



**Коммерциялық емес
акционерлік қоғам**

**ҒҰМАРБЕК ДӘУКЕЕВ
АТЫНДАҒЫ АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ
БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электротехника кафедрасы

ЭЛЕКТРОТЕХНИКАНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Курстық жұмысты орындауға әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар
(6В07108 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығының білім
бағдарламасы бойынша білім алатын студенттерге арналған)

Алматы 2023

Құрастырушылар: Баймаганов А. С., Креслина С. Ю., Аршабекова А. Т. ЭТН. Курстық жұмысты орындауға әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар (6В07108 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығының білім бағдарламасы бойынша білім алатын студенттерге арналған) – Алматы: АЭЖБУ, 2022.– 30 б.

Курстық жұмысты орындауға әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар ЭТН пәнінің негізгі бөлімдері бойынша үш есептен құралады.

Әрбір есеп тапсырма мен әдістемелік нұсқаулардан құралады. Студент транскрипт нөмірінің соңғы екі саны және тегінің бірінші әрпі бойынша таңдалатын есептің алғашқы берілгендерінің жеке жиынтығын алады.

Әдістемелік әзірleme 6В07108 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығының білім бағдарламасы бойынша білім алатын студенттерге арналған.

Сур. – 14, кесте – 10, әдеб. – 6 атау.

Пікір беруші: PhD, «ЭМЭЖ» кафедрасының доценті

Н.К. Алмуратова

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2022 ж басылым жоспары бойынша басылады.

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2022 ж.

Мазмұны

| | |
|---|----|
| Кіріспе..... | 4 |
| 1 Тапсырма № 1. Синусоидалы токтың сызықты электр тізбегін есептеу. | 5 |
| 1.1 Тапсырма..... | 5 |
| 1.2 Алғашқы берілгендер нұсқалары..... | 5 |
| 1.3 Әдістемелік нұсқаулар..... | 8 |
| 2 Тапсырма № 2. Өтпелі кезеңдерді есептеу..... | 12 |
| 2.1 Тапсырма..... | 12 |
| 2.2 Алғашқы берілгендер нұсқалары..... | 12 |
| 2.3 Әдістемелік нұсқаулар..... | 14 |
| 3 Тапсырма № 3. Төрт ұштылар теориясының қолданылуы..... | 21 |
| 3.1 Тапсырма..... | 21 |
| 3.2 Алғашқы берілгендер нұсқалары..... | 22 |
| 3.3 Әдістемелік нұсқаулар..... | 25 |
| А қосымшасы..... | 29 |
| Әдебиеттер тізімі..... | 30 |

Кіріспе

Курстық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар 6В07108 – «Автоматтандыру және басқару» білім беру бағдарламасына сәйкес «Электротехниканың теориялық негіздері» пәні бойынша әдістемелік әдебиеттер кешенінің құрамдас бөлігі болып табылады.

Курстық жұмыс ЭТН пәнінің негізгі бөлімдері бойынша үш тапсырмадан тұрады: «Бірфазалы синусоидалы токтың сызықты электр тізбектерін есептеу әдістері», «Сызықты электр тізбектеріндегі өтпелі кезеңдерді есептеу әдістері» және «Төрт ұштылар теориясын бірфазалы синусоидалы токтың сызықты электр тізбектерінің режимдерін есептеуде қолдану».

Әрбір тапсырма алғашқы берілгендердің бірнеше нұсқасынан тұрады. Студент алғашқы берілгендер нұсқасын, оқуға түскен жылын (жүп немесе тақ) ескере отырып, оның транскрипт нөмірінің соңғы және соңғысының алдыңғы сандары, сонымен қатар тегінің бірінші әрпі бойынша таңдайды.

Студенттер пәннің Силлабусында келтірілген тапсырмаларды беру және қабылдау кестесіне сәйкес әрбір тапсырманы жеке алады, орындайды және тапсырады.

Курстық жұмыстың тапсырмалары бойынша есептерді орындау және безендіру ережелері:

Әр студент курстық жұмыстың жеке тапсырмалары бойынша өз бетінше есеп дайындайды. Есепті орындау және безендіру кезінде Word, Excel, SMath Studio және т.б. сияқты компьютерлік қосымшаларды барынша пайдалануға болады.

Есеп титулдық бет және келесі бөлімдерден құралу керек:

- алғашқы берілгендер, зерттелетін тізбектердің сұлбалары;
- тапсырма;
- қажетті есептеулер мен графиктер;
- жұмыс нәтижелері бойынша қорытындылар;
- пайдаланылған әдебиеттер тізімі.

Есептер электронды түрде Word қосымшасында безендіріледі және тапсырылады, парақ өлшемі А4 (210x297 мм). «Оқу порталына» файлды жіберу кезінде PDF пішімін пайдалануға болады. Оқытушы есептің баспа нұсқасын да сұрауы мүмкін.

Титулдық беттің мысалдық түрі А қосымшасында келтірілген.

1 Тапсырма № 1. Синусоидалы токтың сызықты электр тізбегін есептеу

Тапсырманың мақсаты: комплексті сандарды пайдалана отырып, әртүрлі әдістермен сызықты электр тізбектерін есептеу, сонымен қатар векторлық және топографиялық диаграммаларды құру дағдыларын меңгеру.

1.1 Тапсырма

Параметрлері берілген нұсқа бойынша сұлба үшін келесі тапсырмаларды орындау:

1. Кирхгоф заңдары бойынша барлық тармақтардағы токтарды есептеу үшін дифференциалды және комплексті түрде теңдеулер жүйесін жазу;

2. Контурлық токтар әдісі бойынша комплексті түрде теңдеулер жүйесін құру және анықталған контурлық токтар бойынша барлық тармақтардағы токтарды есептеуге арналған қосымша теңдеулерді жазу;

3. Түйіндік потенциалдар әдісі бойынша комплексті түрде теңдеулер жүйесін құру және тізбек бөлімшесі үшін Ом заңы бойынша барлық тармақтардағы токтарды есептеуге арналған қосымша теңдеулерді жазу;

4. Қорек көзі мен жүктеменің комплексті қуаттарының тепе-теңдігі теңдеуін жазу;

5. 1.1-кестеде көрсетілген әдіспен барлық тармақтардағы токтардың комплексті мәндерін есептеу, есептеу нәтижелерін қуаттар тепе-теңдігінің теңдеуіне қою арқылы тексеру;

6. Бірінші тармақтың элементтеріндегі кернеулердің комплексті мәндерін есептеу;

7. Тармақ қосылған түйіндердің біреуінің потенциалын нөлге тең етіп алып, бірінші тармақтың элементтері арасындағы барлық нүктелердің потенциалдарын есептеу.

8. Бірінші тармақтың I_1 тогының векторлық диаграммасымен сәйкестендірілген, тармақ элементтеріндегі кернеулердің топографиялық диаграммасын құру;

9. Топографиялық диаграмма бойынша тармаққа келтірілген кернеудің комплексті мәнін анықтау.

1.2 Алғашқы берілгендер нұсқалары

Студент алғашқы берілгендер нұсқасын, оқуға түскен жылын (жүп немесе тақ) ескере отырып, оның транскрипт нөмірінің соңғы және соңғысының алдыңғы сандары, сонымен қатар тегінің бірінші әрпі бойынша таңдайды.

1.1 кесте – Транскрипт нөмірінің соңғы саны бойынша берілгендер нұсқалары

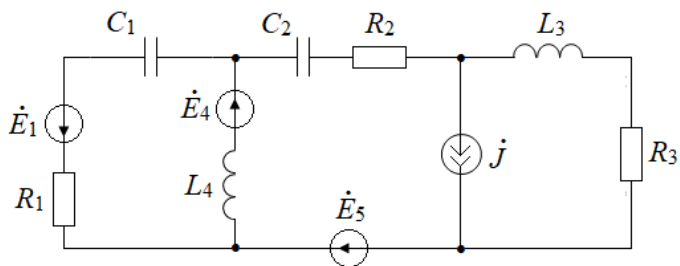
| Оқуға түскен жылы | Транскрипт нөмірінің соңғы саны | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Жүп | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Тақ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Сұлба № | 1.10 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 |
| Есептеу әдісі | КТӘ | ТПӘ | КТӘ | ТПӘ | КТӘ | ТПӘ | КТӘ | ТПӘ | КТӘ | ТПӘ |
| $R_1, \text{Ом}$ | 50 | 45 | 35 | 25 | 20 | 75 | 60 | 40 | 55 | 70 |
| $R_2, \text{Ом}$ | 75 | 70 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 25 | 20 |
| $X_{L3}, \text{Ом}$ | 50 | 20 | 10 | 30 | 40 | 35 | 25 | 15 | 45 | 55 |
| $X_{L4}, \text{Ом}$ | 15 | 45 | 35 | 55 | 25 | 10 | 50 | 40 | 30 | 20 |
| $X_{C3}, \text{Ом}$ | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 75 | 55 | 45 | 35 |
| $X_{C4}, \text{Ом}$ | 25 | 35 | 45 | 55 | 15 | 20 | 40 | 30 | 50 | 60 |

1.2 кесте – Транскрипт нөмірінің соңғысының алдыңғы саны бойынша берілгендер нұсқалары

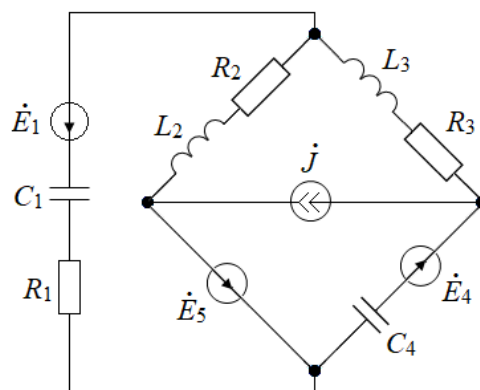
| Оқуға түскен жылы | Транскрипт нөмірінің соңғысының алдыңғы саны | | | | | | | | | |
|---------------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Жүп | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Тақ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $R_3, \text{Ом}$ | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 45 | 55 | 65 | 30 |
| $X_{L1}, \text{Ом}$ | 15 | 20 | 25 | 30 | 10 | 35 | 45 | 40 | 55 | 50 |
| $X_{L2}, \text{Ом}$ | 55 | 45 | 35 | 25 | 15 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| $X_{C1}, \text{Ом}$ | 10 | 20 | 15 | 25 | 30 | 40 | 35 | 45 | 50 | 55 |
| $X_{C2}, \text{Ом}$ | 65 | 15 | 40 | 45 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |

1.3 кесте – Тегінің бірінші әріпі бойынша берілгендер нұсқалары

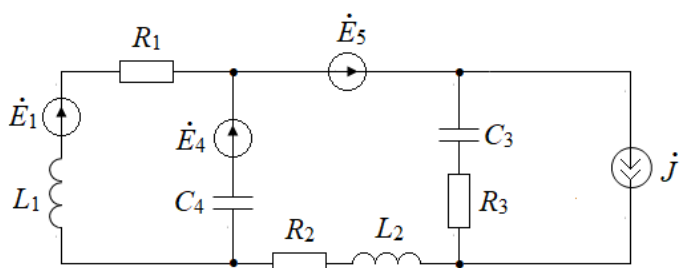
| Оқуға түскен жылы | Тегінің бірінші әріпі | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|------------|
| | А, Б, В | Г, Д, Е | Ж, З, И, Ө | К, Л, М | Н, О, П, Қ | Р, С, Т, Ұ | У, Ф, Х, Ү | Ч, Ш, Щ, Ғ | Ә, Ю, Ц | Я, Ә, Ы, І |
| Жүп | А, Б, В | Г, Д, Е | Ж, З, И, Ө | К, Л, М | Н, О, П, Қ | Р, С, Т, Ұ | У, Ф, Х, Ү | Ч, Ш, Щ, Ғ | Ә, Ю, Ц | Я, Ә, Ы, І |
| Тақ | Я, Ә, Ы, І | Ә, Ю, Ц | Ч, Ш, Щ, Ғ | У, Ф, Х, Ү | Р, С, Т, Ұ | Н, О, П, Қ | К, Л, М | Ж, З, И, Ө | Г, Д, Е | А, Б, В |
| $E_1, \text{В}$ | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 45 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| φ_{E1} | 30° | 45° | 60° | 90° | -90° | -30° | -60° | -45° | 180° | 0° |
| $E_4, \text{В}$ | 75 | 70 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 25 | 20 |
| φ_{E4} | 180° | 0° | -30° | -45° | 30° | 60° | 45° | 30° | 60° | -60° |
| $E_5, \text{В}$ | 25 | 40 | 35 | 50 | 15 | 10 | 45 | 20 | 55 | 30 |
| φ_{E5} | -30° | -45° | -60° | -90° | 180° | 0° | 60° | 30° | 90° | 30° |
| $J, \text{А}$ | 0,15 | 0,20 | 0,10 | 0,30 | 0,22 | 0,17 | 0,25 | 0,35 | 0,12 | 0,33 |
| φ_j | 0° | 30° | 45° | -30° | 60° | 60° | 30° | 60° | -90° | 90° |



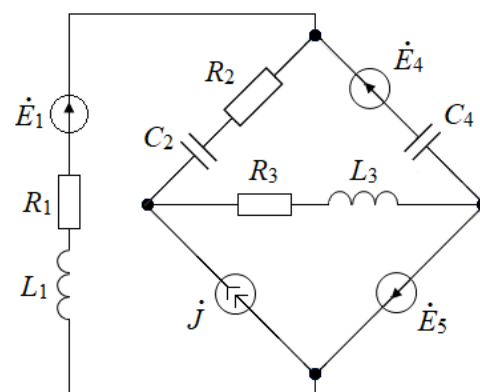
1.1 сұлба



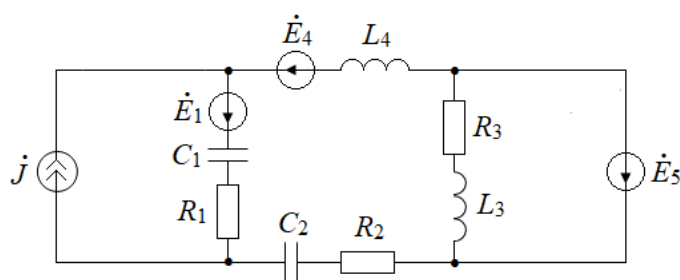
1.2 сұлба



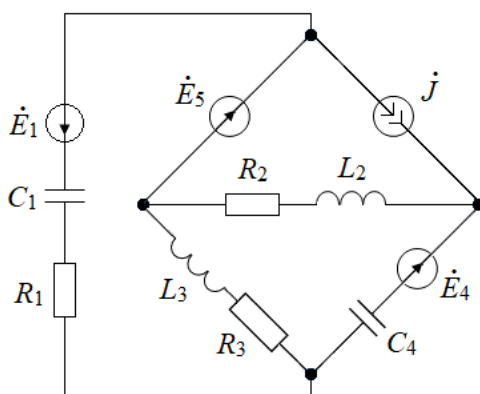
1.3 сұлба



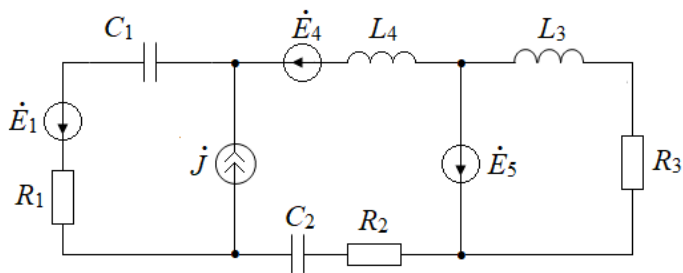
1.4 сұлба



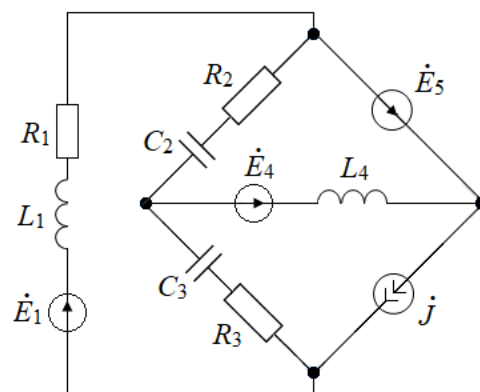
1.5 сұлба



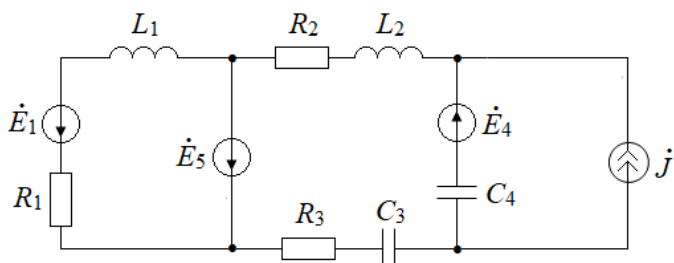
1.6 сұлба



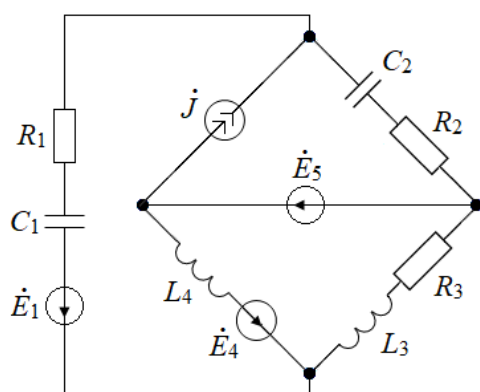
1.7 сұлба



1.8 сұлба



1.9 сұлба



1.10 сұлба

1.1 сурет – Синусоидалы ток сұлбаларының нұсқалары

1.3 Әдістемелік нұсқаулар

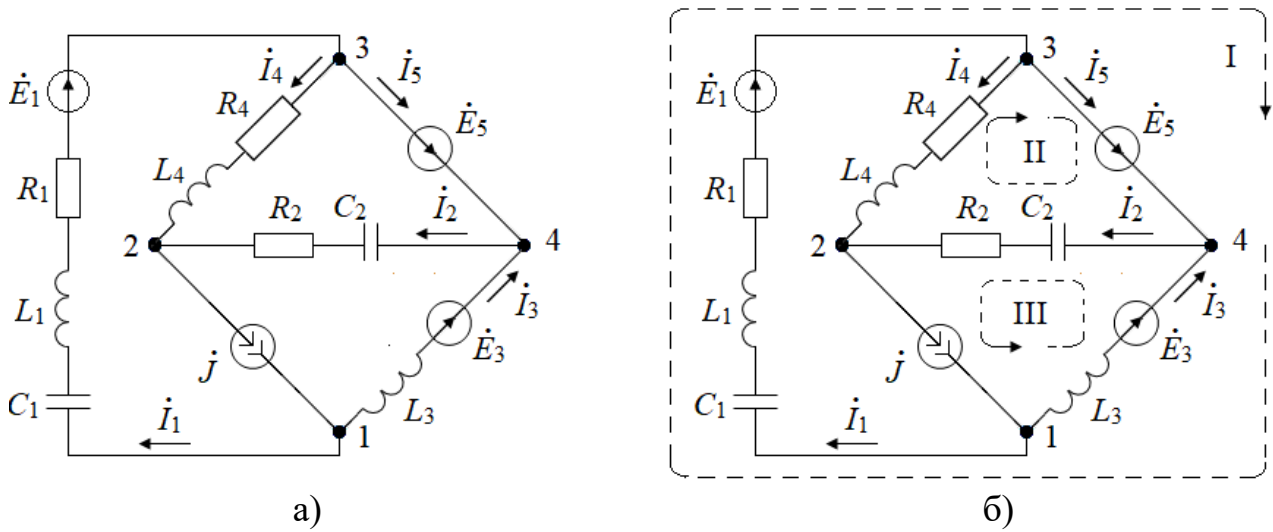
1.2 а) суретте көрсетілген сұлбаның элементтеріндегі токтар мен кернеулердің комплексті әрекеттік мәндерін есептеу мысалын қарастырайық.

Алғашқы берілгендер:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= 50 \cdot e^{j30^\circ} \text{ В}, \dot{E}_3 = 40 \cdot e^{-j30^\circ} \text{ В}, \dot{E}_5 = 30 \cdot e^{j60^\circ} \text{ В}, j = 0.16 \cdot e^{-j45^\circ} \text{ А}; \\ R_1 &= 30 \text{ Ом}, R_2 = 40 \text{ Ом}, R_4 = 50 \text{ Ом}, X_{L_1} = 40 \text{ Ом}, X_{L_3} = 45 \text{ Ом}, \\ X_{L_4} &= 25 \text{ Ом}, X_{C_1} = 10 \text{ Ом}, X_{C_2} = 20 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Алдымен түйіндерді нөмірлейміз және 1.2 а) суретте көрсетілгендей тізбектің тармақтарындағы токтардың бағыттарын, сондай-ақ 1.2 б) суретте көрсетілгендей тізбектің үш тәуелсіз контурының айналу бағыттарын еркін түрде таңдаймыз. Токтардың бағыттары Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеулерді жазу кезінде тармақтардағы токтардың таңбасын анықтау үшін қажет, ал контурлардың айналу бағыттары Кирхгофтың екінші заңы бойынша

теңдеулерді жазу кезінде тізбек элементтеріндегі кернеулердің таңбасын анықтау үшін қажет.



1.2 сурет – Тармақтардағы токтардың бағыттары және контурлардың айналу бағыттары

Сұлбаның барлық тармақтарындағы токтарды анықтау үшін Кирхгоф заңдары бойынша дифференциалды және комплексті түрде жазылатын теңдеулер жүйесі:

$$\left\{ \begin{array}{l} j - i_1 - i_3 = 0 \\ i_2 + i_4 - j = 0 \\ i_1 - i_4 - i_5 = 0 \\ \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot R_1 - L_3 \frac{di_3}{dt} = e_1 + e_5 - e_3 \\ \frac{1}{C_2} \int i_2 dt + i_2 \cdot R_2 - L_4 \frac{di_4}{dt} - i_4 \cdot R_4 = e_5 \end{array} \right. \quad \text{и} \quad \left\{ \begin{array}{l} j - \dot{i}_1 - \dot{i}_3 = 0 \\ \dot{i}_2 + \dot{i}_4 - \dot{j} = 0 \\ \dot{i}_1 - \dot{i}_4 - \dot{i}_5 = 0 \\ \dot{i}_1 \cdot \underline{Z}_1 - \dot{i}_3 \cdot \underline{Z}_3 = \dot{E}_1 + \dot{E}_5 - \dot{E}_3 \\ \dot{i}_2 \cdot \underline{Z}_2 - \dot{i}_4 \cdot \underline{Z}_4 = \dot{E}_5 \end{array} \right.$$

мұндағы сұлба тармақтарының комплексті кедергілері:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_1 &= R_1 + jX_{L_1} - jX_{C_1} = 30 + j30 \text{ Ом}, \\ \underline{Z}_2 &= R_2 - jX_{C_2} = 40 - j20 \text{ Ом}, \\ \underline{Z}_3 &= jX_{L_3} = j45 \text{ Ом}, \\ \underline{Z}_4 &= R_4 + jX_{L_4} = 50 + j25 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

Контурлық токтар (КТӨ) әдісімен есептеуді қарастырайық. Алдымен 1.3 а) суретте көрсетілгендей контурлық токтардың бағыттарын таңдаймыз. Ток көзінің бағыты бойынша ток көзі бар тармақ арқылы тек бір контурлық ток өткізген жөн екенін есте сақтаған жөн. Бұл жағдайда контурлық ток белгілі болады, яғни оған қатысты теңдеуді жазудың қажеті жоқ және оның мәні ток

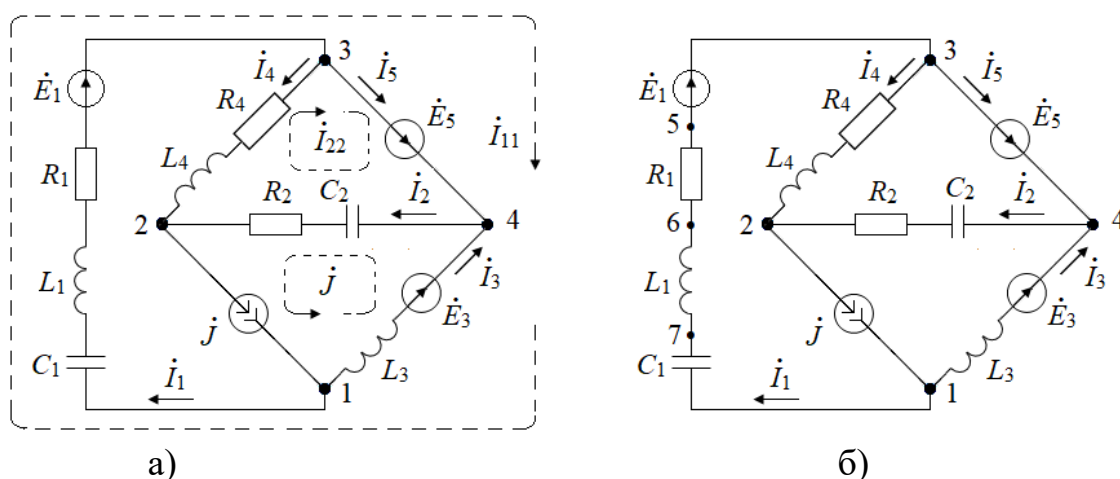
көзінің шамасына тең болады. Екі белгісіз контурлық токтар үшін: контурдың сыртқы контуры арқылы өтетін \dot{I}_{11} және - ішкі контур арқылы өтетін \dot{I}_{22} токтары үшін теңдеулер жүйесін контурлық токтар әдісімен комплексті түрде жазамыз:

$$\begin{cases} \dot{I}_{11} \cdot (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3) + \dot{I}_{22} \cdot 0 = \dot{E}_1 + \dot{E}_5 - \dot{E}_3 + \dot{J} \cdot \underline{Z}_3 \\ \dot{I}_{11} \cdot 0 + \dot{I}_{22} \cdot (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_4) = \dot{E}_5 - \dot{J} \underline{Z}_2 \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{I}_{11}(30 + j75) = 81.32e^{j69.3^\circ} \\ \dot{I}_{22}(90 + j5) = 35.16e^{j68.8^\circ} \end{cases}$$

КТӨ бойынша теңдеулер жүйесінің шешуі контурлық токтардың комплексті әрекеттік мәндерін анықтайды:
 $\dot{I}_{11} = 1.007e^{j1.1^\circ}$ А , $\dot{I}_{22} = 0.39e^{j65.6^\circ}$ А.

Тізбек тармақтарындағы токтарды тізбектің әрбір тармағы арқылы өтетін контурлық токтардың алгебралық қосындысы ретінде табамыз:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 = \dot{I}_{11} = 1.007e^{j1.1^\circ} \text{ А}, \quad \dot{I}_2 = \dot{J} + \dot{I}_{22} = 0.366e^{j41.4^\circ} \text{ А}, \quad \dot{I}_3 = \dot{J} - \dot{I}_{11} = 0.903e^{-j171.6^\circ} \text{ А}, \\ \dot{I}_4 = -\dot{I}_{22} = 0.390 \cdot e^{-j114.4^\circ} \text{ А}, \quad \dot{I}_5 = \dot{I}_{11} + \dot{I}_{22} = 1.226 \cdot e^{j17.8^\circ} \text{ А}. \end{aligned}$$



1.3 сурет– Контурлық токтардың бағыттары және бірінші тармақтың нүктелері

Түйіндік потенциалдар әдісімен (ТПӘ) есептеуді қарастырайық. Алдымен потенциалы нөлге тең деп қабылданатын түйінді таңдаймыз. Бесінші тармақ тек ЭҚК \dot{E}_5 идеалды кернеу көзінен тұрады, бұл тармақтың кедергісі нөлге тең, сондықтан осы тармақ қосылған түйіндердің бірінің потенциалын нөлге (жерге) тең деп қабылдау ыңғайлы, бұл түйіндер 3 және 4. $\dot{\phi}_3 = 0$ деп қабылдайық, сонда басқа түйіннің потенциалы $\dot{\phi}_4 = \dot{\phi}_3 + \dot{E}_5 = 30e^{j60^\circ}$ В болады.

Белгісіз потенциалдарды $\dot{\phi}_1$ және $\dot{\phi}_2$ есептеу үшін, комплексті түрде түйіндік потенциалдар әдісі бойынша теңдеулер жүйесін құрастырайық:

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_1(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_3) - \dot{\varphi}_2 \cdot 0 = \dot{J} - \dot{E}_1 \cdot \underline{Y}_1 - \dot{E}_3 \cdot \underline{Y}_3 + \dot{\varphi}_4 \cdot \underline{Y}_3 \\ \dot{\varphi}_1 \cdot 0 + \dot{\varphi}_2(\underline{Y}_2 + \underline{Y}_4) = -\dot{J} + \dot{\varphi}_4 \cdot \underline{Y}_2 \end{cases}, \quad \begin{cases} \dot{\varphi}_1 \cdot 0.0423e^{-j66.8^\circ} = 0.6284e^{j90.3^\circ} \\ \dot{\varphi}_2 \cdot 0.0361e^{j3.18^\circ} = 0.7861e^{j95.3^\circ} \end{cases}.$$

мұндағы тізбек тармақтарының комплексті өткізгіштері келесі өрнектермен анықталады:

$$\underline{Y}_1 = 1/\underline{Z}_1 = 0.0167 - j0.0167, \quad \underline{Y}_2 = 1/\underline{Z}_2 = 0.02 + j0.01, \quad \underline{Y}_3 = 1/\underline{Z}_3, \quad \underline{Y}_4 = 1/\underline{Z}_4.$$

ТПӨ бойынша теңдеулер жүйесінің шешуі, сұлбаның бірінші және екінші түйіндерінің потенциалдарын анықтайды: $\dot{\varphi}_1 = 14.85e^{j157^\circ}$ В, $\dot{\varphi}_2 = 21.80e^{j92^\circ}$ В.

Әрі қарай, \dot{I}_5 тогын қоспағанда, тізбек бөлігі үшін Ом заңына сәйкес тізбектің барлық тармақтарындағы токтардың комплексті әрекеттік мәндерін есептейміз. ЭҚК \dot{E}_5 тең идеалды кернеу көзі бар кедергісіз тармақтағы ток \dot{I}_5 Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеуден табылады.

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3 + \dot{E}_1) \cdot \underline{Y}_1 = 1.007 \cdot e^{j1.1^\circ} \text{ А}, & \dot{I}_2 &= (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_2) \cdot \underline{Y}_2 = 0.366 \cdot e^{j41.4^\circ} \text{ А}, \\ \dot{I}_3 &= (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_4 + \dot{E}_3) \underline{Y}_3 = 0.9e^{-j172^\circ} \text{ А}, & \dot{I}_4 &= -\dot{\varphi}_2 \underline{Y}_4 = 0.39e^{j-114^\circ} \text{ А}, & \dot{I}_5 &= \dot{I}_1 - \dot{I}_4 = 1.23e^{j18^\circ} \text{ А}. \end{aligned}$$

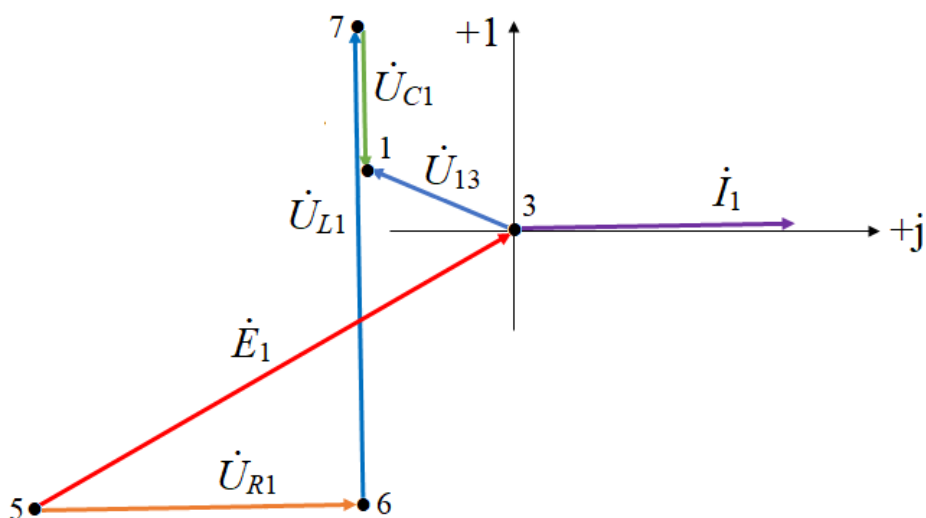
Қорек көзі мен жүктеменің қуаттар тепе-теңдігінің теңдеуі: $\tilde{S}_{жук} = \tilde{S}_{кор}$, мұндағы қорек көзі мен жүктеменің комплексті қуаттары келесі өрнектермен анықталады:

$$\begin{aligned} \tilde{S}_{кор} &= \dot{E}_1 I_1^* + \dot{E}_3 I_3^* + \dot{E}_5 I_5^* + (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) J^* = 43.369 + j68.242 \text{ ВА}; \\ \tilde{S}_{жук} &= I_1^2 \underline{Z}_1 + I_2^2 \underline{Z}_2 + I_3^2 \underline{Z}_3 + I_4^2 \underline{Z}_4 = 43.368 + j68.243 \text{ ВА}. \end{aligned}$$

Бірінші тармақтың элементтері арасындағы нүктелердің потенциалдарының топографиялық диаграммасын құруды қарастырайық, олар 1.3 б) суретте көрсетілген. Алдымен 3 түйіннің потенциалын нөлге тең етіп алып, осы нүктелердің потенциалдарын есептейміз:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_3 &= 0, & \dot{\varphi}_5 &= \dot{\varphi}_3 - \dot{E}_1 = -50e^{j30^\circ} \text{ В}, & \dot{\varphi}_6 &= \dot{\varphi}_5 + \dot{U}_{R1} = \dot{\varphi}_5 + 30.2e^{j1.1^\circ} = 27.72e^{-j118^\circ} \text{ В}, \\ \dot{\varphi}_7 &= \dot{\varphi}_6 + \dot{U}_{L1} = \dot{\varphi}_6 + 40.3e^{j91.1^\circ} = 21.06e^{j131^\circ} \text{ В}, & \dot{\varphi}_1 &= \dot{\varphi}_7 + \dot{I}_1 \cdot (-jX_{C1}) = 14.85e^{j157^\circ} \text{ В}. \end{aligned}$$

Содан кейін кернеу бойынша $m_u = 5$ В/см және ток бойынша $m_i = 0,2$ А/см масштабтарын таңдаймыз және \dot{I}_1 тогының векторлық диаграммасымен сәйкестендірілген, бірінші тармақтың элементтеріндегі кернеулердің топографиялық диаграммасын құрамыз.



1.4 сурет – Бірінші тармақтың элементтеріндегі потенциалдарының топографиялық диаграммасы

2 Тапсырма № 2. Өтпелі кезеңдерді есептеу

Тапсырманың мақсаты: сызықты электр тізбектеріндегі өтпелі кезеңдерді классикалық және операторлық әдістермен есептеу икемділігін алу.

2.1 Тапсырма

Параметрлері берілген нұсқа бойынша сұлба үшін индуктивтіліктегі токтың немесе сыйымдылықтағы кернеудің өтпелі кезеңдегі лездік мәндерін екі әдіспен есептеу: классикалық және операторлық. Анықталған уақыт функциясының лездік мәндерінің графигін сызу.

2.2 Алғашқы берілгендер нұсқалары

2.1 кесте – Транскрипт нөмірінің соңғы саны бойынша берілгендер нұсқалары

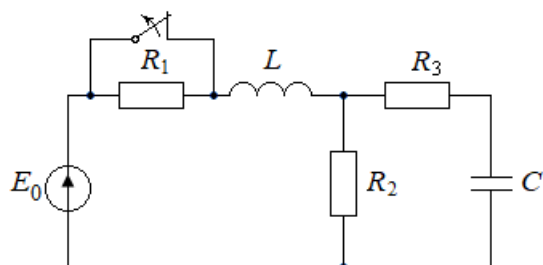
| Оқуға түскен жылы | Транскрипт нөмірінің соңғы саны | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Жүп | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Тақ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Сұлба № | 2.10 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 |
| R_1 , Ом | 140 | 10 | 12 | 9 | 120 | 15 | 20 | 100 | 150 | 10 |
| L , мГн | 5 | 10 | 27 | 15 | 22 | 12 | 17 | 7 | 25 | 20 |

2.2 кесте – Транскрипт нөмірінің соңғысының алдыңғы саны бойынша берілгендер нұсқалары

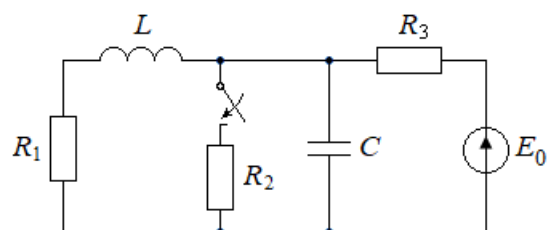
| Оқуға түскен жылы | Транскрипт нөмірінің соңғысының алдыңғы саны | | | | | | | | | |
|-------------------|--|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Жүп | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Тақ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R_2 , Ом | 10 | 150 | 130 | 110 | 5 | 140 | 30 | 120 | 150 | 5 |
| C , мкФ | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 1,0 | 0,75 | 1,25 | 2,25 | 1,75 | 2,75 |

2.3 кесте– Тегінің бірінші әріпі бойынша берілгендер нұсқалары

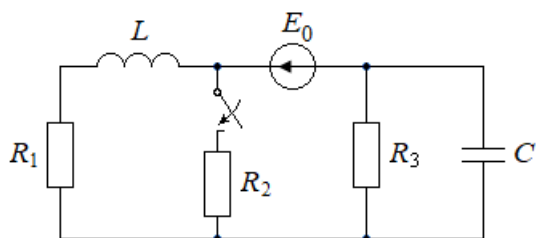
| Оқуға түскен жылы | Тегінің бірінші әріпі | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|------------|
| Жүп | А, Б, В | Г, Д, Е | Ж, З, И, Ә | К, Л, М | Н, О, П, Қ | Р, С, Т, Ұ | Ү, Ф, Х, Ү | Ч, Ш, Щ, Ф | Э, Ю, Ц | Я, Ә, Ы, І |
| Тақ | Я, Ә, Ы, І | Э, Ю, Ц | Ч, Ш, Щ, Ф | Ү, Ф, Х, Ү | Р, С, Т, Ұ | Н, О, П, Қ | К, Л, М | Ж, З, И, Ә | Г, Д, Е | А, Б, В |
| $E_0, В$ | 90 | 75 | 65 | 70 | 60 | 45 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| $R_3, Ом$ | 12 | 25 | 10 | 27 | 22 | 17 | 60 | 30 | 7 | 15 |
| Анықтау керек | $u_C(t)$ | $i_L(t)$ | $u_C(t)$ | $i_L(t)$ | $u_C(t)$ | $i_L(t)$ | $u_C(t)$ | $i_L(t)$ | $u_C(t)$ | $i_L(t)$ |



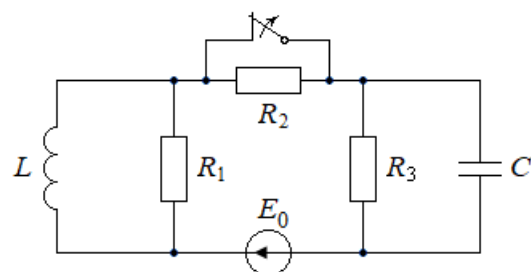
2.1 сұлба



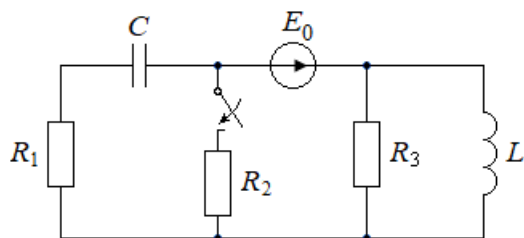
2.2 сұлба



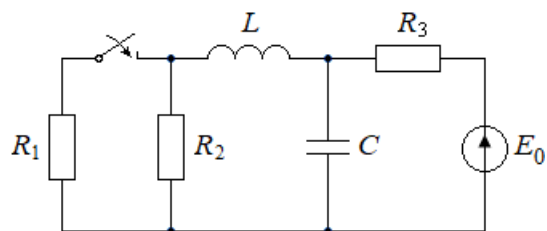
2.3 сұлба



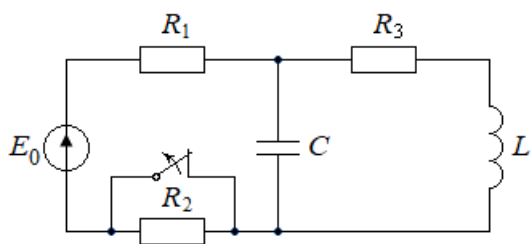
2.4 сұлба



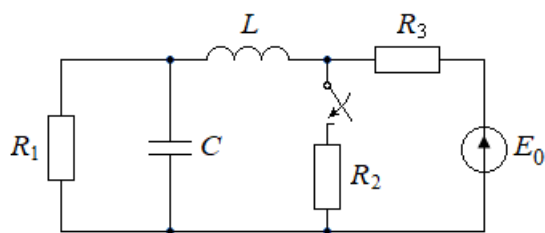
2.5 сұлба



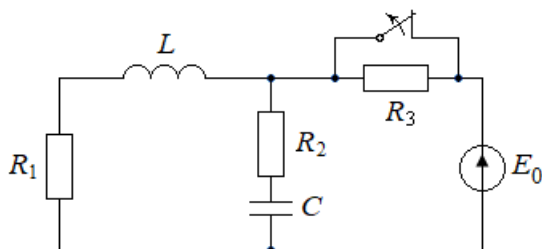
2.6 сұлба



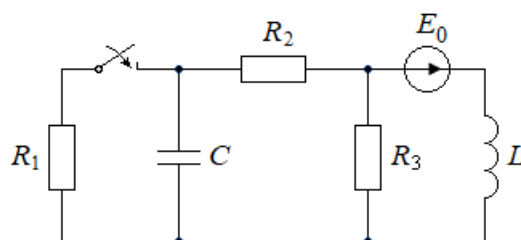
2.7 сұлба



2.8 сұлба



2.9 сұлба



2.10 сұлба

2.1 сурет – Өтпелі кезенді есептеу үшін сұлбалардың нұсқалары

2.3 Әдістемелік нұсқаулар

Классикалық әдіс сызықты электр тізбегінде коммутациядан кейінгі өтпелі кезеңдегі токтың немесе кернеудің уақыт функциясын есептеуге мүмкіндік береді. Есептеу келесі реттілікпен орындалады:

1. Коммутацияға дейінгі сұлба бойынша $t = 0-$ уақыт сәтіндегі $i_L(0)$ және $u_C(0)$ тәуелсіз бастапқы шарттарын есептеу.

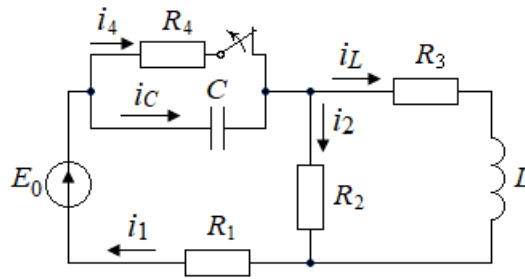
2. Коммутациядан кейінгі сұлба бойынша $t = 0+$ уақыт сәтіндегі $u_L(0)$, $i_C(0)$ және т.б. тәуелді бастапқы шарттарды есептеу. Есептеу үшін конденсаторды ЭҚК $u_C(0)$ тең идеалды кернеу көзімен, ал индуктивтілікті - тогы $i_L(0)$ тең идеалды ток көзімен алмастырған сұлбаны қолдану ыңғайлы.

3. Коммутациядан кейінгі сұлба бойынша $t = \infty$ уақыт сәтіндегі уақыт функциясының қалыптасқан құраушысын есептеу.

4. Тізбектің сипаттамалық теңдеуін құрастыру, мысалы, кіріс кедергі әдісімен $Z(p) = 0$, оның түбірлерін табу және белгісіз уақыт функциясының еркін құраушысының сәйкесті өрнегін жазу (дифференциалды теңдеудің жалпы шешуі)

5. Интегралдау тұрақтыларын анықтау; A_1 және A_2 немесе A және Ψ .

Сұлбасы 2.2-суретте көрсетілген сызықты электр тізбегінде коммутациядан кейін (қарастырылып отырған мысалда кілтті ашылғаннан кейін) пайда болатын өтпелі кезеңдегі конденсатордағы ток күшін классикалық әдіспен есептеу мысалын қарастырайық.



2.2 сурет – Өтпелі кезеңдегі $i_C(t)$ тогын есептеу мысалының сұлбасы

Алғашқы берілгендер:

$$E_0 = 100 \text{ В}, \quad L = 10 \text{ мГн}, \quad C = 45 \text{ мкФ},$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}, \quad R_2 = 100 \text{ Ом}, \quad R_3 = 10 \text{ Ом}, \quad R_4 = 50 \text{ Ом}.$$

1. $t = 0$ – сәтінде кілт жабық кездегі коммутацияға дейінгі сұлба бойынша тәуелсіз бастапқы шарттарды $i_L(0)$ және $u_C(0)$ анықтау.

Кирхгоф заңдары бойынша теңдеулер жүйесін құрайық:

$$\begin{cases} i_1 - i_C - i_4 = 0 \\ i_1 - i_2 - i_L = 0 \\ i_1 \cdot R_1 + i_4 \cdot R_4 + i_2 \cdot R_2 = E_0 \\ i_4 \cdot R_4 - u_C = 0 \\ i_L \cdot R_3 + u_L - i_2 \cdot R_2 = 0 \end{cases}$$

Коммутацияға дейін тізбек тұрақты кезеңде болады, сондықтан барлық токтар мен кернеулер кернеу көзбен бірдей сипатта, яғни тұрақты болады, сондықтан сыйымдылықтағы ток i_C және индуктивтіліктегі кернеу u_L нөлге тең:

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = 0 \quad \text{себебі} \quad u_C(t) = \text{const};$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = 0 \quad \text{себебі} \quad i_L(t) = \text{const}.$$

Осыны ескере отырып, теңдеулер жүйесінен $i_1 = i_4$ токтарын анықтауға болады:

$$i_1 = i_4 = \frac{E_0}{R_1 + R_4 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{100}{79.09} = 1.2644 \text{ А}.$$

Индуктивтіліктегі ток $i_L(0)$ екі параллель тармаққа токтардың таралуы формуласы бойынша анықталады:

$$i_L(0) = i_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 1.2644 \cdot \frac{100}{110} = 1.1494 \text{ А}.$$

Конденсатордағы сыйымдылықтық керену $u_C(0)$:

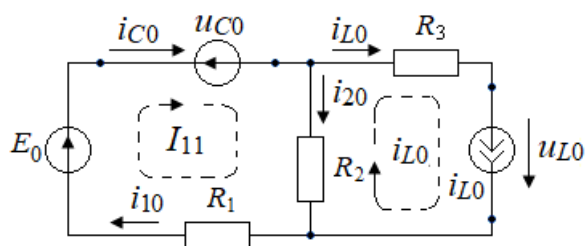
$$u_C(0) = i_4 R_4 = 1.2644 \times 50 = 63.2184 \text{ В.}$$

2. $t = 0+$ сәтіндегі коммутациядан кейінгі сұлба бойынша тәуелді бастапқы шарттарды $u_L(0)$, $i_C(0)$ және т.б. анықтау.

Коммутация заңдарына сәйкес коммутациядан кейінгі бірінші сәттегі индуктивтілігі бар тармақтағы ток және сыйымдылықтағы керену коммутация алдындағы соңғы сәттегідей мәндерге ие болады, яғни олар өзгермейді:

$$i_L(0+) = i_L(0-), \quad u_C(0+) = u_C(0-).$$

Осылайша, коммутация заңдарының негізінде конденсаторды ЭҚК $u_C(0)$ тең идеалды керену көзімен, ал индуктивтілікті - тогы $i_L(0)$ тең идеалды ток көзімен алмастыруға болады, сонда 2.3 суреттегі сұлба шығады.



2.3 сурет – Тәуелді бастапқы шарттарды анықтайтын сұлба

$i_C(0)$ тогын контурлық токтар әдісімен (контурлық токтардың бағыттары сұлбада көрсетілген) немесе Кирхгоф заңдары бойынша теңдеулер жүйесін шешу арқылы табуға болады.

$$\begin{cases} i_C(0) - i_2(0) - i_4(0) = 0 \\ i_C(0) \cdot R_1 + i_2(0) \cdot R_2 = E_0 - u_C(0). \\ i_L(0) \cdot R_3 + u_L(0) - i_2(0) \cdot R_2 = 0 \end{cases}$$

$$i_C(0) = \frac{E_0 - u_C(0) - i_L(0) \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 1.2644 \text{ А;}$$

$$i_2(0) = i_C(0) - i_L(0) = 0.1149 \text{ А,} \quad u_L(0) = i_2(0) \cdot R_2 - i_L(0) \cdot R_3 = 0.$$

Коммутациядан кейінгі уақыттың бірінші сәтіндегі токтың бірінші реттік туындысы:

$$\frac{di_C(0)}{dt} = \frac{0 - \frac{du_C(0)}{dt} - \frac{di_L(0)}{dt} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = -4214.2644 \text{ А/с,}$$

мұндағы:

$$\frac{du_C}{dt}(0) = \frac{i_C(0)}{C} = \frac{1.2644}{2.5 \cdot 10^{-6}} = 505750 \text{ В/с} \quad , \quad \frac{di_L}{dt}(0) = \frac{u_L(0)}{L} = 0.$$

3. $t = \infty$ сәтіндегі коммутациядан кейінгі сұлба бойынша токтың қалыптасқан құраушысын $i_{C_{\text{қал}}}$ анықтау.

Қалыптасқан кезеңде барлық токтар мен кернеулер қорек көзбен бірдей сипатта, яғни тұрақты болады, сондықтан сыйымдылықтағы ток нөлге тең:

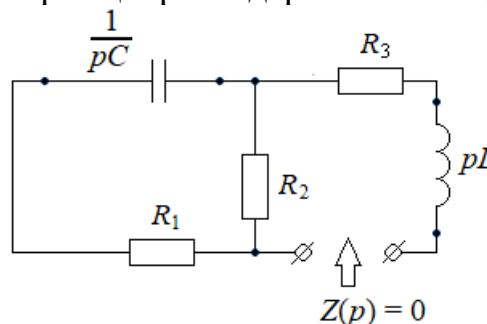
$$i_{C_{\text{қал}}} = C \frac{du_{C_{\text{қал}}}}{dt} = 0 \quad \text{себебі} \quad u_{C_{\text{қал}}}(t) = \text{const.}$$

4. Кіріс кедергі әдісін қолданып, тізбектің сипаттамалық теңдеуін құрастырайық $Z(p) = 0$.

Ол үшін коммутациядан кейінгі тізбекте қорек көздер олардың ішкі кедергілерімен ауыстырылады, яғни Е0 ЭҚК орнына тұйықтағыш орнатамыз, өйткені идеалды кернеу көзінің ішкі кедергісі нөлге тең. Индуктивтілік пен сыйымдылықтың операторлық кедергілері, олардың комплексті кедергілерінде $j\omega$ көбейткіштерін p -көбейткішіне ауыстыру арқылы алынады.

$$X_L = j\omega \cdot L \Rightarrow p \cdot L \quad , \quad X_C = \frac{1}{j\omega \cdot C} \Rightarrow \frac{1}{p \cdot C}.$$

Алынған тізбекте кез келген тармақ үзіледі, мысалы, 2.4-суретте көрсетілгендей индуктивтілігі бар тармақ және үзілген шықпаларға қатысты анықталған тізбектің операторлық кіріс кедергісі нөлге $Z(p)$ теңестіріледі.



2.4 сурет – Сипаттамалық теңдеуді құру үшін сұлба $Z(p) = 0$

Осылайша, тізбектің сипаттамалық теңдеуі алынады:

$$Z(p) = p \cdot L + R_3 + \frac{R_2 \cdot \left(R_1 + \frac{1}{p \cdot C} \right)}{R_2 + R_1 + \frac{1}{p \cdot C}} = 0;$$

⇓

$$p^2 LC(R_1 + R_2) + p[L + C(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)] + R_2 + R_3 = 0.$$

Сипаттамалық теңдеу түбірлері комплексті-сыбайлас мәндер болып шықты:

$$p_1 = -3000 + j5259.9113, \frac{1}{c}, \quad p_2 = -3000 - j5259.9113, \frac{1}{c}.$$

Бұл жағдайда токтың еркін құраушысы $i_{Cep}(t)$ (ДТ жалпы шешуі):

$$i_{Cep}(t) = A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega_{ep} \cdot t + \psi), \quad \alpha = 3000 \frac{1}{c}, \quad \omega_{ep} = 5259.9 \frac{\text{рад}}{c}.$$

5. Интегралдау тұрақтыларын A және Ψ есептеу.

Екі интегралдау тұрақтысын есептеу үшін екі теңдеу жүйесін құру қажет:

$$\begin{cases} i_C(0) = 1.2644 \text{ A} \\ \frac{di_C}{dt}(0) = -4214.2644 \text{ A/c} \end{cases}$$

Ток пен оның бірінші реттік туындысын белгісіз интегралдау тұрақтылары арқылы өрнектейік. Конденсатордағы ток:

$$i_C(t) = i_{Cкал}(t) + i_{Cep}(t) = A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega_{ep} \cdot t + \psi), \quad i_{Cкал}(t) = 0; \\ i_C(0) = A \cdot \sin \psi.$$

Конденсатордағы токтың бірінші реттік туындысы:

$$\frac{di_C}{dt}(t) = -\alpha \cdot A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega_{ep} \cdot t + \psi) + \omega_{ep} \cdot A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos(\omega_{ep} \cdot t + \psi); \\ \frac{di_C}{dt}(0) = -\alpha \cdot A \cdot \sin \psi + \omega_{ep} \cdot A \cdot \cos \psi.$$

Алынған өрнектерді екі теңдеу жүйесіне қоямыз және оны шешіп, A және Ψ интегралдау тұрақтыларын табамыз:

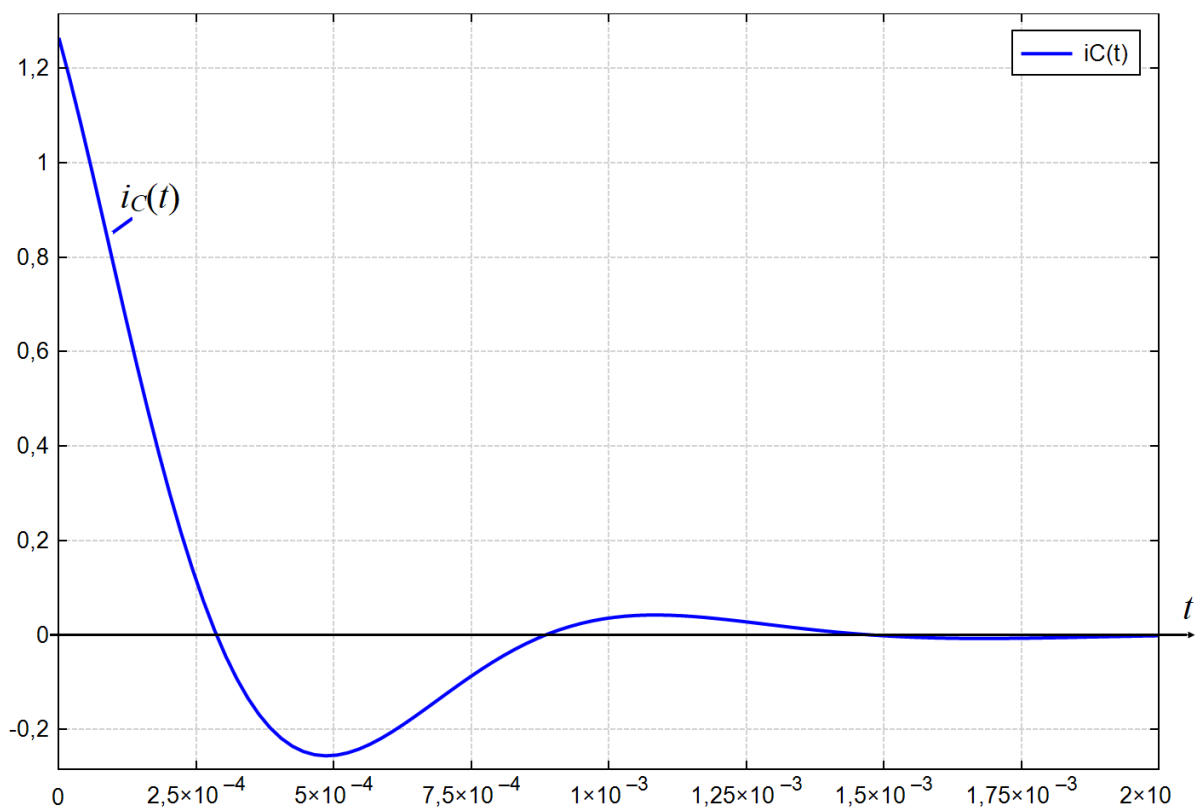
$$\begin{cases} A \cdot \sin \psi = 1.2644 \text{ A} \\ -\alpha \cdot A \cdot \sin \psi + \omega_{ep} \cdot A \cdot \cos \psi = -4214.2644 \text{ A/c} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A \cdot \sin \psi = 1.2644 \text{ A} \\ A \cdot \cos \psi = -0.0801 \text{ A} \end{cases}$$

Интегралдау тұрақтылары A және Ψ :

$$A = \sqrt{(A \cdot \sin \psi)^2 + (A \cdot \cos \psi)^2} = \sqrt{(1.2644)^2 + (-0.0801)^2} = 1.2669 \text{ A}; \\ \psi = \arccos\left(\frac{A \cdot \cos \psi}{A}\right) = \arccos\left(\frac{-0.0801}{1.2669}\right) = 93.62^\circ.$$

Классикалық әдіспен есептеу нәтижесі, коммутациядан кейінгі өтпелі кезеңдегі конденсатордағы ток:

$$i_C(t) = 1.2669 \cdot e^{-3000t} \cdot \sin(5259.9113 \cdot t + 93.62^\circ), \text{ A}.$$



2.5 сурет – Өтпелі кезеңдегі конденсатордағы токтың графигі

Операторлық әдіс сызықты электр тізбектерінде коммутациядан кейінгі өтпелі кезеңде ток немесе кернеудің бейнесін есептеу әдістерін қолдануға мүмкіндік береді.

Есептеулер келесі реттілікпен жүргізіледі:

1. $t = 0$ – сәтіндегі коммутацияға дейінгі сұлба бойынша тәуелсіз бастапқы шарттарды $i_L(0)$ және $u_C(0)$ анықтау.

2. Операторлық алмастыру сұлбасын құру және қажетті ток немесе кернеудің бейнесін анықтау

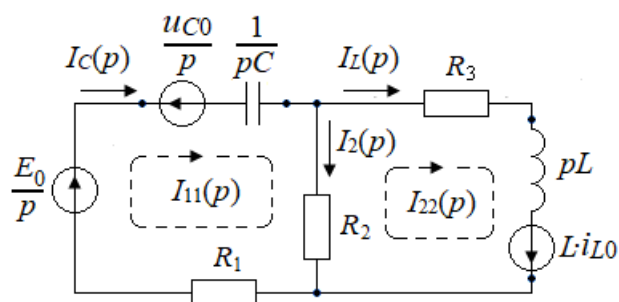
3. Қажетті токтың немесе кернеудің түпнұсқасын анықтау.

Сұлбасы 2.2-суретте көрсетілген тізбектегі өтпелі кезеңдегі конденсатордағы токты операторлық әдіспен есептеу мысалын қарастырайық.

1. Есептің бірінші бөлімі классикалық әдіспен бірдей болады, ондағы табылған бастапқы шарттар қолданылады:

$$i_L(0) = 1.1494\text{A} \text{ және } u_C(0) = 63.2184\text{V} .$$

2. Тізбектің операторлық алмастыру сұлбасын құрайық, сұлба 2.6-суретте көрсетілген.



2.6 сурет – Тізбектің операторлық алмастыру сұлбасы

Өтпелі кезеңдегі конденсатордағы токтың бейнесін контурлық токтар әдісімен анықтайық. КТӘ бойынша теңдеулер жүйесі:

$$\begin{cases} I_{11}(p) \cdot \left(R_2 + R_1 + \frac{1}{p \cdot C} \right) - I_{22}(p) \cdot R_2 = \frac{E_0}{p} - \frac{u_C(0)}{p} \\ -I_{11}(p) \cdot R_2 + I_{22}(p) \cdot (R_2 + R_3 + p \cdot L) = L \cdot i_L(0) \end{cases}$$

Бірінші контурлық токтың бейнесі:

$$I_{11}(p) = \frac{C \cdot [pL \cdot (E_0 - u_C(0) + R_2 \cdot i_L(0)) + (E_0 - u_C(0))(R_2 + R_3)]}{p^2 LC \cdot (R_2 + R_1) + p \cdot [L + C \cdot (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)] + R_2 + R_3} = \frac{F_1(p)}{F_2(p)}$$

Конденсатордағы токтың бейнесі:

$$I_C(p) = I_{11}(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)},$$

мұнда:

$$\begin{aligned} F_1(p) &= C \cdot [pL \cdot (E_0 - u_C(0) + R_2 \cdot i_L(0)) + (E_0 - u_C(0))(R_2 + R_3)]; \\ F_2(p) &= p^2 LC \cdot (R_2 + R_1) + p \cdot [L + C \cdot (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)] + R_2 + R_3. \end{aligned}$$

3. Конденсатордағы токтың түпнұсқасын анықтау. Ол үшін жіктеу теоремасын қолданайық. Алдымен, классикалық әдістің сипаттамалық теңдеуіне ұқсас $F_2(p) = 0$ теңдеуінің түбірлерін анықтау керек.

$$\begin{aligned} p^2 LC \cdot (R_2 + R_1) + p \cdot [L + C \cdot (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)] + R_2 + R_3 &= 0; \\ p^2 \cdot 3 \cdot 10^{-6} + p \cdot 0.018 + 110 &= 0; \\ p_1 = -3000 + j5259.9113, \quad p_2 = -3000 - j5259.9113; \\ \alpha = 3000 \frac{1}{c}, \quad \omega_{ep} = 5259.9 \frac{pad}{c}. \end{aligned}$$

Алдыңғы пунктте анықталған токтың бейнесі $I_C(p)$ бойынша оның түпнұсқасын, яғни $i_C(t)$ функциясын анықтаймыз:

$$i_c(t) = 2 \operatorname{Re} \left\{ \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \cdot e^{p_1 t} \right\} = 2 \operatorname{Re} \left\{ \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \cdot e^{(-\alpha + j\omega_{ep})t} \right\};$$

$$i_c(t) = 2 \left| \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right| \cdot e^{-\alpha t} + \cos \left(\omega_{ep} t + \arg \left(\frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right) \right);$$

$$i_c(t) = 2 \left| \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right| \cdot e^{-\alpha t} + \sin \left(\omega_{ep} t + \arg \left(\frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right) + \frac{\pi}{2} \right).$$

Сандық мәндерді қойғаннан кейін шығатын нәтиже:

$$F_1(p_1) = -0.0013 + j0.02; \quad F_2'(p_1) = \frac{dF_2(p)}{dp} = j0.0316; \quad \left| \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right| = 0.6335 \text{ A};$$

$$2 \cdot \left| \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right| = 1.2669 \text{ A}; \quad \arg \left(\frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right) = 3.62^\circ \quad \arg \left(\frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} \right) + \frac{\pi}{2} = 93.62^\circ.$$

Өтпелі кезеңдегі конденсатордағы токтың уақыт функциясының өрнегі:

$$i_c(t) = 1.2669 \cdot e^{-3000t} \cdot \sin(5259.9113 \cdot t + 93.62^\circ), \text{ A}.$$

Классикалық және операторлық әдістермен есептеу нәтижелері толығымен сәйкес келеді. Екі әдістің де артықшылықтары мен кемшіліктері бар.

Өтпелі кезеңдегі конденсаторындағы ток функциясының $i_c(t)$ графигі 2.5 суретте көрсетілген.

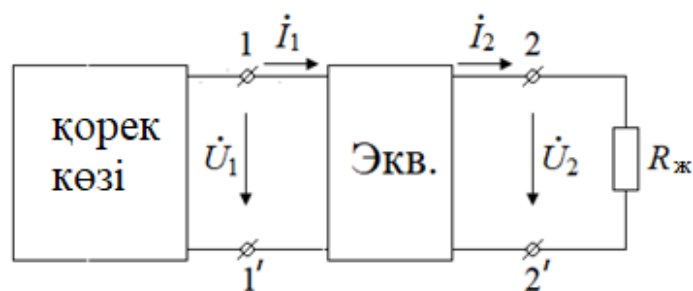
3 Тапсырма № 3. Төрт ұштылар теориясының қолданылуы

Тапсырманың мақсаты: берілген сұлба бойынша, әртүрлі жалғанған төрт ұштының параметрлерін және төрт ұшты сұлбасындағы қорек көзі мен жүктеменің комплексті қуаттарын есептеу дағдыларын меңгеру.

3.1 Тапсырма

Екі төрт ұшты берілген, олардың біріншісінің сұлбасы мен кедергілерінің мәндері, ал екіншісінің параметрлері берілген. Бірінші төрт ұштының сұлбасы, оның кедергілерінің мәндері, екінші төрт ұштының параметрлері, олардың жалғану түрлері, U_2 кернеуі, жүктеменің кедергісі $R_{жс}$ әр нұсқа үшін төмендегі кестелерде берілген.

3.1-суретте көрсетілгендей, эквиваленттік төрт ұштының кірісіне синусоидалы кернеу көзі (қорек көзі) қосылған, ал шығысына жүктеменің активті кедергісі $R_{жс}$ қосылған.



3.1 сурет – Төрт ұштысы бар тізбектің сұлбасы

Келесі тапсырмаларды орындау қажет:

1. Жалғану түріне байланысты эквивалентті төрт ұштының параметрлерін анықтау үшін қажетті бірінші төрт ұштының параметрлерін есептеу. Есептеу нәтижелерін тексеру.
2. Нұсқаға сәйкес екі төрт ұштының жалғану сұлбасын сызу және эквивалентті төрт ұштының параметрлерін есептеу.
3. 3.1-суреттегі тізбектегі қорек көзі және жүктеме қуатын есептеу

3.2 Алғашқы берілгендер нұсқалары

Төрт ұштылардың жалғану түрлері үшін келесі қысқартулар қабылданған:

- Каскадты жалғану – Каск.
- Тізбектей жалғану – Тізб.
- Параллель жалғану – Парал.
- Тізбектей -параллель жалғану – Тізб.-парал.
- Параллель-тізбектей жалғану – Парал.-тізб.

3.1 кесте – Транскрипт нөмірінің соңғы саны бойынша берілгендер нұсқалары

| Оқуға түскен жылы | Транскрипт нөмірінің соңғы саны | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|-----------|----------------|--------------|--------------|-------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| | жүп | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| тақ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Жалғ. түрі | Каск. | Тізб. | Парал. | Тізб.-парал. | Парал.-тізб. | Каск. | Тізб. | Парал. | Тізб.-парал. | Парал.-тізб. |
| $X_L, \text{ Ом}$ | 15 | 10 | 16 | 18 | 12 | 10 | 20 | 24 | 25 | 14 |
| $Z_{11}, \text{ Ом}$ | | $20 - j3$ | | | | | $15 + j10$ | | | |
| $Z_{12}, \text{ Ом}$ | | $j18$ | | | | | -15 | | | |
| $Z_{21}, \text{ Ом}$ | | $-j18$ | | | | | 15 | | | |
| $Z_{22}, \text{ Ом}$ | | $j18$ | | | | | $-15 + j20$ | | | |
| $Y_{11}, 1/\text{Ом}$ | | | $0.05 - j0.05$ | | | | | $0.02 - j0.06$ | | |

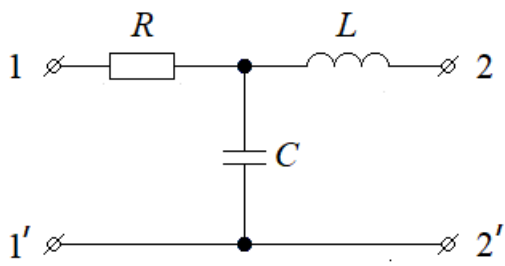
| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|--|---------------|-----------------|------------|--------------|--|---------------|---------------|--------------|
| $\underline{Y}_{12}, 1/\text{ОМ}$ | | | -0.05 | | | | | -0.04 + j0.02 | | |
| $\underline{Y}_{21}, 1/\text{ОМ}$ | | | 0.05 | | | | | 0.04 - j0.02 | | |
| $\underline{Y}_{22}, 1/\text{ОМ}$ | | | -0.05 - j0.05 | | | | | -0.08 - j0.06 | | |
| $\underline{H}_{11}, \text{ОМ}$ | 2 + j16 | | | 10 + j10 | | | | | 8 + j16 | |
| \underline{H}_{12} | 0.8 + j0.4 | | | 0.5 + j0.5 | | | | | 0.2 + j0.4 | |
| \underline{H}_{21} | 0.8 + j0.4 | | | 0.5 + j0.5 | | | | | 0.2 + j0.4 | |
| $\underline{H}_{22}, 1/\text{ОМ}$ | -0.08 - j0.04 | | | -0.025 - j0.075 | | | | | -0.02 - j0.04 | |
| $\underline{G}_{11}, 1/\text{ОМ}$ | | | | | 0.05 | 0.04 - j0.08 | | | | 0.05 - j0.05 |
| \underline{G}_{12} | | | | | 0.5 - j0.5 | 0.2 - j0.4 | | | | 0.5 - j0.5 |
| \underline{G}_{21} | | | | | 0.5 - j0.5 | 0.2 - j0.4 | | | | 0.5 - j0.5 |
| $\underline{G}_{22}, \text{ОМ}$ | | | | | -5 + j5 | -4 + j8 | | | | -5 + j15 |

3.2 кесте – Транскрипт нөмірінің соңғысының алдыңғы саны бойынша берілгендер нұсқалары

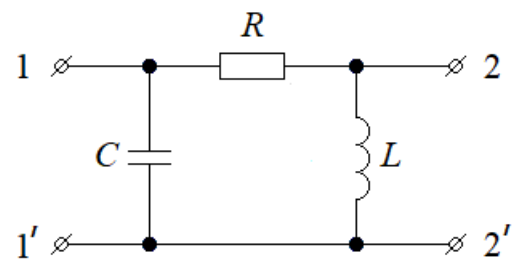
| Оқуға түскен жылы | Транскрипт нөмірінің соңғысының алдыңғы саны | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|------|------|------|------|----|-----|-----|-----|-----|---|
| | жүп | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| тақ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| $X_C, \text{ОМ}$ | 25 | 15 | 16 | 18 | 10 | 12 | 20 | 14 | 22 | 24 | |
| φ_{U2} | -30° | -45° | -60° | -90° | 180° | 0° | 60° | 30° | 90° | 30° | |

3.3 кесте – Тегінің бірінші әріпі бойынша берілгендер нұсқалары

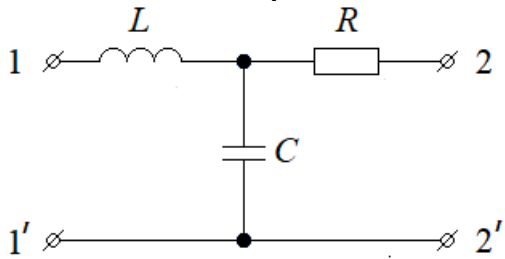
| Оқуға түскен жылы | Тегінің бірінші әріпі | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|------------|
| | жүп | А, Б, В | Г, Д, Е | Ж, З, И, Ә | К, Л, М | Н, О, П, Қ | Р, С, Т, Ұ | У, Ф, Х, Ү | Ц, Ш, Щ, Ф | Э, Ю, Ц | Я, Ә, Ы, І |
| тақ | Я, Ә, Ы, І | Э, Ю, Ц | Ц, Ш, Щ, Ф | У, Ф, Х, Ү | Р, С, Т, Ұ | Н, О, П, Қ | К, Л, М | Ж, З, И, Ә | Г, Д, Е | А, Б, В | |
| 1-ші төрт үштіының сұлбасының №. | 2.10 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | |
| $U_2, \text{В}$ | 75 | 70 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 25 | 20 | |
| $R, \text{ОМ}$ | 15 | 10 | 18 | 16 | 25 | 24 | 14 | 22 | 12 | 21 | |
| $R_{\mu}, \text{ОМ}$ | 10 | 20 | 15 | 25 | 16 | 18 | 12 | 14 | 24 | 8 | |



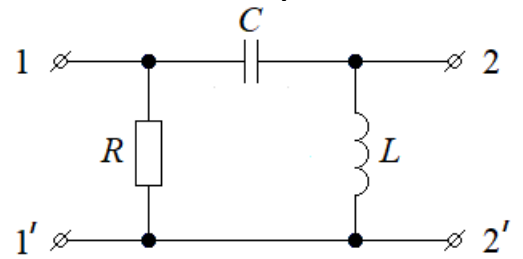
3.1 сұлба



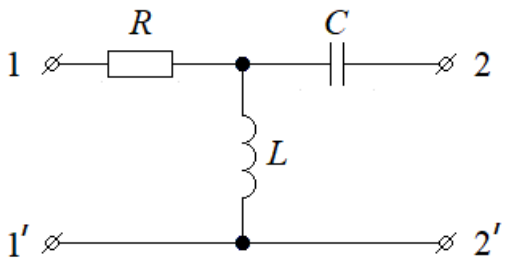
3.2 сұлба



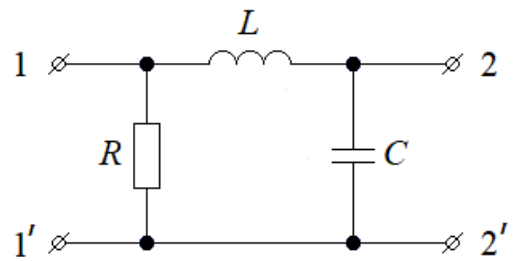
3.3 сұлба



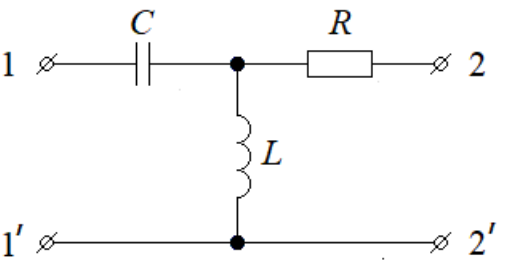
3.4 сұлба



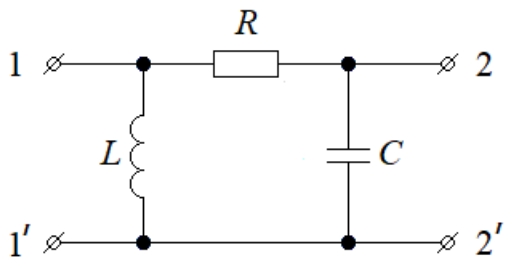
3.5 сұлба



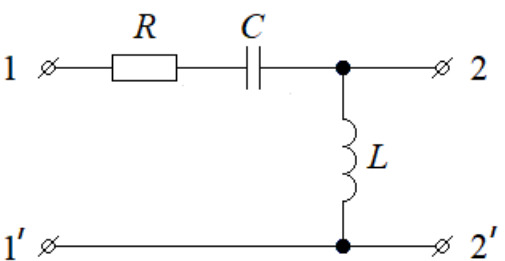
3.6 сұлба



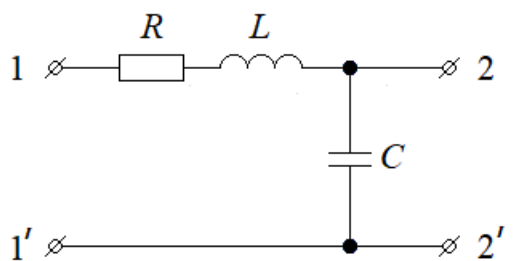
3.7 сұлба



3.8 сұлба



3.9 сұлба

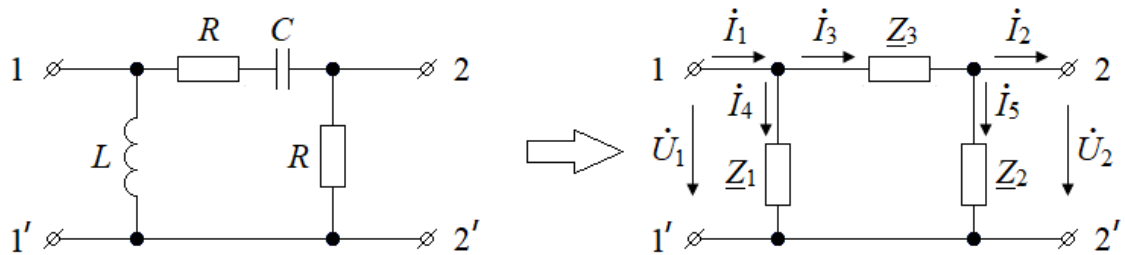


3.10 сұлба

3.2 сурет – Бірінші төрт ұштының сұлбасының нұсқалары

3.3 Әдістемелік нұсқаулар

3.3-суретте көрсетілген П-тәрізді сұлбаның мысалы негізінде, бос жүріс және қысқа тұйықталу режимдерін пайдалана отырып, төрт ұштының А-параметрлерін есептеуді қарастырайық.



3.3 сурет – Төрт ұштының П-тәрізді сұлбасы

Сұлбадағы кедергілердің мәндері белгілі: $R = 10$ Ом, $X_L = 15$ Ом, және $X_C = 12$ Ом. Есептеулерді ыңғайлы ету үшін келесі белгіленулер қолданайық:

$$\underline{Z}_1 = jX_L = j15 \text{ Ом}, \quad \underline{Z}_2 = R = 10 \text{ Ом} \quad \text{и} \quad \underline{Z}_3 = R - jX_C = 10 - j12 \text{ Ом}.$$

А-параметрлі төрт ұшты теңдеулерінің жүйесі (А-түрі):

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{A}_{11} \cdot \dot{U}_2 + \underline{A}_{12} \cdot \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \underline{A}_{21} \cdot \dot{U}_2 + \underline{A}_{22} \cdot \dot{I}_2 \end{cases}$$

Бос жүріс режимінде $\dot{I}_{2\text{бж}} = 0$ (2, 2' шықпалары ажыратылған), теңдеулердегі екінші қосылғыштар жоқ болады, $\dot{I}_{3\text{бж}} = \dot{I}_{5\text{бж}}$ нәтижесінде шығатыны:

$$\underline{A}_{11}^I = \frac{\dot{U}_{1\text{бж}}}{\dot{U}_{2\text{бж}}} = \frac{\dot{I}_{5\text{бж}} \cdot (\underline{Z}_3 + \underline{Z}_2)}{\dot{I}_{5\text{бж}} \cdot \underline{Z}_2} = 1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} = 2 - 1.2j,$$

Токтың екі параллель тармаққа таралу формуласы бойынша ток $\dot{I}_{5\text{бж}}$ және кернеу $\dot{U}_{2\text{бж}}$ үшін өрнектер жазайық:

$$\dot{I}_{5\text{бж}} = \dot{I}_{1\text{бж}} \cdot \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}, \quad \dot{U}_{2\text{бж}} = \dot{I}_{5\text{бж}} \cdot \underline{Z}_2.$$

Енді \underline{A}_{21} параметрін анықтауға болады:

$$\underline{A}_{21}^I = \frac{\dot{I}_{1\text{бж}}}{\dot{U}_{2\text{бж}}} = \frac{\dot{I}_{1\text{бж}}}{\dot{I}_{1\text{бж}} \cdot \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}} = \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2} = 0,02 - 0,1333j \text{ См}.$$

Қысқа тұйықталу режимінде $\dot{U}_{2км} = 0$ (2, 2' шықпалары тұйықталған) және теңдеулердегі бірінші қосылғыштар жоқ болады, $\dot{I}_{5км} = 0$, $\dot{I}_{3км} = \dot{I}_{2км}$.

Нәтижесінде келесі өрнектер шығады:

$$A_{12}^I = \frac{\dot{U}_{1км}}{\dot{I}_{2км}} = \frac{\dot{I}_{3км} \cdot Z_3}{\dot{I}_{2км}} = \frac{\dot{I}_{2км} \cdot Z_3}{\dot{I}_{2км}} = Z_3 = 10 - 12j \text{ Ом},$$

$$\dot{I}_{2км} = \dot{I}_{3км} = \dot{I}_{1км} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3}, \quad \dot{I}_{5км} = 0,$$

$$A_{22}^I = \frac{\dot{I}_{1км}}{\dot{I}_{2км}} = \frac{\dot{I}_{1км}}{\dot{I}_{1км} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3}} = 1 + \frac{Z_3}{Z_1} = 0,2 - 0,6667j.$$

A-параметрлерінің табылған сандық мәндерін төмендегі теңдеуге қою арқылы тексеру қажет, олар келесі сәйкестікке келу керек:

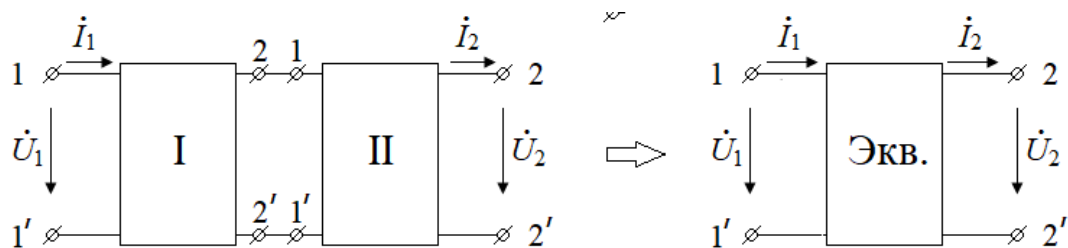
$$A_{11} \cdot A_{22} - A_{12} \cdot A_{21} = 1.$$

Төрт ұштының Z-, Y-, H- және G-параметрлері сияқты басқа параметрлерін есептеу осыған ұқсас төмендегі екі жолмен жүзеге асырылады және бұл жағдайларда I_1 және I'_2 токтары төрт ұштының ішіне қарай бағытталады.

– T-, П- немесе Г-тәрізді сұлбалар үшін Кирхгоф заңдары бойынша теңдеулерді құрастыру және оларды сәйкес түрге келтіру (Z-, Y-, H- немесе G- түрге) арқылы

– тура және кері бос жүріс және қысқа тұйықталу режимдерін пайдалану жолымен.

3.4-суретте көрсетілгендей екі төрт ұштының каскадты жалғануы арқылы алынған эквивалентті төрт ұштының параметрлерін есептеу мысалын қарастырайық.



3.4 сурет – Екі төрт ұштының каскадты жалғануы

Каскадты жалғану жағдайында, эквивалентті төрт ұштының A-параметрлерінің матрицасы каскадты жалғанған төрт ұштылардың A-параметрлерінің матрицаларының көбейтіндісі ретінде табылады.

Қарастырылып отырған тапсырмада бірінші төрт ұшты өзінің сұлбасы мен кедергілерінің мәндерімен берілген. Бірінші төрт ұштының A-

параметрлерін анықтау тәртібі жоғарыда қарастырылған. Екінші төрт ұшты үшін Y -параметрлері берілген:

$$\underline{Y}_{11} = 0.05 - j0.015 \text{ См}, \quad \underline{Y}_{12} = -0.1 + j0.1 \text{ См}, \quad \underline{Y}_{21} = -0.1 + j0.1 \text{ См}, \quad \underline{Y}_{22} = 0.2 \text{ См}.$$

3.4 кесте – Төрт ұштының коэффициенттерін қайта есептеу кестесі

| | $\ \underline{Z}\ $ | $\ \underline{Y}\ $ | $\ \underline{H}\ $ | $\ \underline{G}\ $ |
|---------------------|--|--|--|--|
| $\ \underline{A}\ $ | $\begin{vmatrix} \underline{Z}_{11} & \underline{\Delta}_Z \\ \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_{21} \end{vmatrix}$ | $\begin{vmatrix} -\underline{Y}_{22} & -1 \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{21} \end{vmatrix}$ | $\begin{vmatrix} -\underline{\Delta}_H & -\underline{H}_{11} \\ \underline{H}_{21} & \underline{H}_{21} \end{vmatrix}$ | $\begin{vmatrix} 1 & \underline{G}_{22} \\ \underline{G}_{21} & \underline{G}_{21} \end{vmatrix}$ |
| | $\begin{vmatrix} 1 & \underline{Z}_{22} \\ \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_{21} \end{vmatrix}$ | $\begin{vmatrix} -\underline{\Delta}_Y & -\underline{Y}_{11} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{21} \end{vmatrix}$ | $\begin{vmatrix} -\underline{H}_{22} & -1 \\ \underline{H}_{21} & \underline{H}_{21} \end{vmatrix}$ | $\begin{vmatrix} \underline{G}_{11} & \underline{\Delta}_G \\ \underline{G}_{21} & \underline{G}_{21} \end{vmatrix}$ |

Төрт ұштының коэффициенттерін қайта есептеу кестесін пайдаланып, Y -параметрлерін A -параметрлеріне қайта есептейік, 3.4 кесте.

$$\begin{vmatrix} \underline{A}_{11}^{\text{II}} & \underline{A}_{12}^{\text{II}} \\ \underline{A}_{21}^{\text{II}} & \underline{A}_{22}^{\text{II}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{-\underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}} & \frac{-1}{\underline{Y}_{21}} \\ -\frac{\underline{\Delta}_Y}{\underline{Y}_{21}} & -\frac{\underline{Y}_{11}}{\underline{Y}_{21}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{-0.2}{-0.1 + j0.1} & \frac{1}{-0.1 + j0.1} \\ \frac{0.01 - j0.01}{-0.1 + j0.1} & \frac{0.05 - j0.15}{-0.1 + j0.1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + j1 & 5 + j5 \\ 0.1 & 1 - j0.5 \end{vmatrix}.$$

$$\underline{A}_{11}^{\text{II}} = 1 + j1, \quad \underline{A}_{12}^{\text{II}} = 5 + j5, \text{ Ом}, \quad \underline{A}_{21}^{\text{II}} = 0.1 \text{ См}, \quad \underline{A}_{22}^{\text{II}} = 1 - j0.5.$$

Эквивалентті төрт ұштының A -параметрлерінің матрицасы бірінші және екінші төрт ұштылардың біртекті матрицаларының көбейтіндісіне тең:

$$\|\underline{A}^{\text{эKB}}\| = \|\underline{A}^{\text{I}}\| \times \|\underline{A}^{\text{II}}\| = \begin{vmatrix} 4.2 - j0.4 & 20 - j13 \\ 0.1733 - j0.18 & 0.6333 - j1.3333 \end{vmatrix}.$$

Төрт ұштылар жалғануының өзге жағдайларында, эквивалентті төрт ұштының параметрлер матрицасы келесі өрнектермен анықталады:

– параллель жалғану кезінде Y -параметрлер матрицасы анықталады

$$\|\underline{Y}^{\text{эKB}}\| = \|\underline{Y}^{\text{I}}\| + \|\underline{Y}^{\text{II}}\|;$$

– тізбектей жалғану кезінде Z -параметрлер матрицасы анықталады

$$\|\underline{Z}^{\text{эKB}}\| = \|\underline{Z}^{\text{I}}\| + \|\underline{Z}^{\text{II}}\|;$$

– тізбектей- параллель жалғану кезінде H -параметрлер матрицасы анықталады

$$\|\underline{H}^{\text{ЭКВ}}\| = \|\underline{H}^{\text{I}}\| + \|\underline{H}^{\text{II}}\|;$$

– параллель- тізбектей жалғану кезінде G -параметрлер матрицасы анықталады

$$\|\underline{G}^{\text{ЭКВ}}\| = \|\underline{G}^{\text{I}}\| + \|\underline{G}^{\text{II}}\|.$$

A -параметрлерді есептеу кезінде төрт ұштының кірісі мен шығысындағы I_1 және I_2 токтары 3.1, 3.3 және 3.4-суреттерде көрсетілгендей солдан оңға, қорек көзден жүктемеге қарай бағытталады, ал Z -, Y -, H - немесе G -параметрлерді есептеу кезінде, ток I_2 төрт ұштыға қарама-қарсы бағытталады, оны I'_2 деп белгілейді.

3.1-суретте көрсетілгендей, арасына эквивалентті төрт ұшты қосылған, қорек көзі мен жүктеме қуаттарының есебін қарастырайық. Шығыс кернеу $\dot{U}_2 = 50 \cdot e^{-j30^\circ}$ В және жүктеме кедергісі $R_{\text{жк}} = 25$ Ом берілген болсын делік.

Алдымен, Ом заңына сәйкес жүктеме кедергісіндегі ток күшін есептейік:

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_2 / R_{\text{н}} = 50e^{-j30^\circ} / 25 = 2e^{-j30^\circ} \text{ А}$$

Содан кейін қорек көзінің кернеуі мен тогын есептеу үшін, төрт ұштының A -тәрізді теңдеулер жүйесін қолданамыз:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \underline{A}_{11}^{\text{ЭКВ}} \cdot \dot{U}_2 + \underline{A}_{12}^{\text{ЭКВ}} \cdot \dot{I}_2 = (4.2 - j0.4) \cdot 50e^{-j30^\circ} + (20 - j13) \cdot 2e^{-j30^\circ} = 254.2e^{-j40.43^\circ} \text{ В} \\ \dot{I}_1 = \underline{A}_{21}^{\text{ЭКВ}} \cdot \dot{U}_2 + \underline{A}_{22}^{\text{ЭКВ}} \cdot \dot{I}_2 = (0.173 - j0.18)50e^{-j30^\circ} + (0.633 - j1.333)2e^{-j30^\circ} = 15.3e^{-j79.6^\circ} \text{ А} \end{cases}$$

Енді қорек көзі мен жүктеменің комплексті қуаттарын есептеуге болады:

$$\tilde{S}_{\text{ист}} = \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1^* = 254.2e^{-j40.43^\circ} \cdot 15.3e^{j79.6^\circ} = 3020 + j2459.7 \text{ ВА};$$

$$\tilde{S}_{\text{нагр}} = I_2^2 \cdot R_{\text{н}} = 2^2 \cdot 25 = 100 + j0 \text{ ВА}.$$

А қосымшасы

Ғұмарбек Дәукеев атындағы
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»
Коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Электротехника кафедрасы

ЭТН пәнінен
Курстық жұмыстың
№___ тапсырмасы бойынша
Есеп беру

Тақырыбы _____

6B07108 – «Автоматтандыру және басқару» білім беру бағдарламасы

Орындаған _____ топ студенті _____
(топтың шифры) (студенттің аты-жөні)

Қабылдаған _____
(оқытушының аты-жөні, ғылыми дәрежесі, лауазымы)

_____ « _____ » _____ 202__ ж.
(баға) (қолы)

Алматы 202__

Әдебиеттер тізімі

Негізгі:

1. ТОЭ. Электрические цепи: учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 12-е изд., исправ. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 701 с. – Серия: Бакалавр. Углубленный курс.

2. М.М. Аршидинов, В.И. Денисенко, Л.П. Болдырева. Электротехниканың теориялық негіздері. Электр тізбектері мен электромагнитті өрістерді есептеу мысалдары: оқу құралы. Алматы: АЭЖБУ, 2017.-94 б.

Қосымша:

3. Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Коровкин Н. В., Чечурин В. Л. Теоретические основы электротехники. Т.1. – СПб.: Питер, 2003. – 463 с.

4. Шебес М. Р., Каблукова М. В. Задачник по теории линейных электрических цепей. – М.: Высшая школа, 1990. – 544 с.

5. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench. В 2-х томах / Под ред. Д. И. Панфилова – М.: ДОДЭКА, 1999. – т.1 Электротехника. – 304 с.

Алиаскар Саинович Баймаганов
Светлана Юрьевна Креслина
Алма Тулендиевна Аршабекова

ЭЛЕКТРОТЕХНИКАНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ
Курстық жұмысты орындауға әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар
(6В07108 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығының білім
бағдарламасы бойынша білім алатын студенттерге арналған)

Редактор:
Стандарттау бойынша маман:

Изтелеуова Ж.Н.
Ануарбек Ж.А.

Басылымға қол қойылды __. __. __.
Таралымы 50 дана.
Көлемі –2.0 оқу- бас.ә.

Пішімі 60x84 1/16
Баспаханалық қағаз№ 1
Тапсырыс Бағасы 1000 тг.

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс
университеті»коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірме – көбейту бюросы
050013 Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1