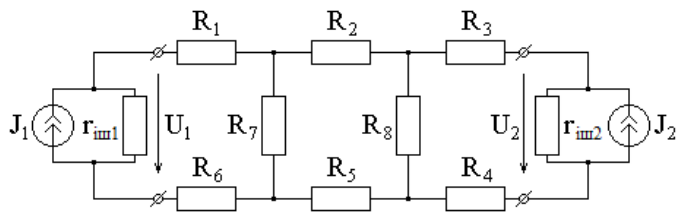
Оқуға түсу жылы	Сынақ кітапшасының соңғы саны									
Жұп	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Тақ	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
Сұлбаның №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_{iш1} = r_{iш2}, Ом$	50000	20	40000	15	30000	17	20000	19	10000	18

1.2 кесте – Сұлбаның параметрлерінің нұсқасы

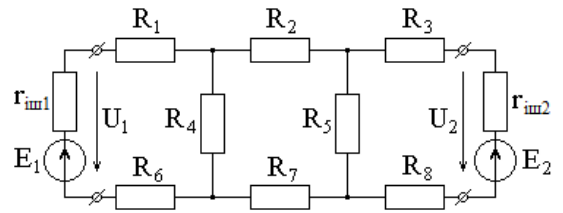
Оқуға түсу жылы	Сынақ кітапшасының соңғы санының алдыңғысы									
Жұп	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Тақ	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
$R_1, Ом$	100	400	550	850	600	150	900	450	750	800
$R_2, Ом$	150	250	900	1000	750	500	700	300	800	1000
$R_3, Ом$	50	300	600	900	800	300	950	500	850	550
$R_4, Ом$	175	500	750	800	650	450	1000	350	900	700
$R_5, Ом$	200	375	700	750	900	200	850	400	1000	900
$R_6, Ом$	75	450	850	600	500	250	1100	250	950	600
$R_7, Ом$	250	475	500	650	700	100	800	550	600	750
$R_8, Ом$	275	350	800	700	950	350	750	375	650	500

1.3 кесте – Үш комбинациялы E_1 және E_2 , J_1 және J_2 мәндері

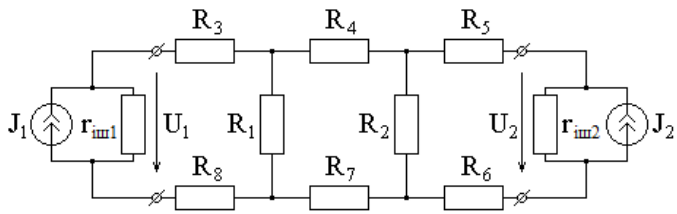
Комбинация мәндері	$E_1, В$	$E_2, В$	$J_1, А$	$J_2, А$
1	150	250	15	30
2	150	150	20	15
3	200	100	40	20



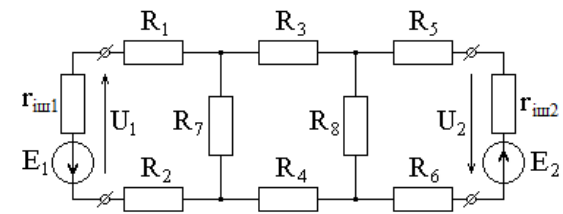
1-сұлба



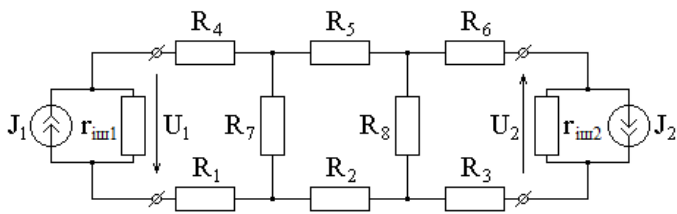
2-сұлба



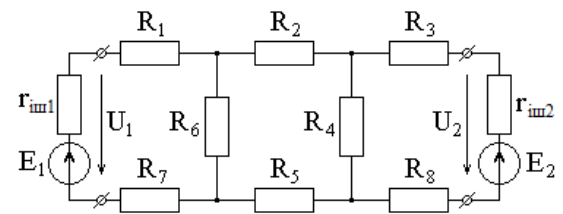
3-сұлба



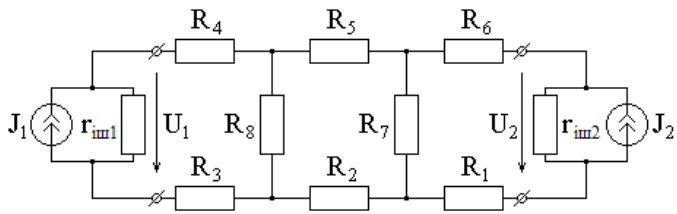
4-сұлба



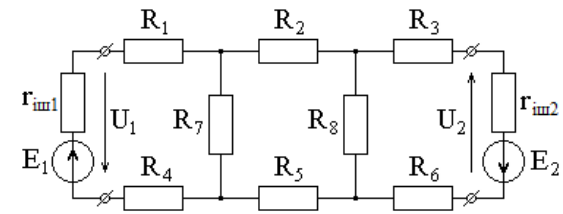
5-сұлба



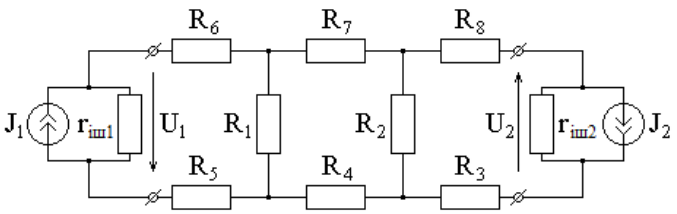
6-сұлба



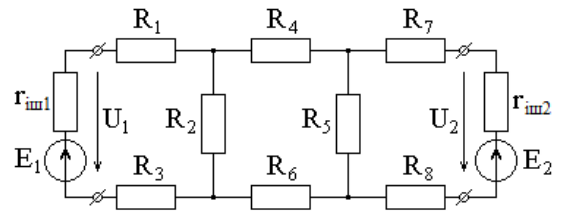
7-сұлба



8-сұлба



9-сұлба



10-сұлба

1.1 сурет – 1 тапсырмаға сұлбалардың нұсқаулары

1.2 Әдістемелік нұсқау

Беттестіру принципіне сәйкес, құрамында n ЭҚК және ток m көздері бар электр тізбегіндегі k -тармағының тогы, осы тармақта әрбір энергия көзімен жеке-жеке тудырылатын ток бөліктерінің алгебралық қосындысына тең:

$$I_k = I_k^{(E_1)} + I_k^{(E_2)} + \dots + I_k^{(E_n)} + I_k^{(J_1)} + I_k^{(J_2)} + \dots + I_k^{(J_m)}.$$

Бұл теңдеуді келесі түрде де көрсетуге болады:

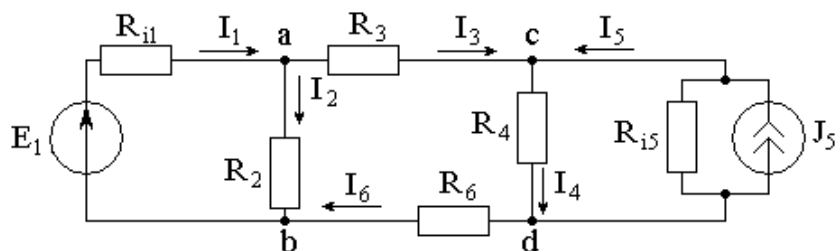
$$I_k = g_{k1} \cdot E_1 + g_{k2} \cdot E_2 + \dots + g_{kn} \cdot E_n + h_{k1} \cdot J_1 + h_{k2} \cdot J_2 + \dots + h_{km} \cdot J_m,$$

мұндағы g_{kn} – n -ші и k -ші тармақтардың өзара өткізгіштігі;

g_{kk} – k -ші тармақтың кірістік өткізгіштігі;

h_{kn} – ток бойынша m тармақтан k -ші тармаққа беріліс коэффициенті.

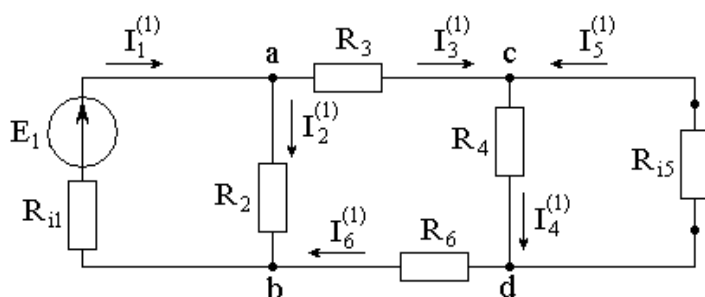
Мысал ретінде 1.2 суретте сұлба келтірілген осы әдіс бойынша қарастырамыз.



1.2 сурет

Ішінара ағымдарды есептеу сұлбасында бір ғана көз қалды, ал қалған көздер оларды ішкі кедергілермен ауыстырады.

Бірінші E_1 көзінен алынатын ішінара токтар есептеу үшін сұлба 1.3 – суретте көрсетілген.



1.3 сурет

Токтардың бірлік әдісін пайдалана отырып тармақтағы кіріс g_{11} және өзара байланысқан $g_{21}, g_{31}, g_{41}, g_{51}, g_{61}$ өтімділіктерді анықтаймыз.

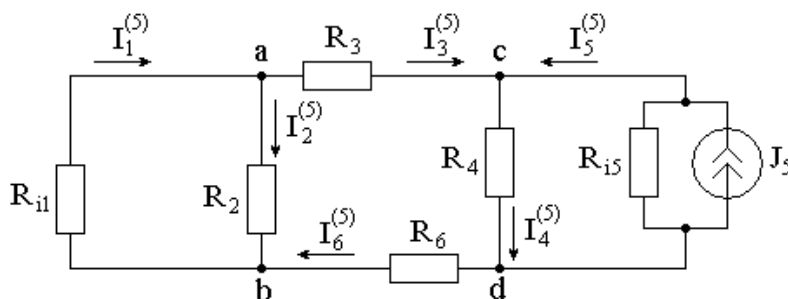
Егер $I_5^{(1)} = -1$ А болса, онда бірінен соң бірін кезекпен Кирхгофтың бірінші және екінші заңын пайдалана отырып анықтаймыз.

$$\begin{aligned}
U'_{cd} &= -I_5^{(1)} \cdot R_{i5}; I_4^{(1)} = U'_{cd} / R_4; I_3^{(1)} = I_6^{(1)} = -I_5^{(1)} + I_4^{(1)}; \\
U'_{ab} &= I_3^{(1)} R_3 + U'_{cd} + I_6^{(1)} R_6; I_2^{(1)} = U'_{ab} / R_2; I_1^{(1)} = I_2^{(1)} + I_3^{(1)}; \\
E_1 &= I_1^{(1)} \cdot R_{i1} + U'_{ab}.
\end{aligned}$$

Сұлбадағы кіріс және өзара байланысқан өтімділіктерді есептейміз:

$$g_{11} = \frac{I_1^{(1)}}{E_1}; g_{21} = \frac{I_2^{(1)}}{E_1}; g_{31} = \frac{I_3^{(1)}}{E_1}; g_{41} = \frac{I_4^{(1)}}{E_1}; g_{51} = \frac{I_5^{(1)}}{E_1}; g_{61} = \frac{I_6^{(1)}}{E_1}$$

Екінші қорек көзімен J_5 жеке токтарды есептеу үшін 1.4 суретте келтірілген.



1.4 сурет

Токтардың бірлік әдісін пайдалана отырып тармақтағы кіріс h_{55} және өзара байланысқан $h_{15}, h_{25}, h_{35}, h_{45}, h_{65}$ коэффициенттерін анықтаймыз.

Егер $I_5^{(1)} = -1$ А болса, онда бірінен соң бірін кезекпен Кирхгофтың бірінші және екінші заңын пайдалана отырып анықтаймыз.

$$\begin{aligned}
U'_{ab} &= -I_1^{(5)} \cdot R_{i1}; I_2^{(5)} = U'_{ab} / R_2; I_3^{(5)} = I_6^{(5)} = I_1^{(5)} - I_2^{(5)}; \\
U'_{cd} &= -I_3^{(5)} R_3 + U'_{ab} - I_6^{(5)} R_6; I_4^{(5)} = U'_{cd} / R_4; I_5^{(5)} = I_4^{(5)} - I_3^{(5)}; \\
J'_5 &= I_5^{(5)} + U'_{cd} / R_{i5}.
\end{aligned}$$

Тармақтағы токтардың кіріс және өзара байланысқан өтімділіктерді есептейміз:

$$h_{55} = \frac{I_5^{(5)}}{J'_5}; h_{15} = \frac{I_1^{(5)}}{J'_5}; h_{25} = \frac{I_2^{(5)}}{J'_5}; h_{35} = \frac{I_3^{(5)}}{J'_5}; h_{45} = \frac{I_4^{(5)}}{J'_5}; h_{65} = \frac{I_6^{(5)}}{J'_5}.$$

Екі көз мәндерінің кез келген комбинациясының әрекет етуі кезінде берілген схеманың тармақтарындағы токтардың мәндерін салу принципіне сәйкес формулалар бойынша есептейді:

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_1^{(1)} + I_1^{(5)} = g_{11} \cdot E_1 + h_{15} \cdot J_5; & I_2 &= I_2^{(1)} + I_2^{(5)} = g_{21} \cdot E_1 + h_{25} \cdot J_5; \\
I_3 &= I_3^{(1)} + I_3^{(5)} = g_{31} \cdot E_1 + h_{35} \cdot J_5; & I_4 &= I_4^{(1)} + I_4^{(5)} = g_{41} \cdot E_1 + h_{45} \cdot J_5; \\
I_5 &= I_5^{(1)} + I_5^{(5)} = g_{51} \cdot E_1 + h_{55} \cdot J_5; & I_6 &= I_6^{(1)} + I_6^{(5)} = g_{61} \cdot E_1 + h_{65} \cdot J_5.
\end{aligned}$$

2 Есептеу-сызбалық жұмыс №2. Үшфазалы электр тізбектерді есептеу

Жұмыстың мақсаты: «жұлдызша» және «үшбұрыш» сұлба бойынша қосылған жүйелерді негізгі әдістермен есептеуді үйрену.

2.1 Тапсырма

Сызықты кернеу $U_c = 418 \text{ В}$, жиілігі $f = 50 \text{ Гц}$ тек үшфазалы қореккөзіне симметриялы жүктеме және статикалық конденсаторлар батареясынан (СКБ) қосылып тұр. Сұлбалардың нұсқаулары 2.1 және 2.2 суретте келтірілген, мұндағы $\underline{Z}_c = R_c + jX_c$ және $\underline{Z}_{жүк}$ желінің және жүктеменің фазаларындағы кешенді кедергілері. СКБ жүктемедегі реактивті қуат компенсациясы (РҚК) үшін арналған, C_k – сиымдылық батареясының сиымдылық фазасы.

2.1 суретте келтірілген бір сұлба үшін келесіні есептеу керек:

- 1) Фазадағы жүктеменің кешенді кедергілерін $Z_{жүк}$.
- 2) Фазалық және сызықты кернеуді және жүктемедегі токтарды РҚК (СКБ қосылмаған кез).
- 3) Жүктемедегі активті, реактивті және толық қуаттарды РҚК қосылмаған кез.
- 4) Реактивті қуат, фаза сиымдылығы C_k СКБ жүктемедегі толық қамтамасыз ету РҚК қосылмаған кез, егер $\cos \varphi_{жс} = 1$.
- 5) Фазалық және сызықты кернеу, жүктеме тогы және толық РҚК кезінде.
- 6) РҚК сызықтыдағы қуаттар қателігін және жүктемедегі РҚК толық болған кез.
- 7) Жүктемедегі активті, реактивті және толық қуаттарды РҚК қосылмаған кез және жүктемедегі РҚК толық болған кез.
- 8) Пайдалы әсер коэффициентін (ПӘК) электрожабдықтау РҚК қосылмаған кез және РҚК толық болған кез. ПӘК салыстыру, жұмысқа қорытынды жасау.

Жүктемедегі толық РҚК режимдері үшін кернеудің топографиялық диаграммасын және электр тізбегіндегі токтардың векторлық диаграммасын сызу керек. Сұлбадағы анықталған токтар мен кернеулердің мәндерін тәжірибеде жүзінде «Electronics workbench» программасымен тексеріп алындар. Есептеу қорытындысын кесте түрінде келтіріңдер.

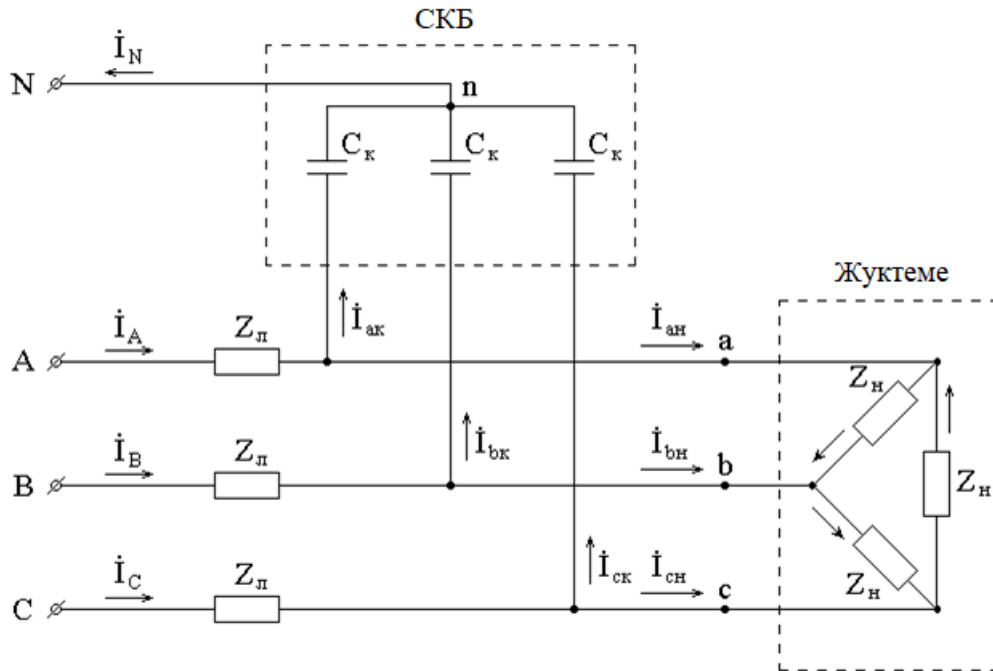
2.1 кесте – Жүктеме және сызықтың нұсқа мәндері

Оқуға түсу жылы	Сынақ кітапшасының соңғы саны									
Жүп	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Тақ	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
$P_{жс.ном}, \text{ кВт}$	20	15	25	50	35	15	45	25	40	10
$\cos \varphi_{жс.ном}$	0,80	0,60	0,70	0,65	0,75	0,55	0,85	0,90	0,50	0,45
$R_c, \text{ Ом}$	0,40	0,20	0,30	0,40	0,25	0,20	0,35	0,25	0,30	0,35
$X_c, \text{ Ом}$	1,00	0,50	0,75	1,00	0,60	0,50	0,85	0,60	0,75	0,85

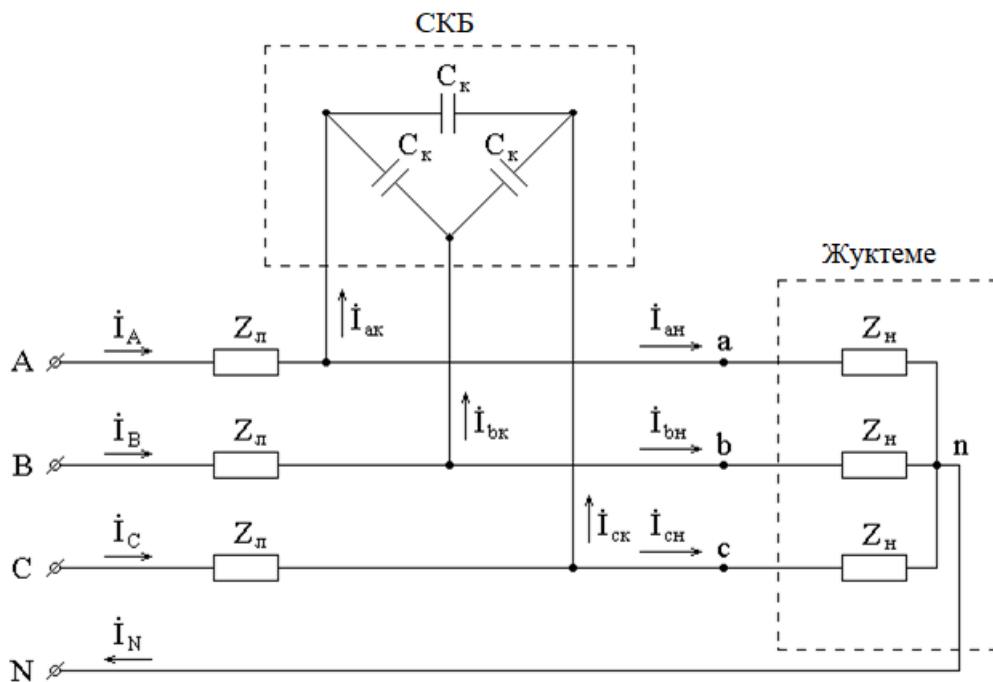
Ескертпе – $P_{ж.ном}$ – белсенді қуат пен $\cos\varphi_{ж.ном}$ жүктеме қуаты коэффициенті.

2.2 кесте – Сұлбаның нұсқаулары

Оқуға түсу жылы	Сынақ кітапшасының соңғы санының алдыңғысы									
Жұп	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Тақ	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
Сұлбаның №	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2



2.1 сурет – №2 есепті-сызбалық жұмыстың 1 сұлбасы



2.2 сурет – №2 есепті-сызбалық жұмыстың 2 сұлбасы

2.2 Әдістемелік нұсқау

Сызықты кернеуі $U_c = 210$ В, жиілігі $f = 50$ Гц, симметриялы үшфазалы қорек көзіне, фазасының толық кешенді кедергісі $\underline{Z}_c = R_c + jX_c = 0,9 + j1,2 = 1,5e^{j53,1^\circ}$ Ом симметриялы үшфазалы электр беріліс желісі арқылы, фазалары жұлдызша жалғанған симметриялы үшфазалы жүктеме қосылған. Жүктемеге параллель фазалары үшбұрышша жалғанған, статикалық конденсаторлар батареясынан (СКБ) тұратын үшфазалы симметриялы қарымталаушы құрылғы (ҚК) қосылған.

Үшфазалы жүктеменің номиналды параметрлері:

- $P_{ж.ном} = 3,6$ кВт – активті қуат;
- $\cos \varphi_{ж} = 0,766$ – қуат коэффициенті;
- $U_{с.ном} = \sqrt{3} \cdot 110 = 190,5$ В – сызықты кернеу;
- $f_{ном} = 50$ Гц – кернеу жиілігі.

Толық қуатты $S_{ж.ном}$, реактивті қуатты $Q_{ж.ном}$ және сызықты токты $I_{с.ном}$ анықтайық:

$$S_{ж.ном} = \frac{P_{ж.ном}}{\cos \varphi_{ж}} = \frac{3600}{0,766} = 4700 \text{ ВА};$$
$$Q_{ж.ном} = \sqrt{S_{ж.ном}^2 - P_{ж.ном}^2} = \sqrt{4700^2 - 3600^2} = 3021,6 \text{ ВАр};$$
$$I_{с.ном} = \frac{S_{ж.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{с.ном}} = \frac{4700}{\sqrt{3} \cdot 190,5} = 14,24 \text{ А}.$$

Жүктеме фазаларының жұлдызша жалғануы кезінде фазалы ток $I_{ф.ном} = I_{с.ном} = 14,24$ А.

Номиналды параметрлер бойынша жүктеме фазасының тізбектей алмастыру сұлбасы үшін активті $R_{ж}$, реактивті $X_{ж}$ және толық кешенді $\underline{Z}_{ж}$ кедергіні анықтайық:

$$R_{ж} = \frac{P_{ж.ном}}{3 \cdot I_{ф.ном}^2} = \frac{3600}{3 \cdot 14,24^2} = 5,92 \text{ Ом};$$
$$X_{ж} = \frac{Q_{ж.ном}}{3 \cdot I_{ф.ном}^2} = \frac{3021,6}{3 \cdot 14,24^2} = 4,97 \text{ Ом};$$
$$\underline{Z}_{ж} = R_{ж} + jX_{ж} = 5,92 + j4,97 = 7,77e^{j40^\circ}, \text{ Ом}.$$

ҚК номиналды параметрлері:

$$U_{с.ном} = 190,5 \text{ В};$$
$$Q_{кк.ном} = Q_{ж.ном} = 3021,6 \text{ ВАр} - \text{реактивті қуат}.$$

Жүктеменің реактивті қуатының сипаты индуктивті болатындығын, ал ҚҚ сипаты сыйымдылықты болатындығын атап өткен жөн. ҚҚ фазаларының үшбұрышша жалғануы кезінде фазалы кернеу сызықты кернеуге тең болады $U_{ф.кк.ном} = U_{с.ном} = 190,5 \text{ В}$.

Номиналды параметрлер бойынша ҚҚ фазасының реактивті кедергісін $X_{кк}$ және сыйымдылығын $C_{кк}$ есептейік:

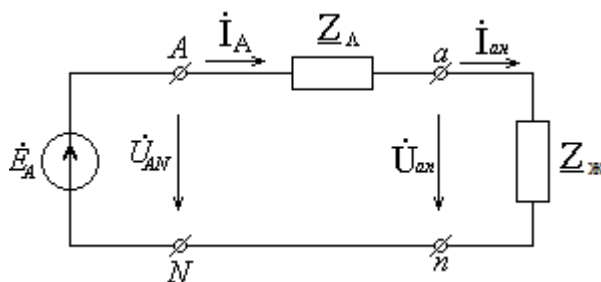
$$X_{кк} = \frac{3 \cdot U_{ф.кк.ном}^2}{Q_{кк.ном}} = \frac{3 \cdot 190,5^2}{3021,6} = 36 \text{ Ом};$$

$$C_{кк} = \frac{1}{\omega X_{кк}} = \frac{1}{2\pi f X_{кк}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 36} = 88,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 88,4 \text{ мкФ}.$$

Сұлбада жүктеменің реактивті қуатының қарымталануынсыз режимін, яғни ҚҚ қосылмаған кездегі режимді есептейік. Бұл кезде желідегі ток жүктеменің сызықты тогына тең болады, жұлдызша жалғану кезінде ол сонымен қатар фазалы да ток болып табылады.

Қарастырылып отырған режим симметриялы болғандықтан, есептеуді фазалардың бірі үшін жүргізуге болады, мысалы А фазасы үшін. Қалған фазалардағы токтар мен кернеулердің әрекеттік мәндері А фазасындағыдай болады, ал олардың бастапқы фазалары В фазасында -120° , С фазасында $+120^\circ$ ерекшеленеді.

А фазасы үшін есептік сұлба 2.3 суретте келтірілген.



2.3 сурет – А фазасы үшін есептік сұлба

А фазасының ЭҚК көзінің кешенді әрекеттік мәні:

$$\dot{E}_A = \dot{U}_{AN} = \frac{U_c}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0^\circ} = \frac{210}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0^\circ} = 121,2e^{j0^\circ} = 121,2 \text{ В}.$$

Жүктеме фазаларының жұлдызша жалғануы кезіндегі жүктеменің фазалы тогына тең болатын сызықты токқа $\dot{I}_{аж}$ тең А фазасының сызықты тогы \dot{I}_A Ом заңы бойынша есептеледі:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A = \dot{I}_{a\dot{ж}c} &= \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_c + \underline{Z}_{жc}} = \frac{121,2}{(0,9 + j1,2) + (5,92 + j4,97)} = \frac{121,2}{6,82 + j6,17} = \\ &= \frac{121,2 \cdot (6,82 + j6,17)}{6,82^2 + 6,17^2} = \frac{826,584 - j747,804}{84,5813} = 9,77 - j8,84 = 13,2e^{-j42,1^\circ} \text{ А.} \end{aligned}$$

В және С фазалары үшін сәйкесінше токтардың кешенді әрекеттік мәндерін жазайық:

$$\begin{aligned} \dot{I}_B = \dot{I}_{в\dot{ж}c} &= \dot{I}_A e^{-j120^\circ} = 13,2e^{-j42,1^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 13,2e^{-j162,1^\circ} = -12,56 + j4,06 \text{ А;} \\ \dot{I}_C = \dot{I}_{c\dot{ж}c} &= \dot{I}_A e^{+j120^\circ} = 13,2e^{-j42,1^\circ} \cdot e^{+j120^\circ} = 13,2e^{j77,9^\circ} = 2,77 + j12,91 \text{ А.} \end{aligned}$$

Желі кедергісіндегі кернеу түсуі:

$$\Delta \dot{U}_A = \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_c = 13,2e^{-j42,1^\circ} \cdot 1,5e^{j53,1^\circ} = 19,8e^{j11^\circ} = 19,44 + j3,78 \text{ В.}$$

Жүктеменің фазалы кернеулері фазалы ЭҚК-тен желідегі кернеу түсуі шамасына төмен:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{an} &= \dot{E}_A - \Delta \dot{U}_A = 121,2 - 19,44 - j3,78 = 101,76 - j3,78 = 101,8e^{-j2,1^\circ} \text{ В;} \\ \dot{U}_{en} &= \dot{U}_{an} \cdot e^{-j120^\circ} = 101,8e^{-j(2,1^\circ + 120^\circ)} = 101,8e^{-j122,1^\circ} = -54,1 - j86,2 \text{ В;} \\ \dot{U}_{cn} &= \dot{U}_{an} \cdot e^{j120^\circ} = 101,8e^{-j(2,1^\circ - 120^\circ)} = 101,8e^{j117,9^\circ} = -47,6 + j90,0 \text{ В.} \end{aligned}$$

Жүктеменің сызықты кернеулері:

$$\dot{U}_{ав} = \dot{U}_{an} - \dot{U}_{en} = 101,76 - j3,78 + 54,1 + j86,2 = 155,86 + j82,42 = 176,3e^{j27,9^\circ} \text{ В.}$$

Бұл кернеуді келесі өрнектермен де анықтауға болады:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ав} &= \sqrt{3} \cdot \dot{U}_{an} e^{j30^\circ} = \sqrt{3} \cdot 101,8e^{-j2,1^\circ} \cdot e^{j30^\circ} = 176,3e^{j27,9^\circ} \text{ В;} \\ \dot{U}_{вс} &= \dot{U}_{ав} \cdot e^{-j120^\circ} = 176,3e^{j27,9^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 176,3e^{-j92,1^\circ} = -6,55 - j176,2 \text{ В;} \\ \dot{U}_{са} &= \dot{U}_{ав} \cdot e^{+j120^\circ} = 176,3e^{j27,9^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 176,3e^{j147,9^\circ} = -149,35 + j93,7 \text{ В.} \end{aligned}$$

Жүктеменің активті қуаты:

$$P_{жс} = \sqrt{3} U_c I_{cl} \cos \varphi_\phi = \sqrt{3} \cdot 176,3 \cdot 13,2 \cdot \cos(-2,1^\circ + 42,1^\circ) = 3088 \text{ Вт.}$$

Электр беріліс желісіндегі электр энергия шығындарының қуаты:

$$\Delta P = 3 \cdot I_c^2 \cdot R_c = 3 \cdot 13,2^2 \cdot 0,9 = 470 \text{ Вт.}$$

Электрмен жабдықтау жүйесінің ПӘК:

$$\eta = \frac{P_{жс}}{P_{жс} + \Delta P} \cdot 100\% = \frac{3088}{3088 + 470} \cdot 100\% = 86,8\% \approx 87\%.$$

Сұлбада жүктеменің реактивті қуатының толық қарымталануы режимін, яғни ҚҚ қосылған кездегі режимді есептейік. Жүктеменің қуат коэффициенті $\cos \varphi_{жс} = 1$.

Алдымен ҚҚ фазаларының кедергілер үшбұрышын эквиваленттік жұлдызшаға түрлендірейік:

$$X_{кк экв} = \frac{X_{ку}^2}{3X_{ку}} = \frac{1}{3} \cdot X_{ку} = \frac{1}{3} \cdot 36 = 12 \text{ Ом}.$$

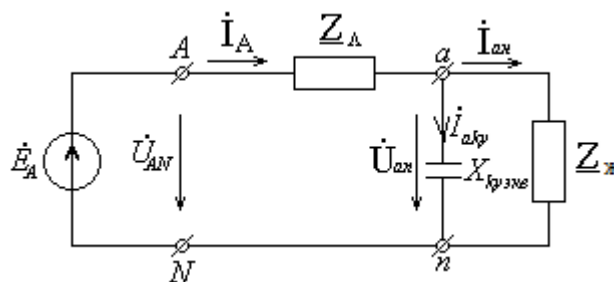
ҚҚ эквиваленттік сұлбасының жүктеме мен генератордың нейтралдарындағы потенциалдардай нейтралының потенциалы симметрия көзқарасымен нөлге тең. Сондықтан ҚҚ, жүктеменің және генератордың нейтралдары, потенциалы нөлге тең болатын бір түйінге біріктіріле алады.

А фазасы үшін РҚҚ бар болуы кезіндегі есептік сұлба 2.4 суретте көрсетілген.

Параллель қосылған ҚҚ есепке алған кездегі жүктеменің эквиваленттік кедергісі:

$$\underline{Z}_{a экв} = \frac{\underline{Z}_{жс} \cdot (-jX_{ку экв})}{\underline{Z}_{жс} - jX_{ку экв}} = \frac{(5,92 + j4,97)(-j12)}{5,92 + j4,97 - j12} = \frac{59,64 - j71,04}{5,92 - j7,03} = 10,1 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{кiр} = \underline{Z}_c + \underline{Z}_{a экв} = 0,9 + j1,2 + 10,1 = 11 + j1,2 = 11,07e^{j6,23^\circ} \text{ Ом}.$$



2.4 сурет – А фазасы үшін жүктеменің реактивті қуатының қарымталануы кезіндегі есептік сұлба

Желідегі ток:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_{кiр}} = \frac{121,2e^{j0^\circ}}{11,07e^{j6,23^\circ}} = 11e^{-j6,23^\circ} = 10,9 - j1,19 \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ} = 11e^{-j6,23^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 11e^{-j126,2^\circ} = -6,5 - j8,87 \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{j120^\circ} = 11e^{-j6,23^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 11e^{-j113,8^\circ} = -4,4 + j10,06 \text{ A}.$$

Желідегі кернеу түсуі:

$$\Delta \dot{U}_A = \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_c = 11e^{-j6,23^\circ} \cdot 1,5e^{j53,1^\circ} = 16,5e^{j46,9^\circ} = 11,3 + j12,0 \text{ В}.$$

Үшфазалы тізбектерде нөлге тең деп қабылданатын генератордың нейтралының потенциалына қатысты жүктеменің фазалы кернеулері және жүктеме фазаларының потенциалдары:

$$\dot{\varphi}_a = \dot{U}_{an} = \dot{E}_A - \Delta \dot{U}_A = 121,2 - 11,3 - j12 = 110 - j12 = 111e^{-j6,23^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{\varphi}_b = \dot{U}_{bn} = \dot{\varphi}_a \cdot e^{-j120^\circ} = 111e^{-j6,23^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 111e^{-j126,2^\circ} = -65,5 - j89,6 \text{ В};$$

$$\dot{\varphi}_c = \dot{U}_{cn} = \dot{\varphi}_a \cdot e^{+j120^\circ} = 111e^{-j6,23^\circ} \cdot e^{+j120^\circ} = 111e^{j113,8^\circ} = -44,8 + j101,6 \text{ В}.$$

Жүктеме фазаларының потенциалдарын анықтап, ҚҚ фазалары үшбұрышша жалғанған алғашқы сұлбаға оралуға болады. Жүктеменің сызықты кернеулері ҚҚ фазалы кернеулері болып табылады:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{\varphi}_a - \dot{\varphi}_b = 110 - j12 + 65,5 + j89,6 = 175,5 + j78 = 192e^{j23,9^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} e^{-j120^\circ} = 192e^{j23,9^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 192e^{-j96,1^\circ} = -20,4 - j191 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} e^{+j120^\circ} = 192e^{j23,9^\circ} \cdot e^{+j120^\circ} = 192e^{j144^\circ} = -155 + j113 \text{ В}.$$

Жүктеменің сызықты және фазалы токтары:

$$\dot{I}_{аж} = \frac{\dot{U}_{an}}{\underline{Z}_H} = \frac{111e^{-j6,23^\circ}}{7,73e^{j40^\circ}} = 14,4e^{-j46,2^\circ} = 10 - j10,4 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{бж} = \dot{I}_{ан} e^{-j120^\circ} = 14,4e^{-j46,2^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 14,4e^{-j166,2^\circ} = -14 - j3,4 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{сж} = \dot{I}_{ан} e^{j120^\circ} = 14,4e^{-j46,2^\circ} \cdot e^{+j120^\circ} = 14,4e^{j73,8^\circ} = 4 + j13,8 \text{ А}.$$

ҚҚ фазалы токтары:

$$\dot{I}_{авкк} = \frac{\dot{U}_{ab}}{-jX_{кy}} = \frac{192e^{j23,9^\circ}}{36e^{-j90^\circ}} = 5,33e^{j144^\circ} = -2,2 + j4,87 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{бс кк} = \dot{I}_{авкк} \cdot e^{-j120^\circ} = 5,33e^{j114^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 5,33e^{-j6^\circ} = 5,3 - j0,56 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{са кк} = \dot{I}_{авкк} \cdot e^{+j120^\circ} = 5,33e^{j114^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 5,33e^{j234^\circ} = -3,1 - j4,31 \text{ А}.$$

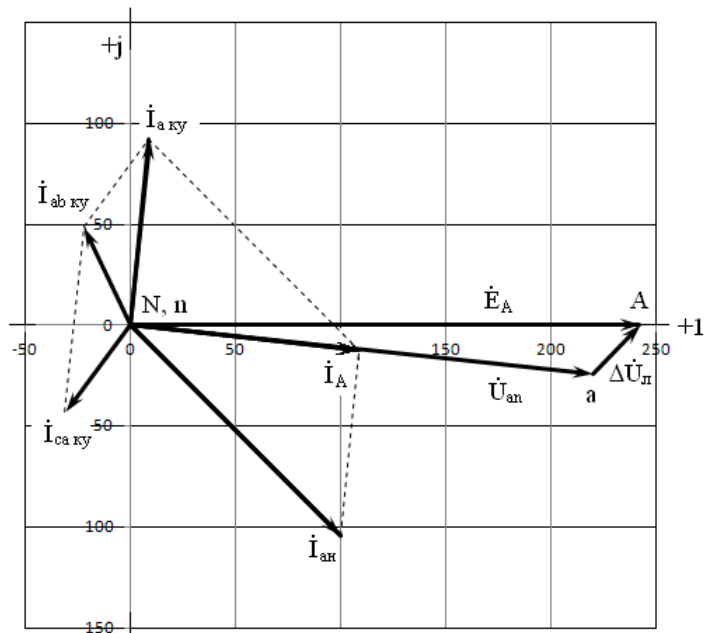
ҚҚ сызықты токтары:

$$\dot{I}_{a\text{ КК}} = \dot{I}_{a\text{ в КК}} - \dot{I}_{ca\text{ КК}} = -2,2 + j4,87 + 3,1 + j4,31 = 0,9 + j9,2 = 9,24e^{j84^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_{\text{ в КК}} = \dot{I}_{a\text{ в КК}} \cdot e^{-j120^\circ} = 9,22e^{j84^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 9,22e^{-j36^\circ} = 7,5 - j5,4 \text{ A};$$

$$\dot{I}_{c\text{ КК}} = \dot{I}_{a\text{ в КК}} \cdot e^{j120^\circ} = 9,22e^{j84^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 9,22e^{j204^\circ} = -8,4 - j3,8 \text{ A}.$$

А фазасы үшін жүктеменің реактивті қуатының толық қарымталануы кезіндегі, токтардың векторлық диаграммасымен біріккен кернеулердің топографиялық диаграммасы 2.5 суретте көрсетілген. В және С фазалары үшін кернеулер мен токтардың диаграммасы осындай түрді қабылдайды, тек кешенді жазықтықта сәйкесінше -120° және $+120^\circ$ ығысып тұрады.



2.5 сурет – Реактивті қуаттың толық қарымталануы кезіндегі, токтардың векторлық диаграммасымен біріккен кернеулердің топографиялық диаграммасы

Жүктеменің активті қуаты:

$$P_{\text{жс}} = \sqrt{3}U_c \cdot I_c \cdot \cos \varphi_\phi = \sqrt{3} \cdot 192 \cdot 14,4 \cdot 0,766 = 3668 \text{ Вт}.$$

Электр беріліс желісіндегі электр энергия шығындарының қуаты:

$$\Delta P = 3I_c^2 \cdot R_c = 3 \cdot 11^2 \cdot 0,9 = 327 \text{ Вт}.$$

Электрмен жабдықтау жүйесінің ПӘК:

$$\eta = \frac{P_{\text{жс}}}{P_{\text{жс}} + \Delta P} \cdot 100\% = \frac{3668}{3668 + 327} \cdot 100\% = 91,8\% \approx 92 \text{ \%}.$$

3 Есептеу-сызбалық жұмыс №3. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары мен шамаларын есептеу

Жұмыстың мақсаты: асинхронды электр қозғалтқыштың қысқы тұйықталу кезіндегі негізгі шамаларын есептеуге қол жеткізу.

3.1 Тапсырма

Үш фазалы асинхронды электр қозғалтқышы қысқы тұйықталу роторы бар $U_c = 380 В$ сызықтық кернеуі және $f = 50 Гц$ жиілігі бар желіден қуат алады. Қозғалтқыш шамалары 3.1-3.3 кестесінде берілген: номиналды қуат $P_{ном}$; номиналды айналу жиілігі $n_{ном}$; номиналды пайдалы әсер коэффициенті $\eta_{ном}$; номиналды жүктеме кезіндегі қуат коэффициенті $\cos\varphi_{ном}$; қысқартылған максималды моменті $\lambda_M = M_{max}/M_{ном}$; қысқартылған серіппе ток $\lambda_{пуск} = I_n/I_{ном}$ және U_ϕ статор орамасының номиналды фазалық кернеуі.

Келесілерді орындау қажет:

1) Асинхронды қозғалтқыштың үш фазалы желіге қосылғандағы сұлбасын сызу.

2) Статор орамасының байланысу түрін анықтау; қозғалтқыштың фазалық және сызықтық токтарын; статор орамасының қосполюстілер санын; номиналды сырғу және номиналды айналу моментін; критикалық сырғу; срепімділік тогының мәнін анықтау.

3) Келесі сырғу кезіндегі 0; 0.05; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; $s_{кр}$; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 1.0 ротор айналмасының сәйкес келетін жылдамдығын және қозғалтқыштың дамуын және айналу моментінің мәнін есептеу.

4) Айналу моментінің және ротор айналмасының жылдамдығынан есептелген мәндері үшін $n_2(M)$ асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының сызбасын тұрғызу қажет.

3.1 кесте

Оқуға түскен жылы	Сынақ кітапшасының соңғы саны									
Тақ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Жұп	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
$U_\phi, В$	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380
$P_{ном}, кВт$	10	20	25	35	15	30	40	45	50	55
ПӘК $\eta_{ном}, \%$	87	90	79	81	85	82	77	84	80	83

3.2 кесте

Оқуға түскен жылы	Сынақ кітапшасының соңғысының алдыңғы саны									
Тақ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Жұп	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{ном}, айн/мин$	2925	1455	970	735	585	726	2910	980	1470	582

3.3 кесте

Оқуға түскен жылы	Тегінің бірінші әріпі										
	ТАҚ	АЛХ	БМЦ	ВНЧ	ГОЦ	ДПШ	ЕРЭ	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ	КФ
Жүп	ЕРЭ	АЛХ	ЖСЮ	БМЦ	ЗТЯ	ВНЧ	ИУ	ГОЦ	КФ	ДПШ	
$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	0.91	0.86	0.86	0.82	0.87	0.9	0.81	0.89	0.9	0.75	
$\lambda_M = M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$	2.5	3	2	2	2	2.3	1.9	2.3	2.5	1.8	
$\lambda_{\text{Ипуск}} = I_n/I_{\text{НОМ}}$	7.5	6.5	6	5.5	5	4.5	4.0	3.5	7.0	3.0	

3.2 Әдістемелік нұсқау

Асинхронды қозғалтқыштың статордың байланысу түрлері, статор орамасының фазалық кернеу шамасымен және желінің сызықтық кернеуімен анықталады. Егер статор орамасының кернеуі желінің сызықтық кернеуіне тең болса, онда статор орамасының фазасы үшбұрыш сұлбасы бойынша байланысады. Кей жағдайда статор орамасының кернеуі желінің сызықтық кернеуінің $\sqrt{3}$ есе мәнінен аз болса, онда статор орамасының фазасы жұлдызша байланыста болады.

Асинхрондық қозғалтқышта желінің қуаты желіден тұтынылатын белсенді қуатты түрлендіру арқылы алынады, оның құны қуат ретінде жазылуы мүмкін:

$$P_1 = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi,$$

мұндағы P_1 – активті қуат, желіден қозғалтқыш пайдалануы, Bm ;

U_ϕ – фазалық кернеу, B ;

I_ϕ – статор орамасының фазалық тогы, A ;

$\cos\varphi$ – асинхронды қозғалтқыш қуаты коэффициенті.

Бұл өрнектен қозғалтқыштың фазасы мен сызықты ағымдарын анықтауға болады.

Желіден асинхронды қозғалтқыш арқылы тұтынылатын активті қуат тиімділікке арналған өрнектен анықталуы мүмкін:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta},$$

мұндағы η – салыстырмалы бірліктерде асинхронды қозғалтқыштың тиімділік коэффициенті;

$P_2 = P_{\text{НОМ}}$ – тиімді қозғалтқыш қуаты, Bm .

Асинхронды қозғалтқыш жұмыс істегенде, ротордың жылдамдығы статордың өрісінің айналу жиілігінен аз және бұл айырмашылық жылжымалы:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

мұндағы s – асинхронды қозғалтқыш сырғуы, *о. е.*;

n_2 – ротордың айналу жиілігі, *об/мин*;

n_1 – статор аумағының айналу жиілігі, мына теңдеумен анықталады:

$$n_1 = \frac{60f}{p},$$

мұндағы f – қоректенетін кернеу жиілігі, *Гц*;

p – асинхронды қозғалтқыш статорының қоспюлүсті орамасының.

Электр энергиясын механикалық энергияға айналдыру нәтижесінде индукциялық қозғалтқыштың білігіне пайдалы уақыт пайда болады:

$$M_2 = 9.55 \frac{P_2}{n_2},$$

мұндағы M_2 – қозғалтқыштың білігі үшін пайдалы момент, *Н·м*.

Асинхронды қозғалтқыштың айналу моменті сырғу мен Клосса теңдеуінің түріне тәуелді:

$$M = \frac{2M_{\max}}{s / s_{кр.} + s_{кр.} / s},$$

мұндағы M_{\max} – максималды момент, *Н·м*;

$s_{кр.}$ – максималды моментке сәйкес келетін критикалық сырғу.

Қозғалтқыштың максималды моментінің M_{\max} номиналдыға қатынасы қысқартылған максималды момент деп аталынады:

$$\lambda_{M_{\max}} = M_{\max} / M_n.$$

Қозғалтқыш моментінің номиналды мәніндегі Клосса теңдеуінен және сырғудан критикалық сырғуды анықтаймыз:

$$s_{кр.} = s_n \left(K_{\max} + \sqrt{K_{\max}^2 - 1} \right).$$

Сырғу мәнінің әртүрлі кезеңі үшін негізгі Клосса теңдеуінен айналу моментін анықтауға және асинхронды қозғалтқыштың $n_2(M)$ механикалық сипаттамасын тұрғызуға болады.

Мысалы. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш сызықтық кернеуі $U_c = 220$ В болатын желіден қоректенеді. Қозғалтқыштың берілген мәндері: $P_H = 1,5$ кВт номиналды қуат, $n_H = 1425$ айн/мин айналу жиілігі, $\eta_H = 81,5$ % пайдалы әсер коэффициенті, $\cos \varphi_{1H} = 0,85$ номиналды жүктеме кезіндегі қуат коэффициенті, $\lambda_{M_{\max}} = M_{\max} / M_n = 1,8$ қысқартылған максималды момент,

$\lambda_{\text{сер}} = I_{\text{II}} / I_{\text{H}} = 6,5$ қысқартылған серпімді ток. $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ статор орамасының номиналды фазалық кернеуі.

Анықтау қажет:

- 1) Статор орамасының қосылу әдістері.
- 2) Қозғалтқыштың фазалық және сызықтық токтары.
- 3) Қосполюстілер саны.
- 4) Номиналды сырғу және номиналды момент.
- 5) Критикалық сырғу.
- 6) Серіппе ток шамасы.
- 7) Сырғудың келесі мәндері үшін 0,03; 0,05; 0,15; $s_{\text{кр}}$; 0,25; 0,5; 0,75; 0,9; 1,0 қозғалтқыш білігінің айналу моментінің шамасын анықтау.
- 8) Асинхронды қозғалтқыштың $n(M)$ механикалық сипаттамасының сызбасын салу.

Шешуі. Желінің сызықтық кернеуі мен ораманың фазалық кернеулері тең болғандықтан, асинхронды қозғалтқыштың статор орамасының байланысу сұлбасы үшбұрышты болуы керек

Желіден қоректенетін қозғалтқыштың активті қуаты келесі теңдеумен анықталады:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{1500}{81,5\%} \times 100\% = 1,84 \text{ кВт.}$$

Асинхронды қозғалтқыштың статор орамасындағы фазалық ток:

$$I_{\phi} = \frac{P_1}{3 U_{\phi} \cos \varphi_1} = \frac{1840}{3 \cdot 220 \cdot 0,85} = 3,28 \text{ А.}$$

Үшбұрышша байланыс кезіндегі, желіден қоректенетін қозғалтқыштың сызықтық тогы келесі теңдеумен анықталынады:

$$I_c = \sqrt{3} I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 3,28 = 5,68 \text{ А.}$$

Қозғалтқыштың $1425 \text{ айн} / \text{мин}$ айналу жиілігі берілген кездегі өрістің айналу жиілігі $1500 \text{ айн} / \text{мин}$, тең, ал қосполюстілер саны төменгі теңдеумен анықталады:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Қозғалтқыштың номиналды сырғуы:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0,05.$$

Номиналды жүктеме кезіндегі қозғалтқыш білігінің пайдалы моменті келесі теңдеумен анықталынады:

$$M_H = 9,55 \frac{P_2}{n_2} = 9,55 \frac{1500}{1425} = 10,05 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Номиналды жұмыс режимі үшін критикалық сырғуды Клосса теңдеуінен анықтаймыз:

$$s_{кр} = s_H \left(K_{\max} + \sqrt{K_{\max}^2 - 1} \right) = 0,05 \left(1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1} \right) = 0,165.$$

Қысқартылу берілген кездегі максималды моментті анықтау:

$$M_{\max} = K_{\max} M_H = 1,8 \cdot 10,05 = 18,1 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Сырғу $s = 0.03$ кезінде асинхронды қозғалтқыштың айналу моменті Клосса теңдеуінің негізінде анықталынады:

$$M = \frac{2M_{\max}}{s / s_{кр.} + s_{кр.} / s} = \frac{2 \cdot 18,1}{0,03 / 0,165 + 0,165 / 0,03} = 6,37 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Сырғудың осы мәніндегі ротордың айналу жиілігі:

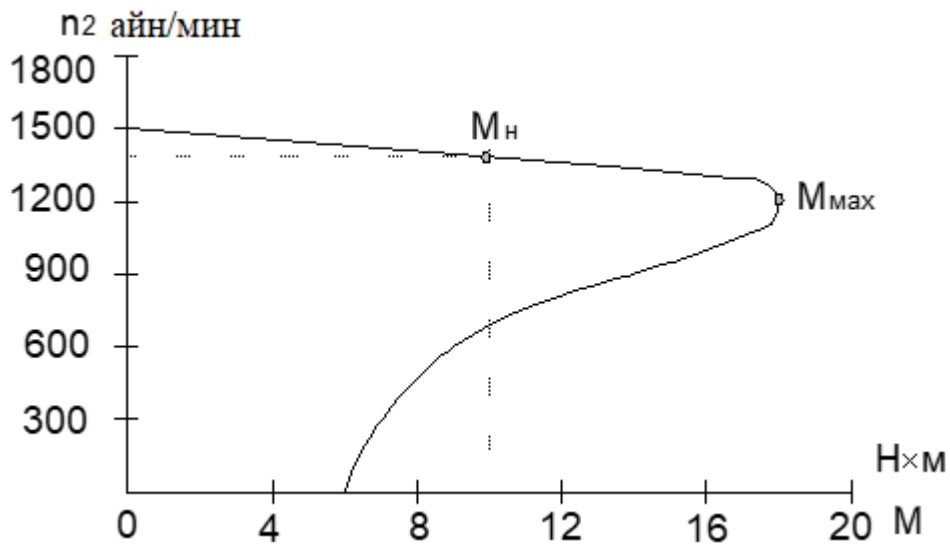
$$n_2 = n_1 (1 - s) = 1500(1 - 0,03) = 1455 \text{ айн/мин}.$$

Айналу моменті және қозғалтқыш айналымдары, сырғудың басқа берілгендері үшін аналогты түрде анықталынады, 3.4 кестеде есептеу нәтижелері көрсетілген

3.4 кесте – Айналу моменті және қозғалтқыштың айналу жиілігі

s	0.03	0.05	0.15	0.165	0.25	0.5	0.75	0.9	1.0
$n_2, \text{ айн / мин}$	1455	1425	1275	1252	1125	750	375	150	0
$M, \text{ Н}\cdot\text{м}$	6.37	10.05	17.32	18.1	16.64	10.77	7.6	6.42	5.81

3.4 кестедегі берілген нәтижелер бойынша асинхронды қозғалтқыштың $n_2 = f(M)$ механикалық сипаттамасының сызбасын тұрғызу қажет (3.1 сурет).



3.1 сурет – Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы

Қозғалтқышты қосу кезіндегі сызықты және фазалық токтарды, берілген токтардың номиналдыға қатынасымен анықтайды:

$$I_{II} = 6.5I_c = 6.5 \cdot 5.68 = 36.92 \text{ A}; \quad I_{II} = 6.5I_\phi = 6.5 \cdot 3.28 = 21.32 \text{ A}.$$

Қорытынды. Асинхронды қозғалтқыштың статор орамасының үшбұрышша жалғанған сұлбасы бойынша байланысы кезіндегі номиналды ток мәні 3.28 А, серіппе режимінде сызықтық ток 36.92 А өседі, ал фазалық ток мәні – 21.32 А мәнге дейін жетеді.

4 Есептеу-сызбалық жұмыс №4. Импульстік кернеу тұрақтандырғышының күштік элементтерінің параметрлерін есептеу

Жұмыстың мақсаты: біртекті импульстік тұрақтандырғыш кернеуінің шамаларын таңдау және есепті шығаруға машықтану.

4.1 Тапсырма

Импульстік кернеу тұрақтандырғышы күштік элементтерінің шамаларын есептеу үшін негізгі берілген нұсқалары, сонымен қатар бақылаушының микросұлбалары 4.1 кестеде келтірілген. Кіріс тұрақты кернеуінің өзгеруі $U_{kip.min} / U_{шығ.max}$ максималды және минималды диапазонының мәндері көрсетілген, $U_{шығ}$ шығыстағы тұрақтандырылған кернеу, I_n жүктеменің номиналды тогы және $f_{тыр}$ тұрақтандырғышты түрлендірудегі жұмыстық импульстік жиілік.

Барлық нұсқалар үшін шығыс кернеуінің амплитудасының пульсациясына $U_{шығ.m} = 22$ мВ жоғары мәнін алу қажет және $\Delta U_{шығ.} = 0,05 U_{шығ}$ деңгейдегі жүктемені тоғыту кезінде шығыс кернеуінің шығыңқы мәні шектелген. Қоршаған ортаның температурасын $T = 25^\circ\text{C}$ қа тең деп алынған.

Өз нұсқаңыздың тұрақтандырғыш сұлбасы үшін есептеу қаже:

1) Импульстің толтыру коэффициентін γ_{\min} және γ_{\max} максималды және минималды шамаларын есептеу (импульс коэффициентінің сығылуы деп атайды).

2) Дроссельді және дросселдің $L_{кр}$ индуктивтілігінің критикалық мәнін таңдау.

3) Конденсаторды және C сүзгінің конденсаторының сыйымдылығы таңдау.

4) Дросселдегі амплитуда пульсациясының тогы ΔI_L және транзистордың қайта қосылуы кезіндегі максималды ток $I_{K \max}$.

5) транзисторды және жабық транзистордағы $U_{КЭ \max}$ максималды кернеуді таңдау;

6) диодты және максималды тура тоқты $I_{VD \text{ тик. max}}$, Шоттки диодының жоғары жиілікті $U_{VD \text{ кері. max}}$ кері кернеуін таңдау;

7) қуаттар, тұрақтандырғыштың ПӘК және күштік компоненттердің шашырауын анықтау;

Пайдаланылған бақылаушы микросұлбаның блок –сұлбасын салу және қысқаша сипаттама келтіріп оны негізгі блокка тағайындау.

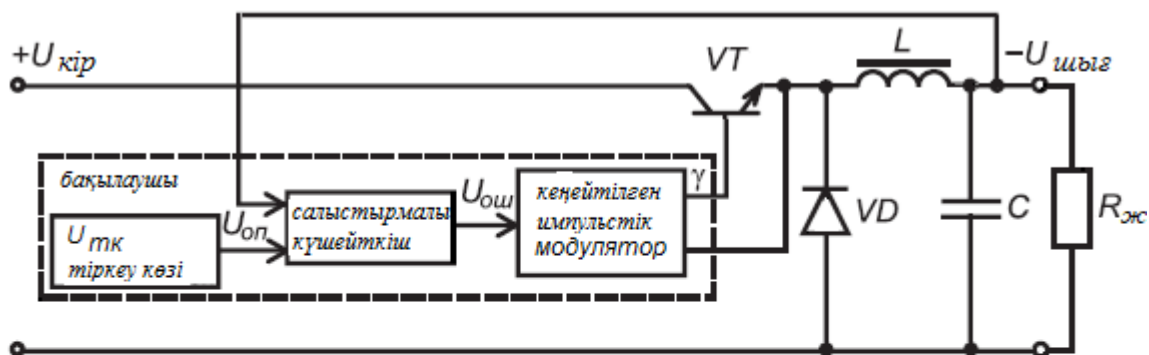
Тұрақтандырғыш кернеуінің берілген типі үшін типтік ұстанымдылық электр сұлбасын салу және ток пен кернеудің жұмысын түсіндіретін уақыттық диаграммасын салу .

4.1 кесте – Тұрақтандырғыштың номиналды шамалары және тип нұсқалары

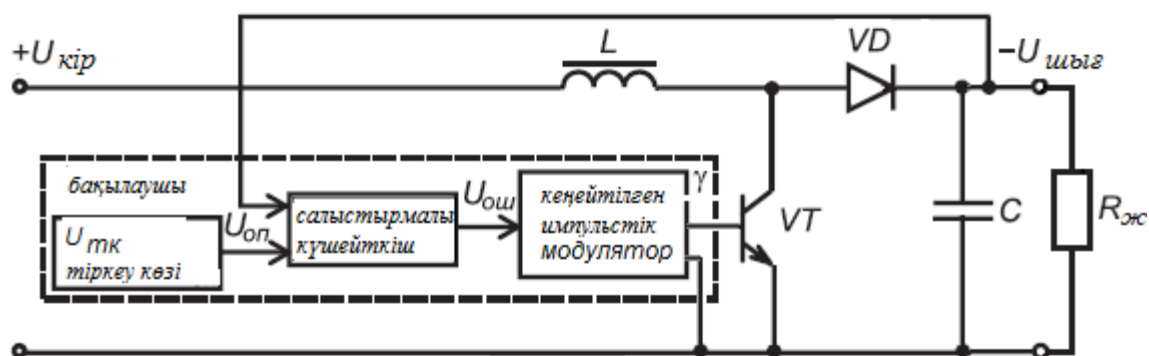
Оқуға түскен жылы	Сынақ кітапшасының соңғы саны									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
жұп	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
тақ	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
Тұрақтандырғыш типі	төмендеуші	жоғарғылаушы	Инверторлы	төмендеуші	жоғарғылаушы	Инверторлы	төмендеуші	жоғарғылаушы	төмендеуші	төмендеуші
Базалық микросұлба	1155EY1 (LAS6380)	1156EY1 (μA78S40)	1156EY1 (μA78S40)	LAS6350	LAS6350	1156EY5 (MC34063A)	1114EY4 (TL494)	1156EY5 (MC34063A)	1156EY5 (MC34063A)	1155EY2 (L296)
Диапазон, В $U_{кпр. \min} / U_{шығ. \max}$	25/35	7/15	10/20	23/32	5/15	4/10	21/35	8/17	15/25	20/35
$U_{шығ.}, В$	15	25	-15	14	25	-12	9	28	5	15
$I_n, А$	2	1,5	1,3	1,2	1,4	0,9	2,5	1,0	3,5	1,8
$f_{нр.}, кГц$	55	75	57	67	91	72	105	77	87	155

4.2 Әдістемелік нұсқау

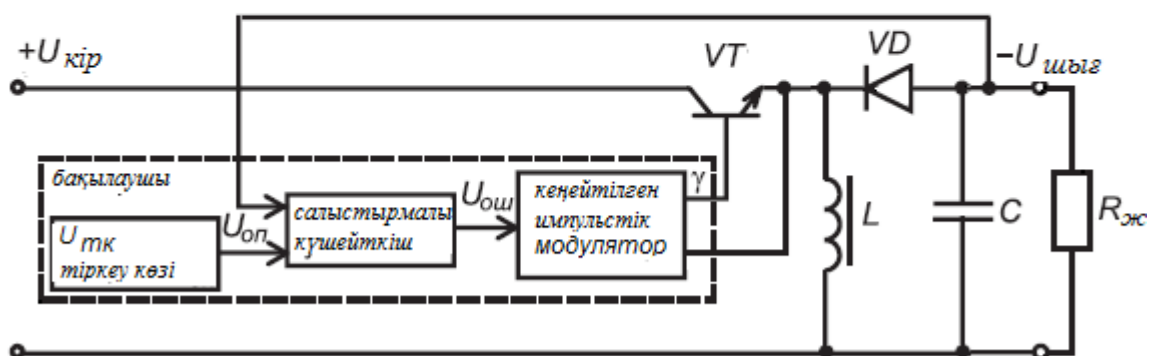
Импульстік кернеу тұрақтандырғышы үш негізгі типке бөлінеді, ол күштік элементтердің бөліктерінің байланыс сұлбаларына тәуелді. 4.1 суретте импульстік тұрақтандырғыштың үш типтік құрылымдық сұлбалары көрсетілген, жоғарылаушы, төмендеуші және инверторлы.



а) төмендеуші



б) жоғарылаушы



в) инвертолы

4.1 сурет – Импульстік кернеу тұрақтандырғышы (құрылымдық сұлбас):

Импульстік тұрақтандырғыштың күштік бөлігі басқарылатын элементтерден тұрады, олар кілттік режимде жұмыс істейтін VT транзистор, VD диод, (дросселдің) L өзекшелі индуктивтіліктің катушқасы магнит өрісінде

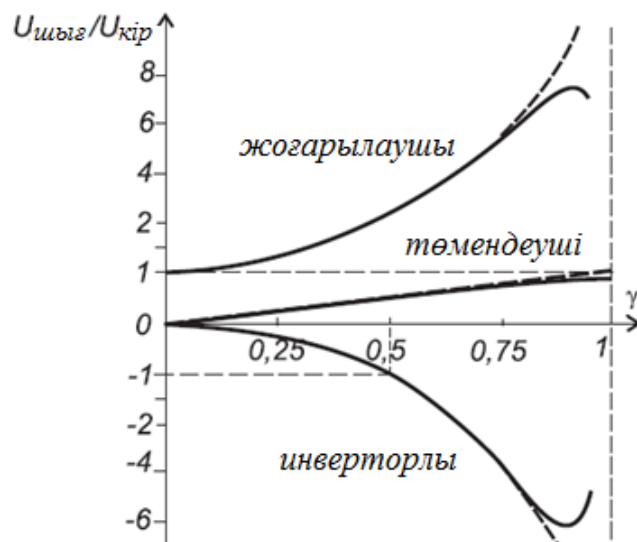
энергияны жинайды және сүзгідегі C конденсаторды тегістейді. Кернеу тұрақтандырғышының шығысына бақылау түскен кезде, транзистордың кілтін кері байланыстың сигналынан тәуелді бақылаушы басқарады. Бақылау құрылымдық блок-сұлба түрінде көрсетілген, ол тіркеу кернеуі бар тұрақтандырғыш көзден тұрады (ТКК), салысырмалы күшейткіш, $U_{ош.}$ Сигнал қателігін жинақтаушы және кеңейтілген импульстік модератор (КИМ).

КИМ жоғары жиіліктік импульстік басқарылумен құрылады, оны $f_{мыр.}$ жиіліктік түрлендіру деп атайды, VT (басқарылатын кілт) транзисторы үшін $\gamma = t_u/T$ толтыру коэффициентімен анықталынатын, мұндағы t_u – транзисторлық кілттің ашық уақыттық күйі (қосылған), t_n – транзисторлық кілттің жабық уақыттық күйі, яғни тоқтатылған уақыт (өшірілген) және $T = t_u + t_n$ – импульс периоды, $f_{мыр.} = 1/T$.

γ толтыру коэффициентінің шамасы, 0,9 – 0,95 аспауы керек, себебі VD диодтағы, және C конденсатор сүзгісіндегі зарядталған токтың, VT транзистордағы токтың шамасын максималды мәнге дейін өсіп кетпеуіне жол бермеуі тиіс

Шығыс кернеуіндегі тұрақтандырғыш теріс кері байланыстың көмегімен қамтамасыз етіледі. Мысалы, шығыс кернеуінің шамасы берілген мәннен жоғары болған кезде $U_{ош.}$ қателік сигналының мәні де өседі де ол t_u мәнінің төмендеуіне әкеп соғады яғни транзистор кілтіннің ашық күйінің төмендетуін жалғастырады, өз кезегінде шығыс кернеуінің төмендеуіне әсер етеді, яғни бастапқыдағы берілген мәніне қайта келеді.

4.2 суретте импульстік кернеу тұрақтандырғыштарының реттеуіш сипаттамасы және шығыс кернеуін үшін сәйкес есептік формулалары көрсетілген.



Тұрақтандырғыштың шығыс кернеуі:

$$\text{жогарылаушы} - U_{шыг} = \frac{U_{кпр}}{1 - \gamma}$$

$$\text{төмендеуші} - U_{шыг} = \gamma \cdot U_{кпр}$$

$$\text{инверторлы} - U_{шыг} = -\frac{\gamma \cdot U_{кпр}}{1 - \gamma}$$

4.2 сурет – Импульстік тұрақтандырғыштың реттеуіш сипаттамасы

Инверторлы тұрақтандырғыш коэффициенті $\gamma > 0,5$ кезінде жоғары, ал $\gamma < 0,5$ кезінде төмен болатындығын есте сақтау қажет.

4.2 кестеде тұрақтандырғыш шамаларының есептеу формулалары

келтірілген. Дроссел индуктивтілігі L критикалық $L_{кр.}$ шамасынан үлкен болуы тиіс, себебі үздіксіздік ток шартымен анықталынады.

Импульстік тұрақтандырғыштың жұмыс шартының қалыпты жағдайы үшін, кіріс және шығыс кернеулерінің арасында келесідей қатынастар ұсынылады.

- жоғарлаушыы тұрақтандырғыш үшін $U_{кр. max} \leq (0,8 - 0,9)U_{шыг.}$;
- төмендеуші тұрақтандырғыш үшін $U_{кр. min} \geq 0,8U_{шыг.}$;
- инверторлы тұрақтандырғыш үшін $0,2U_{кр. min} \leq |U_{шыг.}| \leq 5U_{шыг. max.}$

Тұрақтандырғыштың барлық типтері үшін онреттік және оданда жоғары, төмендеуші және жоғарылаушы кернеулер ұсынылмайды.

4.2 кесте

№	Есептеу шамалары	Импульстік кернеу тұрақтандырушының типі		
		төмендеуші	жоғарылаушы	инверторлы
1	γ	$U_{шыг.}/U_{кр.}$	$(U_{шыг.} - U_{кр.})/U_{шыг.}$	$U_{шыг.}/(U_{кр.} + U_{шыг.})$
2	γ_{max}	$U_{шыг.}/U_{кр. min}$	$(U_{шыг.} - U_{кр. min})/U_{шыг.}$	$U_{шыг.}/(U_{кр. min} + U_{шыг.})$
3	γ_{min}	$U_{шыг.}/U_{кр. max}$	$(U_{шыг.} - U_{кр. max})/U_{шыг.}$	$U_{шыг.}/(U_{кр. max} + U_{шыг.})$
4	$L > L_{кр.}$	$\frac{U_{шыг.} \cdot (1 - \gamma_{min})}{2f_{мур.} \cdot I_{н. min}}$	$\frac{U_{шыг.} \cdot \gamma_{max} (1 - \gamma_{max})^2}{2f_{мур.} \cdot I_{н. min}}$	$\frac{U_{шыг.} \cdot (1 - \gamma_{min})^2}{2f_{мур.} \cdot I_{н. min}}$
5	C_H^I	$\frac{U_{шыг.} \cdot (1 - \gamma_{min})}{16f_{мур.}^2 \cdot L \cdot U_{шыг. m}}$	$\frac{U_{шыг.} \cdot \gamma_{max} \cdot I_{н. max}}{2f_{мур.} \cdot U_{шыг. m}}$	
6	C_H^{II}	$\frac{L \cdot (I_{н. max} - I_{н. min})^2}{2 \cdot \Delta U_{тандаулы} \cdot U_{шыг.}}$		
7	ΔI_L	$\frac{U_{шыг.} \cdot (1 - \gamma_{min})}{L \cdot f_{мур.}}$	$\frac{U_{шыг.} \cdot \gamma_{min} \cdot (1 - \gamma_{min})}{L \cdot f_{мур.}}$	
8	$I_{K max}$	$I_{ж. max} + \frac{\Delta I_L}{2}$	$\frac{I_{ж. max}}{(1 - \gamma_{max})} + \frac{\Delta I_L}{2}$	
9	$U_{КЭ max}$	$U_{кр. max} = U_{шыг.}/\gamma_{min}$	$U_{шыг.}$	$U_{шыг.}/\gamma_{min}$
10	$P_{VT max}$	$I_{н. max} U_{КЭнас.} \gamma_{max} + 0,5U_{КЭ max} I_{K max} (t_u + t_n) f_{мур.} + \frac{k_{нас.} \gamma_{max} U_{БЭнас.} I_{K max}}{h_{21Э min}}$	$\frac{I_{н. max} U_{КЭнас.} \gamma_{max}}{1 - \gamma_{max}} + \frac{U_{КЭ max} I_{K max} (t_u + t_n) f_{мур.}}{2} + \frac{k_{нас.} \gamma_{max} U_{БЭнас.} I_{K max}}{h_{21Э min}}$	
11	$I_{VD пр. max}$	$I_{ж. max} + \frac{\Delta I_L}{2}$	$\frac{I_{н. max}}{(1 - \gamma_{max})} + \frac{\Delta I_L}{2}$	
12	$U_{VDобр. max}$	$U_{кр. max} = U_{шыг.}/\gamma_{min}$	$U_{кр.}$	$U_{шыг.}/\gamma_{min}$
13	$P_{VD max}$	$U_{мик.} I_{ж. max} (1 - \gamma_{min})$	$U_{мик.} I_{ж. max} (1 - \gamma_{min}) / (1 - \gamma_{max})$	
14	η	$\frac{U_{ж.} I_{ж. max}}{U_{ж.} I_{ж. max} + P_{VT max} + P_{VD max} + P_{др.}}$		

Ескерту – Дросселдің активті кедергісін шамамен $R_{др} = 150 \cdot L_{др}$ тең деп алға болады. Дросселдегі токтың әсерлік мәні шашамен кілттік транзистор коллекторындағы токтың мәнімен шамалас, сол себепті дросселдің қуаты $P_{др.} = I_{K \max}^2 R_{др.}$ тең. Сүзгінің конденсаторының сыйымдылығын C_H^I және C_H^{II} екі мән бойынша таңдап алады, ол $U_{шығ.м}$ шығыс кернеуінің пульстік амплитудасының шектелу шартының есептелуіне сәйкес және тоғытылған жүктеме кезіндегі шығыс кернеуінің $\Delta U_{шығ.м}$ шығыңқы мәнінің шектелу шартына байланысты.

А қосымшасы

Есептеу-сызба жұмыстарын безендіру және орындау талаптары

А.1 Есептеу-сызба жұмысының құрамы:

- а) алғашқы бет;
- б) мазмұны;
- в) кіріспе;
- г) тапсырма;
- д) негізгі бөлім;
- е) қорытынды (тұжырым);
- ж) әдебиеттер тізімі;
- к) қосымша.

А.2 Тапсырма мәтінінде өз нұсқасы үшін сандық мәндері және суреттері болуы тиіс.

А.3 Есептеу-сызба жұмысының әр бөлімінің атауы болуы қажет.

А.4 Есептеу-сызба жұмысының орындау да қолжазба немесе компьютерде Times New Roman кегль 14 шрифті арқылы терілуі тиіс. Мәтін А4 форматты қағазының бір жақ бетіне ғана жазылады. Беттің төрт жақ қабырғасынан арнайы келтірілген аралықтарды қалтыру керек: 25 мм – сол жағы, 18 мм – оң жағы, 20 мм – жоғарғы жақ бөлігі, 25 мм – төменгі жақ бөлігі.

А.5 Алғашқы беттен бастап барлық беттердің нөмірі болуы тиіс. Нөмір беттің төменгі жақ бөлігінің ортасында нүктесіз жазылады.

А.6 Есептер түсіндірме жолымен жазылуы керек. Тек есептеу жолы мен қортынды нәтижесін жазуға болмайды. Егер жұмыстың есептелуі және түсіндірмесі қысқартылған болса, ол жұмыс қорғауға жіберілмей студенттің өзіне толықтырылуы үшін қайтарылады.

А.7 Суреттер, сызбалар сондай-ақ сұлбалар нөмірленген және ұқыпты орындалуы керек.

А.8 Сызбада міндетті түрде бейненің шамасының атауы және өлшем бірлігі көрсетілуі қажет. Диаграммаға немесе сызбаға пайдалануға ыңғайлы етіп, масштаб тандап алу керек. Тандап алынған масштабқа байланысты сызбаның немесе диаграммалардың шкалалары жазылады.

А.9 Белгілі бір өлшемі бар шамаларды соңғы қорытындының өлшем бірліктеріне сәйкес жазу қажет. Барлық электрлік шамалардың белгіленуі МСС сәйкес болуы тиіс.

А.10 Кіріспе негізінде осы бөлімді меңгергендігі қажет.

А.11 Есептеу-сызба жұмысын силлабустағы көрсетілген уақытқа дейін, тексеруге өткізілуі тиіс. Егер студент жұмысты өткізу уақытынан кешіктірген жағдайда, жұмысқа қойылатын қортынды бағасы төмендетіледі.

Б қосымшасы

Есептеу-сызба жұмысының алғашқы бетінің үлгісі

**«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»
Коммерциалық емес акционерлік қоғамы**

Электротехника кафедрасы

№ __ Есептеу-сызба жұмысы

Пәні бойынша _____

Тақырыбы _____

Мамандығы _____

Орындаған _____ Топ _____
(Аты-жөні)

Қабылдаған _____
(аты-жөні лауазымы, дәрежесі)

_____ « ____ » _____ 20 ____ ж.
(бағасы) (қолы)

Алматы 20 ____ ж.

Әдебиеттер тізімі

Негізгі

- 1 Немцов М. В. Электротехника и электроника: Учебник. – 3-е изд., стер. – М.: Академия, 2010. – 432 с.
- 2 Данилов И. А. Общая электротехника: Учебное пособие для учащихся вузов и техникумов, бакалавров, специалистов / И. А. Данилов. – М.: Юрайт, 2010. – 673 с.: ил.
- 3 Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 701 с.

Қосымша

- 4 Рекус Г. Г., Белоусов А. И. Сборник задач по электротехнике и основам электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 416 с.: ил.
- 5 Прянишников В. А. Электроника: Полный курс лекций. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: Учитель и ученик: КОРОНА принт, 2003. – 416 с., ил.
- 6 Электротехника и электроника: Учебник для вузов. В 3-х кн. Кн.3. Электрические измерения и основы электроники / Под ред. проф. В. Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 432 с.
- 7 Гейтенко Е. М. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет. Учебное пособие. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 448 с.
- 8 Баймаганов А. С. Электротехника и электроника. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 050717 – Теплоэнергетика. – Алматы: АИЭС, 2008. – 85 с.
- 9 Электротехника и электроника: Учебное пособие / Г. М. Светашев, А. С. Баймаганов. – Алматы: АУЭС, 2010. – 106 с.
- 10 Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench. В 2-х т. / Под ред. Д. И. Панфилова. – М.: ДОДЭКА, 1999. – т. 1. – Электротехника. – 304 с.
- 11 Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench. В 2-х т. / Под ред. Д. И. Панфилова. – М.: ДОДЭКА, 2000. – т. 2. – Электроника. – 288 с.

Мазмұны

Кіріспе	3
1 Есептеу-сызбалық жұмыс №1. Тұрақты ток сызықты электр тізбектерін есептеу	4
1.1 Тапсырма	4
1.2 Әдістемелік нұсқау	6
2 Есептеу-сызбалық жұмыс №2. Үшфазалы электр тізбектерді есептеу	8
2.1 Тапсырма	8
2.2 Әдістемелік нұсқау	10
3 Есептеу-сызбалық жұмыс №3. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары мен шамаларын есептеу	16
3.1 Тапсырма	16
3.2 Әдістемелік нұсқау	17
4 Есептеу-сызбалық жұмыс №4. Импульстік кернеу тұрақтандырғышының күштік элементтерінің параметрлерін есептеу	21
4.1 Тапсырма	21
4.2 Әдістемелік нұсқау	23
А қосымшасы Есептеу-сызба жұмыстарын безендіру және орындау талаптары	27
Б қосымшасы Есептеу-сызба жұмысының алғашқы бетінің үлгісі	28
Әдебиеттер тізімі	29

Алиаскар Саинұлы Баймаганов
Алма Исаханқызы Нурова

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА

№1-4 есептеу-сызбалық жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар. 5В071700 – Жылу энергетикасы мамандығы үшін

Редакторы Ж. Н. Изтелеуова

Стандарттау бойынша маман Г. И. Мухаметсариева

Басылуға қол қойылды « ____ » _____
Таралымы 50 дана
Көлемі 1,9 оқу бас.ә.

Формат 60x84 1/16
№1 Баспаханалық қағаз
Тапсырыс ____ Бағасы 950 теңге

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы
050013 Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1