

**Коммерциялық емес
акционерлік қоғам**



**АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электр машиналары және
электр жетегі кафедрасы

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА

5B071700 - Жылу энергетикасы мамандығының студенттері үшін
есептеу – сызба жұмыстарын орындау бойынша әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2018

ҚҰРАСТЫРҒАНДАР: И.Т. Алдибеков, М.Б. Жаркымбекова, Э.Б. Даркенбаева. Электротехника және электроника. 5B071700 - Жылу энергетикасы мамандығының студенттері үшін есептеу – сызба жұмыстарын орындау бойынша әдістемелік нұсқаулықтар. - Алматы: АЭЖБУ, 2018. – 38 б.

Есептеу - сызбалық жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулық «Электротехника және электроника» пәні бойынша 5B071700 – Жылу энергетикасы мамандығының жұмыс бағдарламасына сәйкес жасалған.

Әдістемелік нұсқаулықта «Тұрақты ток сызықты тізбектерді есептеу», «Қабылдағыштары аралас қосылған бір фазалы синусоидалы ток тізбегін есептеу», «Үш фазалы синусоидалы ток тізбегін есептеу», «Үшфазалы трансформатордың параметрлері мен сипаттамаларын есептеу» тақырыптар негізінде тасырмалар берілген.

Әдістемелік нұсқау 5B071700 - Жылу энергетикасы мамандығының студенттері үшін есептеу – сызба жұмыстарын орындауға арналған.

Суреттер 34, кестелер 10, әдебиет. – 5 атау.

Пікір беруші: ЭСТжЖ кафедрасының доценті Б.К. Курпенев

«Алматы энергетика және байланыс университетінің» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2018 ж. баспа жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университетінің» КЕАҚ, 2018 ж.

Мазмұны

| | | |
|---|---|----|
| | Кіріспе..... | 3 |
| 1 | № 1 есептеу - сызба жұмысы. Тұрақты ток сызықты тізбектерді есептеу | 5 |
| 2 | №2 есептеу - сызба жұмысы. Қабылдағыштары аралас қосылған бір фазалы синусоидалы ток тізбегін есептеу | 6 |
| 3 | №3 есептеу - сызба жұмысы. Үш фазалы синусоидалы ток тізбегін есептеу..... | 9 |
| 4 | №4 есептеу - сызба жұмысы. Үшфазалы трансформатордың параметрлері мен сипаттамаларын есептеу | 11 |
| 5 | №1 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Сызықты тұрақты ток тізбегін есептеу..... | 13 |
| 6 | №2 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Аралас жалғанған қабылдағыштары бар сызықты электрлік бірфазалы синусоидалы ток тізбегіне есептеу жүргізу..... | 20 |
| 7 | №3 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Синусоидалы токты үш фазалы тізбек | 25 |
| 8 | №4 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Үшфазалы трансформатордың параметрлері мен сипаттамаларын есептеу | 34 |
| | Әдебиеттер тізімі..... | 42 |

Кіріспе

Есептеу - сызба жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулық «Электротехника және электроника» пәні бойынша 5В071700 – Жылу энергетикасы мамандығының жұмыс бағдарламасына сәйкес жасалған.

Есептеу - сызба жұмыстардың мақсаты электртехникалық қондырғылардың қайта жөндеу мен жобалауға бйланысты арнайы пәндерді меңгеру үшін қажетті білімін жетілдіру, инженерлік ойлаудың дамуын қалыптастыру болып табылады.

Студент ЕСЖ орындау кезінде электр тізбектерінің, электрмагниттік құрылғылар, трансформатордың жұмыс режимдерін, электр машиналарының орынбасу сұлбалары мен диаграммаларын, сипаттамаларын тұрғызуды үйренеді.

Студент ЕСЖ орындау нәтижесінде электр тізбектерінің сипаттамалары мен негізгі қасиеттерін қолдануды, электр сұлбаларын салуды, өлшеуді, есептеу әдістерін, алынған нәтижелердің дұрыстығын бағалауды білетін болады.

Есептеу сызба жұмыстардың әр тапсырмасы берілген тапсырмалар мен нұсқалардан, сонымен қатар есептелген және тұрғызылған диаграммалар мысалдарынан тұрады.

Жұмысты орындауға, рәсімдеуге және қорғауға қойылатын талаптар:

1) Жұмысты орындау барысында дәріс материалдары, электртехника және электроника курсы бойынша оқулықтар және ЕСЖ орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар пайдаланылады. Ұсынылатын әдебиеттер тізімі берілген әдістемелік нұсқаулықтар соңында көрсетіледі.

2) ЕСЖ тапсырмасы әр студентке жеке беріледі.

3) ЕСЖ есептеулер мен түсіндерме жазбалардан және сызбалық бөліктерден тұрады.

4) Түсіндерме жазбалар стандартты пішіндегі А4 қағазына рәсімделеді, әр тапсырмада нұсқа мен тапсырманы жазу керек.

5) Электр тізбектері шартты белгілермен салынуы тиіс.

6) Әр есептеулер сандық мәндермен және түсіндерме мәтінмен, өлшем бірлігімен жазылуы тиіс. Бір типті есептеулер мен нәтижелер кестеге енгізілуі керек.

7) Сызбалар мен диаграммалар миллиметрлік қағазда масштабын көрсетіп, қарындашпен сызылуы тиіс. Барлық суреттер ЕСЖ санына сай нөмірленеді.

1 № 1 есептеу - сызба жұмысы. Тұрақты ток сызықты тізбектерді есептеу

№1 ЕСЖ бойынша тапсырма.

Нұсқаңызға сәйкес (1.1-1.10 суреттер) электр тізбегінің сұлбасын және оның параметрлерін (1.1-1.2 кестелер) таңдаңыз.

1) Сұлбаның барлық тармақтарының токтарын есептеу үшін Киргхоф заңдары бойынша теңдеу жүйесін құрыңыз.

2) Тізбектің тармақ токтарын контурлық токтар әдісімен анықтаңыздар және теңдеудің дұрыстығын Киргхофтың бірінші және екінші заңдарымен тексеріп, көз жеткізіңіз.

3) Тізбектің барлық тармақ токтарын екі түйінді кернеу тәсілімен анықтаңыздар және Киргхофтың бірінші, екінші заңдарымен тексеріңіздер.

4) Берілген тізбек үшін қуат балансын құрыңыздар.

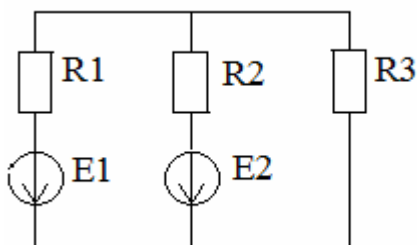
5) Екі ә.қ.к. тұратын тізбек контуры үшін потенциалдық диаграмма құрыңыз.

1.1 кесте - Тізбектің параметрлері

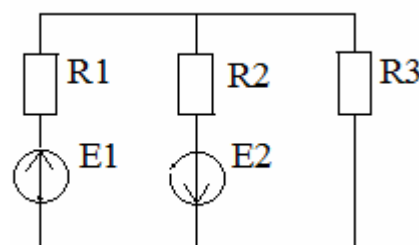
| Нұсқа Параметр | Сынақ кітапшасының соңғы саны | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| № сурет | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.10 |
| $E_1, В$ | 100 | 120 | 250 | 200 | 150 | 180 | 200 | 150 | 250 | 100 |
| $E_2, В$ | 180 | 120 | 200 | 180 | 150 | 150 | 100 | 180 | 200 | 150 |

1.2 кесте - Тізбектің параметрлері

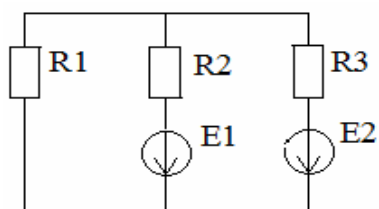
| Нұсқа Параметр | Сынақ кітапшасының соңғы санының алдыңғы саны | | | | | | | | | |
|-------------------|---|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| $R_1, Ом$ | 30 | 80 | 60 | 30 | 20 | 100 | 60 | 90 | 30 | 70 |
| $R_2, Ом$ | 70 | 40 | 20 | 80 | 50 | 80 | 50 | 70 | 80 | 50 |
| $R_3, Ом$ | 90 | 60 | 50 | 60 | 70 | 20 | 20 | 90 | 60 | 30 |



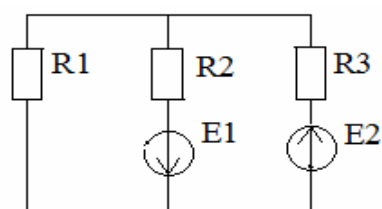
1.1 сурет



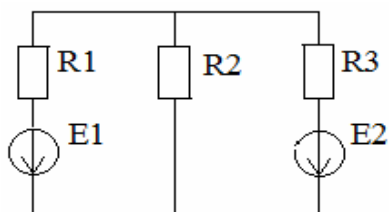
1.2 сурет



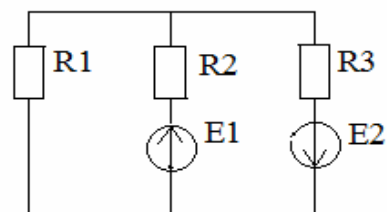
1.3 сурет



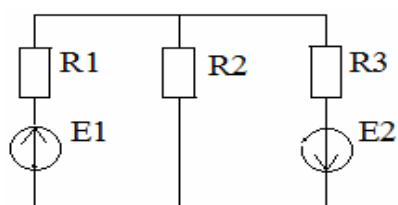
1.4 сурет



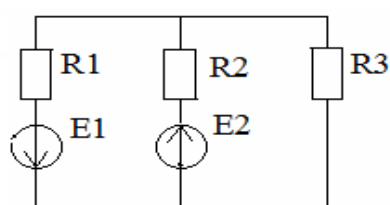
1.5 сурет



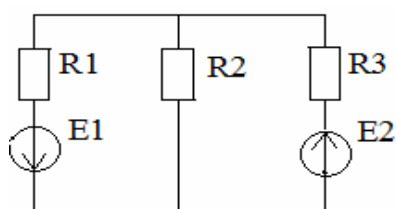
1.6 сурет



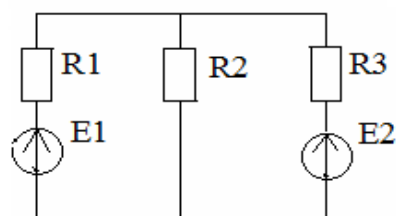
1.7 сурет



1.8 сурет



1.9 сурет



1.10 сурет

2 №2 есептеу - сызба жұмысы. Қабылдағыштары аралас қосылған бір фазалы синусоидалы ток тізбегін есептеу

№2 ЕСЖ бойынша тапсырма.

Қабылдағыштары аралас қосылған электр тізбектеріне (2.1-2.10 суреттер) $u = U_m \sin 2\pi ft$ синусоидалы кернеу көзі әсер етеді. U кернеудің әрекеттік мәні, f жиілік және тізбек параметрлері 2.1, 2.2, 2.3 кестелерде келтірілген.

Келесі тапсырмаларды орындау қажет:

1) Индуктивті X_L және сыйымдылықты X_C кедергілерін, әр тармақтың кешендік кедергілерін есептеңіз және тізбектегі жалпы эквивалентті кешенді кедергіні есептеңіздер.

2) Барлық тармақтағы токтардың әсерлік мәнін кешендік түрде есептеу және тізбектегі элементтердің кернеулерін, олардың лездік мәндері үшін тендеулерін жазыңыздар, есептің дұрыстығын Киргхоф заңдарымен тексеру қажет.

3) Қуаттар балансын құраңыздар.

4) Ток пен кернеудің векторлық диаграммасын тұрғызыңыздар.

2.1 кесте - Тізбектің параметрлері

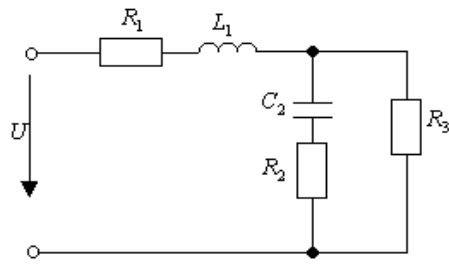
| Оқуға түскен жыл | Сынақ кітапшасының соңғы саны | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Тақ № сурет | 1 2.1 | 2 2.2 | 3 2.3 | 4 2.4 | 5 2.5 | 6 2.6 | 7 2.7 | 8 2.8 | 9 2.9 | 0 2.10 |
| Жұп № сурет | 0 2.1 | 9 2.2 | 8 2.3 | 7 2.4 | 6 2.5 | 5 2.6 | 4 2.7 | 3 2.8 | 2 2.9 | 1 2.10 |
| U, B | 100 | 120 | 90 | 80 | 60 | 110 | 70 | 115 | 50 | 85 |
| $R_1, Ом$ | 90 | - | 130 | 85 | 90 | 40 | 120 | 100 | 110 | 40 |
| $R_2, Ом$ | 110 | 120 | 150 | - | 110 | - | 95 | 120 | 90 | 130 |
| $R_3, Ом$ | 60 | 80 | 90 | 100 | - | 100 | 50 | 95 | 80 | 100 |

2.2 кесте - Тізбектің параметрлері

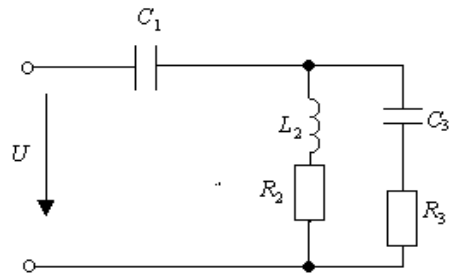
| Оқуға түскен жыл | Сынақ кітапшасының соңғы санының алдыңғы саны | | | | | | | | | |
|------------------|---|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|
| Тақ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Жұп | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| $f, Гц$ | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 700 | 900 | 600 | 1000 | 800 |
| $L_1, мГн$ | 35 | 25 | 20 | 15 | 10 | 30 | 20 | 40 | 15 | 30 |
| $L_2, мГн$ | 40 | 20 | 15 | 18 | 20 | 25 | 10 | 30 | 20 | 25 |
| $L_3, мГн$ | 30 | 35 | 25 | 10 | 15 | 18 | 15 | 35 | 10 | 20 |

2.3 кесте - Тізбектің параметрлері

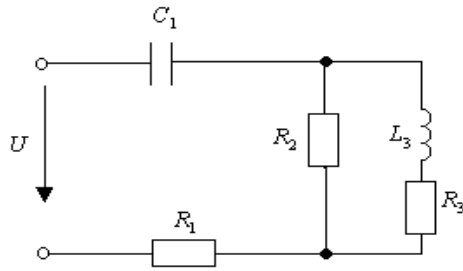
| Оқуға түскен жыл | Тегінің бірінші әріпі | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Тақ | АЯ | УЮФ | КХ | БЛЦ | ВМЧ | ТЭИ | ЖСЗ | ДОЦ | ЕПР | ГНШ |
| Жұп | ГНШ | АЯ | ЕПР | УЮФ | ДОЦ | КХ | БЛЦ | ЖСЗ | ТЭИ | ВМЧ |
| $C_1, мкФ$ | 2 | 3,5 | 3 | 1,5 | 2,8 | 2 | 2,2 | 2,5 | 1,8 | 1,5 |
| $C_2, мкФ$ | 1,5 | 2,5 | 2 | 1,8 | 2 | 2,5 | 3,2 | 2 | 1,5 | 2,5 |
| $C_3, мкФ$ | 2,5 | 2 | 1,5 | 2,5 | 3 | 3,5 | 1,5 | 2,8 | 2 | 3 |



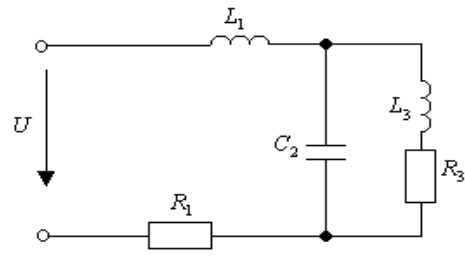
2.1 цырет



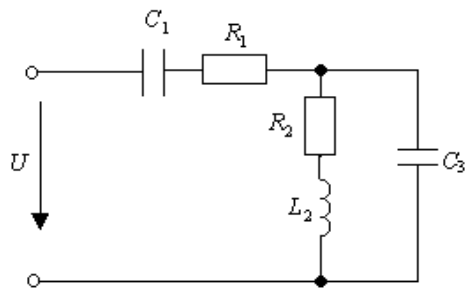
2.2 цырет



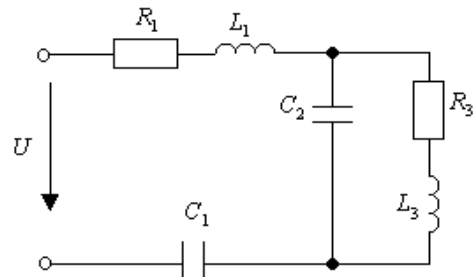
2.3 цырет



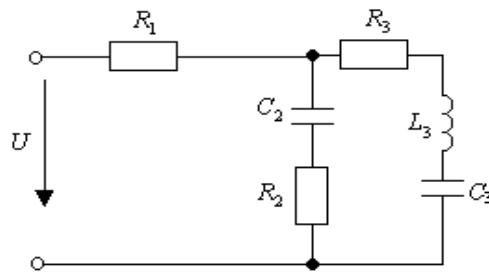
2.4 цырет



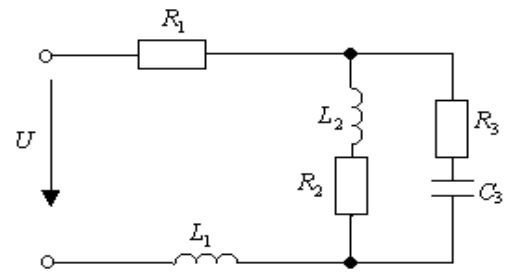
2.5 цырет



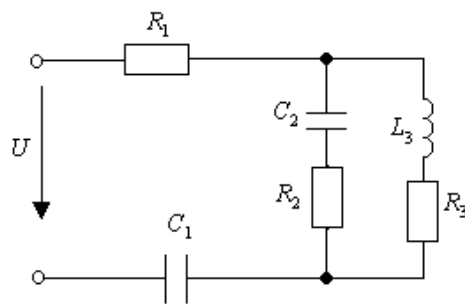
2.6 цырет



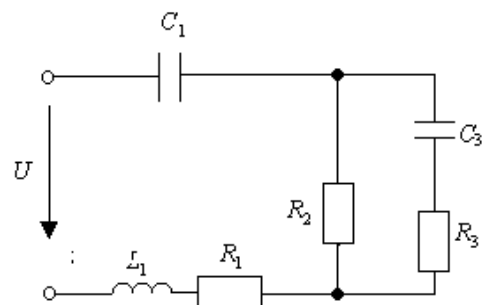
2.7 цырет



2.8 цырет



2.9 цырет



2.10 цырет

3 №3 есептеу - сызба жұмысы. Үш фазалы синусоидалы ток тізбегін есептеу

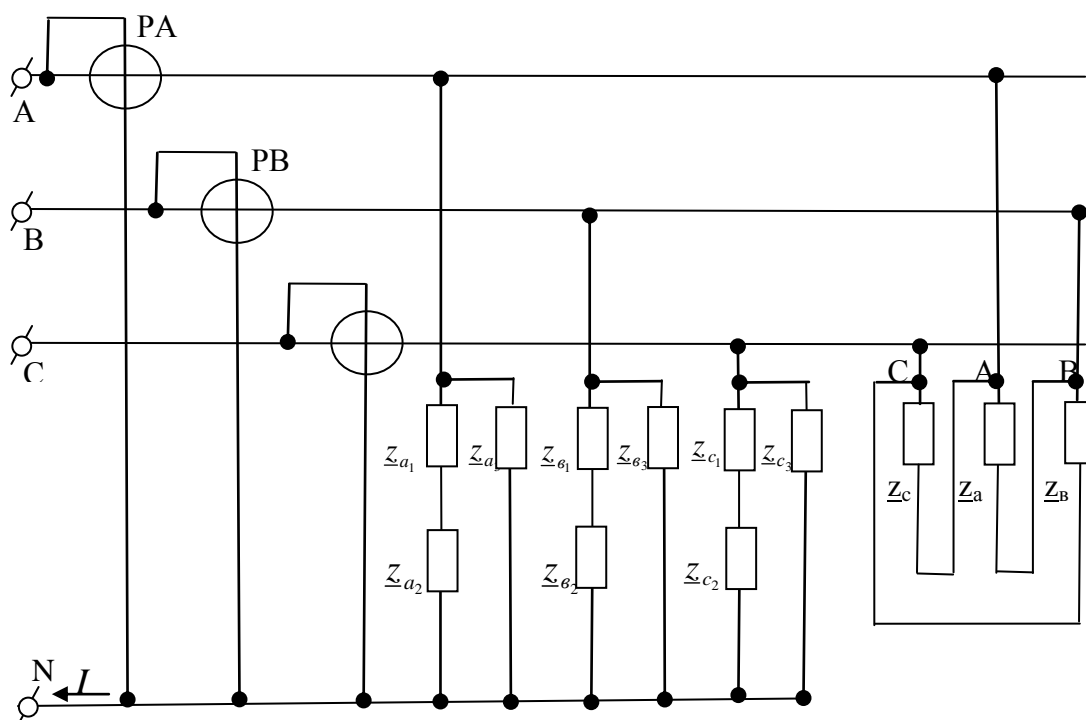
Нұсқа бойынша тапсырманы таңдау.

Тапсырма мақсаты – айнымалы үш фазалы тізбектің электрлік жағдайына анализ жасау. Тапсырма нұсқасы журналдағы студенттің нөміріне сәйкес, 1 кесте бойынша алынады.

Желілік кернеулі U_a үш фазалы тізбекке (3.1 сурет) «үшбұрышша» сұлба бойынша жалғанған үш фазалы симметриялы қабылдағыш қосылған және бейтарап сым арқылы «жұлдызша» сұлба бойынша жалғанған бір фазалы қабылдағыш тобы қосылған. Бейтарап сымның кедергісі аз болады. «Жұлдызша» арқылы қосылған қабылдағыш фаза кедергісінің мәні жазба бойынша, бұл кедергінің болмағанын көрсетеді, яғни кедергі шамасы шексіздікке тең (тізбектің үзілуі).

Анықтау керек:

- 1) «Жұлдызша» сұлбасы бойынша қосылған бірфазалы қабылдағыш токтарын.
- 2) «Үшбұрыш» сұлбасы бойынша қосылған қабылдағыштардың фазалық және желілік токтарын.



3.1 сурет – Үш фазалы электр тізбегі

- 3) Үш фазалы тізбектің активті қуаты және ваттметрлер көрсеткіштері.
- 4) Кернеу мен токтың векторлық диаграммаларын тұрғызыңыздар және сол бойынша желілік сымдардағы токтар мен бейтарап сымдардағы токты анықтаңыздар. «Жұлдызша» және «үшбұрышша» жалғанулар үшін ток пен

кернеудің векторлық диаграммаларын бір координат өстер жүйесінде тұрғызылады.

3.1 кесте – Нұсқа бойынша есептеу үшін бастапқы берілгендер

| Нұсқа № | U _л | Қабылдағыштардың «жұлдызша» жалғануы | | | | | | | | | Қабылдағыштың «үш бұрышша» жалғануы | | |
|---------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------|--------------|
| | | Z _{a1} (Ом) | Z _{a2} (Ом) | Z _{a3} (Ом) | Z _{ә1} (Ом) | Z _{ә2} (Ом) | Z _{ә3} (Ом) | Z _{c1} (Ом) | Z _{c2} (Ом) | Z _{c3} (Ом) | P _н Вт | cosφ | Жүктеме түрі |
| 1 | 220 | 5+j4, 2 | 4,2+j 6 | 5 | 3+j6 | -j15 | 15- j10 | 8-j20 | - | 8-j20 | 1000 | 0,85 | сый. |
| 2 | 220 | 7- j2,5 | 6-j3 | -j2 | 10+j10 | - | 18- j10 | 17-j18 | 5-j4 | - | 6200 | 0,78 | инд. |
| 3 | 380 | 17- j17 | 10 | 14+j 9,8 | 12-j48 | 10+j17 | - | 20+j14 | - | 15-j9 | 4500 | 0,95 | инд. |
| 4 | 380 | 21+j 25 | 25+j 10 | - | 13-j10 | 5 | 15+j 7 | 18-j18 | - | +j18 | 700 | 0,95 | сый. |
| 5 | 220 | 10- j5,8 | 5,5+j 15 | - | 6+j5,4 | -j4 | 10-j4 | 9+j8 | 2-j11 | - | 5700 | 0,87 | инд. |
| 6 | 220 | 12- j48 | 6-j24 | 4+j6 | 11 | 15+j26 | - | 11+j7 | - | 10- j19 | 2000 | 0,8 | инд. |
| 7 | 220 | 6+j5, 5 | -j15 | 10 | 12-j12 | 9+j18 | 10 | 8-j13 | - | 14+j 16 | 1500 | 0,8 | инд. |
| 8 | 220 | 5,6- j8 | 7-j7 | - | 15+j5 | - | 17-j8 | 19+j12 | -j20 | 19-j8 | 1100 | 0,7 | сый. |
| 9 | 380 | 4,2+j 5 | 5 | 8+j7 | 9-j7 | 5+j6 | - | 10+j14 | 2-j2 | 12- j12 | 900 | 0,85 | инд. |
| 10 | 380 | 3+j6 | 5,6- j8 | - | 7,5-j30 | - | 17+j 8 | 16+j10 | 4+j1 0 | +j10 | 1400 | 0,65 | инд. |
| 11 | 220 | 14+j 9,8 | 10+j 10 | - | 16-j8 | 10+j5, 8 | 21+j 8 | 3-j20 | - | -j15 | 5000 | 0,9 | инд. |
| 12 | 380 | 15-j6 | 6+j5, 4 | +j10 | 6-j4 | -j11 | - | 11+j11 | 5 | 16+j 18 | 800 | 0,8 | сый. |
| 13 | 220 | 17+j 8 | +j2 | 18-j8 | 5-j11 | 6+j3 | - | 23+j15 | 2 | 20- j20 | 3200 | 0,75 | сый. |
| 14 | 220 | 36+j 18 | 40+j 20 | - | 8+j16 | - | 25- j10 | 48-j24 | +j30 | 10+j 15 | 3000 | 0,85 | инд. |
| 15 | 380 | 23- j49 | 14+j 30 | - | 20-j10 | - | 15- j15 | 25+j20 | -j5 | 16-j6 | 1700 | 0,78 | сый. |
| 16 | 380 | 15 | 13+j 3,5 | 10-j6 | 20-j13 | 7+j2,5 | - | 18+j4 | - | 15+j 10 | 1300 | 0,9 | сый. |
| 17 | 220 | 20+j 12 | 15-j6 | - | 19-j7,5 | - | 16+3 5 | 10-j13 | 4 | 11- j11 | 1600 | 0,75 | инд. |
| 18 | 380 | 22+j 26 | - | 8+j1 8 | 10-j5,8 | 6-j24 | +j24 | 7-j12 | 8+j2 0 | - | 900 | 0,95 | инд. |
| 19 | 220 | +j9 | 7,5- j30 | - | 5,5+j4 5 | -j6,5 | 8,5+j 11 | 13-j8 | - | 10-j8 | 1000 | 0,7 | инд. |

3.1 кестенің соңы

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|---------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|------|------|-------|
| 20 | 380 | 7-j10 | 9+j9 | 11-j11 | +j10 | 13-j14 | - | 8+j6 | - | 12+j24 | 2200 | 0,8 | сый. |
| 21 | 380 | 11-j19 | - | 18+j5 | 10-j20 | 15-j6 | - | 17-j11 | -j28 | 6+j13 | 1200 | 0,78 | сый.. |
| 22 | 220 | 4+j2 | 11-j4 | - | 4,2+j5 | - | 7,5-j30 | 10-j9 | 8 | 20-j18 | 700 | 0,65 | инд. |
| 23 | 220 | -j2 | 10+j5,8 | 6+j5,4 | 5-j8 | 18+j8 | - | 15+j7 | - | 17-j10 | 4000 | 0,87 | инд. |
| 24 | 380 | 25+j9 | -j3 | 20-j9 | 14+j6 | 20-j12 | - | 5,6-j8 | - | 9-j9 | 3500 | 0,9 | инд. |
| 25 | 220 | 4+j3,6 | 5,8+j10 | - | 11-j9 | +j8 | 14-j9,8 | 6-j5,5 | - | 12+j12 | 2000 | 0,7 | сый. |
| 26 | 220 | 8+j14,4 | - | 13-j14 | 10-j6,8 | 8+j1,5 | 15 | 12-j10 | - | 15+j20 | 1800 | 0,65 | сый. |
| 27 | 220 | 16+j35 | 21+j25 | - | 15-j20 | 10 | 16+j10 | 13+j20 | - | 5-j3 | 1500 | 0,8 | инд. |
| 28 | 380 | 27-j83 | 40+j20 | - | 19-j14 | J14 | 19+j10 | 25+j20 | 6-j2 | - | 6500 | 0,95 | сый. |
| 29 | 380 | 30-j48 | - | 15+j24 | 25+j9 | 5-j19 | +j19 | 15-j11 | 14+j26 | - | 850 | 0,78 | инд. |
| 30 | 220 | 8 | 11,7+j25 | - | 11-j5,8 | 7+j8 | 13-j3,5 | 14+j20 | - | 10-j5 | 800 | 0,85 | сый. |

4 №4 есептеу - сызба жұмысы. Үшфазалы трансформатордың параметрлері мен сипаттамаларын есептеу

№4 ЕСЖ бойынша тапсырма.

Орамалары Y/Y_0-0 жалғанған трансформатор келесі номиналды мәндермен сипатталады: толық қуат $S_{НОМ}, кВА$; бірінші реттік ораманың кернеуі $U_{1НОМ}, кВ$; екінші реттік ораманың кернеуі $U_{2НОМ}, кВ$; қысқа тұйықталу кернеуі $u_K \%, \%$; қысқа тұйықталу кезіндегі шығындар $P_K, Вт$; бос жүріс кезіндегі шығындар $P_0, Вт$; бос жүріс тогы $i_0 \%, \%$.

Анықтау керек:

- 1) Трансформатор орамаларындағы номиналды токтарды $I_{1НОМ}, I_{2НОМ}$.
- 2) Бос жүріс кезіндегі қуат коэффициентін $\cos\varphi_0$.
- 3) Қысқа тұйықталу кезіндегі қуат коэффициентін $\cos\varphi_K$.
- 4) Бірінші реттік және екінші реттік орамалардың кедергілерін R_1, X_1 және R_2, X_2 .
- 5) Магниттеуші тізбектің кедергісін R_0, X_0 .
- 6) Трансформатордың максималды ПӘК $\eta_{МАХ}$.

Құру керек:

- трансформатордың сыртқы сипаттамасын $U_2 = f(\beta)$.

- активті-индуктивті жүктеме кезіндегі және қуат коэффициенті $\cos \varphi_2 = 0,8$ болған кездегі $\eta = f(\beta)$ тәуелділігін.

- трансформатордың векторлық диаграммасын.

Трансформатордың техникалық сипаттамалары 4.1 кестеде келтірілген.

4.1 кесте - Трансформатордың техникалық сипаттамалары

| Нұсқа № | Трансформатордың түрі | Толық қуат, S, кВА | Ораманың номинал кернеуінің жоғарғы шегі, кВ | | Шығындар, кВт | | Бос жүріс тогы, $i_0, \%$ | Номинал кезеңде КТ кернеу, $u_k, \%$ |
|---------|-----------------------|--------------------|--|------------|---------------|-------|---------------------------|--------------------------------------|
| | | | $U_{1ном}$ | $U_{2ном}$ | P_0 | P_k | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | ТМ - 25/6 | 25 | 6,3 | 0,23 | 0,170 | 0,6 | 5,15 | 4,5 |
| 2 | ТМ - 40/6 | 40 | 6,3 | 0,4 | 0,240 | 0,880 | 4,5 | 4,5 |
| 3 | ТМ - 63/6 | 63 | 6,3 | 0,4 | 0,360 | 1,28 | 4,5 | 4,5 |
| 4 | ТМ -100/6 | 100 | 6,3 | 0,4 | 0,490 | 1,97 | 4,15 | 4,5 |
| 5 | ТМ -160/6 | 160 | 6,3 | 0,23 | 0,73 | 2,65 | 3,85 | 4,5 |
| 6 | ТМ -250/6 | 250 | 6,3 | 0,4 | 1,05 | 3,7 | 3,7 | 4,5 |
| 7 | ТМ - 400/6 | 400 | 6,0 | 0,23 | 1,2 | 5,5 | 2,1 | 4,5 |
| 8 | ТМВМ-25/6 | 25 | 6,3 | 0,23 | 0,105 | 0,6 | 0,6 | 4,5 |
| 9 | ТМВМ-40/10 | 40 | 10,0 | 0,23 | 0,15 | 0,88 | 0,6 | 4,5 |
| 10 | ТМВМ-63/6 | 63 | 6,3 | 0,23 | 0,22 | 1,28 | 0,55 | 4,5 |
| 11 | ТМВМ-100/6 | 100 | 6,3 | 0,4 | 0,31 | 1,97 | 0,55 | 4,5 |
| 12 | ТМВМ-160/6 | 160 | 6,3 | 0,4 | 0,46 | 2,65 | 0,5 | 4,5 |
| 13 | ТМВМ-250/6 | 250 | 6,3 | 0,23 | 0,66 | 3,7 | 0,5 | 4,5 |
| 14 | ТМ - 25/6 | 25 | 6,3 | 0,4 | 0,170 | 0,6 | 5,15 | 4,5 |
| 15 | ТМ- 25/10 | 25 | 10,0 | 0,23 | 0,170 | 0,6 | 5,15 | 4,5 |
| 16 | ТМ - 40/10 | 40 | 10,0 | 0,4 | 0,240 | 0,880 | 4,5 | 4,5 |
| 17 | ТМ - 63/10 | 63 | 10,0 | 0,4 | 0,360 | 1,28 | 2,8 | 4,5 |
| 18 | ТМ-100/10 | 100 | 10,0 | 0,4 | 0,490 | 1,97 | 4,15 | 4,5 |
| 19 | ТМ-160/10 | 160 | 10,0 | 0,23 | 0,73 | 2,65 | 3,85 | 4,5 |
| 20 | ТМ-250/10 | 250 | 10,0 | 0,23 | 1,05 | 3,7 | 3,7 | 4,5 |
| 21 | ТМ-400/10 | 400 | 10,0 | 0,23 | 1,2 | 5,5 | 2,1 | 4,5 |
| 22 | ТМВМ-25/10 | 25 | 10,0 | 0,23 | 0,105 | 0,6 | 0,6 | 4,5 |
| 23 | ТМ - 40/10 | 40 | 10,0 | 0,23 | 0,240 | 0,880 | 4,5 | 4,5 |
| 24 | ТМВМ-100/10 | 100 | 10,0 | 0,4 | 0,31 | 1,97 | 0,55 | 4,5 |
| 25 | ТМВМ-160/10 | 160 | 10,0 | 0,23 | 0,46 | 2,65 | 0,5 | 4,5 |
| 26 | ТМВМ-250/10 | 250 | 10,0 | 0,23 | 0,66 | 3,7 | 0,5 | 4,5 |
| 27 | ТМГ-100/10-Х1 | 100 | 10,0 | 0,23 | 0,29 | 1,97 | 2,0 | 4,5 |
| 28 | ТМВГ-250/10-Х1 | 250 | 10,0 | 0,23 | 0,525 | 3,7 | 0,45 | 4,7 |
| 29 | ТСМ-320/10 | 320 | 10,0 | 0,525 | 1,35 | 4,65 | 5,5 | 4,5 |
| 30 | ТС3-169/10 | 160 | 6,0 | 0,23 | 0,7 | 2,7 | 5,5 | 4,0 |
| 31 | ТМ - 63/10 | 63 | 10,0 | 0,23 | 0,360 | 1,28 | 2,8 | 4,5 |
| 32 | ТС3- 400/10 | 400 | 6,0 | 0,23 | 1,3 | 5,4 | 5,5 | 3,0 |
| 33 | ТС3С-630/10 | 630 | 6,3 | 0,4 | 2,0 | 8,5 | 8,0 | 2,0 |
| 34 | ТМ -63/20 | 63 | 20,0 | 0,4 | 0,390 | 1,28 | 4,5 | 5,0 |
| 35 | ТМ-100/20 | 100 | 20,0 | 0,4 | 0,625 | 1,97 | 4,15 | 6,5 |
| 36 | ТМ-100/20 | 100 | 20,0 | 0,23 | 0,625 | 1,97 | 4,15 | 6,5 |

5 №1 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Сызықты тұрақты ток тізбегін есептеу

1) Нұсқаға сәйкес электрлік тізбек сұлбасын және оның параметрлерін есептеу.

2) Киргхоф заңдары бойынша сұлбаның барлық тармақ токтарын есептеу үшін теңдеу жүйесін құру.

3) Сұлбаның тармақ токтарын контурлық токтар әдісімен анықтап және теңдеудің дұрыстығын Киргхофтың бірінші және екінші заңдарымен тексеріп, көз жеткізіңіз.

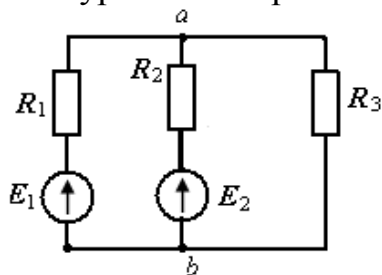
4) Тізбектің барлық тармақ токтарын екі түйінді кернеу тәсілімен анықтап және Киргхофтың бірінші, екінші заңдарымен тексереміз.

5) Берілген тізбек үшін қуат балансын құрыңыз.

6) Екі ЭҚК бар тізбек контуры үшін потенциалдық диаграмма құрыңыз.

Берілген мәндер нұсқаға сәйкес № (№ сынақ кітапшасы): $E_1=110$ В; $E_2=160$ В; $R_1=50$ Ом; $R_2=80$ Ом; $R_3=30$ Ом.

Берілген тізбек сұлбасы 1.1 суретте келтірілген.



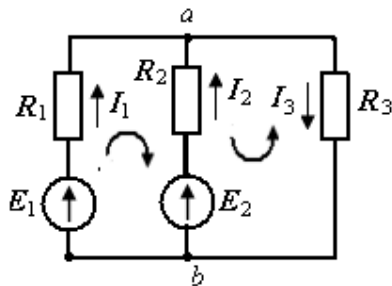
1.1 сурет

Бірінші және екінші Киргхоф заңдарына сәйкес теңдеу жүйелерін құру.

Егер электр тізбек тармақтардан құралса, онда әр тармақтың тогын v анықтаймыз. Түйін саны y бірінші Киргхоф заңдарымен тәуелсіз теңдеу саны $(y-1)$, қалған n теңдеулер Киргхофтың екінші заңымен құрылады: $n=v - (y-1)$.

Берілген сұлбада $y=2$, $v=3$. Киргхофтың бірінші заңы бойынша $(y-1)$ құру керек, яғни бір теңдеу, ал екінші заңы бойынша екі теңдеу: $n=v - (y-1)=2$.

Өз еркімізбен тармақ токтарының бағыттарын I_1, I_2, I_3 қойып аламыз. Екі тәуелсіз контур таңдап аламыз және өз еркімізбен бағыттарын көрсетеміз (1.2 сурет).



1.2 сурет

Киргхофтың бірінші заңы бойынша a түйініне теңдеу құрастырамыз және Киргхофтың екінші заңы бойынша тәуелсіз таңдалған контур бойынша екі теңдеу құрастырамыз, ЭҚК және кернеу түсуі «оң» таңбамен алынады, егер қарастырылған контур бойынша ЭҚК және ток бағыттары сәйкес келсе:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2 \\ -I_3 R_3 - I_2 R_2 = -E_2. \end{cases}$$

Ары қарай теңдеу жүйелері белгісіз токтарды салыстырмалы түрде есептейміз. Егер кейбір токтар теріс болса, онда нақты өз бағыты алынған бағыттқа қарама- қарсы екендігін көрсетеді.

Контурлық токтар әдісімен тізбек тармағындағы токтарды анықтау.

Контурлық токтар әдісінің теңдеулер жүйесінің құрылуы және есептелуі, контурлық токтар түсінігіне тән, Киргхофтың екінші заңы бойыша анықталады, ЭҚК және кедергі бойынша.

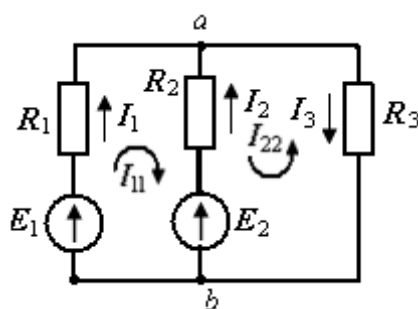
Әр тәуелсіз контурда өз контурлық токтары ағады, яғни сол тізбектегі кедергі бойынша ағатын кернеу түсуін туғызады.

Контурлық токтар әдісінің артықшылығы құрастырылған теңдеулер санын қысқарту ($\nu - 1$) болып табылады, бұл есептеуді жеңілдетеді. Электр тізбегінің түйіндері көп болған сайын, берілген әдісті пайдалану өте орынды.

Контурлық токтар әдісінің есептелу тәртібі:

- әр тәуелсіз контур үшін контурлық токтар бағытын оң бағытта таңдалады (1.3 сурет);

- әр контур үшін Киргхофтың екінші заңы бойынша теңдеулер құрастырамыз. Сонымен қатар, контур бағытын контурлық токтар бағытымен бағыттас алады;



1.3 сурет

$$\begin{cases} (R_1 + R_2)I_{11} + R_2 I_{22} = E_1 - E_2; \\ R_2 I_{11} + (R_2 + R_3)I_{22} = -E_2, \end{cases}$$

мұндағы $(R_1 + R_2) = R_{11}$ - бірінші контурдың кедергілері;

$(R_2 + R_3) = R_{22}$ - екінші контур кедергілері;

$R_2 = R_{12}$ - аралық контур кедергісі;

$(E_1 - E_2) = E_{11}$ - бірінші контурдың контурлық ЭҚК;

$-E_2 = E_{22}$ – екінші контурдың контурлық ЭҚК.

Бұл теңдеулерді берілген мәндер бойынша жазамыз:

$$\begin{cases} (50+80)I_{11} + 80I_{22} = 110 - 160 \\ 80I_{11} + (80+30)I_{22} = -160 \end{cases}$$

немесе

$$\begin{cases} 130I_{11} + 80I_{22} = -50; \\ 80I_{11} + 110I_{22} = -160. \end{cases}$$

Контурлық токтарға қатысты теңдеу жүйесін анықтауыш көмегімен есептейміз:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 130 & 80 \\ 80 & 110 \end{vmatrix} = 130 \cdot 110 - 80 \cdot 80 = 14300 - 6400 = 7900;$$

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} -50 & 80 \\ -160 & 110 \end{vmatrix} = -5500 - (-160) \cdot 80 = 7300;$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} 130 & -50 \\ 80 & -160 \end{vmatrix} = -20800 - (-50) \cdot 80 = -16800.$$

Контурлық токтарды анықтаймыз:

$$I_{11} = \Delta_{11} / \Delta = 7300 / 7900 = 0,924 \text{ A};$$

$$I_{22} = \Delta_{22} / \Delta = -16800 / 7900 = -2,127 \text{ A}.$$

Контурлық токтар арқылы (I_{11} , I_{22}) тармақ токтарын (I_1, I_2 және I_3) анықтаймыз.

Сонымен қатар:

а) жеке ағатын контурлық ток бойынша тармақтағы ток (яғни, бір контурлық ток) осы контурлық токқа тең және бағытымен бағыттас болады, егер контурлық ток есептеу қорытындысында оң бағытта болса;

б) екі контурға ортақ болып табылатын тармақ тогы сәйкес келетін контурлық токтардың алгебралық қосындысына тең.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отыра алатынымыз:

$$I_1 = I_{11} = 0,924 \text{ A};$$

$$I_2 = -(I_{11} + I_{22}) = -0,924 - (-2,127) = 1,203 \text{ A};$$

$$I_3 = -I_{22} = -(-2,127) = 2,127 \text{ A}.$$

Киргхоф заңдарымен есептелудің дұрыстығын тексереміз.

Бірінші заң бойынша:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

немесе $0,924+1,203-2,127=0$
 $0=0$

Екінші заң бойынша:

а) $I_1R_1 - I_2R_2=E_1-E_2$

немесе $0,924 \cdot 50 - 1,203 \cdot 80 = 110 - 160$

немесе $46,2 - 96,24 = -50,$
 $-50,04 = -50.$

б) $-I_3R_3 - I_2R_2 = -E_2,$

немесе $-2,127 \cdot 30 - 1,203 \cdot 80 = -160,$
 $-63,81 - 96,24 = -160,$
 $-160,05 = -160.$

Киргхоф заңдарымен жүргізілген тексеру қорытындысы бойынша есептеу дұрыс орындалған.

Түйіндік потенциалдар әдісімен тізбектің тармақ токтарын анықтау.

Бұл әдістің маңыздылығы - тек Киргофтың бірінші заңы бойынша құрастырылған теңдеулер жүйесін шешу. Осы теңдеулерден электрлік тізбек сұлбасындағы түйін арқылы кернеуді анықтайды, бастапқы потенциалды нөлге теңестіріп аламыз, ал түйіндерді қосатын тармақ токтарын Ом заңымен анықтайды.

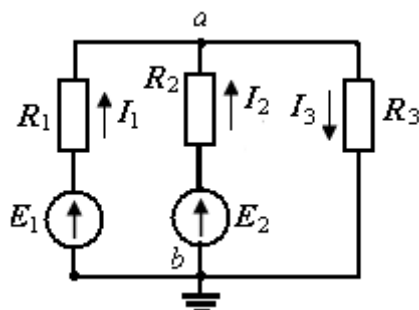
Бұл әдіс түйін сандары тәуелсіз контур санынан аз болған жағдайда қолданады. Сондықтан, бұл әдіс контурлық токтар әдісі қарағанда тиімді.

Тармақталған сұлба екі түйінді сұлба болып есептеледі. Екі түйінді тізбекке қолданылған *түйінді потенциалдар әдісі екі түйінді әдіс* деп аталады.

Берілген екі түйінді электр тізбегін қарастырамыз, сұлба 4 суретте көрсетілген.

Түйінді потенциалдар әдісін есептеу тәртібі (екі түйін әдісі):

- 1) Тармақ токтарының бағытын оң бағытта таңдаймыз.
- 2) Бір түйін потенциалын мысалы, *b* түйінін, нөлге тең ($\phi_b=0$) деп қабылдаймыз.



1.4 сурет

3) Киргхофтың бірінші заңы бойынша *a* түйініне теңдеу құрамыз:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

Тармақ токтары үшін потенциалдар, тармақ кедергілері және ЭҚК арқылы Ом заңымен анықтаймыз:

$$\begin{aligned} I_1 &= (\varphi_b - \varphi_a + E_1) / R_1 = (-\varphi_a + E_1) \cdot g_1; \\ I_2 &= (\varphi_b - \varphi_a + E_2) / R_2 = (-\varphi_a + E_2) \cdot g_2; \\ I_3 &= -(\varphi_b - \varphi_a) / R_3 = \varphi_a \cdot g_3, \end{aligned}$$

мұндағы φ_a - түйін потенциалдары a ;

$g_1 = 1/R_1$, $g_2 = 1/R_2$, $g_3 = 1/R_3$ – тізбектің тармақ өткізгіштері.

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша құрастырылған теңдеуге алынған өрнекті қоямыз:

$$(-\varphi_a + E_1) \cdot g_1 + (-\varphi_a + E_2) \cdot g_2 - \varphi_a \cdot g_3 = 0,$$

немесе

$$\varphi_a (g_1 + g_2 + g_3) = E_1 \cdot g_1 + E_2 \cdot g_2.$$

4) Соңғы теңдеуде φ_a потенциалына қатысты есептейміз:

$$\varphi_a = (E_1 \cdot g_1 + E_2 \cdot g_2) / (g_1 + g_2 + g_3).$$

Бұл теңдеуді берілген мәндер арқылы жазамыз:

$$\varphi_a = (110 \cdot 1/50 + 160 \cdot 1/80) / (1/50 + 1/80 + 1/30) = 63,83 \text{ В.}$$

5) Тармақ токтарын табамыз:

$$I_1 = (-\varphi_a + E_1) \cdot g_1 = (-63,83 + 110) \cdot 1/50 = 0,9234 \text{ А};$$

$$I_2 = (-\varphi_a + E_2) \cdot g_2 = (-63,83 + 160) \cdot 1/80 = 1,202 \text{ А};$$

$$I_3 = \varphi_a \cdot g_3 = 63,83/30 = 2,128 \text{ А.}$$

б) Кирхгофтың бірінші заңы бойынша есептеудің дұрыстығын тексереміз:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0;$$

$$0,9234 + 1,202 - 2,128 = -0,0026 \approx 0.$$

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша қарастырылған тексеру қорытындысы есептеудің дұрыстығын көрсетті.

Берілген тізбек үшін қуаттар балансын құру.

Энергияны сақтау заңдылығы бойынша, кез келген уақыт кезінде барлық энергия көздерінің қуаттарының алгебралық қосындысы ($\sum_{i=1}^m P_{i.\text{ист}}$)

тізбектегі ($\sum_{k=1}^n P_{k.\text{пр}}$) барлық қабылдағыш қуаттарының қосындысына тең:

$$\sum_{i=1}^m P_{i.\text{ист}} = \sum_{k=1}^n P_{k.\text{пр}} ,$$

немесе

$$\sum_{i=1}^m E_{i.\text{ист}} I_{i.\text{ист}} = \sum_{k=1}^n I_{k.\text{пр}}^2 R_{k.\text{пр}} .$$

Егер қорек көзі генератор режимінде жұмыс жасаса, онда қуат $E_{к.к} I_{к.к} > 0$, яғни $E_{к.к}$ және $I_{к.к}$ бағыттары сәйкес болады. Қорек көзі қабылдағыш ретінде жұмыс жасаса, қуат $E_{к.к} I_{к.к} < 0$, яғни $E_{к.к}$ және $I_{к.к}$ бағыттары сәйкескелмейді.

Берілген тізбек үшін энергетикалық баланс теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3$$

немесе

$$110 \cdot 0,9234 + 160 \cdot 1,202 = 0,9234^2 \cdot 50 + 1,202^2 \cdot 80 + 2,128^2 \cdot 30.$$

Есептеуден алатынымыз:

$$293,894 \text{ Вт} = 294,069 \text{ Вт}.$$

Қуаттар балансы сақталады, сонымен қатар қателік шамасы өте аз:

$$[(294,069 - 293,894) / 294,069] \cdot 100\% = 0,06\%.$$

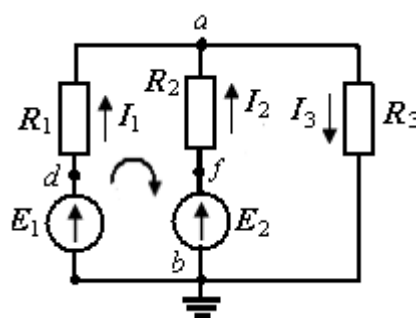
Екі ЭҚК көзі бар тізбек контуры үшін потенциалдық диаграмма тұрғызу.

Кез келген тізбек бөлігінің немесе тұйықталған контурдың бойында потенциалдың өзгеру сызбасы *потенциалды диаграмма* деп аталады.

Екі ЭҚК көзі бар *bdafb* контуры үшін потенциалдық диаграмма тұрғызамыз (1.5 сурет).

Диаграмманы тұрғызу шарты:

1) Тармақтардағы токтарды анықтау. Осы контурға кіретін тармақ токтары жоғарыда есептелген: $I_1 = 0,9234 \text{ А}$; $I_2 = 1,202 \text{ А}$.



1.5 сурет

2) b потенциал нүктесін нөлге тең деп аламыз (жерге тұйықтаймыз) $\varphi_b = 0$.

3) Басқа нүктелердің потенциалдарын анықтаймыз (*bdafb* контур қамтуын (айналуын) өз еркімізше таңдаймыз). Сонымен қатар:

а) егер токтың бағыты айналу бағытына қарама қарсы болса, онда нүкте потенциалдарының кернеу түсу мәніне өседі.

б) егер ЭҚК бағыты айналу бағытымен сәйкес келсе, нүкте потенциалы өседі:

$$\varphi_d = \varphi_b + E_1 = E_1 = 110 \text{ В};$$

$$\varphi_a = \varphi_d - I_1 R_1 = 110 - 0,9234 \cdot 50 = 63,83 \text{ В};$$

$$\varphi_f = \varphi_a + I_2 R_2 = 63,83 + 1,202 \cdot 80 = 159,99 \text{ В} \approx 160 \text{ В};$$

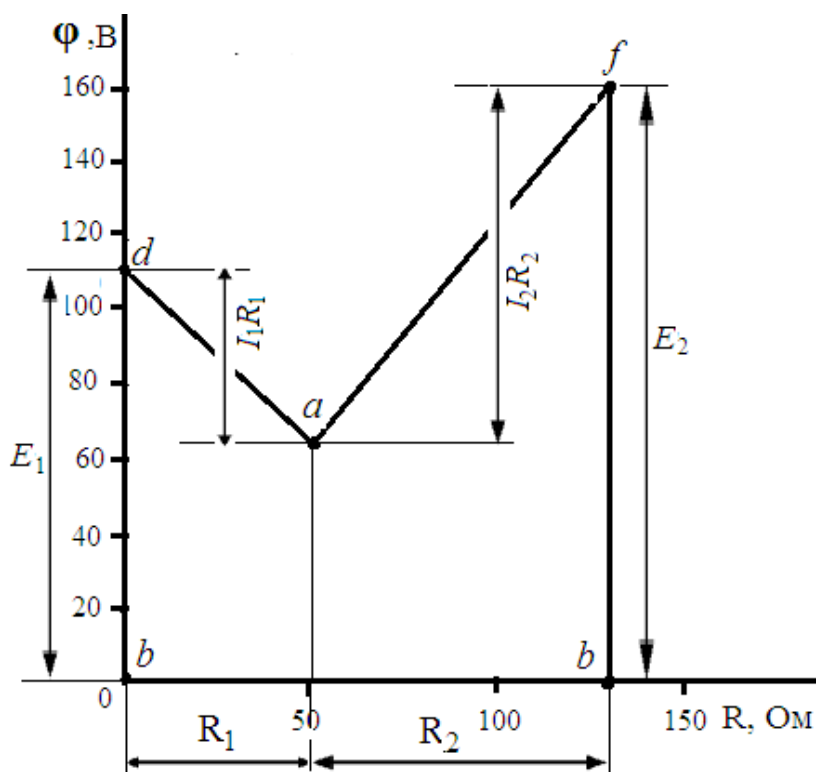
$$\varphi_b = \varphi_f - E_2 = 160 - 160 = 0 \text{ В}.$$

в) потенциалы нөлге тең деп қабылданған, b нүктесінен қозғала $bdafb$ контурындағы барлық резистор кедергілерін (масштаб бойынша) абсцисса өсі бойынша орналастырады (1.6 сурет). Диаграммаға бұл нүктені координат басына (бастапқы нүкте) енгіземіз. Әр нүктенің координаттары оның резистор кедергілері мен потенциал мәндеріне қатысты анықталады. Диаграмма миллиметровкаға масштаб бойынша тұрғызылады.

$bdafb$ контуры үшін потенциалдық диаграмма 6 суретте көрсетілген. Берілген диаграмма бойынша тізбектің кез келген екі нүктесі арасындағы кернеуді анықтауға болады. Мысалы, a және b , d және f нүктелер арасындағы кернеу:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 63,83 - 0 = 63,83 \text{ В};$$

$$U_{df} = \varphi_d - \varphi_f = 110 - 160 = -50 \text{ В}.$$



1.6 сурет – $bdafb$ контуры үшін потенциалдық диаграмма

6 №2 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Аралас жалғанған қабылдағыштары бар сызықты электрлік бірфазалы синусоидалы ток тізбегіне есептеу жүргізу

Қабылдағыштары аралас жалғанған электр тізбегіне синусоидалы кернеу көзі $u = U \sin 2\pi ft$ әсер етеді (2.1 сурет). Кернеудің әрекеттік мәні U , жиілік f және тізбек параметрлері 1 кестеде келтірілген (сынақ кітапшасының нөмерін көрсету керек).

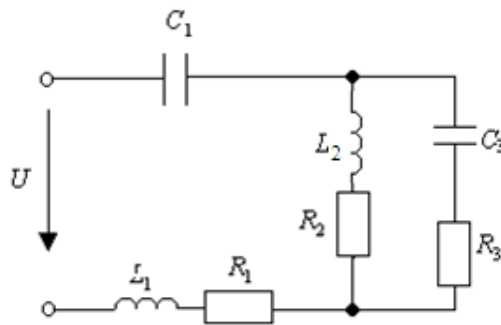
Келесі орындау:

а) индуктивті X_L және сыйымдылық X_C кедергілерін, әр тармақтың кешендік кедергілерін және тізбектегі жалпы эквивалентті кешенді кедергіні есептеу;

б) барлық тармақтағы токтардың кешендік әрекеттік мәнін және тізбектегі элементтердің кернеулерін есептеу, олардың лездік мәндері үшін теңдеулерін жазамыз, Киргхоф заңымен есептің дұрыстығын тексеру керек;

в) қуаттар балансын құрамыз;

г) ток және кернеудің векторлық диаграммасын құру.



2.1 сурет

2.1 кесте – Бір фазалы синусоидалы токты электр тізбеінің параметрлері

| U, В | f, Гц | R ₁ , Ом | R ₂ , Ом | R ₃ , Ом | L ₁ , мГн | L ₂ , мГн | C ₁ , мкФ | C ₃ , мкФ |
|------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 85 | 600 | 40 | 130 | 100 | 35 | 40 | 3 | 1,5 |

Барлық тізбектегі кешенді кедергілердің эквивалентін және тармақтағы кешенді кедергілерді есептеу.

Тізбектегі барлық элементтердің реактивті кедергілерін анықтаймыз:

$$x_{L1} = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 600 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 131,88 \text{ Ом};$$

$$x_{L2} = 2\pi f L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 600 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 150,72 \text{ Ом};$$

$$x_{C1} = 1/2\pi f C_1 = 1/2 \cdot 3,14 \cdot 600 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 88,46 \text{ Ом};$$

$$x_{C3} = 1/2\pi f C_3 = 1/2 \cdot 3,14 \cdot 600 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} = 176,93 \text{ Ом}.$$

Тізбек тармақтарындағы кешенді кедергілерді анықтау:

а) тармақталмаған тізбек бөлігіндегі Z_1 кешенді кедергілерді анықтау:

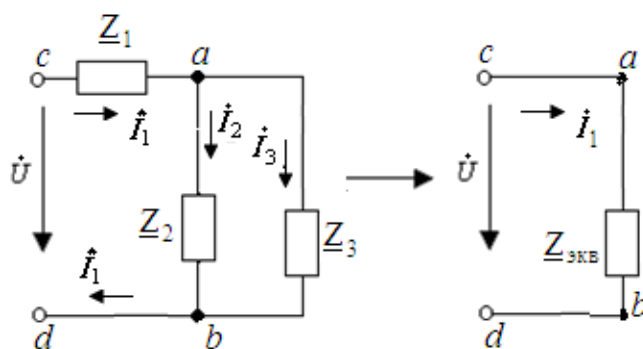
$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(x_{L1} - x_{C1}) = 40 + j(131,88 - 88,46) = 40 + j43,42 = 59,04e^{47,35^\circ}$$

б) параллель тармақтардағы (\underline{Z}_2 , \underline{Z}_3) кешенді кедергі (2.2 сурет):

$$\begin{aligned}\underline{Z}_2 &= R_2 + jx_{L2} = 130 + j150,72 = 199,04e^{j49,22^\circ}; \\ \underline{Z}_3 &= R_3 - jx_{C3} = 100 - j176,93 = 203,23e^{-j60,53^\circ}.\end{aligned}$$

Тізбектегі барлық эквивалентті кедергілерді анықтаймыз (2.2 сурет):

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{\text{ЭКВ}} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}; \\ \underline{Z}_{\text{ЭКВ}} &= 40 + j43,42 + \frac{199,04e^{j49,22^\circ} \cdot 203,23e^{-j60,53^\circ}}{130 + j150,72 + 100 - j176,93} = \\ &= 40 + j43,42 + \frac{40450,9e^{-j11,31^\circ}}{231,49 - j6,5^\circ} = 40 + j43,42 + 174,74e^{-j4,81^\circ} = \\ &= 214,13 + j28,77 = 216,05e^{j7,65^\circ}.\end{aligned}$$



2.2 сурет

Тізбек тармақтарындағы токтарды және элемент кернеулерін анықтау. Кирхгоф заңымен есептеудің дұрыстығын тексеру.

Тармақталмаған бөліктегі токтарды Ом заңымен анықтаймыз:

$$I_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_{\text{ЭКВ}}} = \frac{85e^{j0^\circ}}{216,05e^{j7,65^\circ}} = 0,393e^{-j7,65^\circ} = 0,3895 - j0,0523 \text{ A}.$$

Параллель тармақтардағы токтар:

$$\begin{aligned}I_2 &= I_1 \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 0,393e^{-j7,65^\circ} \cdot \frac{203,23e^{-j60,53^\circ}}{130 + j150,72 + 100 - j176,93} = \\ &= \frac{79,96e^{-j68,18^\circ}}{231,49 - j6,5^\circ} = 0,3454e^{-j61,68^\circ} \text{ A} = 0,1639 - j0,3041 \text{ A};\end{aligned}$$

$$i_3 = i_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} = 0,393e^{-j7,65^\circ} \cdot \frac{199,04e^{j49,22^\circ}}{130 + j150,72 + 100 - j176,93} =$$

$$= \frac{78,22e^{j41,57^\circ}}{231,49 - j6,5^\circ} = 0,3379e^{j48,07^\circ} \text{ A} = 0,2258 + j0,2514 \text{ A}.$$

Токтардың лездік мәндері үшін теңдеулер:

$$i_1 = 0,393 \cdot \sqrt{2} \sin(3768t - 7,65^\circ);$$

$$i_2 = 0,3454 \cdot \sqrt{2} \sin(3768t - 61,68^\circ);$$

$$i_3 = 0,3379 \cdot \sqrt{2} \sin(3768t + 48,07^\circ).$$

Барлық тізбек элементтеріндегі кернеудің әрекеттік мәнінің кешенді түрін анықтау:

$$\dot{U}_{R1} = \dot{I}_1 \cdot R_1 = 0,393e^{-j7,65^\circ} \cdot 40 = 15,72e^{-j7,65^\circ} \text{ В} = 15,58 - j2,0927 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{R2} = \dot{I}_2 \cdot R_2 = 0,3454e^{-j61,68^\circ} \cdot 130 = 44,90e^{-j61,68^\circ} \text{ В} = 21,3004 - j39,528 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{R3} = \dot{I}_3 \cdot R_3 = 0,3379e^{j48,07^\circ} \cdot 100 = 33,79e^{j48,07^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{C1} = \dot{I}_1 \cdot (-jx_{C1}) = 0,393e^{-j7,65^\circ} \cdot 88,46e^{-j90^\circ} = 34,765e^{-j97,65^\circ} \text{ В}$$

$$= -4,628 - j34,4556 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{C3} = \dot{I}_3 \cdot (-jx_{C3}) = 0,3379e^{j48,07^\circ} \cdot 176,93e^{-j90^\circ} = 59,785e^{-j41,93^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{L1} = \dot{I}_1 \cdot (jx_{L1}) = 0,393e^{-j7,65^\circ} \cdot 131,88e^{j90^\circ} = 51,829e^{j82,35^\circ} \text{ В} =$$

$$= 6,8995 + j51,3677 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{L2} = \dot{I}_2 \cdot (jx_{L2}) = 0,3454e^{-j61,68^\circ} \cdot 150,72e^{j90^\circ} = 52,059e^{j28,32^\circ} \text{ В} =$$

$$= 45,8281 + j24,6965 \text{ В}.$$

a және b түйіндер арасындағы кернеу \dot{U}_{ab} :

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{ab} = \dot{I}_1 \cdot \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} = 0,393e^{-j7,65^\circ} \cdot 174,74e^{-j4,81^\circ} = 68,673e^{-j12,46^\circ} \text{ В}.$$

Киргхоф заңымен есептелу дұрыстығын тексереміз:

а) бірінші заңы бойынша:

$$\dot{I}_1 - (\dot{I}_2 + \dot{I}_3) = 0;$$

$$0,3895 - j0,0523 - (0,1639 - j0,3041 + 0,2258 + j0,2514) =$$

$$= 0,0002 + j0,0004 \approx 0;$$

б) Киргхофтың екінші заңы бойынша:

$$\dot{U} - \dot{U}_{C1} - \dot{U}_{L2} - \dot{U}_{R2} - \dot{U}_{R1} - \dot{U}_{L1} = 0;$$

$$\dot{U} - (\dot{U}_{C1} + \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{L1}) = 0;$$

$$85 - (-4,628 - j34,4556 + 45,8281 + j24,6965 + 21,3004 - j39,528 +$$

$$+ 15,58 - j2,0927 + 6,8995 + j51,3677) = 85 - (84,98 - 0,0091) \approx 0.$$

Тексеру қорытындысы есептеудің дұрыстығын көрсетті.

Қуаттар балансын тексеру.

Егер синусоидалы ток тізбегінде бірнеше (m) қорек көзі және бірнеше (n) тұтынушы (жүктеме) болса, онда:

$$\sum_{i=1}^m \tilde{S}_{i.қкк} = \sum_{k=1}^n \tilde{S}_{k.тұт},$$

немесе

$$\sum_{i=1}^m (P_{i.қкк} + jQ_{i.қкк}) = \sum_{k=1}^n (P_{k.қкк} + jQ_{k.қкк}).$$

Бұл теңдік келесі шарт кезінде дұрыс, тұтынушы және қорек көзі кешенді қуаттарының нақты және жорамал бөліктерінің қосындылары бір-біріне тең болуы шартында, яғни:

$$\sum_{i=1}^m P_{i.қкк} = \sum_{k=1}^n P_{k.тұт} \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^m Q_{i.қкк} = \sum_{l=1}^l Q_{l.тұт}.$$

Бірнеше электр көзі және бірнеше тұтынушыларының бар синусоидалы ток тізбегінің қуаттар балансы мынадай шартта орындалады, барлық тұтынушы және қорек көздеріндегі активті және реактивті қуаттар қосындысы бір-біріне тең болғанда, яғни:

$$1) \quad \sum P_{қкк} = \sum P_{тұт}; \quad 2) \quad \sum Q_{қкк} = \sum Q_{тұт}.$$

Берілген электр тізбек үшін қуаттар балансын құрамыз.

$$\begin{aligned} \tilde{S}_{қкк} &= P_{қкк} + jQ_{қкк} = U \cdot \check{I}_1 = 85 \cdot 0,393e^{j7,65^\circ} = 33,405e^{j7,65^\circ} = \\ &= 33,108 + j4,447. \end{aligned}$$

Мұндағы \check{I}_1 - I_1 тогының түйіндес кешені, $\check{I}_1 = 0,393e^{j7,65^\circ}$ қорек көзінен берілетін активті және реактивті қуаттар

$$P_{қкк} = 33,108 \text{ Вт}; \quad Q_{қкк} = 4,447 \text{ ВАр}.$$

Тізбектегі активті элементтермен тұтынатын активті қуаттар:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^3 P_{k.тұт} &= P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3; \\ \sum_{k=1}^3 P_{k.тұт} &= 0,393^2 \cdot 40 + 0,3454^2 \cdot 130 + 0,3379^2 \cdot 100 = 33,105 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Тізбектегі реактивті элементтермен тұтынатын реактивті қуаттар:

$$\sum_{l=1}^4 Q_{l.\text{ТҰТ}} = Q_{L1} + Q_{L2} - Q_{C1} - Q_{C3} = I_1^2 \cdot x_{L1} + I_2^2 \cdot x_{L2} - I_1^2 \cdot x_{C1} - I_3^2 \cdot x_{C3};$$

$$\sum_{l=1}^4 Q_{l.\text{ТҰТ}} = 0,393^2 \cdot 131,88 + 0,3454^2 \cdot 150,72 - 0,393^2 \cdot 88,76 -$$

$$-0,3379^2 \cdot 176,93 = 4,44 \text{ ВАр.}$$

Есептеу нәтижелері қуаттар балансының орындалғанын көрсетеді:

$$P_{\text{КК}} = \sum_{k=1}^3 P_{k.\text{ТҰТ}}; \quad Q_{\text{КК}} = \sum_{l=1}^4 Q_{l.\text{ТҰТ}}.$$

Берілген тізбек үшін кернеу мен токтың векторлық диаграммаларын тұрғызу.

Синусоидалы ток электр тізбектерінің аналитикалық есептеулері арқылы векторлық диаграмманы тұрғызамыз. Бұл аналитикалық есептеулерді сапалы бақылауға мүмкіндік береді.

Векторлық диаграммаларды тұрғызу үшін ток және кернеудің әсерлік мәндері үшін Кирхгоф заңы бойынша теңдеуді жазамыз:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 + \bar{I}_3;$$

$$\bar{U} = \bar{U}_{C1} + \bar{U}_{R1} + \bar{U}_{L1} + \bar{U}_{ab};$$

$$\bar{U}_{ab} = \bar{U}_{L2} + \bar{U}_{R2}; \quad \bar{U}_{ab} = \bar{U}_{C3} + \bar{U}_{R3}.$$

Ток пен кернеудің әрекеттік мәндері:

$I_1=0,393 \text{ А}$, $I_2=0,3454 \text{ А}$, $I_3=0,3379 \text{ А}$, $U_{R1}=15,72 \text{ В}$, $U_{R2}=44,9 \text{ В}$, $U_{R3}=33,79 \text{ В}$, $U_{C1}=34,765 \text{ В}$, $U_{C3}=59,785 \text{ В}$, $U_{L1}=51,829 \text{ В}$, $U_{L2}=52,059 \text{ В}$.

Ток үшін масштаб $m_i=0,1\text{А/см}$ және кернеу үшін масштаб $m_U=10 \text{ В/см}$ таңдаймыз.

\bar{I}_2 токты 0 нүктесінен келтірілген өс бойынша бағыттаймыз. Кернеу түсуі U_{R2} фаза бойынша I_2 токпен бағыттас. Индуктивті кедергіде U_{L2} кернеу түсуі I_2 токтан 90° -ға озады. \bar{U}_{ab} векторы екі вектордың геометриялық қосындысына тең: $\bar{U}_{L2} + \bar{U}_{R2} = \bar{U}_{ab}$. сонымен қатар, бұл вектор басқа екі векторлардың да геометриялық қосындысына тең: $\bar{U}_{ab} = \bar{U}_{C3} + \bar{U}_{R3}$. Вектор модулдері \bar{U}_{C3} , \bar{U}_{R3} белгілі, бірақ векторлық диаграммадағы бағыты (жағдайы) белгісіз.

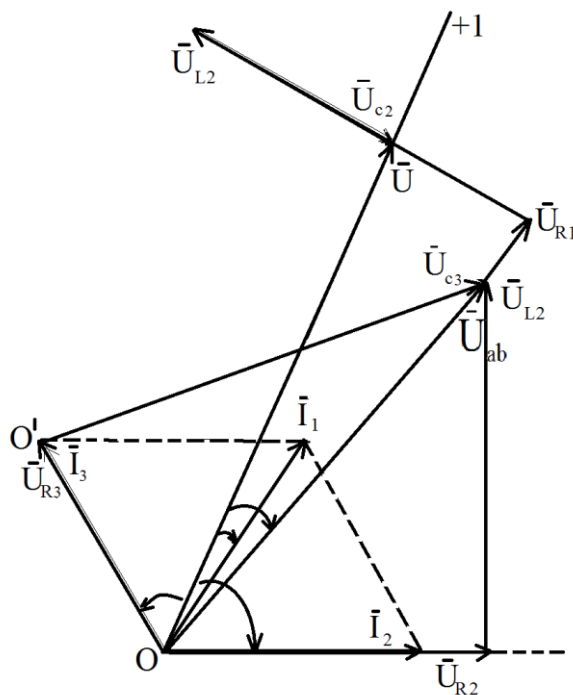
\bar{U}_{ab} вектор басынан U_{R3} тең болатын радиус бойынша доға, ал оның ұшынан (соңынан) U_{C3} тең радиус бойынша доға жүргіземіз. Бұл доғалардың қиылысу нүктесі кернеу үшбұрыштарының үшінші басын береді U_{R3} , U_{C3} , U_{ab} ., яғни O нүктесін, бір вектор (\bar{U}_{R3}) аяқталады, келесі (\bar{U}_{C3}) вектормен басталады. Содан кейін, диаграммада \bar{U}_{C3} , \bar{U}_{R3} векторлар бағыты анықталған

сияқты, сол жерде масштаб бойынша \bar{I}_3 векторын салуға болады. \bar{I}_3 векторының бағыты \bar{U}_{R3} вектордың бағытымен сәйкес келеді (2.3 сурет).

\bar{I}_3 және \bar{I}_2 векторларын қосып, \bar{I}_1 тогын аламыз. Кернеу түсу U_{R1} векторының бағыты, \bar{I}_1 вектор бағытымен бағытталса, \dot{U}_{L1} векторы \bar{I}_1 векторынан 90° озады. \dot{U}_{L1} векторын ұшынан (соңынан) \bar{U}_{C1} векторын қарама-қарсы бағытта жүргіземіз, ол \bar{I}_1 90° қалады. O нүктесін \bar{U}_{C1} вектор ұшымен қосатын вектор келтірілген кернеу \bar{U} векторы болып табылады (3 сурет).

Келтірілген кернеу (басқы фаза $\varphi_U = 0$) \bar{U} векторымен бағытталса өс жүргіземіз және транспорттирді пайдалана отырып, осы өске қатысты басқа шамалардың бастапқы фазасын (бұрышын) табамыз. Әр вектордың ұзындығын сызғышпен өлшей отыра, алынған мәнді сәйкес келетін масштабқа көбейтіп, вектор ұзындығының мәнін табамыз. Табылған вектор ұзындығының мәні мен векторлардың фаза мәндерін олардың есептік мәндерімен салыстырамыз.

Талдаулар көрсеткендей, диаграммада салынған вектор токтары мен кернеулері есептік мәндерге сәйкес келетін бастапқы фазаның ұзындығына ие екенін көреміз.



2. 3 сурет – Ток пен кернеудің векторлық диаграммасы

7 №3 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Синусоидалы тоқты үш фазалы тізбек

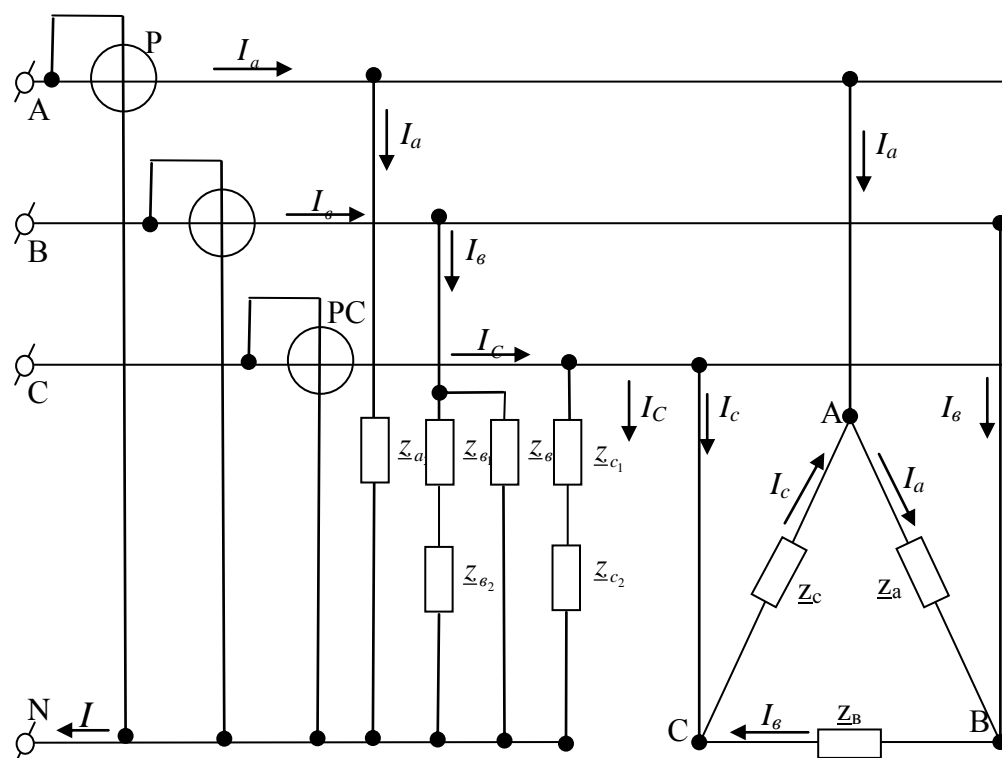
1 ЕСЖ №3 бойынша тапсырма.

Тізбек параметрлері 2 кестеде берілген.

3.1 кесте - Тізбек параметрлері

| $U_{\text{л}}$ | Z_{a1} | Z_{a2} | Z_{a3} | Z_{B1} | Z_{B2} | Z_{B3} | Z_{c1} | Z_{c2} | Z_{c3} | $P_{\text{н}}$ | $\text{Cos } \varphi$ | Жүктеме түрі |
|----------------|-------------|----------|------------|-----------|-------------|----------|-----------|----------|----------|----------------|-----------------------|--------------|
| В | Ом | Ом | Ом | Ом | Ом | Ом | Ом | Ом | Ом | В Т | | |
| 380 В | $10 + j9,8$ | - | $10 + j10$ | $10 - j8$ | $10 + j5,8$ | 12 | $21 + j8$ | $-j15$ | - | 7000 | 0,85 | Индуктивті |

Ескерту. Тапсырмада (-) сызық болса, онда кешенді кедергі жоқ, бұл кедергінің шамасы шексіздікке тең (тізбек үзілген). Сұлбаны тапсырма шартына қатыста сызамыз.



3. 2 сурет –Үш фазалы тізбек

Сұлбада резистивті элементтердің Z_{a1} және Z_{a2} болмауы (3.2 сурет) резистивті элемент Z_{a2} мәнінің жоқ екендігін көрсетеді.

Үш фазалы тізбектің фазалық және желілік кернеулерін анықтау.

Үш фазалы тізбектің желілік және фазалық кернеулер арасындағы қатынастарын анықтау үшін келесі жағдайларды ескереміз:

«Жұлдызша» жалғану кезінде үш фазалы тізбек бейтарап сымға ие болады, кедергісі аз болады:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\lambda}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220B.$$

Бастапқы А фазасы үшін $\Psi_A = 0$, онда кернеу кешенді түрде келесі түрде:

$$\dot{U}_A = 220B.$$

В фазасы үшін:

$$\dot{U}_B = U_A(\cos 120^\circ - j\sin 120^\circ) = 220(-0,5 - j0,866) = (-110 - j190,5)B.$$

С фазасы үшін:

$$\dot{U}_C = U_A(\cos 240^\circ - j\sin 240^\circ) = 220(-0,5 + j0,866) = (-110 + j190,5)B.$$

Желілік және фазалық кернеулер арасындағы байланысты Киргхофтың екінші заңын пайдалана отырып оңай анықтауға болады, 3.2 сурет бойынша ANBA контурына үшін:

$$\dot{U}_A - \dot{U}_B - \dot{U}_{AB} = 0,$$

мұндағы:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B,$$

мұндағы \dot{U}_{ab} – желілік (А және В фазалар аралысындағы) кернеу. Басқада желілік кернеулер үшін:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C;$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A; \tag{3.1}$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = 220 - (-110 - j190,5) = (330 + j190,5) B;$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = (-110 - j190,5) - (-110 + j190,5) = -j381 B;$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = (-110 + j190,5) - 220 = (-330 + j190,5) B.$$

«Жұлдызша» жалғанған сұлба бойынша бір фазалы қабылдағыштың фазалық тогын анықтау.

Қабылдағыштардың фазалық кедергісінің кешенді түрін табу:

$$\underline{z}_a = \underline{z}_{a3} = (10 + j10) \text{ Ом};$$

$$\underline{z}_e = \frac{\underline{z}_{e12} \cdot \underline{z}_{e3}}{\underline{z}_{e12} + \underline{z}_{e3}},$$

мұндағы

$$\underline{z}_{e12} = \underline{z}_{e1} + \underline{z}_{e2} = 16 - j8 + 10 + j5,8 = (26 - j2,2), \text{ Ом.}$$

\underline{z}_{e12} - \underline{z}_{e1} және \underline{z}_{e2} қабылдағыштарынан тұратын В фазасындағы тармақтың кешенді кедергісі:

$$\underline{z}_e = \frac{(26 - j2,2)12}{26 - j2,2 + 12} = (8,22 - j0,219) \text{ Ом};$$

$$\underline{z}_C = \underline{z}_{C_1} + \underline{z}_{C_2} = 21 + j8 - j15 = (21 - j7) \text{ Ом}.$$

Фазалық токтарды анықтау:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_A}{\underline{z}_a} = \frac{220}{10 + j10} = (11 - j11) \text{ А}; \\ \dot{I}_B &= \frac{\dot{U}_B}{\underline{z}_e} = \frac{-110 - j190,5}{8,22 - j0,219} = (-12,75 - j23,52) \text{ А}; \\ \dot{I}_C &= \frac{\dot{U}_C}{\underline{z}_C} = \frac{-110 + j190,5}{21 - j7} = (-7,44 + j6,59) \text{ А}. \end{aligned}$$

Сұлба «жұлдызша» жалғанған кезінде бір фазалы қабылдағыштардың токтары:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{a3} &= \dot{I}_a = (11 - j11) \text{ А}; \\ \dot{I}_e^{12} &= \frac{\dot{U}_e}{\underline{z}_{e12}} = \frac{-110 - j190,5}{26 - j2,2} = (-3,58 - j7,63) \text{ А}; \\ \dot{I}_{e1} &= \dot{I}_{e2} = \dot{I}_e^{12} = (3,58 - j7,63) \text{ А}; \\ \dot{I}_{e3} &= \frac{\dot{U}_e}{\underline{z}_{e3}} = \frac{-110 - j190,5}{12} = (9,17 - j15,9) \text{ А}; \\ \dot{I}_{C1} &= \dot{I}_{C2} = \dot{I}_C = (-7,44 + j6,59) \text{ А}. \end{aligned}$$

Сұлба «үшбұрышша» жалғанған кезіндегі қабылдағыштардың фазалық және желілік токтарын анықтау.

«Үшбұрышша» жалғанған сұлба бойынша қабылдағыштардың фазалық кедергілерін табамыз. Сонымен қатар, үшбұрышша жалғанған тізбек үшін $U_\pi = U_\phi$ қатынасыныңдұрытығын ескеру керек.

Симметриялы жүктеме кезінде:

$$P_H = 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi, \text{ а};$$

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{z_\phi},$$

мұндағы z_ϕ – фазаның кешенді кедергі модулі.

Сонда:

$$P_H = 3 \frac{U_\phi^2}{z_\phi} \cdot \cos\varphi.$$

Осы жерден:

$$z_{\phi} = \frac{3U_{\phi}^2 \cdot \cos\phi}{P_H} = \frac{3 \cdot 380^2 \cdot 0,85}{7000} = 52,6(\text{Ом}).$$

Әр фазада қабылдағыштардың кешенді кедергісі:

$$z_{av} = z_{ec} = z_{ca} = z_{\phi}(\cos\phi + j\sin\phi) = (44,7 + j27,7) \text{ Ом.}$$

$\sin\phi$ шамасы $\cos\phi$ берілген шамасымен анықталады.

Тұтынушыларды «үшбұрышша» жалғаған кезде фазалық токтарды анықтаймыз:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{a\Delta} &= \frac{\dot{U}_{av}}{z_{av}} = \frac{330 + j190,5}{44,7 + j27,7} = (7,24 - j0,23) \text{ А}; \\ \dot{I}_{ec\Delta} &= \frac{\dot{U}_{ec}}{z_{ec}} = \frac{-j381}{44,7 + j27,7} = (-3,82 - j6,16) \text{ А}; \\ \dot{I}_{ca\Delta} &= \frac{\dot{U}_{ca}}{z_{ca}} = \frac{-330 + j190,5}{44,7 + j27,7} = (-3,42 - j6,38) \text{ А}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Үшбұрышша жалғанған кездегі желілік токтарды анықтаймыз:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{a\Delta} &= \dot{I}_{av} - \dot{I}_{ca} = (7,24 - j0,23) - (-3,42 + j6,38) = (10,66 - j6,61) \text{ А}; \\ \dot{I}_{e\Delta} &= \dot{I}_{ec} - \dot{I}_{av} = (-3,82 - j6,16) - (7,24 + j0,23) = (-11,06 - j5,93) \text{ А}; \\ \dot{I}_{c\Delta} &= \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{ec} = (-3,42 + j6,38) - (-3,82 + j6,16) = (0,4 - j12,54) \text{ А}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Ваттметр көрсеткіштерін анықтау және үшфазалы тізбектің активті қуатын анықтау.

«Жұлдызша» жалғанған сұлба бойынша әр фазадағы тұтынушыдан толық кешенді қуаттарды келесі түрде анықтайды:

$$\begin{aligned} \tilde{S}_a &= \dot{U}_a \dot{I}_a = 220(11 + j11) = (2420 + j2420) \text{ ВА}; \\ \tilde{S}_e &= \dot{U}_e \dot{I}_e = (-110 - j190,5)(-12,75 + j23,52) = (5883 - j158,3) \text{ ВА}; \\ \tilde{S}_c &= \dot{U}_c \dot{I}_c = (-110 + j190,5)(-7,44 - j6,59) = (2074 - j692,4) \text{ ВА}, \end{aligned}$$

мұндағы \dot{I}_a , \dot{I}_e , \dot{I}_c - әр фазаға қатысты кешенді ток.

Тұтынушыларды «жұлдызша» жалғанған кезде толық кешенді қуаттар үшін әр фазаның активті қуаттары өрнектегі нақты бөлігімен анықталады:

$$P_a = 2420 \text{ Вт}; \quad P_e = 5883 \text{ Вт}; \quad P_c = 2074 \text{ Вт}.$$

Бір фазаға симметриялы жүктеме түрінде келетін, «үшбұрышша» жалғанған тізбек бөлігіндегі тұтынушылардың активті қуаты:

$$P_{\phi\Delta} = \frac{P_H}{3} = \frac{7000}{3} = 2333 \text{ Вт.}$$

Ваттметр көрсеткіштері тұтынушылардан «жұлдызша» және тұтынушылар «үш бұрышша» жалғанған фазадағы активті қуаттардың қосындысы сияқты, анықталады:

$$P_a = P_a + P_{a\Delta} = 2420 + 2333 = 4753 \text{ Вт;}$$

$$P_b = P_b + P_{b\Delta} = 5883 + 2333 = 8216 \text{ Вт;}$$

$$P_c = P_c + P_{c\Delta} = 2074 + 2333 = 4407 \text{ Вт.}$$

Үш фазалы тізбектің активті қуаты Р:

$$\begin{aligned} P &= P_a + P_b + P_c = P_a + P_b + P_c = \\ &= 4753 + 8216 + 4407 = 2420 + 5883 + 2074 + 7000 = 17377 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Ток және кернеудің векторлық диаграммаларын тұрғызу, желілік сымдардағы токтарды және бейтарап сымдағы токтарды анықтау.

Векторлық диаграммаларды кешенді жазықтықта тұрғызамыз. Нақты өсті вертикалды түрде бағыттаймыз, жорамал бөлікті – горизонталь түрде сызамыз. Жорамал өстің оң жарты өсін солға бағыттаймыз, сағат тіліне қарсы бағытта вектор айналуына және үш фазалы жүйенің В және С дейін фазалар тура айналуына сәйкес келеді.

1) Бастапқы фаза $\phi_A=0$, онда А фазасының фазалық кернеу \dot{U}_A векторын нақты өстің оң жартылай өсіне орналастырмыз. В және С фазаларының \dot{U}_B мен \dot{U}_C фазалық кернеулерінің векторларын 120° және 240° бұрышқа сәйкес артқа қалдыра отырып сызамыз.

Желілік кернеу векторларын тұрғызу үшін теңдеу жүйесін (3.1) геометриялық түрде шешеміз. Желілік кернеу векторларын тұрғызуды қарастырайық. Мысалы, \dot{U}_{ab} желілік кернеу векторларын алайық.

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_a - \dot{U}_b$$

Екі векторларды шегеру ережесінен белгілі, векторлар айырмашылығын шегеретін векторды азаятын векторға қарай бағытталады және азаятын мен шегерілетін векторлар ұштарын қосатын тік сызық көрсетеді. Осыған сәйкес, 3.3 суретте \dot{U}_a және \dot{U}_b векторлардың ұштарын жалғаймыз және \dot{U}_b векторынан \dot{U}_a векторына \dot{U}_{ab} векторын бағыттаймыз.

Токтар векторлық диаграммаларын тұрғызу үшін тұтынушылары «жұлдызша» және «үш бұрышша» жалғанған проекция бойынша аламыз, өйткені токтардың векторлар кешені алгебралық түрде есептелеген. Тұтынушылар үшін «үшбұрышша» сұлба бойынша жалғанған желілік және фазалық токтардың және тұтынушылар үшін «жұлдызша» сұлба бойынша

жалғанған фазалық токтардың векторларын тұрғызу бойынш түсіндіру талап етпейді.

Сызықты сымдардағы токтарды анықтау. Киргхофтың бірінші заңдылығына сәйкес, желілік сымдардағы токтар «үш бұрышша» сұлба бойынша жалғанған тұтынушыдан (3.2) теңдеу жүйелері арқылы анықталатын желілік сымдағы ток пен «жұлдызша» ($I_l = I_\phi$) сұлба бойынша жалғанған тұтынушыдан желілік сымдағы токтардың геометриялық қосындысы сияқты анықталатынын белгілі. А желілік сымдағы желілік токты анықтаймыз:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_a + \dot{I}_{a\Delta}.$$

Немесе (3.2) жүйесін пайдаланып, $\dot{I}_{a\Delta} = \dot{I}_{av} - \dot{I}_{ca}$ қойып, алатынымыз:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_a + \dot{I}_{av} - \dot{I}_{ca}$$

берілген векторлық теңдеудің геометриялық шешіміне түсіндір талап етілмейді.

В және С желілік сымдардағы токтар келесідей анықталады.

$$|\dot{I}_a| = 23,8 \text{ A}; \quad |\dot{I}_b| = 38,4 \text{ A}; \quad |\dot{I}_c| = 20 \text{ A}.$$

Желілік сымдардағы токтар шамаларының модулдерін векторлық диаграмма масштаб бойынша желілік сымдарда ток векторын бейнелейтін, кесінді ұзындықтарын көбейту арқылы векторлық диаграммадан аламыз. Векторлық диаграммаларды тұрғызу үшін масштабты белгілеп аламыз:

- кернеу үшін $m_U = 2 \text{ В/мм}$;
- ток үшін $m_I = 0,4 \text{ А/мм}$.

Бейтарап сымдардағы токты анықтау.

Бейтарап нүкте үшін Киргхофтың бірінші заңына сәйкес, теңдеуді жазамыз:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

Бейтарап сымдағы ток модулін векторлық диаграммадан табамыз:

$$I_0 = 30 \text{ A}.$$

Векторлық диаграммадан бейтарап сымдағы токтың бастапқы фазасын табуға болады:

$$\psi_{I_0} = 253,5^\circ = -106,5^\circ.$$

Векторлық диаграмма 3.3 суретте көрсетілген.

Сыйымдылық сипатқа ие, «үшбұрышша» сұлба бойынша жалғанған қабылдағышдағы жүктеме жағдайын қарастырайық. Басқа барлық параметрлер 3.2 кестеге сәйкес келеді.

Әр фазадағы қабылдағыш кедергілерінің кешенді кедергісі келесі түрде болады:

$$\underline{z}_{av} = \underline{z}_{bc} = \underline{z}_{ca} = z_\phi (\cos \varphi - j \sin \varphi) = (44,7 - j27,7) \text{ Ом}.$$

Тұтынушылардың «үшбұрышша» жалғанған кездегі фазалық токтары:

$$\dot{I}_{a\Delta} = \frac{330 + j190,5}{44,7 - j27,7} = 7,22e^{j61,8^\circ} = (3,4 + j6,36) \text{ A};$$

$$\dot{I}_{\epsilon\Delta} = \frac{-j381}{44,7 - j27,7} = 7,22e^{j58,2^\circ} = (3,8 + j6,14) \text{ A};$$

$$\dot{I}_{ca\Delta} = \frac{-330 + j190,5}{44,7 - j27,7} = 7,22e^{j118,8^\circ} = (-7,22 - j0,22) \text{ A}.$$

«Үшбұрышша» жалғанған кездегі желілік токтар:

$$\dot{I}_{a\Delta} = \dot{I}_{a\epsilon} - \dot{I}_{ca} = (3,4 + j6,36) - (-7,22 - j0,22) = (10,62 + j6,58) \text{ A};$$

$$\dot{I}_{\epsilon\Delta} = \dot{I}_{\epsilon c} - \dot{I}_{a\epsilon} = (3,8 - j6,14) - (3,4 + j6,36) = (0,4 - j12,5) \text{ A};$$

$$\dot{I}_{c\Delta} = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{\epsilon c} = (-7,22 - j0,22) - (3,8 + j6,14) = (-11,02 + j5,92) \text{ A}.$$

«Үшбұрышша» жалғанған жүктемеге түсетін токтардың өзгеру нәтижелерінде желілік токтар өзгереді:

$$\dot{I}_a = I_a + I_{a\Delta};$$

$$\dot{I}_\epsilon = I_\epsilon + I_{\epsilon\Delta};$$

$$\dot{I}_c = I_c + I_{c\Delta}.$$

Олардың мәндері сәйкес келетін векторлардың геометриялық қосындыларымен анықталады және индуктивті жүктеме жағдайында да солай есептеледі. Тұрғызылған векторлық диаграммадан (3.4 сурет) осы токтардың мәндері анықталады:

$$|\dot{I}_a| = 23,76 \text{ A};$$

$$|\dot{I}_\epsilon| = 38,6 \text{ A};$$

$$|\dot{I}_c| = 21,0 \text{ A}.$$

Сәйкес келетін векторлық диаграмма 3.3 суретте келтірілген.

Фазалық токтар $\dot{I}_{a\epsilon}$, $\dot{I}_{\epsilon c}$ және \dot{I}_{ca} $31,8^\circ$ бұрышпен сәйкес келетін кернеу векторынан озады.

Индуктивті жүктеме кезінде қалған барлық есептеулер және тұрғызулар ұқсас болады.

Векторлық диаграммадан токтарды анықтаймыз:

$$I_a = 23,8 \text{ A}; \quad \text{Cos } \varphi_a = 0,8;$$

$$I_\epsilon = 38,6 \text{ A}; \quad \text{Cos } \varphi_\epsilon = 0,984;$$

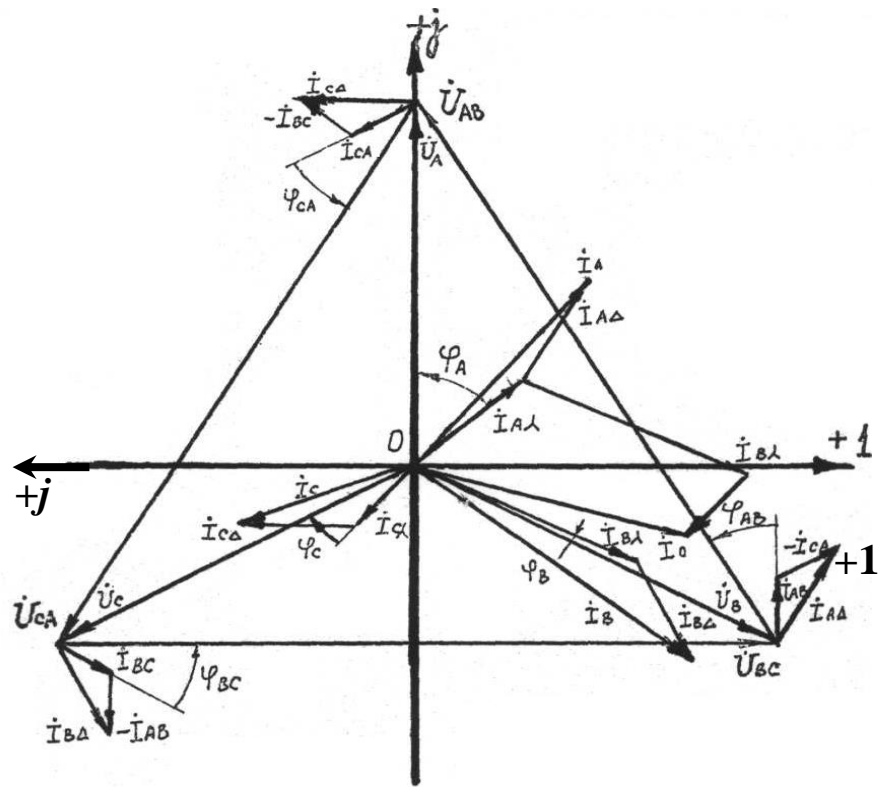
$$I_c = 21,0 \text{ A}. \quad \text{Cos } \varphi_c = 0,99,$$

және қуаттарды: $P_a = 220 \cdot 23,8 \cdot 0,8 = 4189 \text{ Вт};$

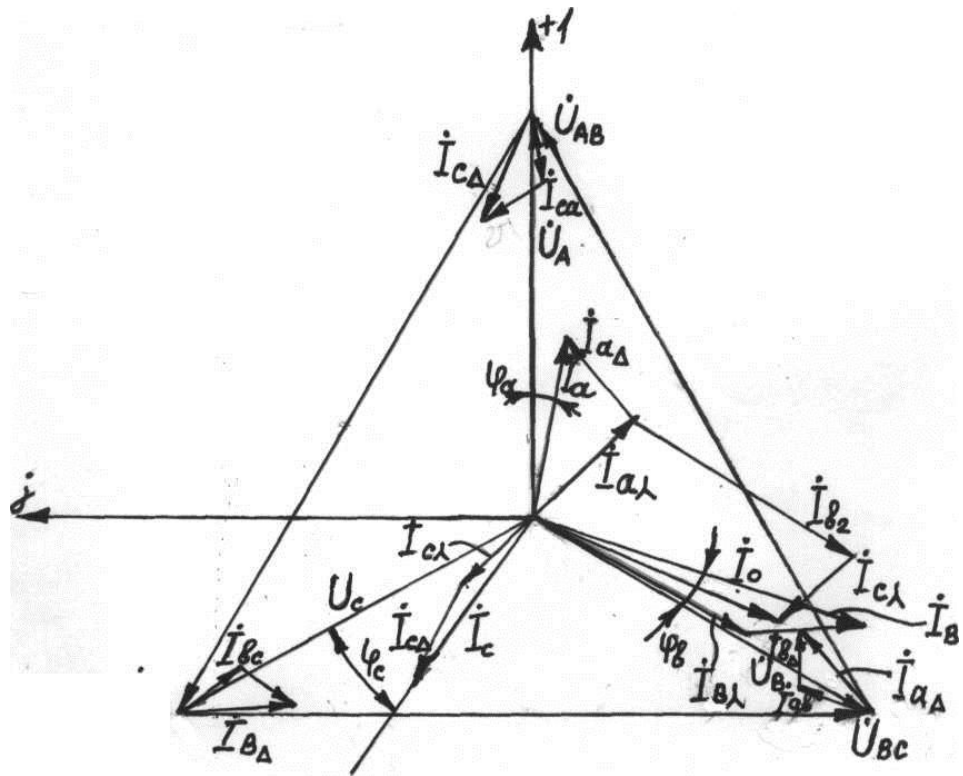
$$P_b = 220 \cdot 38,6 \cdot 0,984 = 8356 \text{ Вт};$$

$$P_c = 220 \cdot 21 \cdot 0,99 = 4573 \text{ Вт};$$

$$P = P_a + P_b + P_c = 4189 + 8356 + 4573 = 17118 \text{ Вт}.$$



3.3 сурет – Индуктивті жүктеме үшін векторлық диаграмма



3.4 сурет – Сыйымдылықты жүктеме кезіндегі векторлық диаграмма

8 №4 есептеу - сызба жұмысын орындау үлгілері. Үшфазалы трансформатордың параметрлері мен сипаттамаларын есептеу

№4 ЕСЖ бойынша тапсырма.

Орамалары Y/Y_0-0 жалғанған трансформатор келесі номиналды мәндермен сипатталады: толық қуат $S_{НОМ}, кВА$; бірінші реттік ораманың кернеуі $U_{1НОМ}, кВ$; екінші реттік ораманың кернеуі $U_{2НОМ}, кВ$; қысқа тұйықталу кернеуі $u_K \%, \%$; қысқа тұйықталу кезіндегі шығындар $P_K, Вт$; бос жүріс кезіндегі шығындар $P_0, Вт$; бос жүріс тогы $i_0 \%, \%$.

Анықтау керек:

- трансформатор орамаларындағы номиналды токтарды $I_{1НОМ}, I_{2НОМ}$;
- бос жүріс кезіндегі қуат коэффициентін $\cos \varphi_0$;
- қысқа тұйықталу кезіндегі қуат коэффициентін $\cos \varphi_K$;
- бірінші реттік және екінші реттік орамалардың кедергілерін R_1, X_1 және R_2, X_2 ;
- магниттеуші тізбектің кедергісін R_0, X_0 ;
- трансформатордың максималды ПӘК $\eta_{МАХ}$.

Құру керек:

- трансформатордың сыртқы сипаттамасын $U_2 = f(\beta)$;
- активті-индуктивті жүктеме кезіндегі және қуат коэффициенті $\cos \varphi_2 = 0,8$ болған кездегі $\eta = f(\beta)$ тәуелділігін.

Шешуі. Бірінші реттік және екінші реттік орамалардың номиналды токтары:

$$I_{1НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{1НОМ}} = \frac{60 \cdot 10^3}{1,732 \cdot 10^4} = 3,464 A;$$

$$I_{2НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{2НОМ}} = \frac{60 \cdot 10^3}{1,732 \cdot 3,3 \cdot 10^3} = 10,498 A.$$

Қуат коэффициенті:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1НОМ} \cdot I_0} = \frac{265}{1,732 \cdot 10^4 \cdot 0,225} = 0,068,$$

мұндағы $I_0 = \frac{I_{1НОМ} \cdot i_0 \%}{100} = \frac{3,464 \cdot 6,5}{100} = 0,225 A$ - бос жүріс тогы;

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{\sqrt{3} \cdot U_K \cdot I_{K\Phi}} = \frac{P_K}{\sqrt{3} \cdot \frac{U_{1НОМ} \cdot u_K \%}{100} \cdot I_{K\Phi}} = \frac{1470}{1,732 \cdot \frac{10^4 \cdot 4,5}{100} \cdot 3,464} = 0,544,$$

мұндағы $I_{K\Phi} = I_{1НОМ}$ - тәжірибелік қысқа тұйықталудың фазалық тогы, екінші реттік орама қысқа тұйықталуы кезінде фазалы токтар номиналды мәндерге ие болатындай етіп бірінші реттік ораманың кернеуін орнатады.

Қысқа тұйықталу кезіндегі активті R_K , индуктивті X_K , толық Z_K кедергілер:

$$R_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_{K\Phi}^2} = \frac{1470}{3 \cdot 3,464^2} = 40,836 \text{ Ом};$$

$$X_K = \frac{U_{p\Phi}}{I_{K\Phi}} = \frac{u_p \% \cdot U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_{K\Phi}} = \frac{3,776 \cdot 10^4}{1,732 \cdot 100 \cdot 3,464} = 62,933 \text{ Ом},$$

мұндағы $u_{pK} \% = u_K \% \cdot \sin \varphi_K = 4,5 \cdot \sin 57,044 = 3,776\%$ - қысқа тұйықталу кернеуінің реактивті құраушысы, $\varphi_K = \arccos 0,544 = 57,044$;

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} = \sqrt{40,836^2 + 62,933^2} = 75,021 \text{ Ом}.$$

Бірінші реттік ораманың кедергісі:

$$R_1 = R_2' = \frac{R_K}{2} = \frac{40,836}{2} = 20,418 \text{ Ом}; \quad X_1 = X_2' = \frac{X_K}{2} = \frac{62,933}{2} = 31,466 \text{ Ом}.$$

Екінші реттік ораманың кедергісі:

$$R_2 = \frac{R_2'}{k^2} = \frac{20,418}{3,03^2} = 2,223 \text{ Ом}; \quad X_2 = \frac{X_2'}{k^2} = \frac{31,466}{3,03^2} = 3,427 \text{ Ом},$$

мұндағы $k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{2\text{НОМ}}} = \frac{10^4}{3,3 \cdot 10^3} = 3,03$ - трансформация коэффициенті.

Магниттелуші тізбектің кедергісі:

$$Z_0 = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = \frac{10^4}{1,732 \cdot 0,225} = 25660,765 \text{ Ом};$$

$$R_0 = \frac{P_0}{3 \cdot I_0^2} = \frac{265}{3 \cdot 0,225^2} = 1744,569 \text{ Ом};$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} = \sqrt{25660,765^2 - 1744,569^2} = 25601,393 \text{ Ом}.$$

Максималды ПӘК мәнін есептейік:

$$\eta_{\text{MAX}} = \frac{\beta_{\text{MAX}} \cdot S_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_2}{\beta_{\text{MAX}} \cdot S_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_2 + \beta_{\text{MAX}}^2 \cdot P_K + P_0} = \frac{0,425 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{0,425 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 0,425^2 \cdot 1470 + 265} = 0,9747,$$

мұндағы $\beta_{\text{MAX}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} = \sqrt{\frac{265}{1470}} = 0,425$ - трансформатордың ПӘК

максимумға жеткен кездегі жүктеме коэффициентінің мәні.

Екінші реттік ораманың қысқыштарындағы кернеу:

$$U_2 = \frac{U_{2\text{НОМ}} \cdot (100 - \Delta U_2 \%) }{100},$$

мұндағы $\Delta U_2 \% = \beta \cdot (U_{\text{ак}} \% \cdot \cos \varphi_2 + U_{\text{рк}} \% \cdot \sin \varphi_2)$ - екінші реттік кернеудің жүктемеге тәуелді өзгеруі;

$U_{\text{ак}} \% = U_{\text{к}} \% \cdot \cos \varphi_{\text{к}} = 4,5 \cdot \cos 57^\circ,044 = 2,448$ - қысқа тұйықталу кернеуінің активті құраушысы.

Мысалы, $\beta = 0,1$ және $\cos \varphi_2 = 0,8$ кезінде

$$\Delta U_2 \% = 0,1 \cdot (2,448 \cdot 0,8 + 3,776 \cdot 0,6) = 0,4224;$$

$$U_2 = \frac{3300 \cdot (100 - 0,4224)}{100} = 3286,06 \text{ В};$$

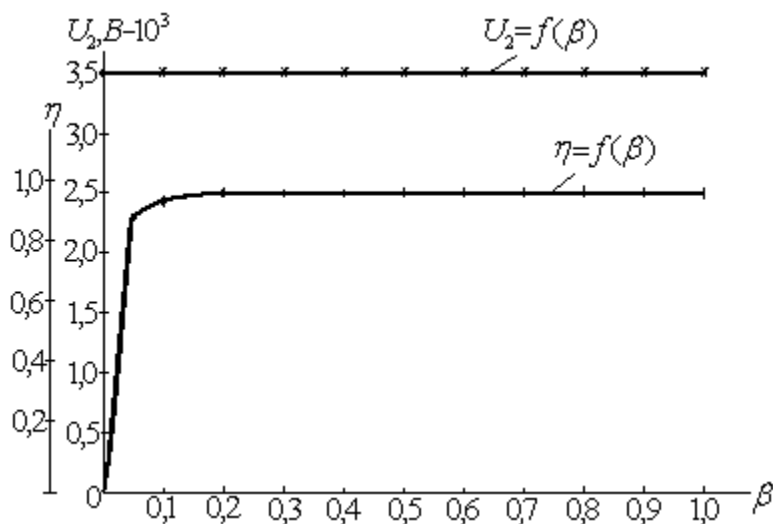
$$\eta_{0,1} = \frac{0,1 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{0,1 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 0,1^2 \cdot 1470 + 265} = 0,945.$$

β шамасының 0,2- ден 1-ге дейін өзгерген кездегі есептеу нәтижелері 4.1 кестеде көрсетілген, ал 4.1 суретте $U_2 = f(\beta)$ және $\eta = f(\beta)$ тәуелділіктері келтірілген.

4.1 кесте - β шамасының өзгеру кезіндегі есептеулер нәтижелері

| β | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\Delta U_2 \%$ | 0,8448 | 1,2672 | 1,6896 | 2,112 | 2,5344 | 2,9568 | 3,3792 | 3,8016 | 4,224 |
| $U_2, \text{В}$ | 3272 | 3258,2 | 3244,2 | 3230,3 | 3216,4 | 3202,4 | 3188,5 | 3174,5 | 3160,6 |
| η | 0,9674 | 0,9731 | 0,9746 | 0,9743 | 0,9732 | 0,9715 | 0,9696 | 0,9674 | 0,9651 |

Ескерту: $\beta=0,05$ болған кезде ПӘК $\eta_{0,05}=0,8993$.



4.1 сурет – $U_2 = f(\beta)$ сыртқы сипаттама және $\eta = f(\beta)$ тәуелділігі

Әдебиет тізімдері

1 Электрические цепи и электромагнитные устройства: Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплинам «Электротехника и электроника» и «Общая электротехника и электроника» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Р.В. Ахмадеев, И.В. Вавилова, П.А. Грахов, Т.М. Крымская, О.В. Мельничук.-Уфа, 2012. – 84 с.

2 Задания и методические указания к выполнению семестровой работы. /Сост. канд. тех. наук, доцент С.И. Николаева, Волгоград. гос. ун-т. – Волгоград, 2005. -24 с.

2 Иванов И.И. Электротехника и основы электроники. – СПб.: Лань, 2012. – 730 с.

3 Белов Н.В. Электротехника и основы электроники. – СПб.: Лань, 2012. – 730 с.

4 Баймаганов А.С., Амиров Ж.Х. Электротехника и электроника. Методические указания к выполнению расчетно-графических работ № 1 -4. – Алматы: АУЭС, 2013 – 15 с.

Алдибеков Исабай Танирбергенович
Жаркымбекова Макпал Бексултановна
Даркенбаева Эльмира Байджумаевна

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА

5B071700 - Жылу энергетикасы мамандығының студенттері үшін
есептеу - сызба жұмыстарын орындау бойынша әдістемелік нұсқаулықтар

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

_____ басуға қол қойылды
Таралымы 20 дана.
Көлемі 2,6 оқу – бас. әд.

Пішіні 60x84 1/16
№ 1 баспахана қағазы
Тапсырыс 1300 т. бағасы

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
Коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі – көбейткіш бюросы
050013, Алматы, А. Байтұрсынұлы көшесі, 126