

КӘСІБИ БІЛІМ БЕРУ

Л.И.ФУФАЕВА

ЭЛЕКТРТЕХНИКАДАН ТӘЖІРИБЕЛІК ЕСЕПТЕР ЖИНАҒЫ

*«Білім беруді дамытудың Федералдық институты» Федералды мемлекеттік мекемесі
орта кәсіби білім беру бағдарламаларын іске асыратын білім беру мекемелерінің
оқу үрдісінде оқу құралы ретінде пайдалануға ұсынған
Рецензияны тіркеу нөмірі 136. 28 сәуір 2009 ж. ФММ «БДФИ»*

5-басылым, стереотиптік



Мәскеу
«Академия» баспа орталығы
2016

ӘОЖ 621.3(075.32)
КБК 31.2ші723
Ф964

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТЖКБ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру жөніндегі қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды. Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісіне қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19, «Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dcg.kz

Пікір берушілер:

Мәскеу электрмеханика және автоматика институты (МЭАИ)
бас конструкторының орынбасары *Е. А. Измайлов*;
«Орақ пен балға» Мәскеу металлургиялық зауыты» ААҚ-ның жетекші маманы
А. П. Филатов

Фуфаева Л.И.

Ф964 Электртехникадан тәжірибелік есептер жинағы: орта кәсіби білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған оқу құралы / Л. И. Фуфаева. — 5-басылым, стер. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2016. — 288 б.

ISBN 978-601-333-247-5 (каз.)

ISBN978-5-4468-3079-4 (рус.)

Оқу құралы «Электртехника негіздері» және «Электртехника және электроника» жалпы кәсіби пәндері бойынша электротехникалық бейіндік мамандықтарының топтары үшін орта кәсіби білім берудің Федералды мемлекеттік білім беру стандартына сай әзірленген.

Бұл оқу құралы «Электртехника» пәнінің оқу материалдары бойынша толық шешімдері бар типтік есептерден тұрады және «Академия» баспа орталығынан жарыққа шыққан Л.И.Фуфаеваның «Электртехника» оқулығына тәжірибелік қосымша болып саналады.

Жинаққа электромеханикада, электроникада, радиотехника және автоматикада маңызға ие есептер, сонымен бірге, қондырғылардың сенімділігі мен олардағы ақауларды табу, оларды реттеу және басқа да тәжірибелік іс-әрекеттерге байланысты есептер қамтылған.

Орта кәсіби білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 621.3(075.32)

КБЖ 31.2ші723

ISBN 978-601-333-247-5 (каз.)

ISBN978-5-4468-3079-4 (рус.)

© Фуфаева Л.И., 2010

© «Академия» білім беру-баспа орталығы, 2013

© Рәсімдеу. «Академия» баспа орталығы, 2013

АЛҒЫ СӨЗ

Осы оқу құралы Ресей Федерация бойынша білім берудің Федералдық агенттігі орта кәсіби білім берудің ғылым-әдістемелік орталығымен (ҒӘО ОКББ) ұсынылған орта кәсіби білім берудің (ОКББ) техникалық бейіндік мамандықтары үшін «Электртехника» пәнінің бағдарламасына сай әзірленген.

Есептер жинағының мақсаты студенттерге электротехникалық есептерді шешудің теориясын және әдістерін меңгеруде көмектесуді көздейді.

Жинақ электрлік және магниттік өрістерді есептеудің әдістері, тұрақты және ауыспалы токтың сызықты және сызықты емес электрлік және магниттік тізбектерін, сонымен қатар, тұрақты және ауыспалы токтың электрлік тізбектеріндегі айнымалы үрдістерді талдау мен есептеудің негізгі әдістері қолданылатын есептері бар он төрт тарауды қамтиды.

Оқу құралының әрбір тарауы пәннің теориясын, сәйкес математикалық аппаратты қолдану ерекшеліктерін терең түсінуге және тәжірибеде теориялық пайымдауларды қолдану біліктіліктерін меңгеруге көмектесетін есептерді толық шешуден басталады. Одан әрі өздігінен шешуге арналған тапсырмалар және сол тапсырмалардың жауаптары бар.

Оқу құралындағы есептеулер Халықаралық бірліктер жүйесін (СИ) (қосымша 1) қолданумен орындалған.

Жинақтағы схемалардағы тізбек элементтері мен формулалардағы өлшемдердің белгіленулері конструкторлық құжаттамалардың Біртұтас жүйесіне және ISO (Стандарттау бойынша халықаралық ұйым) стандарттарына сай келеді.

Жинақта есептердің тәжірибелік бағытына көп көңіл бөлінген. Жинаққа электромеханикада, электроникада, радиотехника және автоматикадағы маңызды есептер, сонымен бірге, қондырғылардың сенімділігі мен олардағы ақауларды табу, оларды реттеу және басқа да тәжірибелік іс-әрекеттерге байланысты есептер қамтылған.

Оқу құралы техникалық бейіндік мамандық бойынша білім алатын орта кәсіби білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған және электромеханика, электроника, радиотехника, автоматика және басқа да электротехникалық бағыттар бойынша электротехникалық құрылғыларды жобалау мен эксплуатациялау саласының мамандарына да пайдасын тигізуі мүмкін.

ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ ӨРІС

1.1. Нүктелік зарядтың электр өрісі

1.1 есеп. Зарядталған шыны таяқшаның зарядталмаған қағаз қиындыларын неліктен өзіне тартуын түсіндіру. Егер заряды бар шыны таяқшаны шыны зарядына қарсы таңбасы бар затпенен алмастырғанда осы құбылыс байқалады ма?

Шешімі. Зарядталған дененің маңында орналасқан барлық денелердің индукция арқылы электрленетіні белгілі, соның нәтижесінде осы денелердегі зарядталған еркін бөлшектер келесідей түрде таралады: электрленуші денелердің бір бөлігінде бір таңбаның артық зарядтары шоғырланса, басқа бөлігінде – басқа таңбалысы.

Әсер етуші зарядталған денеге осы дененің заряд таңбасына қарсы таңбасы бар зарядтар орналасады. Бір атаулы зарядтар электрленуші денелердің алыс шетінде шоғырланады. Демек, бағытталған зарядтары бар әрбір дене бір уақытта тартылады, және зарядталған денемен серпіледі.

Кулон заңына байланысты зарядтардың әрекеттесу күші (мұнда зарядталған дене мен бағытталған зарядтар) зарядтар арасындағы қашықтықтың r квадратына кері пропорционалды:

$$F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}. \quad (1.1)$$

Өртүрлі атаулы зарядтар зарядталған денеге жақын орналасқандықтан, тартылыс күштері серпіліс күштерінен басым түседі. Нәтижесінде «зарядталмаған» денелер зарядталған денелермен тартылады.

Бұл құбылыс кез-келген жағдайларда байқалады, яғни, әсер етуші зарядталған дененің заряд таңбасына байланысты емес.

1.2 есеп. Үлкен көлемді ыдысқа радиусы $R_{ш} = 1$ см болатын оң зарядталған металдық шарикті орналастырды. Шариктің заряды $Q = 5 \cdot 10^{-9}$

Кл (кулон). Осыдан кейін ыдыстан ауаны сорып алды, яғни вакуум түзілді (вакуумның салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі = 1).

Ыдыста орналасқан А, Б, және В нүктелеріндегі (1.1а-сурет) және $r_A = 20$ см, $r_B = 40$ см; $r_C = 60$ см тең қашықтықта шарик центрінен (М нүктесі) r қашықтыққа алысталған потенциалды ϕ және электрлік өрістің кернеулігін, сонымен бірге көрсетілген нүктелерге кезектесіп орналастырылатын өрістің $q = 5 \cdot 10^{-12}$ Кл нүктелі зарядқа әсер ететін күшін F есептеңіз. r қашықтықтығына өрістің кернеулігі мен күштің F тәуелділік графигін тұрғызыңыздар.

Кернеулікке, зарядталған шариктің потенциалы мен өріс күшіне осы заряд таңбасының өзгеруі қалай әсер ететіндігін анықтау. М нүктесінде ($r = 0$) және зарядталған шариктің бетінде өрістің кернеулігін табу. Егер ыдысты салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі = 2,25 болатын минералды маймен толтырғанда, онда көрсетілген нүктелердегі кернеулік, потенциал және өрістің күшін қалай өзгертіндігін анықтау.

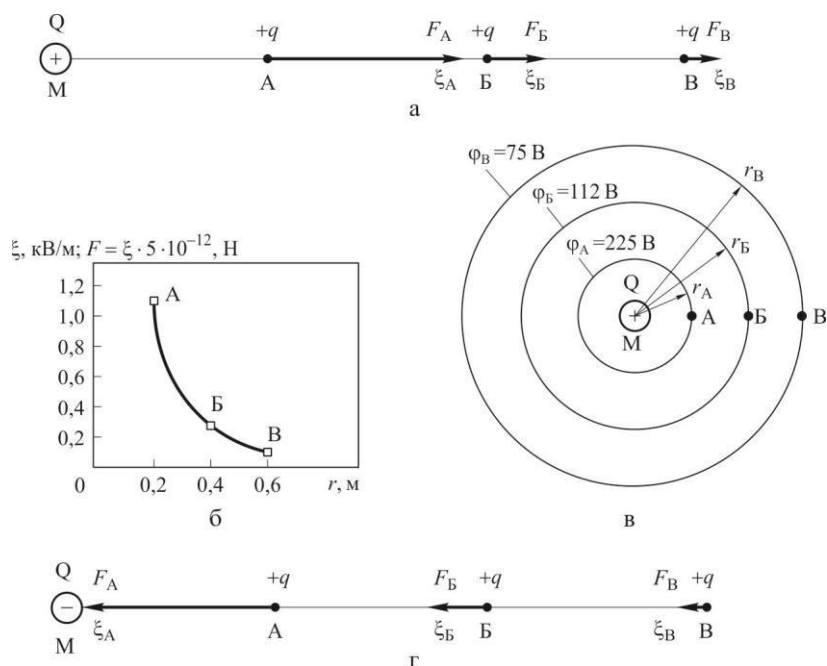
Шешімі. 1. Вакуумдегі шарик өрісінің кернеулігін анықтау. Қарастырылушы жағдайда өрістің сипаттамаларын нүктелі заряд деп есептеуге болады, себебі оның сызықтық өлшемдері А,Б,В нүктелеріне дейінгі арақашықтықпен салыстырғанда аз (А жақындатылған нүктесі $r_A = 20$ см = $20 R_{ш}$ қашықтықта орналасқан). Демек, берілген нүктелердегі өрістің кернеулігін (1.1) формуласынан алынатын нүктелі зарядтың кернеулігінің белгілі формуласымен есептеуге болады:

$$\xi = \frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, \quad (1.2.)$$

мұндағы — ортаның салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі; ϵ_0 — вакуумның диэлектрлік өтімділігі (электрлік тұрақты), $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Онда (1.2) сай А нүктесіндегі өрістің кернеулігі

Қашықтықтан басқа қалған нүктелер үшін барлық өлшемдер А нүктесіндегідей қалатындықтан, былай жазылады:



1.1-сурет. Q нүктелі зарядының өрісі:

a — Q зарядының оң таңбасы кезіндегі өрістің суреті; $б$ — r қашықтықтығына өрістің кернеулігі Q мен күштің тәуелділік графигі; $в$ — A, B, B нүктелерінен өтетін тең потенциалды сызықтар; $г$ — Q зарядының теріс таңбасы кезіндегі өрістің суреті.

Қашықтықтан кернеуліктің тәуелділік графигі 1.1 б-суретте көрсетілген.

2. q зарядына әсер етуші Q зарядының өріс күшін е с е п т е у . Q зарядының қандай да бір нүктесіндегі кернеулік – бірлікті сынама зарядқа әсер етуші күш болғандықтан, онда q зарядына әсер ететін F күшін (1.2) формуладан табуға болады:

$$F = \xi q. \tag{1.3}$$

Осылайша, A, B, B нүктелеріндегі өріс күшінің мәндері (1.3) формула бойынша есептеледі:

$$F_A = \xi_A q = 1124 \cdot 5 \cdot 10^{-12} = 5,62 \cdot 10^{-9} \text{ Н};$$

$$F_B = \xi_B q = 281 \cdot 5 \cdot 10^{-12} = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ Н};$$

$$F_B = \xi_B q = 125 \cdot 5 \cdot 10^{-12} = 0,62 \cdot 10^{-9} \text{ Н}.$$

Әртүрлі нүктелердегі кернеу мен күш арасындағы пропорционалдық коэффициенттері бірдей болғандықтан (q -ға тең), онда $m_F = q$ масштабында тұрғызылған тәуелділік графигі $F(r)$ - (r) тәуелділік графигіне сай келеді.

1.1 а-суретте Q зарядының әртүрлі өріс нүктелеріндегі кернеу мен күштің векторлары көрсетілген (сәйкес масштабтарда). Кернеулік векторларының бағыттары зерттелуші нүктелерге ойша салынатын оң сынама зарядқа әсер етуші күштердің векторлары бағыттарына сай келеді. Есептің шарты бойынша q зарядының таңбасы оң болғандықтан, зерттелуші нүктелердегі q нүктелік зарядына әсер ететін күш векторларының бағыты Q зарядының өріс кернеуліктерінің векторлары бағыттарына сай келеді.

МABB түзуі кернеулік векторының бір сызығы немесе Q заряды өрісінің күштілік сызығы болып табылады. Радиустарының бағыттары бойынша шарик өрісінің басқа да күштілік сызықтарын тұрғызуға болады. Q заряды оң болғандықтан, кернеулік векторларының барлық сызықтары (өрістің күштілік сызықтары) зарядтың орналасу нүктесінде басталады және шексіздікке бағытталған.

3. Потенциалдар мен кернеу анықтау. Тең потенциал сызығын тұрғызу. Келесідей жорамалдарды қабылдай отырып қойылған мақсатты ықшамдаймыз: ыдыс пен өріс зарядын шектеусіз деп есептеп, шексіз алысталған нүктенің потенциалын нөлге тең деп алынады. Мұндай жағдайларда Q заряды өрісінің кез келген нүктесіндегі потенциалын

мына формуламен анықтауға болады:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}. \quad (1.4)$$

(1.2) және (1.4) формулаларын салыстырудан алынады

$$\varphi = \xi r. \quad (1.5)$$

(1.5) формуласын қолдана отырып, алынады:

$$\begin{aligned} \varphi_A = \xi_A r_A = 1124 \cdot 0,2 = 225 \text{ В}; \quad \varphi_B = \xi_B r_B = 281 \cdot 0,4 = 112 \text{ В}; \\ \varphi_B = \xi_B r_B = 125 \cdot 0,6 = 75 \text{ В}. \end{aligned}$$

Q зарядының сфералық симметриясы мен онымен туындайтын А,Б,В нүктелерінен өтуші зарядталған шариктің бетіндегі эквипотенциалды (тең потенциалды) өрістер центрі М нүктесі болатын шардың формасы мен сәйкесінше $R_A = r_A$, $R_B = r_B$, $R_B = r_B$ радиустарына ие.

1.1 в-суретіндегі жазықтықта тең потенциалды сызықтар алынады - центрінде М нүктесі және R_A , R_B мен R_B радиустары бар шеңберлер.

Кез-келген екі нүктесі арасындағы кернеулік қарастырылушы нүктелер потенциалдарының айырмасы түрінде анықталады, мысалы:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 225 - 112 = 113 \text{ В};$$

$$U_{BB} = \varphi_B - \varphi_B = 112 - 75 = 37 \text{ В};$$

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 225 - 75 = 150 \text{ В}.$$

4. Q заряды таңбасының кернеулік пен өріс күшіне әсерін бағалау. Q зарядының берілген таңбасын өзгерткенде өрістің суреті де өзгереді (1.1г-сурет). Қарастырылушы нүктеге кернеу бағытын анықтау үшін оң таңбасы бар сынама зарядты орналастырғандықтан, кернеу векторларының бағыты мен демек, өрістің күштілік сызықтары қарама-қарсылыққа өзгереді: кернеулік сызықтары шексіздіктен басталады және $-Q$ теріс зарядының орналасу нүктесінде аяқталады. $-Q$ заряды күштілік өрістерінің көрсетілген нүктелерге кезектесіп орналастырылатын q нүктелік зарядтарына әсер етуші векторларының бағыттары кернеулік векторларының бағыттарына сай келеді, себебі есептің шарты бойынша q зарядының таңбасы да оң.

Нүктедегі энергия қорын сипаттаушы потенциалда бағыт емес, таңбасы бар. Барлық көрсетілген нүктелердің потенциалдары шексіз алысталған нүктелер потенциалына қатысты таңбаны қарама-қарсылыққа өзгертеді. Мұндағы алдындары есептелген барлық өлшемдер мәні өзгеріссіз қалады.

5. Шариктің M нүктесінде және бетіндегі өрістің кернеулігін анықтау. Радиусы кіші болғанына қарамастан металдық шарикте зарядтар бетінде орналасады, сондықтан шарик центрінде (M нүктесінде) заряд нөлге тең және өрісті туындатпайды, яғни $\xi_M = 0$. Шариктің бетінде оның симметриялану және бет бойында зарядты тепе-тең таралуы жағдайларында өрістің кернеулігін анықтау үшін $r = R_{III}$ кезінде нүктелік зарядтың өріс кернеулігін анықтауда қолданылатын формуланы (1.2) қолдануға болады:

$$\xi_M = \frac{5 \cdot 10^{-9}}{4\pi \cdot 1,8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 0,01^2} = 450 \text{ кВ/м}.$$

6. Өріс сипаттамаларына ортаның әсерін бағалау. Диэлектрик өрісті әлсірететіні белгілі. Диэлектриктегі нүктелік зарядтың кернеулігін, өрістің күші мен потенциалын төмендету үшін вакуумде орналасқандармен салыстырғанда диэлектриктің электрлік сипаттамаларымен $-\epsilon$ салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі көмегімен (1.1)...(1.5) формулаларда ескеріледі.

Қарастырылушы есепте диэлектрлік өтімділігі вакуумның диэлектрлік өтімділігінен 2,25 есеге көп минералдық маймен ыдысты толтырғанда

барлық есептелген мәндер 2,25 есеге азаяды.

1.2. Бірнеше нүктелік зарядтардың электр өрісі

1.3 есеп. Ауада бір-бірінен $r_1 = 5$ см қашықтықта екі оң нүктелік зарядтар орналасқан: $Q_1 = 2 \cdot 10^{-11}$ Кл және $Q_2 = 3 \cdot 10^{-11}$ Кл.

Q_1 зарядынан $r_2 = 3$ см, ал Q_2 зарядынан $r_3 = 4$ см қашықтықта орналасқан А нүктесіндегі зарядтар жүйесінің электр өрісінің кернеулігін анықтау (1.2а-сурет).

Егер зерттелуші нүктеге салынған сынама заряд $q = 2 \cdot 10^{-12}$ Кл болғандағы А нүктесіндегі зарядтар жүйесінің электр өрісінің потенциалын және біріккен өріс энергиясының қорын есептеу.

Q_2 зарядының таңбасы өзгергендегі А нүктесіндегі кернеуліктің, потенциалдың және энергия қоры мәндерінің өзгерісін бағалау (1.2 б-сурет).

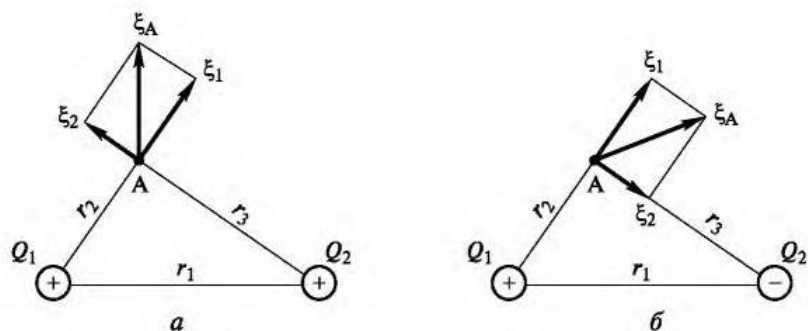
Шешімі. 1. А нүктесіндегі зарядтар жүйесінің электр өрісінің кернеулігін анықтау (1.2а-суретті қараңыз). (1.2) формула бойынша сәйкесінше Q_1 және Q_2 зарядтары әрқайсысының электр өрісінің кернеулік мәндерін табамыз:

$$\xi_1 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2^2} = \frac{2 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot \pi \cdot 1,8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 0,03^2} = 199,818 \text{ В/м};$$

$$\xi_2 = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_3^2} = \frac{3 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot \pi \cdot 1,8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 0,04^2} = 168,596 \text{ В/м}.$$

Q_1 және Q_2 зарядтарын А нүктесімен байланыстырушы, турада орналасқан, және 1.2 а-суретте көрсетілген бағытқа ие, яғни А нүктесіндегі әрбір зарядтардың кернеулік бағыттарына ие ξ_1 және ξ_2 векторларының кернеуліктері А нүктесіне ойша орналастырылатын оң сынама зарядқа әсер етуші күштердің бағытына сай келеді.

А нүктесіндегі Q_1 және Q_2 зарядтар жүйесінің нәтижелеуші электр өрісінің мәндерін әрбір зарядпен бөлек жасалатын ξ_1 және ξ_2 векторлары кернеуліктерінің ξ_A геометриялық қосындысына қабаттасу әдісімен анықтаймыз.



1.2-сурет. Екі нүктелі зарядтар өрістерінің кернеуліктері:
a — Q_1 және Q_2 оң зарядтары; *б* — Q_1 оң және Q_2 теріс зарядтары.

Жалпы алғанда мәнді ξ_1 , ξ_2 және ξ_A векторларымен түзілген, тригонометрияда белгілі косинустар теоремасын үшбұрышқа қолдана отырып, анықтауға болады:

$$\xi_A = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2 - 2\xi_1\xi_2 \cos A},$$

мұндағы A — Q_1AQ_2 үшбұрышының r_2 және r_3 жақтары арасындағы бұрыштарға тең ξ_1 және ξ_2 векторлары арасында бекітілген бұрыш.

Ағымдағы мәліметтерге сай, 1.2 а-суреттегі Q_1AQ_2 үшбұрышы жақтардың $r_2:r_3:r_1 = 3 : 4 : 5$ қ а т ы н а с ы н а и е , демек A шыңында тура бұрышы бар Пифагор үшбұрышы болып табылады. ξ_1 және ξ_2 векторлары арасындағы бұрышы бұрыштардың шектестігі салдарынан тура болып табылады, сондықтан

$$\xi_A = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2} = \sqrt{199,818^2 + 168,596^2} = 260,674 \text{ В/м.}$$

2. A нүктесіндегі зарядтар жүйесінің электр өрісінің потенциалын есептеу. Бөлек нүктелік зарядтың электр өрісінің ерекшеліктерін қарастырайық. Егер Q оң нүктелік заряды электр өрісінің N нүктесіне q оң сынама зарядын орналастырғанда, онда оған (Q зарядына да) (1.1) формуласымен анықталатын күш әсер етеді:

$$F_N = \frac{Qq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_N^2},$$

Мұндағы r_N — Q зарядының N нүктесіне дейінгі қашықтығы.

Осы күштің әсерінен сынама заряд шексіз үлкен қашықтыққа алыстайды. Мұндағы өрістің күші F_N зарядтан алыстағанда кемитін Q

нүктелік зарядының өрісіндегі W_N энергия есебінен A жұмысын туындатады. A жұмысы Q заряды өрісінің энергия қорының өзгерісіне тең, яғни $A = W_N - W$. $W = 0$ деп есептегенде, онда $A = W_N - W = W_N$. Осылайша

$$W_N = \int_{r=r_N}^{r=\infty} F_N dr = \frac{Qq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_N^2} \int_{r=r_N}^{r=\infty} dr = \frac{Qq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_N}. \quad (1.6)$$

N кез-келген еркін нүктесіндегі Q зарядының электр өрісінің потенциалы анықтама бойынша W_N энергиясымен мынадай қатынаста байланысады:

$$\varphi_N = \frac{W_N}{q}. \quad (1.7)$$

(1.2) және (1.6) формуласын ескере отырып, (1.7) формуласынан потенциалды есептеуге арналған (1.5) өрнегіне ұқсас формула алынады:

$$\varphi_N = \frac{W_N}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_N} = \xi_N r_N, \quad (1.8)$$

мұндағы ξ_N — N нүктесіндегі Q заряды өрісінің кернеулігі.

Өрістің шексіз алысталған нүктесінің потенциалы нөлге тең, себебі (1.8) формуладан $r = \infty$ кезінде $\varphi = 0$.

Егер электр өрісі бір емес, бірнеше (мысалы m) нүктелік зарядтармен туындаса, онда қабаттасу әдісіне сәйкес N еркін нүктесінің потенциалын осы нүктеде әрбір зарядпен бөлек-бөлек жасалған потенциалдардың алгебралық қосындысы түрінде келтіруге болады:

$$\varphi_N = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_m \quad (1.9)$$

Өлшемнің алгебралық қосындысы – оның алгебралық таңбасын ескергендегі өлшемнің қосындысы болғандықтан, онда потенциалдардың алгебралық қосындысы – алгебралық таңбалары ескерілген зарядтармен туындайтын потенциалдардың қосындысы. Осы орайда потенциал оң болады, егер сынама зарядты зерттелуші нүктеден шексіздікке ауыстыру жұмысы оң болғанда, яғни егер жұмыс өріс күштерімен жасалса және қозғалыс бағыты зерттелуші нүктедегі кернеуліктің бағытымен сай болғанда. Кері жағдайда потенциал теріс болып есептеледі.

Жоғарыда айтылғандардан оң потенциалға оң заряд өрісінің нүктелері, ал теріс потенциалға – теріс заряд өрісінің нүктелері ие екендіктерін тұжырымдауға болады.

(1.8) өрнекке сәйкес A нүктесіндегі Q_1 және Q_2 зарядтары электр өрістерінің потенциалдарын жазайық (1.2а-суретті қараңыз):

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \xi_1 r_2 = 199,818 \cdot 0,03 = 5,99 \text{ В}; \\ \varphi_2 &= \xi_2 r_3 = 168,596 \cdot 0,04 = 6,74 \text{ В}. \end{aligned}$$

φ_1 және φ_2 потенциалдары оң, себебі екі жағдайда да жұмыс өрістің күштерімен атқарылады. Онда (1.9) өрнекке сай А нүктесіндегі зарядтар жүйесінің потенциалы

$$\varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2 = 5,99 + 6,74 = 12,73 \text{ В.}$$

Осы орайда А нүктесіндегі Q_1 , Q_2 және q зарядтары біріккен электр өрістерінің энергия қоры W_A қабаттасу әдісі мен (1.7) формулаға сай мынадай түрде жазуға болады:

$$W_A = \varphi_1 q + \varphi_2 q = \varphi_A q = 12,73 \cdot 2 \cdot 10^{-12} = 25,46 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

3. А нүктесіндегі Q_1 және Q_2 зарядтар жүйесінің электр өрістерінің сипаттамаларына Q_2 заряды таңбасының әсері. Q_2 заряды таңбасының өзгеруі ξ_1 және ξ_2 кернеулік бағыттарының өзгеруіне әкеледі (1.2б-суретті қараңыз). Мұндағы ξ_1 және ξ_2 өлшемдерінің мәндері өзгеріссіз қалады. ξ_A кернеулігінің мәні де өзгермейді, себебі ξ_1 және ξ_2 арасындағы бұрыш 90° ($180^\circ - 90^\circ = 90^\circ$) тең, яғни

$$\xi_A = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2}.$$

Бұл жағдайдағы Q_2 потенциалы таңбасын өзгертеді, себебі сынама зарядты шексіз алысталған нүктеге қозғалту үшін Q_2 заряды өрісінің күштеріне қарсы жұмыс атқару қажет. Осылайша, $Q_2 = -6,74 \text{ В}$.

Q_2 зарядының теріс таңбасы А нүктесіндегі потенциалы

$$\varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2 = 5,99 + (-6,74) = -0,75 \text{ В.}$$

Мұндай жағдайдағы зерттелуші нүктедегі потенциалды

энергия қоры:

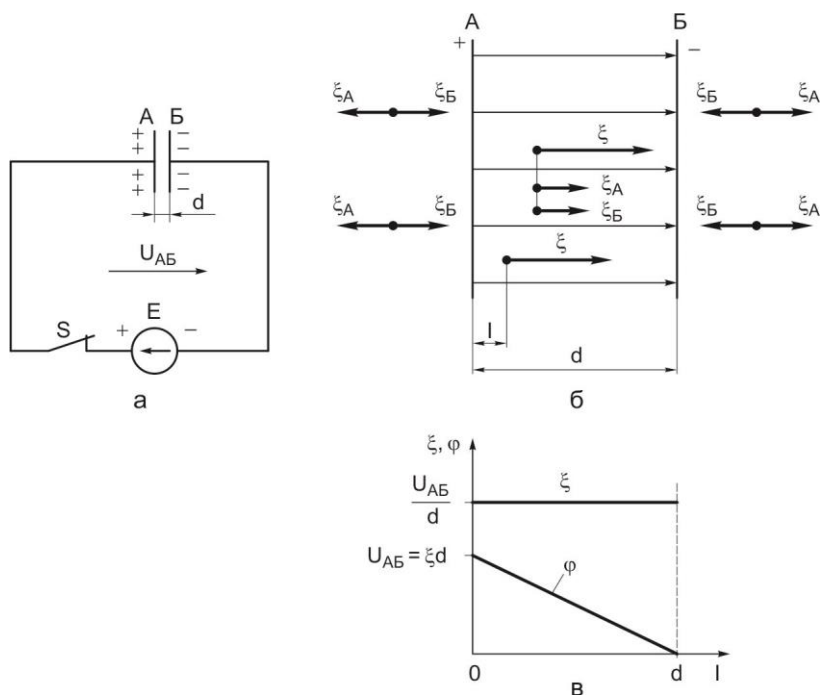
$$W_A = \varphi_A q = -0,75 \cdot 2 \cdot 10^{-12} = -1,5 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

1.3 Біртекті электр өрісі

1.4 есеп. Ауада орналасқан А және Б жазық жіңішке параллельді металдық пластиналар (электродтар) қуат көзіне жалғанған (1.3а-сурет). Электродтар арасындағы d қашықтығы олардың сызықтық өлшемдеріне қарағанда аз және 2 мм құрайды. Әрбір пластинаның ауданы $5 \times 5 \text{ см}^2$. S

тұйық кілтінде электродтар арасындағы кернеу $U_{AB} = 300 \text{ В}$.

Электродтар арасындағы кернеулікті, әр қайсысындағы және диэлектриктің беріктік қорын есептеңіз. Қашықтыққа l байланысты электродтар арасындағы кернеулік пен потенциалдың өзгеру графигін тұрғызыңыздар (1.3б-сурет).



1.3-сурет. Екі әр аттас зарядталған пластиналардың электр өрісі:

a — пластиналарды зарядтаудың электрлік схемасы; *б* — өріс кернеуліктерінің векторлары; *в* — өріс кернеулігі ξ мен потенциалдың қашықтыққа l тәуелділік графигтері

S кілті ажыратылғанда электродтар арасындағы электр өрісінің қалай өзгертіндігін анықтау. Электр өрісіне (кернеулік ξ , әрбір электродтағы зарядтар Q және кернеуі U_{AB}): электродтар арасындағы қашықтық; электродтар арасындағы кеңістікті ауамен салыстырғандағы өтімділігі үлкен диэлектрикпен толтыру; электродтар арасында өткізгіш пластинаны орналастыру секілді сипаттамалардың қалай әсер ететіндігін бағалау.

Шешімі. 1. Пластиналар арасындағы кернеулікті, пластиналар зарядын және диэлектриктің беріктік қорыне с е п т е у . S кілтін тұйықтағаннан соң (1.3а-суретті қараңыз) А және Б пластиналары зарядталады: қуат көзінің оң шығарылымына жалғанған А пластинасында $+Q_A$ заряды жинақталады, ал теріс шығарылымға жалғанған Б пластинасында $-Q_B$ заряды, сонымен бірге $|Q_A|=|Q_B|=Q$. Пластиналар зарядтары қоршаған кеңістікте электр өрісін туындатады.

Есептің шарты бойынша пластиналар арасындағы қашықтық олардың

сызықтық өлшемдерімен салыстырғанда аз, сондықтан пластиналарды шексіз деп есептеуге болады. Екі шексіз біркелкі және әр аттас зарядталған жазықты өткізгіш пластиналар арасында біркелкі өріс туындайтыны белгілі. Біркелкі өрістің әрбір нүктесінде кернеулік бірдей мәнге және бірдей бағытқа ие болады. Бір тығыздықты әр аттас зарядтарды тасушы екі параллель шексіз жазықтың электр өрісі оң және теріс пластиналар өрісінің қабаттасуы арқылы анықталады.

Остроградский-Гаусс теоремасына сәйкес, А және Б зарядталған пластиналардың ξ_A және ξ_B кернеуліктері пластиналардан кез-келген қашықтықтағы оларды қоршаушы кеңістіктердің барлық нүктелерінде бірдей мәнге ие. Демек, сыртқы кеңістіктің барлық нүктелерінде (1.3 б-суретте А пластинаның сол жағында және Б пластинасының оң жағында) осы әр аттас зарядталған пластиналардың кернеуліктері (ξ_A және ξ_B) өзара теңелген және олардың нәтижелестіруші кернеулігі нөлге тең: $\xi = \xi_A - \xi_B = 0$.

Пластиналар арасындағы кеңістікте олардың өрістері жинақталады. Мұндағы мәні бойынша екі бірдей қосындыға және бірдей бағытталған кернеуліктерге ξ_A және ξ_B тең нәтижелестіруші кернеулік пластиналар арасындағы кеңістіктің әрбір нүктесінде бірдей болады:

$$\xi = \xi_A + \xi_B = 2\xi_A = 2\xi_B = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} = \text{const}, \quad (1.10)$$

Мұндағы $\sigma = dQ/dS$ — зарядтың беткі тығыздығы; S — пластина бетінің ауданы.

Q заряды пластиналар бетінде біркелкі таралуы жағдайында,
 $\sigma = dQ/dS = Q/S$.

А және Б пластиналары арасындағы кернеу (1.3б-суретті қараңыз) кернеулікпен қарапайым қатынас арқылы байланысқан:

$$U_{AB} = \xi d. \quad (1.11)$$

(1.11) формулаға сай қарастырылушы есепке кернеулік

$$\xi = U_{AB}/d = 300/2 = 150 \text{ В/мм} = 150 \text{ кВ/м.}$$

Q зарядын (1.10) формуладан кернеулік арқылы өрнектеуге болады:

$$Q = \sigma S = \xi S \epsilon \epsilon_0. \quad (1.12)$$

Осылайша, пластиналардың заряды Q өрістің кернеулігі ξ мен пластина S ауданына пропорционалды және пластинаны қоршаушы ортаның диэлектрлік өтімділігіне байланысты.

Қарастырылушы есеп үшін (1.12) формулаға сай заряд

$$Q = Q_A = -Q_B = \xi \cdot S \epsilon \epsilon_0 = \\ = 150\,000 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} = 3,32 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Анықтамаға сай диэлектриктің беріктік қоры:

$$k_{\text{пр}} = \xi_{\text{пр}} / \xi. \quad (1.13)$$

Ауа $\xi_{\text{пр}} = 3 \text{ кВ/мм}$ кезінде салынғандықтан, ал қарастырылушы жағдайда $\xi = 150 \text{ В/мм}$, онда диэлектриктің беріктік қоры

$$k_{\text{пр}} = \xi_{\text{пр}} / \xi = 3\,000 / 150 = 20.$$

2. А оң зарядталған пластинасынан алыстаған l қашықтыққа байланысты зарядталған пластиналар арасындағы кеңістіктегі электростатикалық өрістің кернеулігі ξ мен потенциалы φ өзгерісінің сипатын анықтау. Остраградский-Гаусс теоремасына сай өрістің кернеулігі ξ оң зарядталған пластинадан кез-келген қашықтықта l (0-ден d -ға дейін) бірдей ($\xi = \text{const}$). (1.11) формулаға сәйкес өрістің кернеулігі ξ олардың арасындағы қашықтықтағы нүктелер арасындағы кернеулердің қатынасына тең. Кернеуліктің өрістің сәйкесінше нүктелері арасындағы потенциалдар айырымына тең болғандықтан, (1.11) формуланы ескере отырып жазуға болады:

$$\varphi_A - \varphi_B = \xi d;$$

$$\varphi_A - \varphi = \xi l.$$

Алынған теңдеулерді шегере отырып, өріс нүктесі потенциалының φ (А пластинасынан l қашықтықта орналасқан) l қашықтыққа тәуелділігін анықтаймыз:

$$\varphi - \varphi_B = \xi d - \xi l = \xi(d - l).$$

В пластинасының потенциалын ($\varphi_B = 0$) потенциалдарын есептеудің басы ретінде қабылдай отырып, алынады:

$$\varphi = \xi(d - l). \quad (1.14)$$

Ең жоғары потенциалға А оң зарядталған пластинасы ие. Ол үшін қашықтық $l = 0$, (1.14) формулаға сай потенциал алынады:

$$\varphi_A = \xi d,$$

(1.11) формулаға сай келеді.

1.3 в-суретте А оң зарядталған пластинасынан алыстағандағы кернеулік ξ пен потенциал φ өзгерістерінің графиктері көрсетілген (1.3б-суретті қараңыз).

Осылайша, нүктелердің Б платинасының жақындауы, яғни 1 қашықтығының ұлғаюымен потенциал φ сызықтық заң бойынша кемиді.

3. Электродтар арасындағы электр өрісіне қуат көзін сөндірудің әсерін бағалау. Егер электродтарды қоршаған ортаны абсолютті изолятор ретінде есептесе, онда зарядталған пластиналардың электр өрісі – электродтар - S кілтін ажыратқаннан кейін де жоғалмайды, яғни электродтардағы Q заряды және электродтар арасындағы кернеулік ξ алдыңғы мәндерін сақтап қалады. Шын мәнінде кез-келген орта белгілі өткізгіштікке ие. Демек, Q_A және $-Q_B$ электродтарының зарядтары бір-бірін бірте-бірте бейтараптайды, ал электр өрісінің кернеулігі баяу кемитін болады. Электродтарды қуаттау үшін қуат көзі электродтарға жалғануы қажет, яғни S кілті тұйықталуы қажет.

4. Электродтар арасындағы қашықтықтың электродтардың электр өрісінің сипаттамаларына әсерін бағалау. Зарядталған электродтар арасындағы электр өрісі әрбір электродтағы кернеулік, Q заряды және U_{AB} кернеуліктерінің мәндерімен сипатталады. Электродтар арасындағы қашықтықтың өзгеруі электр өрісінің сипаттамаларына әртүрлі әсер етеді: қорек көзінің электродтарға жалғанғаны немесе сөндірілгеніне байланысты. Осындағы әрбір жағдаяттарды қарастырайық.

S кілті тұйықталған. 1.3 а-суретте бейнеленген E идеалды көзі жағдайында, яғни оның ішкі кедергісін елемеген кезде, $U_{AB} = E = \text{const}$ (мұндағы E — көздің ЭҚК). Демек, жалғанған көз кезінде электродтар арасындағы қашықтық U_{AB} кернеулігіне әсерін тигізбейді. Осы орайда өрістің кернеулігі мен электродтардың Q зарядтары өзгереді, себебі (1.11) формулаға сай кернеулік ξ электродтар арасындағы d қашықтыққа кері пропорционалды, ал Q заряд (1.12) формулаға сай кернеулікке ξ тура пропорционалды. Соның ішінде, d қашықтықтың n рет азаюы өріс кернеулігі ξ мен Q зарядтың сонша есеге артуына әкеледі (қосымша заряд көзден келіп түседі).

S кілті ажыратылған. Қоршаған орта идеалды диэлектрик жағдайындағы (абсолютті изолятор) зарядталған электродтар арасындағы қашықтықтың өзгеруі кезінде электродтардың Q зарядтары өзгеріссіз қалады. Демек, өрістің кернеулігі де өзгермейді, себебі $\xi = Q/(S_0)$.

U_{AB} электродтары арасындағы кернеулік d қашықтығына тура пропорционалды болып өзгереді, себебі $U_{AB} = \xi d$. Соның ішінде, зарядталған электродтар арасындағы қашықтықтың n есеге кемуі кезінде олардағы кернеулік те n есеге азаяды. Кернеуліктің кемуі электр өрісі энергиясының азаюы мен оның басқа энергия түріне, мысалы жылуға түрлендірілгенін көрсетеді.

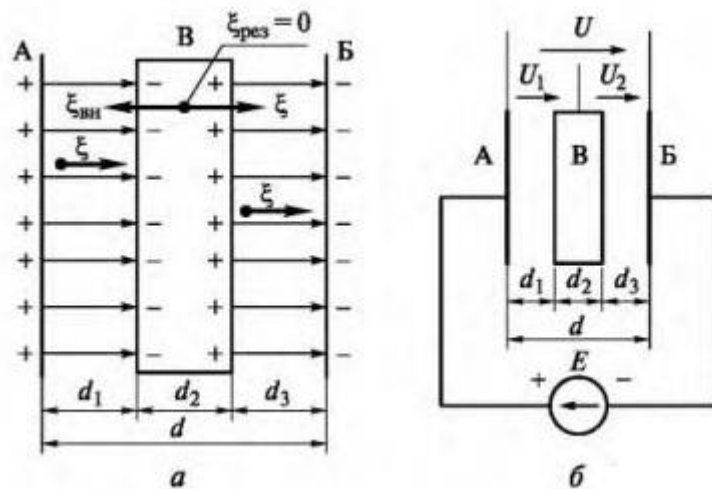
5. Электродтар арасындағы кеңістік толтырушы диэлектриктердің өтімділігіне электр өрісі сипаттамаларының әсерін бағалау. Мұнда да екі жағдаятты қарастыру қажет: S кілті тұйықталған және S кілті ажыратылған.

S кілті тұйықталған. Бұл жағдайда кернеулік диэлектриктің салыстырмалы өтімділігіне қарамастан тұрақты $\xi = U_{AB}/d$ (себебі көздің кернеулігі $U_{AB} = E$ тұрақты, ал қашықтық d өзгеріссіз). Электродтардың зарядтары ($Q_A = -Q_B = Q = \xi S_0$) диэлектриктің салыстырмалы өтімділігінен ϵ тура пропорционалдық тәуелділікте орналасқан, яғни ϵ көп болған сайын, электродтардағы зарядтар да көп болады. Соның ішінде, тұйықталған кілт пен электродтар арасындағы кеңістікті ауамен салыстырғанда үлкен өтімділікке ие диэлектрикпен толтырғанда электродтардағы Q заряды ауа ортасына қарағанда ϵ_2/ϵ_1 есеге көп болады (мұндағы ϵ_2 — жаңа диэлектриктің салыстырмалы өтімділігі; $\epsilon_1 = 1$ — ауаның салыстырмалы өтімділігі; $\epsilon_2 > \epsilon_1$).

S кілті ажыратылған. Кілтті ажыратқан кезде электродтардағы Q заряды алдыңғыдай қалады. Өрістің кернеулігі $\xi = Q/(S_0)$ диэлектриктің салыстырмалы өтімділігіне байланысты кері пропорционалды болады. Соның ішінде, ажыратылған кілт пен электродтар арасындағы кеңістікті ауамен салыстырғанда үлкен өтімділікке ие диэлектрикпен толтырғанда кернеулік ауа ортасына қарағанда $1/\epsilon$ есеге көп болады.

Электродтар арасында орналасқан өткізгіш пластина өрісінің сипаттамаларына (ξ , Q және U_{AB}) әсері. Егер А және В электродтары (1.4а-сурет) арасында болушы кернеулікті ξ электр өрісіне В өткізгіш пластинасын орналастырғанда, электростатикалық индукция құбылысының күшіне орай осы пластинада зарядтардың бөлінуі жүреді. В пластинасында индуцирленген зарядтар электродтар өрісіне қарсы бағытталған ξ кернеулігі бар ішкі өрісті туындатады. Өткізгіште өлшемі бойынша кез-келген сыртқы өрісті өтеуге шамасы жететін зарядтар болғандықтан, онда $\xi_{вн} = \xi$ және өрістің нәтижелеуші өрісі өткізгіш ішінде нөлге тең болады:

$$\xi_{рез} = \xi - \xi_{вн} = 0.$$



1.4-сурет. Электродтар арасында металдық пластинаның орналасуы:

a — электр өрісінің суреті; *б* — пластиналарды зарядтау схемасы.

Осының салдарынан өткізгіш ішінде кернеулік сызықтарының үзілуі орын алады.

d_1 және d_3 аймақтарындағы сызықтық күштердің U_{AB} және U_{BB} кернеуліктерін сәйкесінше потенциалдарың айырымы ретінде қарастырайық. Онда (1.11) формулаға сәйкес:

$$\varphi_A - \varphi_B = \xi d_1;$$

$$\varphi_B - \varphi_B = \xi d_3.$$

Алынған теңдеулерді қоса отырып, электродтар арасындағы кернеулік анықталады:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \xi(d_1 + d_3). \quad (1.15)$$

$d_1 + d_3 = d - d_2$ болғандықтан, онда (1.15) өрнегінен алынады:

$$U_{AB} = \xi(d - d_2). \quad (1.16)$$

Сонымен, (1.16) өрнектен электродтар арасындағы кеңістікке өткізгіш пластинаны енгізу электродтарды осы пластинаның еніне жақындастырумен бірдей екендігі көрсетілді.

1.4 Жазық конденсатор

1.5- есеп. Егер жұмыс кернеуі $U = 380$ В, әрбір пластина ауданы $S = 5$ см² және диэлектрик ретінде салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 6$, ал электрлік беріктігі (тесіп өту кернеуі) $\xi_{пр} = 88 \cdot 10^6$ В/м (2 қосымша) болатын слюда қолданылған болса (қосымша 2), сыйымдылығы $C = 1770$ пФ (1 пФ = $1 \cdot 10^{-12}$ Ф) болатын жазық конденсатордың пластиналары арасындағы d қашықтықты және $k_{пр}$ беріктік қорын анықтау (1.3а-суретті қараңыз).

Егер конденсатор пластиналары арасындағы слюданы парафинделген қағазбен алмастырғанда ($\xi = 4,3$; $\xi_{\text{пр}} = 15 \cdot 10^6 \text{ В/м}$) U өзгеріссіз жұмыс кернеуі кезіндегі конденсатордың дәл сол сыйымдылығы C мен беріктік қорын $k_{\text{пр}}$ қамтамасыз етуші конденсатор өлшемін (d және S) анықтау. Өзгеріссіз сыйымдылық кезіндегі конденсатордың беріктік қасиеттерінің артуы оның өлшеміне қалай әсер ететіндігін бағалау.

Шешімі. 1. Диэлектрик ретінде слюданы қолданған кездегі жазық конденсатордың пластиналар арасындағы d қашықтықты және $k_{\text{пр}}$ беріктік қорын анықтау. Жазық конденсатордың сыйымдылығы оның параметрімен анықталатыны белгілі:

$$C = \frac{S \epsilon \epsilon_0}{d}, \quad (1.17)$$

бұдан пластиналар арасындағы қашықтық

$$d = \frac{S \epsilon \epsilon_0}{C} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 6 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{1770 \cdot 10^{-12}} = 0,015 \text{ мм.}$$

Жазық конденсатордың пластиналары арасындағы кернеулікті (1.11) формулаға сай анықтайды:

$$\xi = \frac{U}{d} = \frac{380}{0,015 \cdot 10^{-3}} = 25,3 \cdot 10^6 \text{ В/м.}$$

Диэлектриктің электрлік беріктігінің қорын (1.13) формуламен анықтайды:

$$k_{\text{пр}} = \frac{\xi_{\text{пр}}}{\xi} = \frac{88 \cdot 10^6}{25,3 \cdot 10^6} = 3,5.$$

2. Диэлектрикті алмастыру кезіндегі конденсатордың өлшемдерін анықтау. Диэлектрикті алмастыру кезінде электрлік беріктік m есеге кемиді, $m = \xi_{\text{пр. слюды}} / \xi_{\text{пр. бумага}}$. (1.13) формулаға сай электрлік беріктік қорын $k_{\text{пр}}$ сақтау өрістің кернеулігін сонша есеге азайту арқылы қамтамасыз етілуі мүмкін: $\xi' = \xi / m$ (мұнда және ары қарай штрихпен өлшемдердің жаңа мәндері белгіленеді).

(1.11) өрнегіне сай өзгеріссіз кернеу кезіндегі өріс кернеулігінің кемуін d қашықтықты m есеге арттыру арқылы қамтамасыз етуге болады: $d' = dm$.

Осы орайда конденсатордың өзгеріссіз сыйымдылығын қамтамасыз ету үшін (1.17) формулаға сай $S \epsilon$ туындысын m есеге ұлғайтуды талап етеді: $S' = S m$, бұдан $S' = S m / \epsilon'$.

Онда слюданы ($\epsilon = 6$) парафинделген қағазбен ($\epsilon' = 4,3$) алмастыру

кезіндегі конденсатордың өлшемдері келесі жолмен анықталады:

$$m = \frac{\xi_{\text{пр.слюды}}}{\xi_{\text{пр.бумаги}}} = \frac{88 \cdot 10^6}{15 \cdot 10^6} = 5,87;$$

$$d' = dm = 0,015 \cdot 5,87 = 0,088 \text{ мм};$$

$$S' = S \frac{\varepsilon}{\varepsilon'} m = 5 \frac{6}{4,3} 5,87 = 40,93 \text{ см}^2.$$

Осылайша, конденсаторды диэлектрикті алмастыру кезінде берілген жағдайларды қамтамасыз ету үшін диэлектриктің қалыңдығын 5,87 есеге және пластина ауданын $S'/S = 40,93/5 = 8,186$ есеге ұлғайтқан жөн.

3. Конденсатор өлшемдерінің оның беріктік қорына әсерін бағалау. (1.13) өрнекте келтірілгендей, беріктік қоры $k_{\text{пр}}$ диэлектриктің тесіп өту кернеулігі $\xi_{\text{пр}}$ және конденсатор астары арасындағы өрістің кернеулігімен анықталады. Демек, өзгеріссіз диэлектрикте $\xi_{\text{пр}}$ артуына кернеулікті ξ сонша есеге азайту арқылы қол жеткізіледі.

Қуат көзінің өзгеріссіз кернеуінде (1.11) өрнегіне сай кернеулікті азайтуды пластиналар арасындағы қашықтықты (астарын) сонша есеге ұлғайту арқылы мүмкін болады.

Өзгеріссіз диэлектрик жағдайындағы пластиналар арасындағы d қашықтықты ұлғайтқанда (1.17) формуласына сай сыйымдылық өзінің алдыңғы мәнін әрбір пластина ауданын сонша есеге ұлғайтқан кезінде де сақтап қала алады.

Мысалы, қарастырылушы есепте слюдалы диэлектрикті қолданғандағы $k_{\text{пр}}$ 2 есеге ұлғайтуды (яғни 3,5-нан 7-ге дейін) сәйкесінше d қашықтықты 0,015-тен 0,03мм-ге және S ауданды 5-тен 10 см^2 -ге дейін арттырғанда мүмкін болады.

Тәжірибеде конденсаторлар көпшілік жағдайда $k_{\text{пр}} = 2...3$ беріктік қорымен жасап шығарылады. Кейде ғана $1,5 \leq k_{\text{пр}} < 2,0$ немесе $3 < k_{\text{пр}} \leq 10$. Көріп отырғанымыздай, беріктік қорының ұлғаюы өлшемдердің артуына, демек, конденсаторлар құнының артуына әкеледі, яғни аса қажеттілік жоқ жағдайда конденсатордың беріктік қорын арттыруға талпынудың қажеті жоқ.

1.5 Цилиндрлік конденсатор

1.6 есеп. Қорғасындалған бір талшықты кабелдің мысты талшығы қорғасынды қаптамасынан резеңке изоляциямен бөлінген. Талшықтың қимасы 16 мм^2 . Кабельге кернеу $U = 10 \text{ кВ}$ жүргізілген.

Резеңке изоляцияның ($\varepsilon = 4$; $\xi_{\text{пр}} = 18 \cdot 10^6 \text{ В/м}$) қандай қалыңдығында ондағы электр өрісінің кернеуі $6 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ аспайды және осы орайдағы ұзындығы 1 м бірталшықты кабелдің беріктігі мен сыйымдылығы қандай екендігін анықтау.

Шешімі. 1. Резеңке изоляцияның қажетті қалыңдығын есептеу. Кабельді цилиндрлік конденсатор ретінде елестетейік (1.5-сурет) және центрден r қашықтықта орналасқан және астарына жүргізілген U кернеуі бар цилиндрлік конденсатор астары арасындағы кейбір нүктелерде өріс кернеулігін байланыстырушы белгілі өрнекті пайдаланайық:

$$\xi = \frac{U}{r \ln(R_2/R_1)} \quad (1.18)$$

(1.18) формуладан кабель ішіндегі өріс кернеулігі талшық бетінде максималды мәнге ие болатыны көрінеді, яғни $r = R_1$ кезінде

$$\xi_{\text{max}} = \frac{U}{R_1 \ln(R_2/R_1)}. \quad (1.19)$$

Есеп шарты бойынша кернеулік берілген мәннен аспайтын болғандықтан, онда $\xi_{\text{max}} = 6 \cdot 10^6 \text{ В/м}$.

Мыс талшығының радиусы

$$R_1 = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{16 \cdot 10^{-6}}{\pi}} = 2,26 \text{ мм.}$$

Қорғасынды қаптаманың радиусы R_2 (1.19) өрнегінен анықталады:

$$\begin{aligned} \ln \frac{R_2}{R_1} &= \frac{U}{\xi_{\text{max}} R_1} = \\ &= \frac{10\,000}{6 \cdot 10^6 \cdot 2,26 \cdot 10^{-3}} = 0,74, \end{aligned}$$



1.5-сурет. Цилиндрлік конденсатор

бұдан

$$R_2 = R_1 e^{0,74} = 2,26 e^{0,74} = 2,26 \cdot 2,1 = 4,75 \text{ мм.}$$

Изоляция қалыңдығы $a = R_2 - R_1 = 4,75 -$

2,26 = 2,49 мм.

2. Кабельдің беріктік қорын анықтау. (1.13) формулаға сәйкес резеңке изоляцияның беріктік қоры:

$$k_{пр} = \frac{\xi_{пр}}{\xi} = \frac{18 \cdot 10^6}{6 \cdot 10^6} = 3.$$

3. Кабель сыйымдылығын есептеу. Цилиндрлік конденсатордың сыйымдылығы кабельдің параметрлеріне байланысты және мынадай формуламен анықталады:

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln(R_2/R_1)}, \quad (1.20)$$

Мұндағы l — кабель ұзындығы.

(1.20) формулаға сай бір метр кабельдің сыйымдылығы

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 1}{\ln(4,75/2,26)} = 300 \text{ пФ}.$$

1.6 Өткізгіштердің сыйымдылығын есептеу

1.7 есеп. Егер Жердің R радиусы 6 357 км тең болса, оның сыйымдылығын есептеу.

Шешімі. 1. Оңашаланған сфераның оның параметрлері арқылы сыйымдылық өрнегі. Жердің сыйымдылығын оңашаланған сфера түрінде анықтайық (1.6-сурет). Ол үшін оңашаланған сфераны сыртқы сфералық беті шексіздікке жатқызылған R радиусы бар сфералық конденсатордың бір астары (ішкі) ретінде елестетейік.

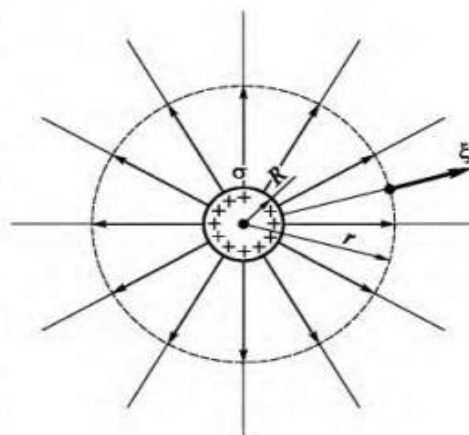
Остроградский-Гаусс теоремасына сай $r > R$ радиусында орналасқан нүктелердегі конденсатор астарлары арасындағы электр өрісінің кернеулігі ξ конденсатордың ішкі сферасының зарядымен ғана анықталады.

1.6-сурет. Зарядталған сфераның электр өрісі.

Сфера заряды кернеулігі мынадай формуламен есептелінетін өріс туындатады:

$$\xi = \frac{\sigma R^2}{\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi R^2} \frac{R^2}{\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}. \quad (1.21)$$

Сфералық конденсатор астарлары арасындағы өріс біркелкі болмағандықтан, кернеулік айтарлықтай өзгеріске ұшырамайтын шексіз кіші үзіктерден тұратын қашықтықты ($r-R$) елестетейік. Онда сфералық конденсатор астарлары арасындағы кернеулік



(1.11) формулаға сай анықталады:

$$U = \int_R^{\infty} \xi dr. \quad (1.22)$$

(1.21) өрнегін (1.22) формуласына қоя отырып, (1.23) алынады:

$$\begin{aligned} U &= \int_R^{\infty} \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_R^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} \Big|_R^{\infty} \right) = \\ &= \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}. \end{aligned} \quad (1.23)$$

Анықтамаға сай конденсатор сыйымдылығы

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (1.24)$$

(1.23) өрнегін (1.24) қою арқылы оңашаланған сфераның сыйымдылығын есептеуге арналған формула алынады:

$$C = \frac{Q}{U} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R. \quad (1.25)$$

2. Жердің сыйымдылығын есептеу. (1.25) формуласы бойынша Жерді ауа қоршайтындығын ($\epsilon = 1$) ескере отырып Жердің сыйымдылығы анықталады:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R = 4\pi \cdot 1 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 6357 \cdot 10^3 = 7 \cdot 10^{-4} \text{ Ф.}$$

1.8 есеп. Егер сым арасындағы қашықтық 60 см құрағанда, ұзындығы $l = 1$ км, диаметрі $2R = 9$ мм болатын ауалы екі сымды сызықтың сыйымдылығын анықтау (1.7-сурет).

Шешімі. Екі сымды сызықтың сыйымдылығы мына формуламен анықталады:

$$C = \frac{\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln(a/R)}, \quad (1.26)$$

ұсынылған жағдайларда:

$$C = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 10^3}{\ln(60 \cdot 10^{-2} / 4,5 \cdot 10^{-3})} = 5,685 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 5685 \text{ пФ.}$$

1.7-сурет. Екі сымды сызық

1.7 Өздігінен шешуге арналған есептер

1.9. Зарядтан 40 мм қашықтықта вакуумде орналасқан нүктелік заряд өрісінің кернеулігі 75 кВ/м тең. Осы зарядты анықтау.

1.10. Зарядтан $r_1 = 2$ см қашықтықта ауада орналасқан $+Q$ нүктелік заряды $\phi_1 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ В потенциалын туындатады. Q зарядын,

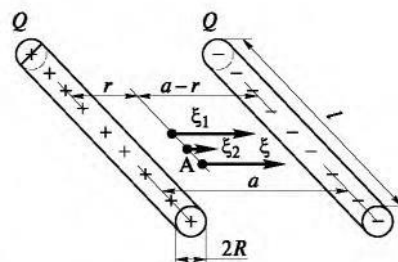
сондай-ақ зарядтан $r_2 = 1$ см қашықтықтағы потенциалды ϕ_2 және кернеулікті E_2 анықтау.

1.11. Диаметрі 2 см металдық шарик ауада орналасқан және $3 \cdot 10^{-10}$ Кл зарядқа ие. Зарядталған шариктің барлық тең потенциалды беттерінің радиустарын, шексіз алысталған нүктенің потенциалын нөлге теңестіре отырып, 50 В ерекшеленетін потенциалдарды анықтау.

1.12. $+4q$ нүктелік зарядынан 15 см оң жақта $+q$ нүктелік заряды орналасқан. Кернеулік нөлге тең болғандағы өріс нүктесінің орнын табу және q заряды таңбасының өзгерісінде ағымдағы нүкте орнының қалай өзгертіндігін бағалау.

1.13. Q нүктелік заряды ауада r қашықтықта электр өрісінің ϕ потенциалын туындатады. Дәл осындай потенциалды дистилденген суда ($\epsilon = 80$) туындататын зарядты анықтау.

1.14. $Q = -3 \cdot 10^{-5}$ Кл нүктелік заряды майда орналасқан ($\epsilon = 2,25$). Зарядтан 50 см қашықтықта орналасқан A нүктесіндегі Q заряды өрісінің кернеулік мәні мен бағытын және A нүктесіне енгізілген $q = 3 \cdot 10^{-7}$ Кл сынама зарядқа әсер етуші күшті есептеу. q сынама заряды таңбасының өзгерісі ξ және F өлшемдеріне қалай әсер ететіндігін анықтау.



- 1.15.** Нүктелік зарядтың электр өрісінің А және Б нүктелері арасындағы кернеулік $U_{AB} = 7,2$ В тең. Заряд суда орналасқан ($\epsilon = 60$), ал нүктелер зарядтан сәйкесінше 10 және 50 см алысталған. Зарядтың мәнін анықтау.
- 1.16.** $Q = 2 \cdot 10^{-11}$ Кл нүктелік заряды майда түзілген ($\epsilon = 2,26$) диаметрі 20 мм шар тәрізді ауа көбігінің центрінде орналасқан. Көбіктің сыртқы және ішкі беттеріндегі электр өрісінің кернеулігін және екі ортаның шекарасындағы электр өрісінің кернеулігіні (көбіктің ішкі және сыртқы беттері арасындағы потенциалдар айырымы) анықтау.
- 1.17.** Q_1 және $Q_2 = 2Q_1$ оң нүктелік зарядтар ауада бір-бірінен 5 см қашықтықта орналасқан. Олардың әрекеттесу күші $F = 2,9 \cdot 10^{-5}$ Н. Зарядтардың мәнін, сондай-ақ басқа зарядтың орналасу нүктесіндегі бөлек әрбір зарядтағы өрістер кернеуліктерінің бағыты мен мәндерін анықтау. Әрбір зарядқа әсер етуші күштердің векторларын тұрғызу.
- 1.18.** $Q_1 = 1 \cdot 10^{-7}$ Кл және $Q_2 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл екі нүктелік заряды бір-бірінен минералдық майда ($\epsilon = 2,25$) 50 см қашықтықта орналасқан. Осы зарядтардың ортасында орналасқан нүктедегі кернеулік пен потенциалды есептеу, және көрсетілген нүктедегі кернеулік бағытын анықтау.
- 1.19.** Бір тура сызықта орналасқан үш нүктелік заряды $Q_1 = Q_3 = -4 \cdot 10^{-6}$ Кл және $Q_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл вакуумде орналасқан. Q_2 заряды Q_1 және Q_3 зарядтарының ортасында әрбірінен 0,35 м қашықтықта орналасқан. Әрбір зарядқа әсер етуші күштерді анықтау.
- 1.20.** Егер зарядтың беттік тығыздығы $= 1 \cdot 10^{-11}$ Кл/см² болғанда өзара ұзындығы 5 мм ауалық аралықпен бөлінген екі әр аттас зарядталған пластиналар арасындағы потенциалдар айырымын анықтау.
- 1.21.** Екі жазық жіңішке параллельді пластиналарды қуат көзіне жалғады (1.3 а-сурет). Зарядтаудан соң, пластиналар арасында өріс кернеулігі $\xi = 200$ В/мм болғанда қуат көзін сөндірді және олардың арасындағы қашықтықты 1-ден 0,5 мм-ге дейін өзгертті. Пластиналар арасындағы қашықтықты өзгерткенге дейінгі және кейінгі олардың кернеуліктерін табу.
- 1.22.** Металдық жазық пластиналар арасындағы кеңістік электрлік беріктігі $\xi_{пр} = 15 \cdot 10^3$ В/мм болатын парафинделген қағазбен толтырылған. Пластиналар арасындағы қашықтық 0,3 мм. Диэлектриктің беріктік қоры 10-тең кезінде пластиналарға жүргізуге болатын максималды рұқсат етілген кернеулікті анықтау.
- 1.23.** Жазық өткізгіш А және Б пластиналары арасындағы кеңістікке металдық жайманы В енгізді (1.4б-сурет). Егер $d_1 = d_3 = 1$ мм, $d_2 = 2$ мм, ал А және Б пластиналары арасындағы кернеулік $U = 450$ В болғанда пластиналар өрістерінің кернеулігі мен U_1 , U_2 кернеуліктерін есептеу. В пластинасының мәні нөлге тең ($\phi_B = 0$) болған жағдайдағы А және Б пластиналарының потенциалдарын (ϕ_A және ϕ_B) табу.
- 1.24.** Жазық ауа конденсаторы астарлары арасындағы кернеулік 220 В, ал олардың арасындағы қашықтық 1 мм, әрбір пластинаның ауданы 72 см². Конденсатордың әрбір астарының зарядын табу.
- 1.25.** Жазық конденсатор пластиналарының арасындағы кеңістік қалыңдығы 2 мм парафинделген қағазбен толтырылған ($\epsilon = 4,3$). Әрбір

пластинаның ауданы 20 см^2 . Әрбірінің заряды $2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ тең болуы үшін конденсатор астарларына қандай кернеу жүргізу қажеттігін анықтау.

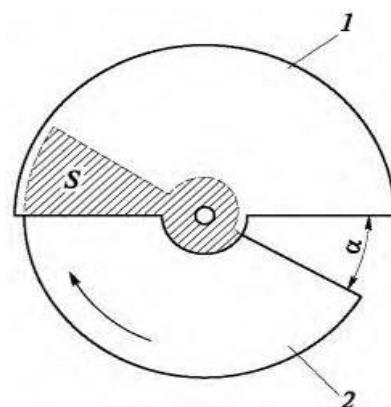
1.26. Егер бір-бірінен 10 мм қашықтықта орналасқан пластиналар арасына қалыңдығы 2 мм металдық жайманы параллель енгізгенде жазық конденсатордың электр өрісінің кернеулігі қалай өзгеретіндігін анықтау.

1.27. Жазық конденсатордың А және Б пластиналары арасындағы d қашықтық 15 мм тең (1.46-суретті қараңыз). Пластиналар арасындағы кеңістікте А пластинасынан $d_1 = 7 \text{ мм}$ қашықтықта қалыңдығы $d_2 = 1 \text{ мм}$ В металдық пластинасы орналасқан. А және Б пластиналарының потенциалдары сәйкесінше $\varphi_A = +65 \text{ В}$, $\varphi_B = -45 \text{ В}$ болғандағы В пластинасының потенциалын анықтау.

1.28. Ауданы 82 см^2 жазық конденсатордың екі пластинасының әрқайсысы бір-бірінен қалыңдығы $0,15 \text{ мм}$ диэлектрлік өтімділігі $= 3,14$ кабельдік қағазбен оқшауланған. Конденсатордың сыйымдылығын анықтау.

1.29. Слюдалы диэлектригі $(\epsilon = 6; \xi_{\text{пр}} = 880 \text{ кВ/см})$ бар жазық конденсатордың сыйымдылығы 200 пФ болуы қажет. 5 кВ кернеулік кезінде үш еселік беріктік қорын қамтамасыз етуші пластинаның ауданы мен диэлектриктің қалыңдығын анықтау.

1.30. Қозғалмалы пластиналардың 1, 2 (1.8-сурет) бұрылуы бар ауыспалы сыйымдылықты $C = 50 \dots 200 \text{ пФ}$ конденсаторда максималды сыйымдылықты орнатты және оны $6,3$ кернеулігі бар қуат көзімен зарядтады. Зарядтаудан соң конденсаторды қорек көзінен ажыратты және онда минималды сыйымдылықты орнатты. Осы жағдай кезінде конденсатордағы кернеуліктің және конденсатор электр өрісі энергиясының қалай өзгергендігін анықтау.



1.31. Егер ішкі цилиндрдің диаметрі 30 мм , ал сыртқы цилиндрдің диаметрі 40 мм болғанда ауа қабатымен бөлінген ұзындығы $0,5 \text{ м}$ екі коаксиальды цилиндрлердің сыйымдылығын табу.

1.8-сурет. Ауыспалы сыйымдылықты конденсатор:
1, 2 — қозғалмалы пластиналар.

1.32. Парафинделген қағазбен $(\epsilon = 4; \xi_{\text{пр}} = 18 \cdot 10^6 \text{ В/м})$ изоляциясы бар бірталшықты кабель (1.5-суретті қараңыз) радиусы $R_1 = 3 \text{ мм}$ болатын мысты талшыққа ие. Егер беріктік қоры $\kappa_{\text{пр}} = 2$ кезінде талшық пен қорғасын қабаты арасына $U = 20 \text{ кВ}$ кернеулігі жүргізілетін жағдайда қағаз изоляцияға қапталған қорғасын қаптамасының радиусын R_2 анықтау. 1 м ұзындығына келетін кабельдің сыйымдылығын C_0 табу.

1.33. $18,5 \text{ кВ}$ кернеуді көтеруге шамасын келтіру үшін диаметрі 10 мм кабелдің мысты талшығына қажетті салынатын қағаз изоляциясының $(\epsilon = 2,5; \xi_{\text{пр}} = 14 \cdot 10^6 \text{ В/м})$ қалыңдығын табу.

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ ЖАУАПТАРЫ

1.9. $1,33 \cdot 10^{-8}$ Кл.

1.10. $1,1 \cdot 10^{-18}$ Кл; $1 \cdot 10^{-6}$ В; $1 \cdot 10^{-4}$ В/м.

1.11.

φ, В	0	50	100	150	200	250
r, мм	∞	54	27	18	13,5	10,8

1.12. $+q$ зарядынан 5 см және $+4q$, зарядынан 10 см; $-q$ зарядан 15 см және $+4q$ зарядынан 30 см.

1.13. 80 Q.

1.14. 479 кВ/м; 0,144 Н; егер q заряд таңбасы оң болса $\vec{\zeta}_A$ және \vec{F}_A векторлары зарядқа бағытталған; q зарядының таңбасы өзгергенде \vec{F}_A векторының бағыты ғана өзгереді.

1.15. $6 \cdot 10^{-9}$ Кл.

1.16. 1,8 кВ/м; 0,8 кВ/м; 10 В.

1.17. $2 \cdot 10^{-9}$ Кл; $4 \cdot 10^{-9}$ Кл; 7,22 кВ/м; 14,44 кВ/м.

1.18. 6,39 кВ/м; 4,8 кВ. Кернеулік Q_1 зарядына бағытталған.

1.19. 0,29 Н; 0; 0,29 Н.

1.20. 56,5 В.

1.21. 200 В; 100 В.

1.22. 450 В.

1.23. 225 В/мм; 225 В; 225 В; 225 В; -225 В.

1.24. $1,4 \cdot 10^{-8}$ Кл.

1.25. 530 В.

1.26. 1,25 есеге ұлғаяды.

1.27. 10 В.

1.28. $1,5 \cdot 10^{-3}$ мкФ.

1.29. 0,17 мм; 6,42 см².

1.30. Кернеулік 6,3-тен 25,2-ге дейін артты, ал энергия $4 \cdot 10^{-9}$ -тен $16 \cdot 10^{-9}$ Дж-ге дейін.

1.31. 97 пФ.

1.32. 6,3 мм; 300 пФ/м.

1.33. 1,5 мм.

2 ТАРАУ

ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІНІҢ НЕГІЗГІ ҰҒЫМДАРЫ

2.1 Электр тогы. Кедергі. Тізбек бөлігі үшін Ом заңы. Токтың жұмысы мен жылулық әсері

21 -есеп. Тұтынушы электрэнергиясын қимасы $S = 6 \text{ мм}^2$ болатын алюминий сымнан жасалған екі сымды электрлік берілісті сызық бойынша қорек көзінен алады. Қорек көзінен тұтынушыға дейінгі қашықтық 300 м. Тікелей іске қосылғаннан кейінгі сызықтағы ток күші $I = 50 \text{ А}$ тең.

R сызығының кедергісін, қоршаған ауа температурасы $20 \text{ }^\circ\text{C}$ кезіндегі сызықтағы U кернеудің жоғалтымын және қоршаған орта температурасы $+30$ -дан $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ -дейін шамасында өзгергенде сызықтың алюминий сымның кедергісінің өзгеріс диапазонын анықтау.

Шешімі. 1. $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ кезінде сызықтың кедергісі мен сызықтағы кернеуліктердің жоғалтымын есептеу. Сызық екі сымды болғандықтан, онда сымның ұзындығы

$$l = 2 \cdot 300 = 600 \text{ м.}$$

Тартылған сызықтың өткізгіштің кедергісі

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.1)$$

Мұндағы — өткізгіштің меншікті кедергісі.

$20 \text{ }^\circ\text{C}$ температурада алюминийдің кедергісі $\rho_{20} = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ (қосымша 3) болғандықтан, онда (2.1) формулаға сай $20 \text{ }^\circ\text{C}$ кезіндегі сызықтың кедергісі

$$R_{20} = \rho_{20} \frac{l}{S} = 0,028 \cdot 600/6 = 2,8 \text{ Ом.}$$

Сызықтағы кернеуліктердің жоғалтымын тізбек бөлігі үшін Ом заңымен анықталады:

$$U = R_{20} I = 2,8 \cdot 50 = 140 \text{ В.}$$

2. Қоршаған орта температурасының өзгерісінде кедергінің өзгеру диапазонын есептеу. Кез-келген температурадағы өткізгіштің кедергісі мынадай өрнекпен анықталады:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (2.2)$$

Мұндағы R_1 және R_2 — температураның сәйкесінше бастапқы t_1 және соңғы t_2 мәндеріндегі кедергісі; — кедергінің температуралық коэффициенті.

$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ кезінде кедергі $R_1 = R_{20} = 2,8 \text{ Ом}$.

$+30 \text{ }^\circ\text{C}$ және $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ тең t_2 мәндерінде алюминий сымның кедергісін R_2 (2.2) формула бойынша алюминийдің температуралық коэффициенті $= 0,005 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

(қосымша 3) ескере отырып анықталады:

$$R_{+30} = R_{20}[1 + (t_2 - t_1)] = 2,8(1 + 0,005(30 - 20)) = 2,94 \text{ Ом.}$$

$$R_{-30} = R_{20}[1 + (t_2 - t_1)] = 2,8(1 + 0,005(-30 - 20)) = 2,1 \text{ Ом.}$$

Демек, алюминий сым кедергісінің өзгеріс диапазоны

$$R = R_{+30} - R_{-30} = 2,94 - 2,1 = 0,84 \text{ Ом.}$$

22 -есеп. Электрлік машина қоздыру орамы $U= 120 \text{ В}$ кернеулігіне қосылған. Бөлмедегі ауа температурасы $t_1= 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Қосқаннан кейін тізбектегі ток күші $I_1 2 \text{ А}$ құрады.

Егер жұмыс режимі кезінде ток күші $I_2= 1,5 \text{ А}$ болса, онда мыс сыммен оралған машинаның қоздыру орамы қандай температураға дейін қыздырылатынын және осы кезде орама сым кедергісінің салыстырмалы және абсолюттік өзгерісі неге тең екендігін анықтау.

Шешімі. 1. Машинаның қоздыру орамының қыздырылу температурасын есептеу. Тізбек бөлігі үшін Ом заңы бойынша тікелей қосылудан кейін (R_1) және жұмыс режимі (R_2) кездерінде қоздыру орамының кедергісі анықталады:

$$R_1 = U/I_1 = 120/2 = 60 \text{ Ом}; R_2 = U/I_2 = 120/1,5 = 80 \text{ Ом.}$$

Қоздыру орамын қыздыру температурасын есептеуге арналған өрнекті (2.2) формуладан алынады:

$$t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha}. \quad (2.3)$$

Мыстың температуралық коэффициенті $= 0,004 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (қосымша 3) ескере отырып, (2.3) формулаға сай анықталады:

$$t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} = 20 + \frac{80 - 60}{60 \cdot 0,004} = 103,3 \text{ }^\circ\text{C.}$$

2. Орама сым кедергісінің салыстырмалы және абсолюттік өзгерістерін есептеу. (2.2) формуладан кедергінің салыстырмалы көбеюі температураның абсолютті көбеюіне пропорционалды екендігі көрінеді:

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1). \quad (2.4)$$

(2.4) формулаға сай орама сым кедергісінің салыстырмалы көбеюі

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1) = 0,004(103,3 - 20) \cdot 100 = 33 \text{ \%}.$$

Кедергінің абсолюттік өзгерісі

$$\Delta R = R_2 - R_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} R_1 = 0,33 \cdot 60 = 20 \text{ Ом.}$$

23 -есеп. Электр пешінің қыздырушы элементі ұзындығы $l= 10 \text{ м}$ және диаметрі $d= 0,15 \text{ мм}$ болат сымнан жасалған.

Егер қыздырушы элементті $U= 220 \text{ В}$ кернеуге жалғағанда жұмыс режимінде $I = 1,82 \text{ А}$ токты тұтынса, сым қанша температураға дейін қыздырылғанын анықтау. Осы орайда қыздыру элемент сымның меншікті

кедергісі нешеге тең екендігін және бір тәулік үздіксіз жұмыс уақытында қыздырушы элемент қанша электрэнергиясын тұтынатындығын табу. Қыздырушы элементтің бірдей жұмыс режимдерін қамтамасыз ету үшін бірдей қима кезіндегі қайсы сым қысқарақ болуы қажет екендігін бағалау: болатты, никельді және нихромды.

Шешімі. 1. Э л е м е н т т і қ ы з д ы р у т е м п е р а т у р а с ы н е с е п т е у . Сымның көлденең қимасының ауданын анықтайық:

$$S = d^2/4 = -0,15^2/4 = 0,018 \text{ мм}^2.$$

Болаттың меншікті кедергісі $\rho_{20} = 0,13 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ (қосымша 3) екендігін ескере отырып, (2.1) формула бойынша $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ кезіндегі $R_1 = R_{20}$ қыздырушы элементтің кедергісі анықталады:

$$R_1 = R_{20} = \rho_{20} \frac{l}{S} = 0,13 \cdot 10/0,018 = 73,6 \text{ Ом}.$$

Ыстық күй кезіндегі (жұмыс режимі) сымның кедергісі Ом заңына сай:

$$R_2 = U/I = 220/1,82 = 120,9 \text{ Ом}.$$

(2.3) формула бойынша болаттың температуралық коэффициенті $= 0,005 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (қосымша 3) ескергенде, сымның t_2 қыздырылу температурасы анықталады:

$$t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} = 20 + \frac{120,9 - 73,6}{73,6 \cdot 0,005} = 148,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2. Қыздырылған сымның меншікті кедергісін анықтау. Егер сымның көлденең қимасының ұзындығы мен ауданындағы өзгерістері шамалы ғана және оны елемеу мүмкін болса, онда (2.1) формулаға сай ыстық сымның меншікті кедергісі кедергінің ұлғаюына пропорционалды түрде артады:

$$l = R_2/R_{20} = 120,9/73,6 = 1,64.$$

Онда

$$= \cdot 1,64 = 0,13 \cdot 1,64 = 0,214 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$$

3. Қыздырушы элементпен жұмсалған электрэнергиясын е с е п т е у . Қыздырушы элемент тұтынатын электрэнергиясы мынадай өрнекпен анықталады:

$$A_{\text{потр}} = P_{\text{потр}} t, \quad (2.5)$$

мұндағы $P_{\text{потр}} = UI$ — элемент тұтынатын қуаттылық; t — қыздырушы элементтің үздіксіз жұмыс істеу уақыты.

$P_{\text{потр}} = UI$ өрнегін (2.5) формулаға қойғанда, алынады:

$$A_{\text{потр}} = UIt. \quad (2.6)$$

Осылайша, (2.6) формулаға сай қыздырушы элементтің тұтынатын энергиясы

$$A_{\text{потр}} = UIt = 220 \cdot 1,82 \cdot 24 = 9,6 \text{ кВт} \cdot \text{с}.$$

4. Қыздырушы элемент үшін әртүрлі сымдардың қажетті ұзындықтарын салыстыру. Қыздырушы элементтің бірдей жұмыс режимін қамтамасыз ету үшін осы сымдар бірдей кедергіге ие болулары қажет. Есептің шарты бойынша салыстырылушы сымдардың қимасы бірдей

болғандықтан, онда екі салыстырылушы сым үшін (2.1) формуласы бойынша

$$\rho_1 l_1 = \rho_2 l_2.$$

Алынған қатынастан берілген жағдайларда сымдардың ұзындығы жұмыс режимінің температурасына қарамастан берілген материалдардың меншікті кедергілеріне кері пропорционалды:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (2.7)$$

Мұндағы «1» индексі никелинге, ал «2» - нихромға сай келсін.

$t = 20$ °С кезіндегі қарастырылушы материалдардың меншікті кедергілерінің мәндері белгілі (қосымша 3):

$$= 0,42 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}; = 1,1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$$

Онда (2.7) формуласына сай

$$l = 2 / 1 = 1,1 / 0,42 = 2,6.$$

Енді «1» индексі болатты сымға ($\rho_1 = 0,13 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$), ал «2» индексі— нихромға сай келсін. Онда:

$$l = 2 / 1 = 1,1 / 0,13 = 8,5.$$

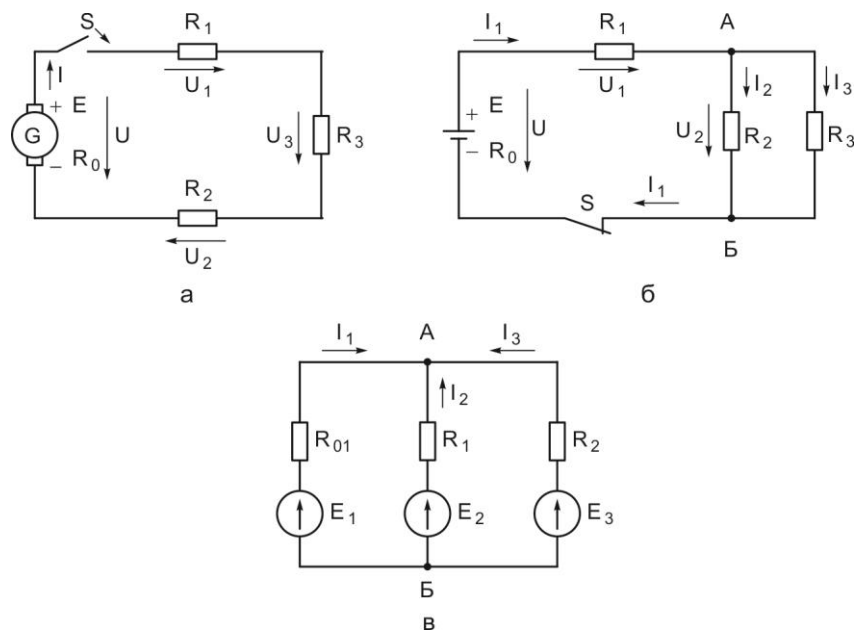
Осылайша, нихромды сым никелинге қарағанда 2,6 есе және болаттыға қарағанда 8,5 есеге қысқа болуы қажет.

2.2 Электр тізбектерінің схемалары мен түрлері

24 -есеп. 2.1-суретте көрсетілген электр тізбектерінің схемаларындағы элементтердің тағайындалуын және қорек көздерінің қабылданған белгілеулерін қолдану ерекшеліктерін түсіндіру. Тізбектерді классификациялау және әрбір берілген тізбектің қайсы түрге жататындығын анықтау. Қарапайым және күрделі электр тізбектеріндегі ток пен кернеуліктердің қалай таралатындықтарын түсіндіру.

Шешімі. 1. Электр тізбектерінің схемасы мен элементтері. 2.1-суретте тапсырманың электр тізбектері МЕМСТ бекітілген шартты-графикалық белгіленулер көмегімен схемалар-тізбек элементтері (құрылғылар) мен олардың қосылыстарының графикалық бейнелері түрінде келтірілген.

Барлық қарастырылушы тізбектер *сымдармен* жалғанған *активті элементтер* (энергия көздері-аккумуляторлар, генераторлар) мен *пассивті элементтерден* (энергия тұтынушылары) тұрады. Тапсырма схемаларындағы *эксплуатациялық құрылғылары* – қалыпты ажыратылған *S* кілт (2.1а-сурет) пен қалыпты тұйықталған *S* кілт (2.1б-сурет) – тізбекті қосу және сөндіруге арналған.



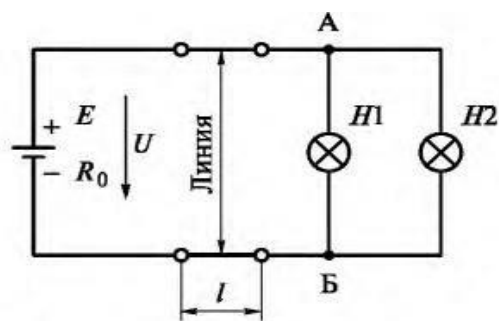
2.1-сурет. Тізбектердің түрлері:

a — тармақталмаған тізбек; *б* — бір қорек көзі бар қарапайым тармақталған тізбек; *в* — әртүрлі тармақтарға қосылған бірнеше қорек көздері бар күрделі тармақталған тізбек.

Әрі қарай берілген тапсырманың тізбектерін талдауда схемалардағы кілттерді тұйықталған күйде және тізбектердегі элементтерді ток жүріп жатқандығын есептейміз.

Берілген тізбектер схемаларындағы қорек көздерін бейнелеу үшін қабылданған үш түрлі белгіленулер қолданылды: тұрақты ток генераторы (2.1а-суретті қараңыз), аккумулятор (2.1б-суретті қараңыз) және ЭҚК еркін көзі (2.1в-сурет).

Энергияның еркін көзі ішінде идеалды көз үшін қабылданған, яғни, ішкі кедергісі жоқ көз үшін, ЭҚК бағытын көрсетуші тілшесі бар шеңбер түрінде бейнеленеді. ЭҚК бірге бірізді бөлек қосылыс ретінде осы көздің ішкі кедергісі белгіленеді (2.1в-схемасындағы сол жақ тармағы). Идеалды көзде (2.1в-схемасындағы орта және оң жақ тармақтар) ішкі кедергі аз, демек оны елемеуге болады, немесе тізбектің басқа да кедергілерінде ескеріледі. Қарастырылушы есептегі барлық схемаларды алмастыру схемасы деп есептеуге болады, яғни тізбектің шынайы құрылғылары солардың физикалық қасиеттерін бейнелеуші эквиваленттік элементтермен алмасқан электрлік схемалар түрінде.



2.2-сурет. Қарапайым тармақталған тізбек (Линия – сызық)

2.1-суретте әрбір схемаға шынайы тізбектердің көптеген қатары сай келуі мүмкін.

Мысалы, егер тізбекті тұтынушылар ретінде R_1, R_2, R_3 кедергілері бар резисторлар қолданылса, онда схема шынайы тізбекті бейнелейді. 2.2-суреттегі схемада тізбектердің сымдары (сызықтар) мен тұтынушыларын ($H1$ және $H2$ жарықтандырушы лампалар) сызықтар мен лампалардың кедергілеріне эквивалентті R_1, R_2, R_3 кедергілері бар резисторлармен алмастырғанда, дәл осындай схеманы алуға болады. Мұндай жағдайда 2.1б-суретіндегі схема 2.2-суретте көрсетілген шынайы тізбекті алмастырушы болып табылады.

Егер алмастырушы құрылғы тұтынатын энергияны дәл сондай уақытта тұтынса, онда кедергі эквивалентті болып есептеледі, яғни, алмастырушы тұтынушы секілді қуаттылықты тұтынатын.

2. Тізбектердің түрлері және электр тізбектеріндегі токтар мен кернеулерді есептеу әдістері. Мүмкін болатын есептеу әдісіне сай электр тізбектері қарапайым және күрделі болып жіктеледі.

Қарапайымға тармақталмаған және бір қорек көзі бар тармақталған тізбектер жатады.

Элементтер арасындағы тармақтары жоқ тізбектер және барлық элементтерде дәл сол бір ток жүретін болса, онда ол *тармақталмаған тізбек* деп аталады. Қарапайым тізбекті есептеу үшін Ом заңы қолданылады.

Қарастырылушы тапсырмада 2.1а-суретте көрсетілген тізбек тармақталмаған болып есептеледі. Берілген тізбектің барлық элементтерінде S тұйықталған кілтінде қорек көзінің оң полюсінен терісіне бағытталған дәл сол бір ток жүріп өтеді. Берілген ЭҚК және кедергілерде тізбектегі токтың күші толық тізбек үшін Ом заңы бойынша анықталады:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_0}.$$

Кедергілердегі кернеуліктердің төмендеуі тізбек бөлігі үшін Ом заңымен анықталады:

$$U_1 = R_1 I; \quad U_2 = R_2 I; \quad U_3 = R_3 I; \quad U_0 = R_0 I.$$

(Тұрақты және ауыспалы токтың тармақталмаған тізбектерінің түрлері, электр тізбектер мен олардың элементтерінің жұмыс режимдерін есептеу әдістері 3 және 9 тарауларда қарастырылады)

Тармақталған тізбек желілер (токты бөлу және тарату нүктелері) мен тармақтың (бірдей ток күші бар желісіз аймақтар) болуымен сипатталады.

Бір қорек көзі бар тармақталған тізбек схеманы жеңілдету арқылы (біріді және параллельді жалғанған кедергілерді эквиваленттік кедергілермен алмастыру) есептеу кезінде тармақталмағанға келеді, яғни қарапайым тізбекке.

Мысалы, 2.1 б-суретте көрсетілген тармақталған тізбек екі желі (A

және Б нүктелері) және I_1, I_2, I_3 токтары бар үш тармақтан тұрады. Онда бір қорек көзі бар және қарапайым тізбектерге жатады.

(Қарапайым тармақталған тізбектерді есептеу әдісі 4 тарауда қарастырылады).

Күрделі тізбектерге әртүрлі тармақтарға қосылған бірнеше қорек көздерінен тұратын тармақталған тізбектер жатады. Мұндай тізбектерде әртүрлі токтардың саны белгілі (ол тармақтар санына тең), бірақ осы токтардың бағыттарын алдын-ала орнату мүмкін емес, олар есептеу барысында анықталады. Есептеу кезінде тізбектің мәліметтері схеманы түрлендіруді қажет етпейді. Күрделі тізбектерді есептеу үшін Кирхгоф заңы қолданылады.

Күрделі тізбектерге 2.1в-суретте көрсетілген тізбек жатады, онда екі желі (А және Б нүктелері) және бағыттары схемада еркін көрсетілген I_1, I_2, I_3 токтары бар үш тармақ, және әртүрлі тармақтарға қосылған үш энергия көзі бар.

(Күрделі тізбектерді есептеу әдістері 5 тарауда қарастырылады).

2.3 Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

2.5. Өткізгіштің көлденең қимасынан 5 мин өткен электрдің санын анықтаңыз, егер осы уақыт аралығында онда 2 А тең ток күші ұсталып тұрса.

2.6. Амперметр 0,25 А, 0,5 А және 1 А шамасындағы өлшеу шектеріне ие. Ток күшін өлшеудің шегін таңдау және егер құрылғы шкала 100 бөліктен тұрса, ток күшінің мәні 0,75 А болғанда құрылғының тілшесі қанша бөлікке ауытқитындығын анықтау.

2.7. Электр машинасының орамасында $I = 18$ А ток жүруде. Орама диаметрі $d = 3$ мм сыммен оралған. Орамадағы токтың тығыздығын анықтау.

2.8. Диаметрі $d = 0,8$ мм нихромнан жасалған жалаңаш сым үшін рұқсат етілген ток күші $I = 3$ А. Рұқсат етілген ток тығыздығын анықтау.

2.9. Электр беру сызықтары үшін қимасы $S = 95$ мм², ұзындығы $l = 120$ км алюминий сымы қолданылған. 20°C температура кезіндегі сызықтың кедергісін анықтау.

2.10. Ұзындығы $l = 1,2$ км және қимасы $S = 12,5$ мм² сым $t = 20$ °C температура кезінде $R_{20} = 12,5$ Ом кедергіге ие. Сым материалының меншікті кедергісін анықтау және анықтамалық мәліметтер бойынша (қосымша 3) сымның қандай материалдан жасалғанын табу.

2.11. Кедергісі 10^5 Ом шарғыны жасап шығару үшін диаметрі 0,05 мм никельді сымның қанша метрі қажет екендігін анықтау.

2.12. Электр лампы $t_1 = 20$ °C кезінде $R_1 = 40$ Ом кедергіге ие. Егер вольфрам жібі 2 020 °C тең t_2 температурасына дейін қыздырылса, лампыны 220 В тізбекке жалғағанда оның жұмыс режиміндегі кедергісін анықтау. Лампының қосылу мезетінен жіптің қыздырылу мезеті аралығында токтың өзгеруін анықтау.

2.13. 20 °C температурадағы 100 Ом номиналды кедергісі бар резистор никельді, сондай-ақ манганинді сымнан оралуы мүмкін. Температуралардың

20-дан 60°C –қа дейін өзгерісі кезіндегі резисторлардың салыстырмалы және абсолюттік өзгерістерін салыстыру.

2.14. Егер сымның көлденең қимасының ауданы $S= 120 \text{ мм}^2$, сызықтың ұзындығы $l= 100 \text{ км}$, ал қоршаған орта температурасы +30-дан -30 °C аралығында өзгерсе, электр беріліс сызықтарының алюминді сымдары кедергілерінің өзгеріс диапазоңдарын анықтау.

2.15. Егер өткізгіштің қимасын екі есе ұлғайтқанда оның өткізгіштігі қалай өзгертіндігін және осы орайда оның материалының меншікті өткізгіштігінің өзгеруін анықтау.

2.16. Электр энергияны қабылдауыштың 220 В кернеуі және 5 тәулік үздіксіз жұмысы кезіндегі шығыны 25 кВт·сағ құрады. Қабылдауыштың ток күшін және кедергісін анықтау.

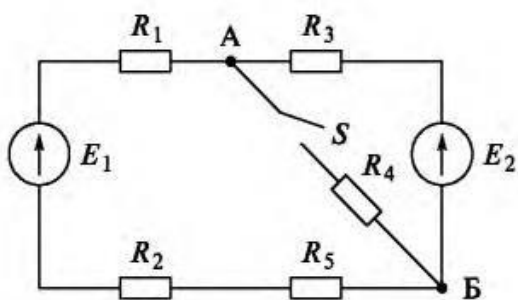
2.17. Лампаның жібі ағарғанша қыздырылғанда электр лампасына токты жеткізуші сымдардың неліктен мүлдем қыздырылмайтындықтарын түсіндіру.

2.18. Егер лампаның тұтынатын барлық энергиясынан жарықтық энергияға тек 2% түрленсе және оны елемеу мүмкін болғанда, желінің кернеуі 220 В кезіндегі 75-ваттық лампаның әр секундта бөлетін жылу санын анықтау.

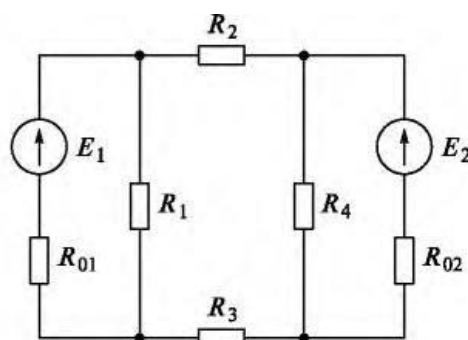
2.19. Контактілі дәнекерлеу арқылы мысты және күмісті бөлшектерді жалғауға болатындығын түсіндіру.

2.20. Келесі жағдайларда 2.3-суретте көрсетілген тізбек қандай түрге (қарапайым немесе күрделі) жататындығын анықтау: а) S кілті ажыратылған; б) S кілті тұйықталған; в) S кілті тұйықталған, E_2 көзі сөндірілген, ал оның қосылу нүктелері өткізгішпен жалғанған.

2.21. 2.4-суретте көрсетілген тізбектегі желілердің, тармақтардың және токтардың санын және осы тізбектің түрін анықтау.



2.3-сурет. 2.20 тапсырмасына электр тізбегінің схемасы



2.4-сурет. 2.21 тапсырмасына электр тізбегінің схемасы

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ ЖАУАПТАРЫ

2.5. $1,5 \cdot 10^3 \text{ Кл}$.

2.6. 1 А; 75 бөл.

2.7. $2,55 \text{ А/мм}^2$.

2.8. 6 А/мм^2 .

- 2.9.** 35,4 Ом.
- 2.10.** 0,13 Ом · мм²/м; болат.
- 2.11.** 467,5 м.
- 2.12.** 400 Ом; 10 есеге кемиді (5,5-тен 0,55 А-дейін).
- 2.13.** Температураны 40°C арттырғанда никельді сымнан жасалған резисторда кедергінің салыстырмалы (1,2%) және абсолюттік (1,2 Ом) өзгерістері манганинді сымнан жасалған резисторға қарағанда жоғарырақ (сәйкесінше 0,12 % және 0,12 Ом).
- 2.14.** 7 Ом.
- 2.15.** Өткізгіштік 2 есеге ұлғаяды; меншіктік өткізгіштік өзгермейді.
- 2.16.** 0,945 А; 233 Ом.
- 2.17.** Бәрінде бір ток жүріп өтетін барлық элементтерді сымдар мен лампа тұйықталған тізбекті құрайды. Тізбек бөлігінде бөлінуші жылудың мөлшері ток квадратына және осы тізбек бөлігінің кедергісіне пропорционалды. Сымдардың кедергілері лампа кедергісінен жүз есеге аз.
- 2.18.** 18 кал.
- 2.19.** Болмайды. Бөлшектердің (мысты және күмісті) кедергілері сымдардың кедергілерімен бірдей. Демек, тізбектің сыртқы аймағының жалпы кедергісі аз. Осы орайда жол берілмейтін аса үлкен ток туындайды (тізбектің шектен тыс жүктелуі), демек, сымдардың шектен тыс қызуы мен жануы, яғни апаттық жағдай орын алады.
- 2.20.** а) екі көзі бар қарапайым тармақталмаған тізбек; б) әртүрлі тармақтардағы екі көзі, екі желісі, үш тармағы және сәйкесінше үш тогы бар күрделі тізбек; в) бір көзі, екі желісі, үш тармағы және сәйкесінше үш тогы бар қарапайым тармақталған тізбек.
- 2.21.** 4 желі, 6 тармақ және сәйкесінше 6 ток; әртүрлі тармақтарда екі көзі бар күрделі тізбек.

ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ ТАРМАҚТАЛМАҒАН ТІЗБЕКТЕРІ

3.1. Бір энергия көзі бар тармақталмаған тізбек

Есеп 3.1. Сурет 3.1.а, көрсетілген электрикалық тізбекте $I=1,5$ А тоғы жүреді. Тізбек резисторлары келесі кедергілерге ие: $R_1=3,3$ Ом; $R_2=4,7$ Ом; $R_3=8,2$ Ом. Қуат көзінің ішкі кедергісі $R_0=0,5$.

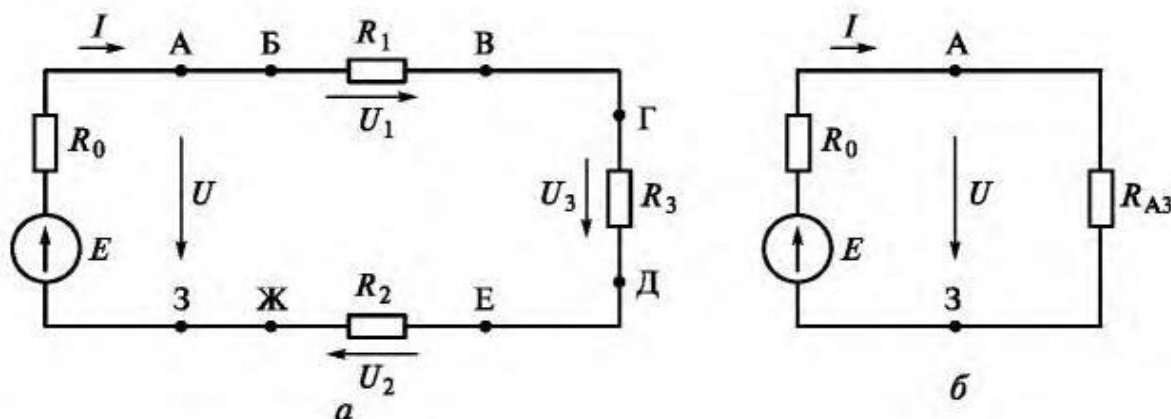
Қарастырылатын тізбектің сыртқы аумақтың эквиваленті кедергісін, оның бөлек кедергілерінің шығарымындағы кернеулерін және БД аумағындағы кернеулерді табыңыз. ЭҚК қуат көзін және оның шығарымындағы кернеуді анықтаныз. Энергия көзі қуатын және оның ПӘК мен барлық тұтынушылары күшін табыңыз. Тізбектер күші балансын құрастырыңыз. Шығарым көзіндегі вольтметрлер көрсеткіштерін және бұзылу пайда болған жеріндегі тізбектер кедергілеріне (тізбек кедергілерінің біреуінің үзілгені және оның қысқа тұйықталуы) талдау жүргізіңіз.

Шешімі. 1. Электрикалық тізбектер аумақтары. Бір қуат көзі бар тізбектерді принципіалды түрде екі бөлек ауданға бөледі: ішкі және сыртқы.

Ішкі аудан өзіне қуат көзін қамтиды, ал *сыртқы* – қалған барлық тізбектерді, яғни барлық тұтынушыларды (энергия қабылдағыштары).

Сонымен ішкі тізбек аумағы сурет 3.1.а, ЭҚК көзінің бірізді қосылуын және оның ішкі кедергісін (А және З нүктелері арасындағы схеманың сол жақ бөлігі) білдірсе, ал сыртқы аумағы - R_1, R_2, R_3 кедергілерінің бірізді қосылуын (А және З нүктелері арасындағы схеманың оң жақ бөлігі) білдіреді.

Жалпы айтқанда аумақ түсінігі (ішкі не сыртқы екенің айқындаусыз) кез келген тізбек атауына қолданылады. Мысалы, сурет 3.1.а, БД тізбегі ауданы R_1 , және R_3 кедергілерінің бірізді қосылуын білдіреді.



Сурет 3.1. Тармақталмаған тізбек:

а – бір көзі және бірнеше тұтынушылар схемасы; б - тізбектің жеңілдетілген схемасы

2. Қарастырылатын тізбектер сыртқы аумақтарының эквивалентті кедергісін анықтау. Тізбектің сыртқы ауданы R_1, R_2, R_3 кедергілерінің біріздеп қосылыстарын білдірсе, онда олардың А және З қуат көздері

шығарымына қатысты эквивалентті кедергісі:

$$R_{A3} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3.1)$$

Есептің сандық көрсеткіштерін (3.1) өрнегіне қойсақ, онда аламыз:

$$R_{A3} = 3,3 + 4,7 + 8,2 = 16,2 \text{ Ом.}$$

R_1, R_2, R_3 кедергілері бірізді қосылуын кедергі R_{A3} алмастыру арқылы ток күші мәнімен бірдей берілген тізбектің жеңілдетілген эквивалентті схемасына (сурет 3.1.б) ие боламыз: $I = 1,5 \text{ А}$.

3. Бүкіл сыртқы аумақ және БД аумағы бөлек кедергілері шығарымындағы кернеулерді анықтау. Кернеулер және тізбек аумағындағы кернеулер тізбек аумағы үшін Ом заңымен анықталады.:

$$U_1 = R_1 I = 3,3 \cdot 1,5 = 4,95 \text{ В}; U_2 = R_2 I = 4,7 \cdot 1,5 = 7,05 \text{ В};$$

$$U_3 = R_3 I = 8,2 \cdot 1,5 = 12,3 \text{ В}; U_{A3} = R_{A3} I = 16,2 \cdot 1,5 = 24,3 \text{ В.}$$

Тізбектің сыртқы аумағындағы U_{A3} осы аумақтың бөлек кедергілеріндегі кернеулер сомасы ретінде де анықтауға болады:

$$U_{A3} = R_{A3} I = (R_1 + R_2 + R_3) I = U_1 + U_2 + U_3 \quad (3.2)$$

Есептің сандық көрсеткіштерін (3.2) қойып отырып, келесіні аламыз:

$$U_{A3} = 4,95 + 7,05 + 12,3 = 24,3 \text{ В.}$$

Осыған ұқсас БД аумағындағы кернеуді есептейміз:

$$U_{БД} = U_1 + U_3 = 4,95 + 12,3 = 17,25 \text{ В}$$

немесе

$$U_{БД} = R_{БД} I = (R_1 + R_3) I = (3,3 + 8,2) 1,5 = 17,25 \text{ В.}$$

4. ЭҚК қуат көзін және оның шығарымындағы кернеулерін анықтау. Тармақталмаған ЭҚК қуат көзі (сурет 3.1.а) үшін өрнекті толық токқа Ом заңы арқылы табамыз:

$$\text{—————} \quad (3.3)$$

осыдан

$$E = I(\quad). \quad (3.4)$$

(3.4) өрнегіне сәйкес ЭҚК энергия көзі тізбектегі ток күшінің осы тізбектің жалпы кедергісі көбейтіндісіне тең болды, яғни берілген тізбектің ЭҚК көзіне:

$$E = 1,5(16,2 + 0,5) = 22,05 \text{ В.}$$

Қуат көзін шығарудағы U кернеу U_{A3} тізбегі сыртқы аумағындағы кернеуге тең:

$$U = U_{A3} = (R_1 + R_2 + R_3) I = 24,3 \text{ В},$$

яғни энергия көзі шығарымындағы кернеу ток күшінің тізбектің сыртқы аумағының жалпы кедергісі көбейтіндісі ретінде анықталады.

Кернеу U басқа әдіс арқылы табуға да болады. Ол (3.3) өрнегінен шығады:

$$U = E - I \quad (3.5)$$

яғни, энергия көзі шығарымындағы кернеуді оның ЭҚК айырмасы және ішкі кедергіде кернеудің түсуі ретінде анықтауға болады.

Есептің санды көрсеткіштерін (3.5) қойып, келесіні аламыз:

$$U = 25,05 - 1,5 \cdot 0,5 = 24,3 \text{ В}.$$

5. Күштерді және ПӘК есептеуі. Күштер балансын құрастыру. Энергия көзі арқылы дамытылатын күш,

$$P_{\text{ист}} = EI = 25,05 \cdot 1,5 = 37,575 \text{ Вт}.$$

Көздің ішкі кернеуінде шығындалатын күш,

$$P_o = I^2 R_o = 1,5^2 \cdot 0,5 = 1,125 \text{ Вт}.$$

Ішкі тізбекке көз арқылы берілетін күш,

$$P_{\text{потр}} = P_{\text{ист}} - P_o = 37,575 - 1,125 = 36,45 \text{ Вт}.$$

Бірақ, тізбектің сыртқы аумағымен тұтынылатын күшті басқа формула арқылы анықтауға да болады:

$$P_{\text{потр}} = U_{A3} I = 24,3 \cdot 1,5 = 36,45 \text{ Вт}.$$

Энергия көзінің ПӘК:

$$= P_{\text{потр}} / P_{\text{ист}} = 36,45 / 37,575 = 0,97 = 97\%.$$

Энергия көзімен өндірілетін күш тізбек аумақтары кедергілері мәніне немесе оларға кернеудің түсуіне пропорционалды кедергілерге жұмсалады:

$$P_1 = I^2 R_1 = U_1 I = 4,95 \cdot 1,5 = 7,425 \text{ Вт};$$

$$P_2 = U_2 I = 7,05 \cdot 1,5 = 10,575 \text{ Вт};$$

$$P_3 = I^2 R_3 = U_3 I = 12,3 \cdot 1,5 = 18,45 \text{ Вт}.$$

Сурет 3.1 тізбегіндегі күш балансын келесі түрде жазуға болады:

$$P_{\text{ист}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_o \quad (3.6)$$

Күштер балансы орындалуына көз жеткізу қажет. Формула (3.6) арқылы есептелген энергия көзінің күші,

$$P_{\text{ист}} = 7,425 + 10,575 + 18,45 + 1,125 = 37,575 \text{ Вт},$$

яғни, $P_{\text{ист}} = EI$ формуласымен есептелген қуат көзі күшіне сәйкес келеді.

6. R_3 кернеуі үзілісіндегі вольтметр көрсеткіштері. Сурет 3.2. а, сурет 3.1.а, карастырылған тізбектегі кернеулерді өлшеу схемасы көрсетілген. R_3 кернеуі үзілісінде тізбек V_4 вольтметр арқылы тұйықталып қала береді. Бірақ, бұл жағдайда тізбектегі ток маңызды емес және оны елемеуге де болады ($I = 0$), өйткені тәжірибеде қамтамасыз етілетін вольтметрлар кедергісі тізбек кедергісіне қарағанда тым көп кездеседі.

Вольтметрлер V_2 және V_3 сәйкесінше U_1 және U_2 кернеулерін өлшейді және тізбекте ток болмаған кезде Ом заңына сәйкес тізбек қатысушыларына нөл көрсетеді: $U_1 = 0$; $U_2 = 0$.

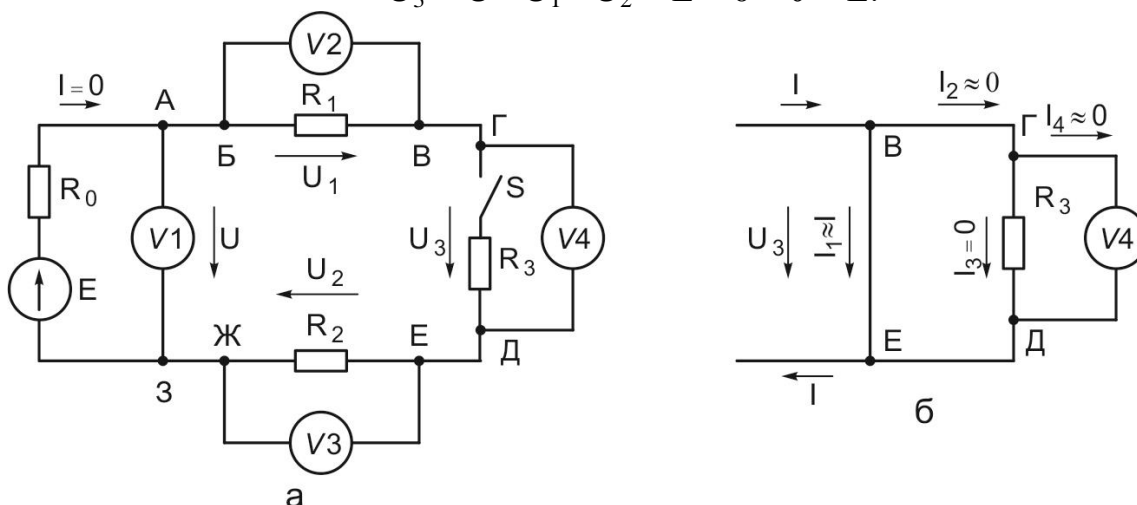
Вольтметр V_1 тізбек үзілісіндегі энергия көзі шығарымындағы U

кернеуін өлшейді, яғни онда ток болмаған жағдайда формула (3.5) сәйкес ЭҚК көзіне тең болады:

$$U = E - I \cdot R_0 = E - 0 \cdot R_0 = E.$$

Вольтметр V4 ЭҚК тең U_3 кернеуін көрсетеді:

$$U_3 = U - U_1 - U_2 = E - 0 - 0 = E.$$



а – R_3 кедергі үзілісінде; б - R_3 кедергісінің қысқа тұйықталуында.

Бұл келесі жағдайда көрінеді. Өйткені U_1 және U_2 кернеулері нөлге тең және де R_1 және R_2 кедергілерінде потенциалдар өзгерістері болмайды, Г нүктесі потенциалы А ($\varphi_D = \varphi_3$) нүктесі потенциалына тең. Демек, $\varphi_G - \varphi_D = \varphi_A - \varphi_3$, немесе $U_3 = U = E$.

7. Вольтметрлардың В және Е шығарымындағы қысқа тұйықталу көрсеткіштері. Тізбек аумағының қысқа тұйықталуы тікелей тұйықталу кезінде болуы мүмкін, яғни ауданға металды шығарымдар жанасуы немесе осы шығарымдардың өткізгіш арқылы қосылуында. Кедергі R_3 қысқа тұйықталуы кезінде тізбектегі ток кедергі R_3 (сурет 3.2. б) және соған қосылған вольтметр V4 тоқтамай ВЕ мандайшасы нөлдік кедергісі арқылы өтеді, яғни, $I_1 \approx I$; $I_2 = I_3 = I_4 \approx 0$. Сонымен бірге, қысқа тұйықталған аумақтың жалпы кедергісі $R_{BE} = 0$, ал бұл ондағы кернеудің түсуі $U_3 = 0$ және вольтметр V4 нөлді көрсетеді.

Ток күшінің қысқа тұйықталу нәтижесінде тізбекте көбейеді:

кернеулер U_1 және U_2 (сәйкесінше V2 және V3 вольтметрлері көрсеткіштерінде) 2 есеге өседі, ал кернеу U қуат көзі шығуларында (сәйкесінше V1 вольтметр көрсеткішіде) азаяды:

$$U_1 = R_1 I = 3,3 \cdot 2,95 = 9,73 \text{ В}; U_2 = R_2 I = 4,7 \cdot 2,95 = 13,86 \text{ В};$$

$$U = E - I = 25,05 - 2,95 \cdot 0,5 = 23,6 \text{ В.}$$

8. Бірізді қосылыстардың тәжірибелік қолданылуы. Кез келген бір көзді тізбек көзінің тізбек сыртқы аумағының бірізді қосылысын білдіреді. Осы көзқарасқа сәйкес бірізді қосылыстар кең таралған.

Бірақ тұтынушылардың бірізді қосылу әдісі тізбектің сыртқы аумағында талдау нәтижелерін (6 п. және 7 есеп қарастырылған) көрнекі көрсететін маңызды жетіспеушілікке ие.

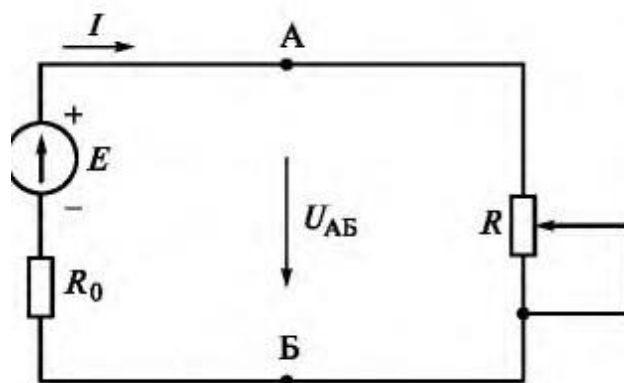
Бірізді қосылыстың жетіспеушілігі әрбір тұтынушының кез келген тұтынушы бұзылуына бағынышты болуы. Тұтынушылардың біреуі бұзылса қалған барлық тұтынушылардың жұмыстары бұзылады: тұтынушылардың біреуі үзілсе қалған тұтынушылардың барлығы тоқсызданады, бір тұтынушының қысқа тұйықталуы қалғандарында кернеудің күрт өсуін көрсетеді. Сондықтанда, сыртқы аумақ тізбегін қалыптастырушы энергия тұтынушылары сирек бірізді қосылады. Пайдаланылатын көз кернеуі тұтынушылары номиналды кернеуінен асып кетсе ерекшелік құрайтын жағдайға жатады.

3.2. Айнымалы жүктемеде ЭҚК көзі. Электр тізбегінің жұмыс режимі

Есеп 3.2. Өндірісті объект механикалық цехының станоктары қозғалтқыштарының қуаты тұрақты ток генераторы ЭҚК $E = 230$ және ішкі кедергі 20 Ом арқылы жүзеге асырылады. Жұмыс атқарушы қозғалтқыштар – энергия тұтынушылары саны тәуліктің әр уақытында әртүрлі болады, сондықтанда генератор тізбегіндегі ток күші уақыттың кең шегінде өзгереді.

Қарастырылып отырған энергия тұтынушыларының электр тізбегінен қуаттануын алмастыру схемасын құрастыру. Есептегіштік эксперимент жүргізу: жүктеме кедергісінің 0 ден 150 дейін өзгеруіндегі зерттелетін электр тізбегінің жұмыс параметрлері есебін орындау. Тізбек жұмыс параметрлері жүктеме R кедергісіне байланысы графигін құру және зерттелуші тізбек жұмыс режимін талдау.

Шешімі. 1. Есепте қарастырылып отырған электр тізбегі алмасу схемасын құру. Есепте қолданылатын энергия (генератор) көзі қосылатын тұтынушылардың жалпы кедергілерінен едәуір төмен ЭҚК және ішкі кедергімен сипатталады. Бұндай энергия көзі ЭҚК көзі деп саналады. Сонымен, генераторды схемада мінсіз ЭҚК E және ішкі кедергінің бірізді қосылысы ретінде қарастыруға болады.



Сурет 3.3. Электр тізбегінің сыртқы аумақтың ауыспалы кедергісімен алмасу схемасы

Генераторға тұтынушылар қосылған – станок қозғалтқыштары орамдары. Қозғалтқыштар орамдары жасалынған сымтемірлері кедергілермен сипатталады. Демек, схемада қарастырылып отырған электр тізбегі энергияның барлық тұтынушыларын қосылушы тұтынушылардың жалпы кедергісіне эквивалентті бір кедергі ретінде алуға болады. Өйткені тәуліктің әр уақытында әртүрлі станок сандары жұмыс жасайды, тұтынушылар кедергісі тәулік бойы кең шекте өзгеріп отырады, ал бұл дегеніміз энергия тұтынушыларын R ауыспалы кедергі түрінде қарастырылуын мақсат етеді.

Зерттелуші электр тізбегі қасиеттерін көрсететін алмасу схемасы 3.3 суретте көрсетілген.

2. Зерттелуші электр тізбегі жұмыс параметрлерін е с е п т е у . 3.3 суретте көрсетілген электр тізбегі энергияның бір көзді тармақталмаған тізбегін білдіреді.

Тізбектегі ток күші I ,

Қуат көзі $P_{ист} = EI$.

Тұтынушылар қуаты $P_{потр} = UI = I^2 R$.

Жоғалту қуаты $P_o = P_{ист} - P_{потр}$

ПӘК көзі.

Осындай есеп нәтижесі кесте 3.1 көрсетілген.

3. Графиктерді құру және ауыспалы жүктемедегі тізбек жұмысы режимін талдау. Кесте 3.1 көрсетілген есептеулер нәтижелері арқылы ток I күші өзгерісін және $P_{ист}$, $P_{потр}$ және P_o күштерінің 3.3 суретте көрсетілген электр тізбегінің сыртқы аумақ кедергісіне R байланысты сипатын көрсетуші сурет 3.4 графиктар құрылған.

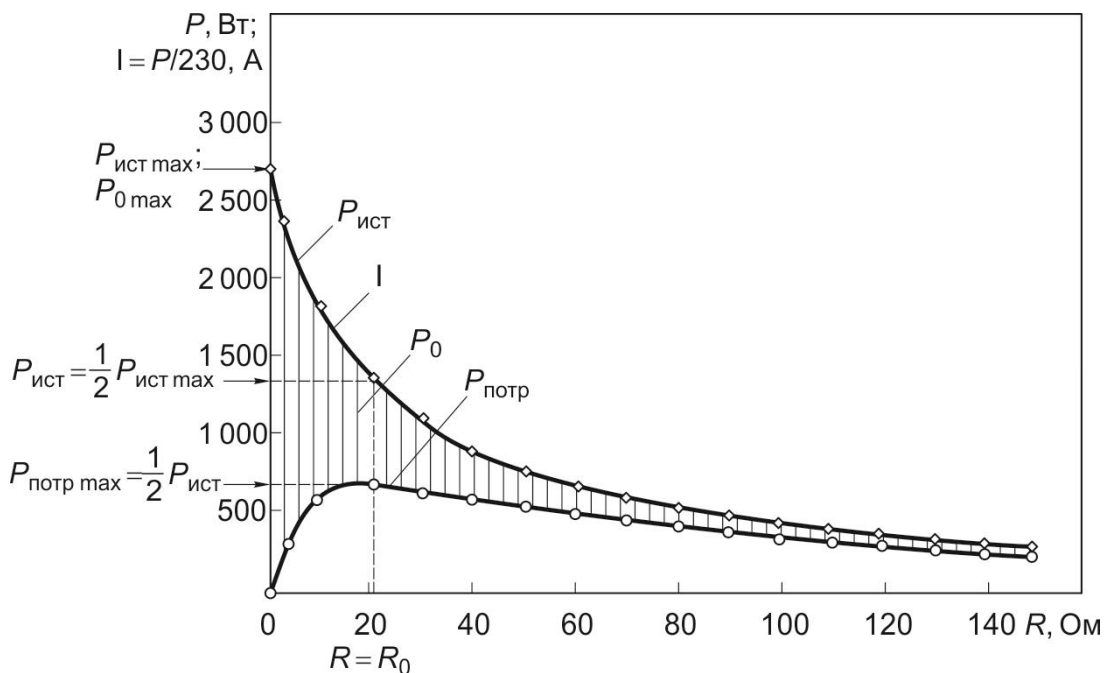
Тізбек сыртқы аумағының кедергісіне байланысты жұмыс параметрлерінің өзгеруі

Бастапқы көрсеткіштер: $E = 230 \text{ В}; R_0 = 20 \text{ Ом}$								
$R, \text{Ом}$	0	10	20	30	40	50	60	70
$I, \text{А}$	11,5	7,7	5,8	4,6	3,8	3,3	2,9	2,6
$P_{\text{ист}}, \text{Вт}$	2 645	1763	1323	1058	882	756	661	588
$P_{\text{потр}}, \text{Вт}$	0	588	661	635	588	540	496	457
$P_0, \text{Вт}$	2 645	1176	661	423	294	216	165	131
$\eta, \%$	0	33	50	60	67	71	75	78
$R, \text{Ом}$	80	90	100	110	120	130	140	150
$I, \text{А}$	2,3	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4
$P_{\text{ист}}, \text{Вт}$	529	481	441	407	378	353	331	311
$P_{\text{потр}}, \text{Вт}$	423	394	367	344	324	306	289	275
$P_0, \text{Вт}$	105,8	87,4	73,5	62,6	54,0	47,0	41,3	36,6
$\eta, \%$	80	82	83	85	86	87	88	88

3.4 суретте көрсетілген $P_{\text{ист}}$ және $P_{\text{потр}}$ ($P_{\text{ист}}$ және $P_{\text{потр}}$ ординаталары айырмалары) қисықтары арасындағы тік кесінділері кедергі R нақты мәндері үшін қуат көзінің ішкі кедергісінде (P_0) энергия жоғалтулары күшін білдіреді. Осылайша,

$$P_0 = P_{\text{ист}} - P_{\text{потр}}$$

Жалпы жағдайда сыртқы аумақ кедергісінің кең шегінде өзгеріп тұратын тізбектерде үш жұмыс режимін бекітуге болады: қуат көзі қосылып тұрған кезде сыртқы тізбек ашық болатын бос жүріс (БЖ) режимі, және авария кездерінде байқалатын қысқа тұйықталу (ҚТ) режимі, яғни сыртқы тізбектер шығаруында тұйықталулар, және де шекті режимдер арасындағы аралық режимі жұмыс жасау режимі (ЖР) деп аталады.



Сурет 3.4. Аумақ кедергісіне байланысты сыртқы аумақ ауыспалы кедергісі тізбегіндегі ток және қуат өзгеру графиктері

Қысқа тұйықталу режимі ($R_{кз}=0$). Бұл режим қуат көзімен дамытылатын тізбектегі ток күші мен қуаты максималды көрсеткішке жетуін сипаттайды. Мысалға, зерттелуші тізбекте (кесте 3.1. қараңыз):

$$I_{кз} = I_{\max} = 11,5; P_{\text{исткз}} = P_{\text{истmax}} = 2,645 \text{ кВт.}$$

Сонымен бірге тұтынушы қуаты $P_{\text{потркз}} = 0$. Генератордың бүкіл қуаты оның ішкі кедергісі мен қосылыс сымтемірлеріне (ток күшін есептеу кезінде елеусіз аз болса да кедергіге ие) сейіледі:

$$P_{\text{окз}} = P_{\text{исткз}} = 2,645 \text{ кВт.}$$

Қысқа тұйықталу токтарында сым темірлер қатты қызып кетуі немесе генератор істен шығып қалуы мүмкін.

Қарастырылып отырған режимде генератор ПӘК $\eta_{кз} = 0$.

Бос жүріс режимі ($R_{хх} \rightarrow$). Зерттелуші тізбекте $R=150$ Ом тұтынушы кедергісінде бос жүріс режиміне ұқсас режимі байқалады. Бос жүріс режимі жұмыс кезінде генератор арқылы дамытылатын ток күші мен қуаты қысқа тұйықталу режиміне қарағанда өте аз мәндерге ие болады (кесте 3.1. қараңыз):

$$I_{хх} = I_{\min} = 1,4 \text{ А}; P_{\text{истхх}} = P_{\text{истmin}} = 311 \text{ Вт} \approx 0,3 \text{ кВт.}$$

Бірақ, бұл жағдайда $P_{\text{потрхх}}$ тұтынушы қуаты $P_{\text{истхх}}$ генераторы қуатына тең дерліктей, ал генератор ішкі кедергісіне сейілетін $P_{\text{охх}}$ қуаты аз болады (нөлге тең болатындай):

$$P_{\text{потрхх}} = 275 \text{ Вт} = P_{\text{истхх}}; P_{\text{охх}} = 37 \text{ Вт} = 0,037 \text{ кВт} \approx 0.$$

Осыған қарамастан, қарастырылып отырған режимде генератор минималды қуат дамытады, оның ПӘК жоғары: $R \rightarrow$ болса ПӘК мәні 100%

болуға ұмтылады. Яғни зерттелуші тізбекте $R=150 \text{ Ом}$ болғанда ПӘК 88% құрайды.

Жұмыс режимі. Қысқа тұйықталу және бос жүріс режимдері арасындағы аралықта тізбектегі ток I күші мен $P_{\text{ист}}$ қуат көзі тұтынушылар кедергілері өзгергенде сол заңға сәйкес өзгереді, өйткені қуат көзі ток күшіне пропорционалды ($P_{\text{ист}} = EI$, бұнда $E = \text{const}$). Зерттелуші тізбек $P_{\text{ист}} = 230/\text{Вт}$, сондықтан ток пен қуат күші масштабтары қатынасы: $m_P/m_I = 230/\text{Вт}$.

Тұтынушы R кедергісі көбейсе ток күші I мен қуат көзі $P_{\text{ист}}$ гиперболалық заңға сай қысқа тұйықталуда максималды мәнге дейін жетеді, бос жүрісте минималды мәнге дейін төмендейді.

Көздің ішкі кедергісіне сейілетін қуатта P_0 азаяды, бұл сурет 3.4 $P_{\text{ист}}$ және $P_{\text{потр}}$ графиктары арасындағы кесінді ұзындығы өзгерісінен байқалады.

Параметрлерді есептеу нәтижесінен (кесте 3.1. қараңыз) тұтынушы $P_{\text{потр}}$ қуаты тұтынушы R кедергісі көбейген сайын 0 ден (КЗ кезінде) көзі ішкі кедергісіне тең $R_{PP} = 20 \text{ Ом}$ дейін өседі, содан кейін төмендейтінін білдіреді. Демек, $P_{\text{потр}}$ тұтынушы $R_{PP} = 0$ кедергісінде максимумға ие болады. Жұмыс режимі $R_{PP} =$ болғанда жұмыс режимі диапазонынан бөлінеді және жүктемені қиыстыру режимі деп аталады (СН).

Қиыстырылған жүктеме режимі. СН режимінде қуат көзі қысқа тұйықталу режимінде өндірілетін максималды қуат жартысын өндіреді:

Сонымен қатар тұтынушыда қуат көзімен өндірілетін қуаттын жартысы ғана шығындалады, ал осы қуаттын екінші жартысы көздің ішкі кедергісіне шығындалады:

Осы режим жағдайында генератордың пайдалы қызмет ету коэффициенті $\eta_{\text{СН}} = \%$.

Ауыспалы жүктеме жағдайында тізбек жұмыс режимдерін талдаудан:

- біріншіден, жүктеме R кедергісі (0 дан) өссе көздің өндірілетін қуаты $P_{\text{ист}}$ максималды мәннен нөлге дейін түседі. Осы жағдайда ПӘК көзі 0 ден 100% дейін өседі. Бұл максималды қуат (қысқа тұйықталуда) өндірісіне қарамастан қуат көзі ешқандай пайдалы жұмыс атқармайды. Бос жүріске жақын режимде қуат көзі біраз қуат өндіреді, бірақ ол түгелдей тұтынушымен қолданылып отырады;

- екіншіден, тұтынушы максималды қуатты қиыстырылған жүктеме режимі жағдайындағы қуат көзінен алады. Сонымен бірге, бұл қуат осы режимде көзден өндірілетін қуаттың жартысын ғана құрайды, ал екінші жартысы оның ішкі кедергісіне $\eta_{\text{СН}} = \%$ сейіледі. Сонымен қатар, қиыстырылған жүктеме режимінде қуат көзі өзінің максималды қуатының жартысын ғана өндіреді.

4. Қ у а т к ө з і ж ұ м ы с ы н ы ң р а ц и о н а л д ы р е ж и м і н т а ң д а у .
Ауыспалы жүктеме кезіндегі тізбек жұмыстары режимін талдау нәтижелері электротехникалық құрылғалар жобалау кезінде есепке алынады.

Аз қуатты тізбектер үшін (электроника, электрөлшегіш т.б. құрылғыларды) $R=(1...3)$ таңдайды. Бұл жағдайда ПӘК 50...75% те болады. Осылай қиыстырылған жүктеме режиміне жақын режим қамтамасыз етіледі, яғни жүктеме кедергісінде максималды қуат бөлінеді. Осындай қуат осы жағдайда көздің ішкі кедергісінде де бөлінеді, бірақ бұндай энергияның мәнісіз жоғалтуы мардымсыз болып табылады.

Энергияны жоғары жоғалтуларына жол бермейтін орта және жоғары қуатты тізбектер үшін (электрэнергетика және электрмеханика, ток күшейткіштерінде және электроника қуаттарында) жоғары ПӘК қамтамасыз ететін $R=(5...20)$ және астам таңдайды.

Бұл жағдайда қуат көзі максималды мүмкін қуаттан бірнеше рет аз өндіріледі, бірақ өндірілетін қуаттың түгелдейі тұтынушыда шығындалады және оның болмашы бөлігі – көздің ішкі кедергісінде. Мысалы, $\eta_{CH} = \% P_{потр PP} = \% P_{ист PP}$, ал $P_{ист PP}$.

3.3. Айнымалы жүктемеде ток көзі.

Ток көзі және ЭҚК көзін эквивалентті түрлендіру

Есеп 3.3. Ток күші $J= 25$ мА және өзіндік өткізгіші $G_0= 1 \cdot 10^{-3}$ См иежартылай өткізгіш ток көзіне реостат R қосылған (сурет 3.5).

А және Б ток көзі шығаруындағы U кернеуін және оның дамытатын күшін, және жүктеменің үш режимі үшін сыртқы тізбек тоғы мен қуаты күшін: бос жүрісте ($R=R_{XX} \rightarrow$), қысқа тұйықталуда ($R=R_{ном} =100$ Ом) анықтау керек. Қарастырылып отырған ЭҚК көзіне эквивалентті ЭҚК көзі параметрлерін (ЭҚК көзі электр тізбегі алмасу схемасын сурет 3.3 қараңыз) табыңыз. Ток көзі мен ЭҚК көзі эквиваленттігін тексеру керек.

Шешімі. 1. Жұмыстың үш режимі үшін токтарды, тізбектегі ток көзі кернеуі мен қуатын есептеу. Бос жүрісте тізбектің (жүктеменің) сыртқы аумақы кедергісі $R=R_{XX} \rightarrow$, ал жүктемедегі ток күші $I_{XX} \approx 0$ (R кедергісімен тармақтың үзілісі). Тармақтағы көздің ішкі өткізгішінің ток күші:

Бос жүрісте А және Б көздері шығарымындағы U_{XX} кернеуі сыртқы аумақтағы $U_{AB XX}$ кернеуіне тең:

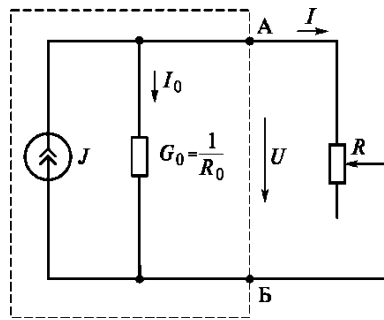
$$U_{XX} = U_{AB XX} = R_{XX} = 0 \cdot ,$$

бұл U_{XX} кернеуін басқа мүмкін әдіспен көрсету арқылыашылуды қажет ететін анықсыздықты білдіреді:

—

Бос жүрісте көз дамытатын қуат,

$$P_{ист XX} = JU_{XX} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 0,625 \text{ Вт} = 625 \text{ мВт.}$$



Сурет 3.5. Ток көзі бар тармақталмаған тізбек

Бос жүрісте жүктемеге берілетін қуат,

$$P_{\text{потр XX}} = U_{\text{XX}} I_{\text{XX}} = 25 \cdot 0 = 0.$$

Қысқа тұйықталу кезінде тізбек (жүктеменің) сыртқы аумағының кедергісі $R=R_{\text{кз}} \approx 0$. Ток көзінің өзіндік өткізгіштігі аз, соңдықтан тармақтағы ішкі өткізгіштік ток күші нөлге тең: ≈ 0 .

Қысқа тұйықталу жүктемесіндегі ток күші

$$I_{\text{кз}} = J - I_{0 \text{ кз}} = 25 - 0 = 25 \text{ мА.}$$

Қысқа тұйықталу кезіндегі көз шығарымындағы кернеуі тізбек сыртқы аумағындағы кернеуге тең:

$$U_{\text{кз}} = U_{\text{АБ кз}} = R_{\text{кз}} I_{\text{кз}} = 0 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.$$

Қысқа тұйықталу кезінде көз дамытатын қуат,

$$P_{\text{ист кз}} = J U_{\text{кз}} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 0 = 0.$$

Қысқа тұйықталу кезінде жүктемеге берілетін қуат,

$$P_{\text{потр кз}} = U_{\text{АБ кз}} I_{\text{кз}} = 0 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.$$

Номиналды жұмыс режимінде есеп шарттары бойынша тізбек сыртқы аумағы кедергісі $R=R_{\text{ном}}=100 \text{ Ом}$.

$$G_{\text{ном}} = \frac{1}{R_{\text{ном}}} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ См.}$$

Жүктеме өткізгіштігі мен көздің ішкі өткізгіштігінен құралатын екі қатарлас тармақтың жалпы өткізгіштігі,

$$G_{\text{АБ ном}} = G_0 + G_{\text{ном}} = 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-3} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ См.}$$

Номиналды режимдегі көз шығаруындағы кернеу, тізбек сыртқы аумағындағы кернеуге тең,

$$U_{\text{ном}} = J / G_{\text{АБ ном}} = U_{\text{АБ ном}} = 25 \cdot 10^{-3} / (11 \cdot 10^{-3}) = 2,273 \text{ В.}$$

Номиналды режимдегі тізбек сыртқы аумағындағы ток күші:

$$I_{\text{ном}} = U_{\text{АБ ном}} / R_{\text{ном}} = 2,273 / 100 = 0,02273 = 22,73 \text{ мА.}$$

Номиналды режимде ток көзімен дамытылатын қуат,

$$P_{\text{ист. ном}} = J U_{\text{ном}} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 2,273 = 56,83 \text{ мВт,}$$

бұл бос жүріс режиміне қарағанда анағұрлым аз.

Номиналды режимде жүктемеге берілетін қуат,

$$P_{\text{потр. ном}} = U_{\text{АБ ном}} I_{\text{ном}} = 2,273 \cdot 22,73 \cdot 10^{-3} = 51,67 \text{ мВт.}$$

Осылайша, ток көзі бос жүріс режимінде максималды қуатты дамытады, ал қысқа тұйықталу режимінде – минималды, яғни нөлге тең.

2. ЭҚК көзі, берілген ток көздеріне эквивалентті параметрлерін анықтау. Ток көзі теориясына сәйкес параметрлері (E_3 және) ток көзі параметрлерімен (және G_0) байланысты ЭҚК эквивалентті көзімен келесі өрнектер арқылы алмастыруға болады:

$$E_3 = J/G_0; R_{0_3} = 1/G_0,$$

яғни осы есеп үшін

$$E_3 = J/G_0 = 25 \cdot 10^{-3}/10^{-3} = 25 \text{ В:}$$

$$R_{0_3} = 1/G_0 = 1/10^{-3} = 1000 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм.}$$

3. Схемалар эквиваленттігін тексеру. Схема алмасуы эквивалентті саналады, егер жүктемеге берілетін қуат ток көзі мен ЭҚК көзіндерімен бірдей болса, яғни екі жағдайда да бірдей кернеу болса жүктемеден бірдей токтар өтеді.

Ток күші мен номиналды жұмыс режиміндегі ЭҚК эквивалентті көз жүктемесіндегі кернеуді анықтаймыз:

$$I_{\text{ном}} = E_3/(R_{0_3} + R_{\text{ном}}) = 25/(1000 + 100) = 22,73 \text{ мА.}$$

$$U_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} R_{\text{ном}} = 22,73 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 2,273 \text{ В.}$$

Ток күші және жүктемедегі ток көзі мен ЭҚК көзікернеу мәндері бірдей, бұл схемалардың эквиваленттігін дәлелдейді.

Бірақ схемада көрсетілген көздер дамытатын қуаттары бойынша эквивалентті емес. Бұл жағдайда номиналды жұмыс режимінде ток көзі келесі қуатты дамытады:

$$P_{\text{ист. ном}} = 56,83 \text{ мВт,}$$

Ал ЭҚК эквивалентті көзі – біршама жоғары:

$$P_{\text{ист. ном}} = E_3 I_{\text{ном}} = 25 \cdot 22,73 \cdot 10^{-3} = 568,25 \text{ мВт.}$$

Бұл факт электротехникалық құрылғылар құру, энергия схемасы мен көзін тандау кездерінде ескеру қажет, өйткені неғұрлым көз қуаты көп болса, соғұрлым оның габаритті көлемі мен массасы көп болады.

3.4. Бірнеше энергия көздері бар тармақталмаған тізбек. Генератор және тұтынушы режимдерінде ЭҚК көздері.

Есеп 3.4. 3.6. суретте бірнеше энергия көздерімен тармақталмаған тізбек көрсетілген.

Осы тізбекте ток күшін есептеу үшін өрнек құру және осы тізбектегі ток бағытын анықтау қажет. Берілген тізбектегі энергия көздері жұмысы режимдерін анықтау және әрбір көздің шығарымында кернеуді есептеу

теңдігін құру керек. Тізбекті ажырату кезінде энергия көздері шығарымында кернеулер өзгеруін (көбейеді, азаяды) түсіндіру. Берілген тізбекте тұтынушылар режимінде жұмыс атқаратын энергия көздерімен алмастыруға болатын эквивалентті тұтынушылар параметрлерін есептеу өрнегін табу. Берілген тізбекте қуаттар теңдігі балансын құру.

Шешімі. 1. Берілген тізбекте ток және оның бағыттарын анықтау. Сәйкес қосылған көздер тобын анықтаймыз, яғни тізбекті айналуға бірдей бағыты бар ЭҚК көздерін. Ол үшін, мысалы, сурет 3.6 көрсетілген айналу (НО) бағытын аламыз. Бұл жағдайда ЭҚК айналу бағытымен сәйкес E_1 , E_3 және E_4 бірдей бағыттарға ие болады, ал ЭҚК E_2 және E_5 бір біріне сәйкес бағытталынады, бірақ айналудың таңдалған бағытына қарсы болады.

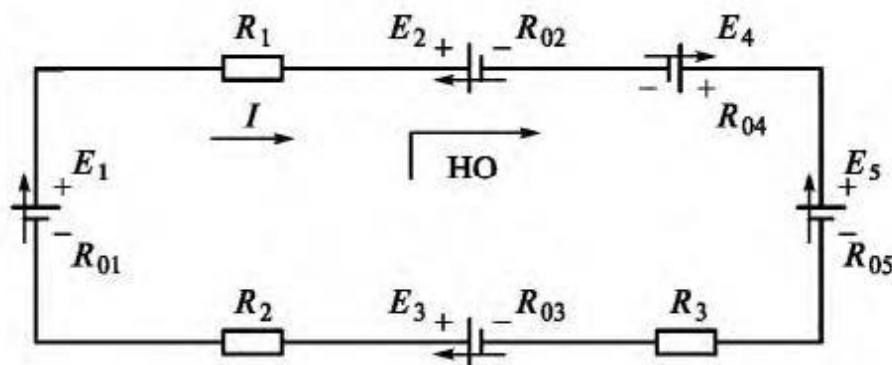
Ток бағыты үлкен сомалы мәнге ие, бірдей бағытталған ЭҚК тобымен анықталады.

Егер $E_1 + E_3 + E_4 > E_2 + E_5$. Онда ток 3.6. *суретте* көрсетілген бағытқа ие болады.

Берілген тізбектегі ток күші бірнеше көздерімен тармақталмаған тізбек үшін Ом заңымен анықталады:

$$I = \frac{\sum_{\text{алғ}} E}{\sum R} = \frac{(E_1 + E_3 + E_4) - (E_2 + E_5)}{\sum R}, \quad (3.7)$$

мұндағы $\sum R = R_1 + R_2 + R_3 + R_{01} + R_{02} + R_{03} + R_{04} + R_{05}$.



Сурет 3.6. Генератор және тұтынушылар режимінде жұмыс атқаратын ЭҚК көздерімен тармақталмаған тізбек

2. Берілген тізбектегі энергия көздері жұмыстары режимін анықтау. Егер, көздің ЭҚК бағыты тізбектегі ток бағытымен сәйкес келсе, онда көз генератор режимінде (көз-генератор) жұмыс атқарады. Егер, көз ЭҚК токқа (ЭҚК қарсы) қарсы бағытта болса, көз тұтынушы (көз-тұтынушы) режимінде жұмыс атқарады. Осылайынша, E_1 , E_3 және E_4 көздері генератор режимінде жұмыс жасайды, ал E_2 және E_5 көздері – тұтынушы режимінде.

3. Энергия көздері шығарымында кернеулерді есептеу формулалары. Генератор режимінде жұмыс атқарушы энергия көздері шығарымында оның ЭҚК төмен

аз екені белгілі, ал тұтынушы режимінде жұмыс атқаратын көздің ЭҚК оның ішкі кедергісінде кернеу төмендеу мәніне жоғары болады. Сондықтан,

$$U_1 = E_1 - IR_{01}; U_2 = E_2 + IR_{02}; U_3 = E_3 - IR_{03}; \text{ мА.}$$

$$U_4 = E_4 - IR_{04}; U_5 = E_5 + IR_{05}.$$

4. Тізбек ажырау кезінде энергия көздері шығарымында кернеулер өзгеруін бағалау. Тізбек ажырағаннан кейін ток, және де энергия көздерінің ішкі кедергісі кернеуі түсуі нөлге дейін төмендейді. Энергия көздерін шығарымында кернеулерді есептеу үшін көрсетілген формулалар арқылы ЭҚК сәйкес тең мәнге дейін U_1 көбейеді, U_2 азаяды, U_3 көбейеді, U_4 азаяды және U_5 азаяды.

5. Тұтынушылар режимінде жұмыс атқарушы көздерді эквивалентті тұтынушыларға алмастыру параметрлерін анықтау. Тұтынушылар режимінде жұмыс атқарушы E_2 және E_5 көздерін эквивалентті кедергілерге тізбектегі ток және алмасудан кейінгі тұтынылатын қуат өзгерімсіздігін қамтамасыз еткен жағдайда алмастыруға болады. Бұның мүмкіндігі, егер, эквивалентті кедергілердегі кернеу түсуі сәйкесінше тұтынушы көздеріндегі кернеулерге тең болса қарастырылады. Онда Ом заңына сәйкес тізбек аумағы үшін эквивалентті кедергілерді ($R_{\Sigma 1} - E_2$ көзі орнына және $R_{\Sigma 2} - E_5$ көзі орнына) келесі түрде жазуға болады

$$R_{\Sigma 1} = \frac{U_2}{I} = \frac{E_2 + IR_{02}}{I};$$

$$R_{\Sigma 2} = \frac{U_5}{I} = \frac{E_5 + IR_{05}}{I}.$$

Бұл кедергілер энергия көздерінің ішкі кедергілеріне тең емес, олар тұтынылатын энергия тарапынан эквивалентті болады.

6. Берілген тізбек үшін қуаттар балансын құру. Егер Σ Σ – генератор және тұтынушы режимдерінде сәйкес жұмыс атқаратын барлық көздер ЭҚК сомасы болса. Онда (3.7) өрнегін келесі түрде жазуға болады

$$I = \frac{\sum_{\text{алг}} E}{\sum R} = \frac{\sum E_{\text{ген}} - \sum E_{\text{потр}}}{\sum R},$$

бұдан

$$\sum E_{\text{ген}} - \sum E_{\text{потр}} = I \sum R.$$

Алынған екі теңдіктің екі жағында ток күші *көбейтіп және қосылғышты теріс белгісімен оң жаққа ауыстыру арқылы, келесі теңдеуді аламыз*

$$\begin{aligned} \sum E_{\text{ген}} I &= \sum E_{\text{потр}} I + I^2 \sum R; \\ \sum P_{\text{ист.ген}} &= \sum P_{\text{ист.потр}} + I^2 \sum R. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Формула (3.8) сәйкес бірнеше энергия көзі бар тізбек үшін қуаттар балансы келесіні білдіреді: генераторлар-көздерінің қуаттары сомасы барлық тұтынушылар қуаттары, тұтынушылар-көздері қуаттарымен бірге сомасына тең.

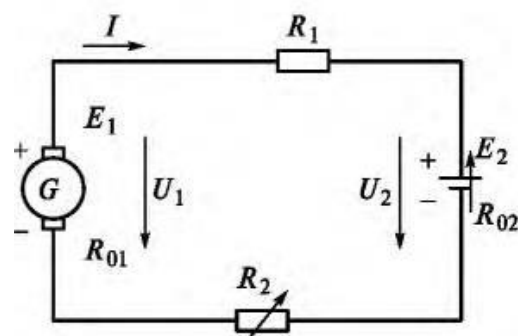
Осылайша, берілген тізбек баланс теңдігі келесі түрге ие болады:

$$\begin{aligned} P_{\text{ист1}} + P_{\text{ист3}} + P_{\text{ист4}} &= P_{\text{ист2}} + P_{\text{ист5}} + P_1 + \\ &+ P_2 + P_3 + P_{01} + P_{02} + P_{03} + P_{04} + P_{05} \end{aligned}$$

немесе

$$\begin{aligned} (E_1 + E_3 + E_4)I &= (E_2 + E_5)I + \\ &+ I^2(R_1 + R_2 + R_3 + R_{01} + R_{02} + R_{03} + R_{04} + R_{05}). \end{aligned}$$

Есеп 3.5. Сурет 3.7 генератор тұрақты тоғы $E_1=100$ В және ток күші $= 5A$, $R_{01} = 1,5$ Ом ішкі кедергісі бар аккумуляторлы батарея зарядталу схемасы көрсетілген. Ішкі кедергісі $R_{02} = 1$ Ом аккумуляторлы батарея тоқтан ажыратылған жағдайда (заряд басында) ЭҚК $E_{2\text{нач}} = 24$ және зарядтау соңында ЭҚК $E_{2\text{кон}} = 32$. Тізбектегі ($= 5A$) берілген ток күшін қалыпта сақтау үшін екі кедергі қарастырылған: тұрақты кедергі $R_1 = 8$ Ом және реттелуші кедергі R_2 .



Сурет 3.7. Аккумуляторлы батарея зарядталу схемасы

Энергия көзі режимдерін, батарея зарядталудың басында және соңында қысқыштарындағы кернеуді, және тізбектегі ($= 5A$) ток күшінің берілген мәнің қамтамасыз етуші кедергі R_2 өзгерісі шектерін анықтаңыз. Қуаттар балансын құру және оның аккумулятор зарядталуы басында және соңында сақталуына көз жеткізу қажет. Тізбек аумақтарында үзіліс кезінде кернеу өзгерістерін және тұтынушы-көзін (аккумуляторлы батарея) қандай эквивалентті кедергімен алмастыруға болатының анықтау.

Шешімі. 1. Жұмыс режимдерін және энергия көздері қысқыштарындағы кернеуді анықтау. ЭҚК көздері E_1 және E_2 бір-біріне қарсы бағытталуына сәйкес және $E_1 > E_2$, онда E_1 көзі генератор режимінде жұмыс атқарады, ал E_2 – тұтынушы режимінде.

2. Батарея зарядталуы басында және соңында энергия көздері қысқыштары кернеулерін анықтау. Тізбектегі ток күші батарея заряды ($= 5A$) қосылғаннан бастап соңына дейін өзгермей қалпында

сақталатының ескере отырып, көз қысқыштарында келесі кернеулерді аламыз:

- батарея зарядталу бүкіл процесі бойына генератор қысқыштары кернеуін

$$U_1 = E_1 - IR_{01} = 100 - 5 \cdot 1,5 = 92,5 \text{ В};$$

- зарядталу басында аккумуляторлы батарея қысқыштары кернеуі

$$U_{2 \text{ нач}} = E_{2 \text{ нач}} + IR_{02} = 24 + 5 \cdot 1 = 29 \text{ В};$$

- зарядталу соңында аккумуляторлы батарея қысқыштары кернеуі

$$U_{2 \text{ кон}} = E_{2 \text{ кон}} + IR_{02} = 32 + 5 \cdot 1 = 41 \text{ В}.$$

3. Кедергі R_2 өзгерісі шектерін анықтау. Ом заңына сәйкес бірнеше энергия көзі бар тармақталмаған тізбек үшін берілген тізбекте ток күшін келесі формула арқылы табуға болады:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{\sum R},$$

мұндағы \sum – қарастырылып отырған тізбектің жалпы кедергісі.

Ток теңдігінен тізбектің жалпы кедергісін есептеу үшін келесі өрнекті аламыз:

$$\sum R = \frac{E_1 - E_2}{I}.$$

E_2 батарея ($E_{2 \text{ нач}}$ және $E_{2 \text{ кон}}$) зарядталуы басында және соңында да әртүрлі мәндерге ие болады, онда осы процестің басы мен соңында жалпы кедергі де әртүрлі мәндерде болады:

$$\sum R_{\text{нач}} = (E_1 - E_{2 \text{ нач}})/I = (100 - 24)/5 = 15,2 \text{ Ом};$$

$$\sum R_{\text{кон}} = (E_1 - E_{2 \text{ кон}})/I = (100 - 32)/5 = 13,6 \text{ Ом}.$$

Сонымен берілген тізбек үшін жалпы кедергі

$$\sum R = R_1 + R_2 + R_{01} + R_{02};$$

$$R_2 = \sum R - R_1 - R_{01} - R_{02},$$

онда

$$R_{2 \text{ нач}} = \sum R_{\text{нач}} - R_1 - R_{01} - R_{02} = 15,2 - 8 - 1,5 - 1 = 4,7 \text{ Ом};$$

$$R_{2 \text{ кон}} = \sum R_{\text{кон}} - R_1 - R_{01} - R_{02} = 13,6 - 8 - 1,5 - 1 = 3,1 \text{ Ом}.$$

Сонымен бірге, тізбектегі зарядталу ток берілген мәндерін қалпында ұстау үшін R_2 кедергіні 4,7 Ом-ден (заряд басында) 3,1 Ом дейін (заряд соңында) өзгерту керек.

4. Қуаттар балансын құру. Қуаттар балансын құру кезінде

энергия көздері жұмыс атқару режимдерін ескеру қажет. Энергияны тізбек генератор режимінде жұмыс атқаратын көз беріп тұрады (біздің жағдайда бұл E_1). Тұтынушы режимінде жұмыс атқаратын E_2 көзі басқа тұтынушыларға қосып есептелінеді. Соңдықтанда (3.8) формуласына сәйкес сурет 3.7 тізбек үшін қуаттар балансы теңдігі келесі түрге ие болады:

$$P_{\text{ген}} = P_{\text{потр.}} \text{ немесе } E_1 I = E_2 I + I^2 \sum R.$$

Генератор және тұтынушы қуаттары балансы (теңдігі) қарастырылып отырған тізбек үшін зарядталу басында, және соңында

қалыпта ұсталуына көз жеткізу үшін осы қуаттар мәндерін табамыз:

$$P_{\text{ген}} = E_1 I = 100 \cdot 5 = 500 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{потр. нач}} = E_{2 \text{ нач}} I + I^2 \sum R_{\text{нач}} = 24 \cdot 5 + 5^2 \cdot 15,2 = 500 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{потр. кон}} = E_{2 \text{ кон}} I + I^2 \sum R_{\text{кон}} = 32 \cdot 5 + 5^2 \cdot 13,6 = 500 \text{ Вт}.$$

Есептеулерден аккумулятор зарядталу басында және соңында қуаттар балансы орындалатынын көруге болады.

5. Тізбек аумақтарында, оның ажырау кезіндегі кернеулер өзгерістері. Тізбек ажырағанда зарядталу ток күші нөлдік мәнге дейін азаяды. Сонымен бірге, генератор-көзі E_1 қысқыштары кернеуі $U_1 = E_1 = 100 \text{ В}$ мәніне дейін көбейеді, ал тұтынушы-көздері E_2 қысқыштары кернеуі $U_2 = E_2$ мәніне дейін азаяды. Әрі E_2 мәні 24 (заряд басында) ден 32 В дейін (заряд соңында) диапазонында болады.

Кернеу U_{R1} және U_{R1} кедергілерінде Ом заңына сәйкес тізбек аумағы үшін нөлге дейін азаяды.

6. Тұтынушы-көзін алмастыруға болатын эквивалентті кедергіні есептеу. Тұтынушы-көзін (аккумулятор) тұтынушы қуаты аккумулятор қуатына тең кедергіге алмастыруға болады. Бұл жағдайда алмастырудан кейінгі кедергілердегі кернеудің азаюы ток мәні сақталуымен тұтынушы-көзі соңындағы кернеуге тең болады.

Эквивалентті кедергі мәнін тізбек аумағы үшін Ом заңы арқылы оңай анықтауға болады. Аккумулятор зарядталу басы мен соңында ізделетін кедергі мәні ($R_{\text{э бас}}$ және $R_{\text{э соң}}$) әртүрлі болады, себебі кернеудің екі түрлі мәні бар ($U_{2 \text{ бас}}$ және $U_{2 \text{ соң}}$). Сонымен,

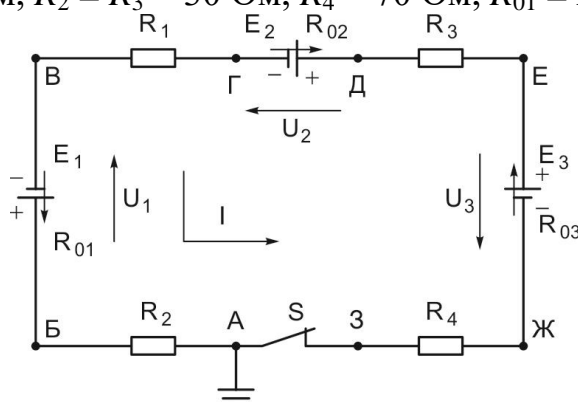
$$R_{\text{э. нач}} = U_{2 \text{ нач}} / I = 24 / 5 = 4,8 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{э. кон}} = U_{2 \text{ кон}} / I = 32 / 5 = 6,4 \text{ Ом}.$$

3.5. Электр тізбегі нүктелерінің потенциалдары.

Потенциалды диаграмма

Есеп 3.6. 3.8 суретте бірнеше энергия көздері бар тармақталмаған электр тізбегі көрсетілген, келесі параметрлерімен: $E_1 = 100 \text{ В}$, $E_2 = 35 \text{ В}$, $E_3 = 25 \text{ В}$, $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 30 \text{ Ом}$, $R_4 = 70 \text{ Ом}$, $R_{01} = R_{02} = 10 \text{ Ом}$, $R_{03} = 0$.



Сурет 3.8. Тармақталмаған тұйық тізбек

Есептегіш эксперимент арқылы келесі жағдайлардағы тізбек жұмысын зерттеу:

- тізбек тұйық;
- тізбектегі үзіліс нәтижесінде тізбек ашылған;
- ашық кілт кезіндегі тізбектегі Г және Ж нүктелерінің қысқа тұйықталуы;
- құрастыру кезіндегі E_1 көзіклеммасының шатастырылуы.

Әрбір көрсетілген жағдай үшін тізбектегі ток күшін анықтау және схемада көрсетілген жалпы А нүктесіне қатысты нүктелер потенциалын есептеу керек. Алынған нәтижелер негізінде потенциалды диаграмма құру және энергия көздері қысқыштары кернеулерін есептеу. Потенциалды диаграмма түріне тізбектегі өзгерістер әсері сипаты және потенциалды диаграммаларды электр тізбектерін тестілеу¹ мүмкіндігіне талдау жүргізу.

Шешімі. 1.Т ұ й ы қ т і з б е к (сурет 3.8. қараңыз). Тізбектегі ток күшін есептейміз. Берілген тізбек ток күші Ом заңы бойынша бірнеше ЭҚК көзді толық тізбек үшін есептеледі:

$$I = \frac{\sum_{\text{ЭҚК}} E}{\sum R} = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{01} + R_{02} + R_{03}} = \frac{100 - 35 + 25}{20 + 30 + 30 + 70 + 10 + 10 + 0} = 0,53 \text{ А.}$$

¹Электрикалық тізбектерді тестілеу деп тізбектер дұрыс қызмет етуін тексеру мақсатымен сынақтар өткізуді және олардағы мүмкін ақауларды қарастыруды атайды.

Тізбектегі ток бағытын анықтаймыз. Берілген тізбек ток бағыты

қосылған энергия E_1 және E_3 көздеріне сәйкес ЭҚК бағытымен анықталады, өйткені олардың ЭҚК сомасы E_2 көзі кері ЭҚК артады.

Энергия көздері жұмыстарының режимдерін анықтаймыз. E_1 және E_3 көздері генератор режимінде жұмыс атқарады, өйткені олардың ЭҚК бағыттары ток бағыттарымен сәйкес келеді. E_2 көзі тұтынушы режимінде жұмыс атқарады, өйткені оның ЭҚК токқа қарсы бағытталған.

Тізбек аумақтары кернеуі мен оның потенциалы нүктелерін есептейміз:

а) нүкте А потенциалын санау дәрежесінде қабылдаймыз: $\varphi_A = 0$;

б) $\varphi_B = 15,9$ В.

Өйткені АБ аумағында ток R_2 кедергісімен Б нүктесінен А нүктесіне бағытталған, онда $\varphi_B > \varphi_A$, және кернеу

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A = IR_2 = 0,53 \cdot 30 = 15,9 \text{ В,}$$

осыдан потенциал

$$\varphi_B = \varphi_A + U_{BA} = 0 + 15,9 = 15,9 \text{ В;}$$

в) $\varphi_B = -78,8$ В.

Б және В нүктелері арасында генератор режимінде жұмыс атқаратын E_1 энергия көзі аумағы орналасқан. Өйткені Б нүктесімен көздің оңды қысқышы белгіленген, сонда $\varphi_B > \varphi_V$. Онда E_1 энергия көзінің қысқыштарындағы кернеу

$$U_{BV} = \varphi_B - \varphi_V = E_1 - IR_{01} = 100 - 0,53 \cdot 10 = 94,7 \text{ В,}$$

осыдан потенциал

$$\varphi_V = \varphi_B - U_{BV} = 15,9 - 94,7 = -78,8 \text{ В;}$$

г) $\varphi_I = -68,2$ В.

ВГ аумағында ток R_1 кедергісімен Г нүктесінен В нүктесіне бағытталған, сондықтанда $\varphi_I > \varphi_V$, және кернеу

$$U_{IV} = \varphi_I - \varphi_V = IR_1 = 0,53 \cdot 20 = 10,6 \text{ В,}$$

осыдан потенциал

$$\varphi_I = \varphi_V + U_{IV} = -78,8 + 10,6 = -68,2 \text{ В;}$$

д) $\varphi_D = -27,9$ В.

Г және Д нүктелері арасында тұтынушы режимінде жұмыс атқарушы E_2 энергия көзімен аумақ орналасқан. Өйткені, осы көздің оңдық қысқышы Д нүктесімен белгіленген, онда $\varphi_D > \varphi_I$, және E_2 энергиясы көзі қысқыштары кернеуі

$$U_{DI} = \varphi_D - \varphi_I = E_2 + IR_{02} = 35 + 0,53 \cdot 10 = 40,3 \text{ В,}$$

осыдан потенциал

$$\varphi_D = \varphi_I + U_{DI} = -68,2 + 40,3 = -27,9 \text{ В;}$$

е) $\varphi_E = -12$ В.

ДЕ аумағында ток R_3 кедергісімен Е нүктесінен Д нүктесіне бағытталған, сондықтанда $\varphi_E > \varphi_D$, және кернеу

$$U_{ED} = \varphi_E - \varphi_D = IR_3 = 0,53 \cdot 30 = 15,9 \text{ В,}$$

осыдан потенциал

$$\varphi_E = \varphi_D + U_{ED} = \varphi_D + 15,9 = -27,9 + 15,9 = -12 \text{ В;}$$

ж) $\varphi_J = -37$ В.

Е және Ж нүктелері арасында тұтынушы режимінде жұмыс атқарушы

E_3 энергия көзімен аумақ орналасқан. Өйткені осы көздің оңдық қысқышы Е нүктесімен белгіленген, онда $\varphi_E > \varphi_{Ж}$, және Е энергия көзі қысқыштары кернеуі

$$U_{EЖ} = \varphi_E - \varphi_{Ж} = E_3 - IR_{03} = 25 - 0,53 \cdot 0 = 25 \text{ В},$$

осыдан потенциал

$$\varphi_{Ж} = \varphi_E - U_{EЖ} = \varphi_E - 25 = -12 - 25 = -37 \text{ В};$$

з) есептеу дұрыстығын тексеру үшін φ_A табамыз.

ЖА аумағында ток R_4 кедергісімен нүкте А нүкте Ж бағытталған, сондықтан $\varphi_A (= \varphi_3) > \varphi_{Ж}$, және кернеу

$$U_{AJ} = \varphi_A - \varphi_{Ж} = IR_4 = 0,53 \cdot 70 = 37,1 \text{ В},$$

осыдан потенциал

$$\varphi_A = \varphi_{Ж} + U_{AJ} = -37 + 37,1 = 0,1 \text{ В} \approx 0.$$

Алынған $\varphi_A \approx 0$ есептеу мәні, есеп басында қабылданған (нөлден маңызсыз ауытқу таңдалған есеп дәлдігімен анықталады) А нүктесі потенциалына тең жүргізілген есептерді дұрыстығын дәлелдейді.

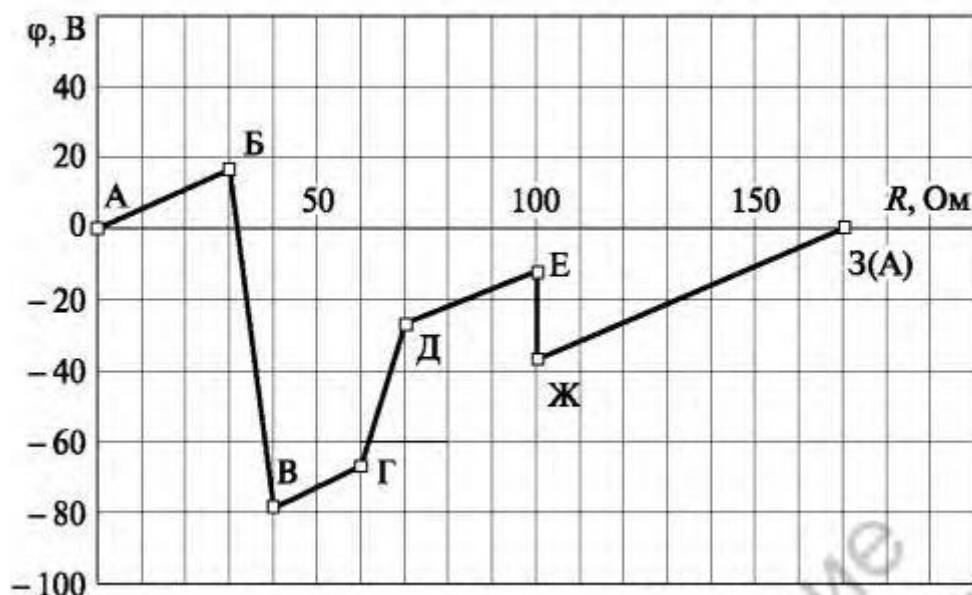
Орындалған есептеулер нәтижесінде құрылған потенциалды диаграмма 3.9 суретте көрсетілген.

2. Ашық тізбек – тізбек үзілісі (сурет 3.10). тізбектегі ток күшін анықтаймыз. Тізбек (ашылған) үзілген уақытта ондағы ток күші нөлге дейін азаяды: $=0$.

Тізбек аумақтарындағы кернеулер мен оның нүктелері потенциалдарын есептейміз:

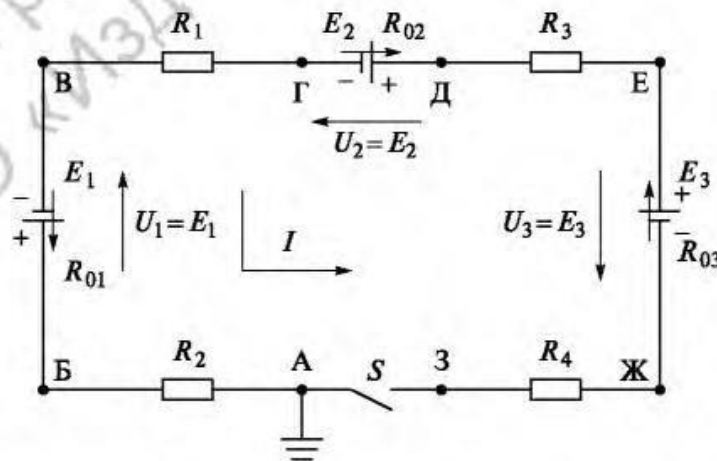
а) бірінші жағдай кезіндегі сияқты А нүктесін нөлге тең деп аламыз:

$$\varphi_A = 0;$$

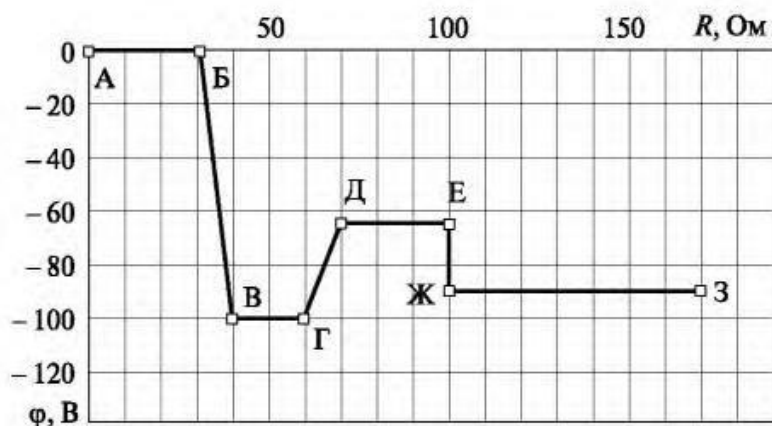


Сурет 3.9. Тізбектің потенциалды диаграммасы, сурет 3.8 көрсетілгеннің

- б) $U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A = IR_2 = 0$,
 $\varphi_B = \varphi_A + 0 = 0$;
- в) $U_{BB} = \varphi_B - \varphi_B = E_1 - IR_{01} = 100 - 0 \cdot 10 = 100 \text{ В}$,
 $\varphi_B = \varphi_B - 100 = 0 - 100 = -100 \text{ В}$;
- г) $U_{TB} = \varphi_T - \varphi_B = IR_1 = 0 \cdot 20 = 0$,
 $\varphi_T = \varphi_B + 0 = -100 \text{ В}$;
- д) $U_{DT} = \varphi_D - \varphi_T = E_2 + IR_{02} = 35 + 0 \cdot 10 = 35 \text{ В}$,
 $\varphi_D = \varphi_T + 35 = -100 + 35 = -65 \text{ В}$;
- е) $U_{ED} = \varphi_E - \varphi_D = IR_3 = 0 \cdot 30 = 0$,
 $\varphi_E = \varphi_D + 0 = -65 \text{ В}$;
- ж) $U_{EЖ} = \varphi_E - \varphi_Ж = E_3 - IR_{03} = 25 - 0 \cdot 0 = 25 \text{ В}$,



Сурет 3.10. Тармақталмаған ашық тізбек



Сурет 3.11. Сурет 3.10 көрсетілген тізбектің потенциалды диаграммасы,

$$\varphi_{\text{Ж}} = \varphi_{\text{Е}} - 25 = -65 - 25 = -90 \text{ В};$$

$$3) U_{\text{ЗЖ}} = \varphi_{\text{З}} - \varphi_{\text{Ж}} = IR_4 = 0 \cdot 70 = 0;$$

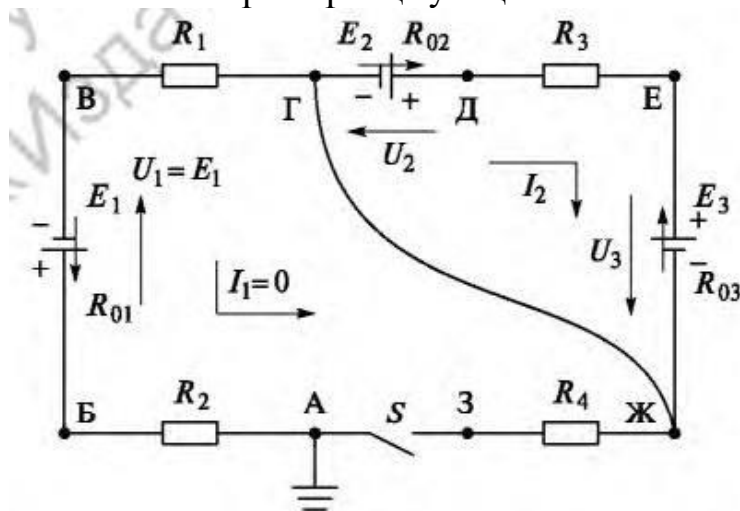
$$\varphi_{\text{З}} = \varphi_{\text{Ж}} + 0 = -90 \text{ В}.$$

Осы есептеулер нәтижесінде құрылған потенциалды диаграммасы, сурет 3.11 көрсетілген.

3. Ашық тізбекте Г және Ж нүктелерінің қысқа тұйықталуы (сурет 3.12). Тізбектегі ток күштерін анықтаймыз. Сурет 3.12 көрсетілген тізбек нүктелері потенциалдарын есептемей тұрып, осы тізбектің ГДЕЖГ ашық аумағынан өтетін ток күшін анықтау қажет. Осы тізбектің АБВГЖЗ ашық аумағында ток күші.

Тұйық тізбек E_2 және E_3 екі энергия көзі бар тармақталмаған тізбекті білдіреді. Өйткені, ЭҚК көздері қарсы бағытқа ие және $E_2 > E_3$, энергия көзі E_2 генератор режимінде жұмыс атқарады, ал E_3 – тұтынушы режимінде.

Ом заңына сәйкес ток күші тұйық аумақта.



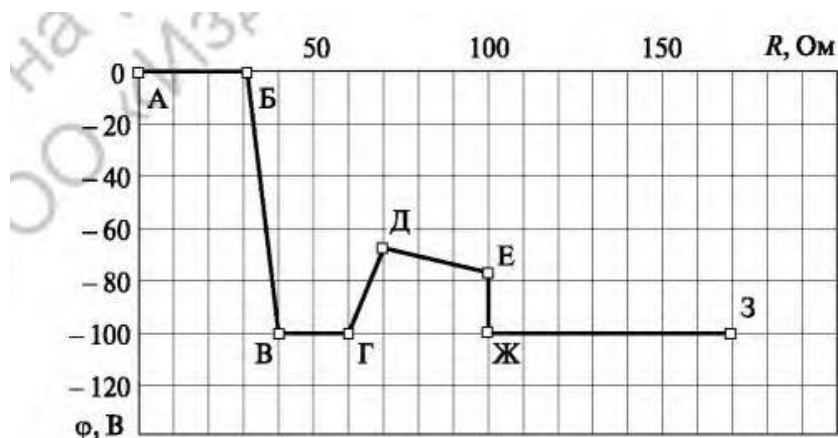
Сурет 3.12 Ашық S кілтте Г және Ж нүктелері қысқа тұйықталу кезіндегі тізбек схемасы

$$I_2 = \frac{E_2 - E_3}{R_3 + R_{02} + R_{03}} = \frac{35 - 25}{30 + 10 + 0} = 0,25 \text{ А}.$$

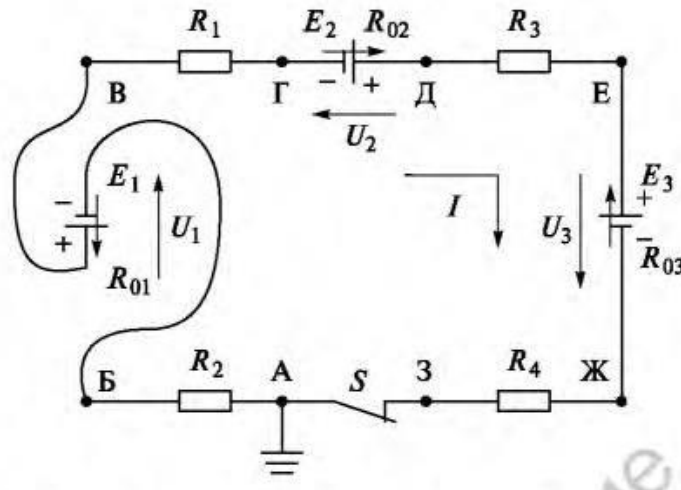
Тізбек аумақтарындағы кернеулерді және олардың потенциалдарын есептейміз:

- а) $\varphi_A = 0$;
- б) $U_{БА} = \varphi_B - \varphi_A = I_1 R_2 = 0$,
 $\varphi_B = \varphi_A + 0 = 0$;
- в) $U_{БВ} = \varphi_B - \varphi_B = E_1 - I_1 R_{01} = 100 - 0 \cdot 10 = 100 \text{ В}$,
 $\varphi_B = \varphi_B - 100 = 0 - 100 = -100 \text{ В}$;
- г) $U_{ГВ} = \varphi_G - \varphi_B = I_1 R_1 = 0 \cdot 20 = 0$,
 $\varphi_G = \varphi_B + 0 = -100 \text{ В}$;
- д) $U_{ДГ} = \varphi_D - \varphi_G = E_2 - I_2 R_{02} = 35 - 0,25 \cdot 10 = 32,5 \text{ В}$,
 $\varphi_D = \varphi_G + 32,5 = -100 + 32,5 = -67,5 \text{ В}$;
- е) $U_{ДЕ} = \varphi_D - \varphi_E = I_2 R_3 = 0,25 \cdot 30 = 7,5 \text{ В}$,
 $\varphi_E = \varphi_D - 7,5 = -67,5 - 7,5 = -75 \text{ В}$;
- ж) $U_{ЕЖ} = \varphi_E - \varphi_Ж = E_3 + I_2 R_{03} = 25 + 0,25 \cdot 0 = 25 \text{ В}$,
 $\varphi_Ж = \varphi_E - 25 = -75 - 25 = -100 \text{ В}$;
- з) $U_{ЗЖ} = \varphi_З - \varphi_Ж = I_1 R_4 = 0 \cdot 70 = 0$,
 $\varphi_З = \varphi_Ж + 0 = -100 \text{ В}$.

Осы есептеулер нәтижелерінде құрылған потенциалды диаграмма сурет 3.13 көрсетілген.



Сурет 3.13. Сурет 3.12 көрсетілген тізбектің потенциалды диаграммасы



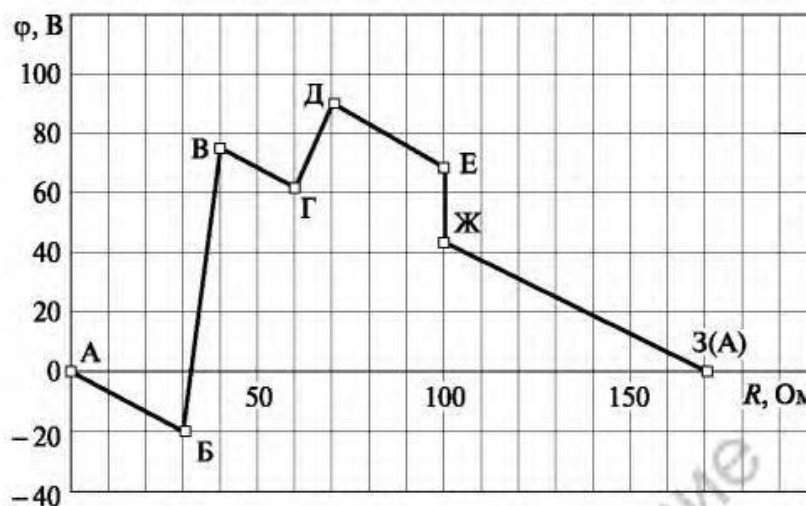
Сурет 3.14. Құрастыру кезінде E_1 көзі клеммаларымен шатысқан тізбек схемасы

4. Тізбекті құрастыру кезінде E_1 энергия көзі клеммалары шатысқан (3.14 сурет) тізбектегі ток күшін есептейміз. Көрсетілген ақаулар нәтижесінде тізбектерде энергия көздерінің жұмыс режимдері өзгереді: E_1 және E_2 генератор режимінде жұмыс атқарады, ал E_3 – тұтынушы режимінде. Ток бағыты генераторлар-көздері бағытымен сәйкес келеді (E_1 және E_2), яғни қарама қарсыға өзгереді. Ом заңына сәйкес тізбектегі ток күші

$$I = \frac{E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{01} + R_{02} + R_{03}} = \frac{100 + 35 - 25}{20 + 30 + 30 + 70 + 10 + 10 + 0} = 0,647 \text{ A.}$$

Тізбек аумақтарындағы кернеулерді және оның нүктелеріндегі потенциалдарды есептейміз:

- а) $\varphi_A = 0$;
- б) $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = IR_2 = 0,647 \cdot 30 = 19,4 \text{ В}$,
 $\varphi_B = \varphi_A - 19,4 = -19,4 \text{ В}$;
- в) $U_{BB} = \varphi_B - \varphi_B = E_1 - IR_{01} = 100 - 0,647 \cdot 10 = 93,5 \text{ В}$,
 $\varphi_B = \varphi_B + 93,5 = -19,4 + 93,5 = 74,1 \text{ В}$;
- г) $U_{BG} = \varphi_B - \varphi_G = IR_1 = 0,647 \cdot 20 = 12,9 \text{ В}$,
 $\varphi_G = \varphi_B - 12,9 = 74,1 - 12,9 = 61,2 \text{ В}$;
- д) $U_{DG} = \varphi_D - \varphi_G = E_2 - IR_{02} = 35 - 0,647 \cdot 10 = 28,5 \text{ В}$,
 $\varphi_D = \varphi_G + 28,5 = 61,2 + 28,5 = 89,7 \text{ В}$;
- е) $U_{DE} = \varphi_D - \varphi_E = IR_3 = 0,647 \cdot 30 = 19,4 \text{ В}$,
 $\varphi_E = \varphi_D - 19,4 = 89,7 - 19,4 = 70,3 \text{ В}$;
- ж) $U_{EЖ} = \varphi_E - \varphi_Ж = E_3 + IR_{03} = 25 + 0,647 \cdot 10 = 25 \text{ В}$,
 $\varphi_Ж = \varphi_E - 25 = 70,3 - 25 = 45,3 \text{ В}$;
- з) $U_{Ж3} = \varphi_Ж - \varphi_3 = IR_4 = 0,647 \cdot 70 = 45,3 \text{ В}$,
 $\varphi_A = \varphi_3 = \varphi_Ж - 45,3 = 45,3 - 45,3 = 0$.



Сурет 3.15. Сурет 3.14 көрсетілген тізбектің потенциалды диаграммасы

Осы есептеулер нәтижесінде құрылған потенциалды диаграмма 3.15. суретте көрсетілген.

5. Е с е п т е г і ш э к с п е р и м е н т н ە т и ж е л е р і н т а л д а у . Алынған нәтижелер негізінде келесі тұжырымдарды жасауға болады:

- потенциалды диаграмма электр тізбегі жағдайын сипаттайды;
- егер потенциалды диаграмма тұйық болса, онда тізбекте тұйық, өйткені тізбектің бір нүктесіне сәйкес келуші диаграмманың бастапқы және соңғы нүктелерінде потенциалы бірдей (сурет 3.9 және 3.15 қараңыз);
- егер потенциалды диаграмма ашық болса, онда тізбекте ашық: кілт тұйық емес немесе тізбекте үзіліс бар (сурет 3.11 және 3.13 қараңыз);
- егер кедергілері бар тізбек аумақтарынан бірдей ток өтсе, онда осы аумақтарға сәйкес потенциалды диаграмманың түзу сызығы өзара қатарлас болады (сурет 3.9,3.11,3.13,3.15 қараңыз);
- егер кедергілері бар тізбек аумақтарына сәйкес келуші потенциалды диаграмма түзу сызықтары көлденең болса, онда кедергіде ток жоқ болады, яғни, немесе тізбек ашық (суреттер 3.11, 3.13 АБ, ВГ және ЖЗ аумақтарын қараңыз), немесе кедергінің қысқа тұйықталу орны болуы мүмкін.
- энергия көздерін құрайтын тізбек аумақтарында потенциалдың күрт өзгерісі байқалады, және жалпы жағдайда осы аумақтарға сәйкес келуші потенциалды диаграмма сызықтары өзара қатарлас емес (сурет 3.11,3.13,3.15 қараңыз);
- егер, кедергісі бар тізбек аумақтарында потенциалды диаграмма түзу еңісі бұрыштары әртүрлі болса, онда кедергілердің немесе кедергімен бірге тізбектің бірнеше элементтері қысқа тұйықталуы орын алады.

Потенциалды диаграмма талдауы оны пайдаланудың келесі мүмкіншіліктерін ашады:

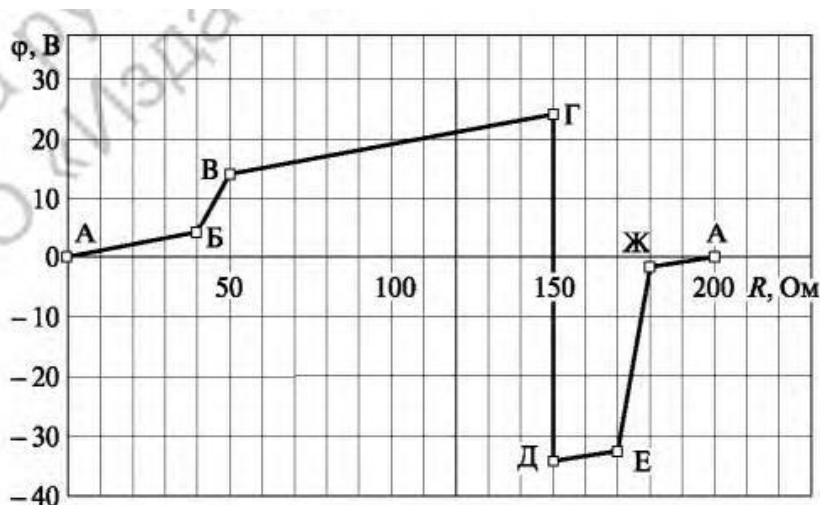
- потенциалды диаграмма түрі бойынша электр тізбегі схемасын келтіруге болады;
- егер потенциалды диаграмма масштабта құрылса, онда ол бойынша тізбек элементтері параметрлерін, тізбектегі ток күшін, оның бағытталуы

және оның арасындағы потенциалды айырмасы ретінде кез келген оның нүктелері арасындағы кернеуді анықтауға болады;

- потенциалды диаграмма электр тізбегі тестілеу кезінде оның нақты жағдайы туралы тұжырымдар жасауға және егер ақаулар болса олардың сипатын анықтауға мүмкіндік береді.

Есеп 3.7. 3.16 суретте көрсетілген потенциалды диаграмма түрі бойынша электр тізбегі схемасын келтіру қажет.

Осы тізбектегі ток күші, оның бағыты, энергия көздері жұмысының режимдері, тізбек параметрлері (ЭҚК көздері, олардың ішкі кедергілері мен тізбек кедергілері), және В және Д нүктелері арасындағы кернеулерді анықтаңыз.

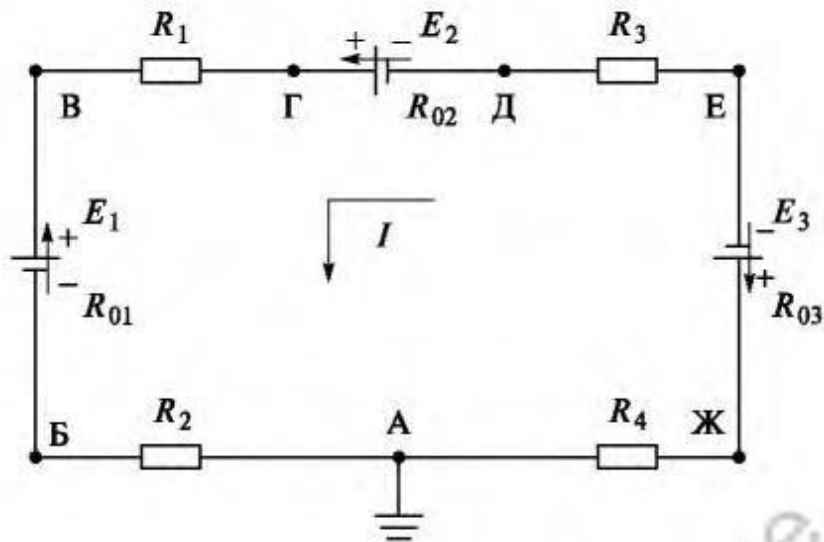


Сурет 3.16. Есеп 3.7-гі тізбектің потенциалды диаграммасы

Шешімі. 1. Электр тізбегі схемасын құрастыру. Берілген потенциалды диаграмма түрі бойынша қорытындылауға болады:

- диаграммаға сәйкес тізбек түйік (өйткені потенциалды диаграмма түйік);
- АБ, ВГ, ДЕ және ЖА аумақтарында кедергілер қосылған (өйткені потенциал өзгерісін көрсетуші түзу сызықтар секілді өзара қатарлас);
- БВ, ГД ЕЖ аумақтарында оңдық қысқыштары В.Г және Ж нүктелерімен белгіленген энергия көздері қосылған (өйткені $\varphi_B > \varphi_V$, $\varphi_G > \varphi_B$, $\varphi_J > \varphi_E$).

Қарастырылған сипатқа сәйкес келуші электр тізбегі схемасы сурет 3.17 көрсетілген.



Сурет 3.17. Есеп 3.7-ге электр тізбегі схемасы

2. Тізбектегі ток бағытын және оның мәндерін анықтау. Ток бағытын кедергісі бар (АБ, ВГ, ДЕ және ЖА) тізбекаумағының кез келгені арқылы анықтауға болады. Мысалы, ВГ аумағында ток Г нүктесінен В нүктесіне бағытталады, өйткені $\varphi_{\Gamma} > \varphi_{\text{В}}$.

Ток күшін масштабта орындалған потенциалды диаграмма арқылы R_1 кедергісі бар тандалған аумақ (ВГ) үшін Ом заңы арқылы анықтаймыз, және R_1 кедергісі кернеуі сәйкес келуші потенциалдар айырмасы ретінде және осы кедергі Г және В нүктелері абсцисса айырмасы ретінде:

$$I = \frac{\varphi_{\Gamma} - \varphi_{\text{В}}}{R_1} = \frac{25 - 15}{100} = 0,1 \text{ А.}$$

3. Энергия көздері жұмыстары режимдері мен тізбек параметрлерін анықтау. E_1 және E_2 көздері тұтынушы режимінде жұмыс атқарады, өйткені олардың ЖҚК токқа қарсы бағытталған. E_2 көзі генератор режимінде жұмыс атқарады, өйткені оның ЭҚК токқа сай бағытталған.

Тізбек кедергілерін анықтаймыз. Өйткені диаграмма масштабта орындалған, ал кедергілері бірінің артынан бірі абсцисс өсі бойынша келесінің соңына дейін кешіктіріліп отырады, өйткені тізбек элементтері кедергілері келесі мәндерге ие:

$$R_1 = 100 \text{ Ом}, R_2 = 40 \text{ Ом}, R_3 = R_4 = 20 \text{ Ом}, \\ R_{01} = R_{03} = 10 \text{ Ом}, R_{02} = 0.$$

ЭҚК қуат көздерін табамыз.

E_1 көзі тұтынушы режимінде жұмыс атқарады, сондықтан оның қысқыштарындағы кернеу $U_{\text{ВВ}} = \varphi_{\text{В}} - \varphi_{\text{В}} = E_1 +$, осыдан

$$E_1 = \varphi_{\text{В}} - \varphi_{\text{В}} - IR_{01} = 15 - 4 - 0,1 \cdot 10 = 10 \text{ В.}$$

E_2 көзі генератор режимінде жұмыс атқарады, сондықтан оның қысқыштарындағы кернеу $U_{\text{ГД}} = \varphi_{\Gamma} - \varphi_{\text{В}} = E_2 +$, осыдан

$$E_2 = \varphi_{\Gamma} - \varphi_{\text{В}} + IR_{02} = 25 - (-35) + 0,1 \cdot 0 = 60 \text{ В.}$$

E_3 көзі тұтынушы болып келеді, сондықтанда оның қысқыштарындағы кернеу $U_{ЖЕ} = \varphi_{Ж} - \varphi_{Е} = E_3 +$, осыдан

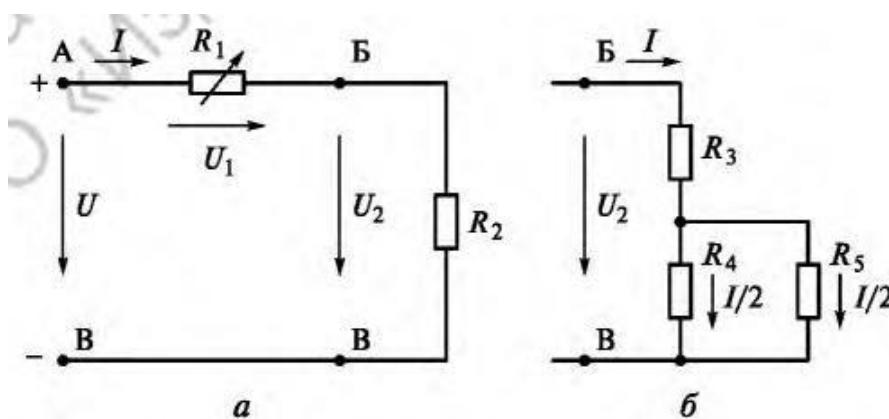
$$E_3 = \varphi_{Ж} - \varphi_{Е} - IR_{03} = -2 - (-33) - 0,1 \cdot 10 = 30 \text{ В.}$$

4. Нүктелер арасындағы кернеулерді анықтау. Кез келген нүктелер арасындағы кернеулер мәндері потенциалды диаграммада анықталған потенциалдар арасындағы айырма ретінде анықталады. Мысалы,

$$U_{ВД} = \varphi_{В} - \varphi_{Д} = 15 - (-35) = 50 \text{ В.}$$

3.6. Тізбек элементтерін таңдау және тізбек жұмысының сенімділігі

Есеп 3.8. Қуат көзі кернеуі $U = 45 \text{ В}$ ие, электр тізбегіне реостат (R_1 ауыспалы кедергі, 0 ден 500 Ом дейін реттелуші) және тізбектегі ток күшін шектеу үшін дәйекті түрде R_2 резистор қосылған. $R_1 = 0$ болса тізбектегі ток күші .



Сурет 3.18. Есеп 3.8 (а) электр тізбегі және құрамдас кедергі (б) схемасы

Рұқсат етілген қателік кедергісі $\pm 10\%$ және тізбектің сенімді жұмысын қамтамасыз ететін резисторды таңдау.

Шешімі. 1. Резисторларды таңдаудың жалпы ережелері. Электротехникалық құрылғаларды құрастыру кезінде тізбектегі ток күшін шектеу үшін арнайы резисторлар және анықталған шектерде тізбектегі ток күшін реттеу үшін реостаттарды таңдаудың қажеттілігі жиі болып тұрады. Сонымен бірге тізбек жұмысы сенімділігіде қамтамасыз етіледі.

Кез келген резистор екі негізгі параметрлерімен сипатталады: кедергі және шашыратудың рұқсат етілген қуаты. Сонымен қатар, маңызды сапалы көрсеткіш резистор кедергісі мәнінің дәлдігі болып табылады, яғни кедергінің номиналды мәнінен (пайызбен) шекті рұқсат етілген ауытқуы (қателік).

Өнеркәсіп кедергінің кез келген номиналды мәндеріне және кез келген қуат мәндеріне резисторлар шығармайды. Кедергілердің номиналды мәндері кедергілер қатары деп аталып көрсетіледі, ал рұқсат етілген қуаттар – қуаттар қатары. Берілген рұқсат етілу қателіктері $\pm 10\%$ бар резисторлар келесі кедергілер номиналды мәндерімен шығарылады, Ом: 1,0; 1,2; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2 ...10, 100, 1000 есеге көбейтілетін. Рұқсат етілген

қуаттар, Вт: 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2 т.б.

2. R_2 кедергісі бар резисторды таңдау. Кедергі R_2 номиналды мәнің Ом заңы арқылы тізбек аумағы үшін анықтаймыз: $R_2 = U_2/I$.

Есеп шартты бойынша $R_1 = 0$ болса тізбектегі ток күші .
Өйткені АБ аумағы кедергісі нөлге тең ($R_{AB} = 0$, себебі $R_1 = 0$, ал қосылыс сым темірлері кедергісі маңызсыз және оларды елемеуге де болады), ондағы кернеудің түсуі $U_1 = R_{AB} = 0$. Сәйкесінше кернеу $U_2 = U - U_1 = 45$ В. Сонда

$$R_2 = U_2/I = 45 \cdot 10^3 / 30 = 1,5 \text{ кОм.}$$

Өнеркәсіп 1,5 Ом резисторларын шығармайды, сол себепті есептелінген R_2 кедергісін бірізді немесе қатарлас қосылған бірнеше резисторларды («құрамды» кедергі) қолдану арқылы жүзеге асыруға болады.

Мысалы, кедергі $R_2 = 1,5$ Ом алу үшін кедергісі 1 Ом (сурет 3.18. б) үш резисторды қосуға болады, яғни кедергісі $R_3 = 1$ кОм резистор кедергілері $R_4 = R_5 = 1$ кОм екі қатарлас резисторлармен бірізді қосылады.

Шашыраудың рұқсат етілген қуаты ток және кедергінің номиналды мәні бойынша есептеледі. Құрамды кедергіні қолдану кезінде қуаты бойынша оған кіретін кедергілердің (R_3, R_4, R_5) әрқайсысын талғау қажет:

$$P_3 = I^2 R_3 = 30^2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 0,9 \text{ Вт.}$$

$$P_4 = P_5 = I^2 R_4 / 4 = 30^2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 / 4 = 0,225 \text{ Вт.}$$

Бірақ есептелген қуаттарға резисторлар өнеркәсіппен шығарылмайды. Демек, резисторлар температурасы ұлғаюын болдырмау үшін рұқсат етілген қуаттар қатарынан есептелгенімен салыстырғанда көбірек жақындау қуаттың номиналды мәнің таңдап алу керек: 1 Вт R_3 үшін және 0,25 Вт R_4 және R_5 үшін.

3. Электротехникалық құрылғылардың элементтері қуаттары қорын таңдау. Электротехникалық құрылғылар элементтері номиналды қуаттары өскен сайын (сонымен бірге резисторлар мен реостаттар) элементтердің көлемі мен массалары да ұлғаяды. Бұл жағдай құрылғының габаритті көлемдері мен массасы өсуіне әкеп соғады. Демек, құрылғы элементтері қуаттарын шашыратудың негізсіз көп қоры жағымсыз болып саналады. Қуат қоры таңдалуы салқындату шарттары мен үзіліссіз жұмыстың ұзақтылығы арқылы анықталуы қажет.

4. Реостатты таңдау. Реостат кедергісі берілген болғандықтан ондағы рұқсат етілген шашырату қуатын есептеу қалады, яғни реостат қауіпсіз жұмысын қамтамасыз етуші шашырату қуатының ең жоғары мәні.

3.18, а суретте көрсетілген тізбек сыртқы аумақтың ($R_n = R_1$) ауыспалы кедергісінде жұмыс атқаратын ЭҚК ($E = U$ және $R_0 = R_2$) көзді тізбекке эквивалентті. ЭҚК көзі жүктемеде (R_1 кедергісінде) $R_n = R_0$ жағдайында максималды қуат ($P_{1max} = 0,25 P_{ист max}$) беретіні белгілі (3.2 бөл.қар.), яғни $R_1 = R_2 = 1,5$ кОм.

Сонымен бірге, реостатта бөлінетін максималды қуат

$$P_{1max} = \frac{1}{4} P_{ист max} = \frac{1}{4} EI_{max} = \frac{1}{4} U \frac{U}{R_2} = \frac{1}{4} \frac{U^2}{R_2} = \frac{1}{4} \frac{45^2}{1500} = 0,338 \text{ Вт.}$$

Бұндай қуат реостатта кедергісі $R_1 = 1,5 \text{ кОм}$ бір ғана мәнімен бөлінеді. Осы қуаттың басқа да бір мәнінде қуат $P_1 < P_{1max}$ ($0,338 \text{ Вт тең}$).

Есеп шарты бойынша R_1 реостат кедергісі 500 Ом мәнімен шектелген. 3.4 сурет графигінде реостатта бөлінетін $R_H / R_0 = R_1 / R_2 < 1$ қуаты оның кедергісі көбейген сайын өседі, яғни $R_1 = 500 \text{ Ом}$ болса есеп шартымен шектелген максимумға ($0,338 \text{ Вт}$ төмен мәнге) жететінін байқауға болады. Сонымен бірге, реостат қуатының рұқсат етілген (есеп шарты есебімен) мәні

$$P_{1доп} = I^2 R_1 = \frac{U^2 R_1}{(R_1 + R_2)^2} = \frac{45^2 \cdot 500}{(500 + 1500)^2} = 0,253 \text{ Вт.}$$

Жеткілікті жылулық сенімділігін қамтамасыз ету үшін оптималды рұқсат етілген қуат қоры бар реостатты таңдаймыз.

5. Тізбек жұмысының сенімділік бағасы. Тізбек жұмысына көп әсер ететін элементтер параметрлері мәндері шектеулі болады. Берілген тізбектер жұмысына таңдалған резисторлар мәндерінің шектері әсер етуін қарастырамыз.

Барлық таңдалған кедергілер ең төмен ықтималды мәндерімен (-10%) болады деп болжайтын болсақ. Онда осы нұсқа сенімділікті қамтамасыз ету тарапынан ең жағымсыз болатына оңай көз жеткізуге болады.

Кедергі мәні -10% тең шегінде тізбектегі ($R_1 = 0$) ең көп ток күшін анықтаймыз:

$$I_{max} = \frac{U}{R_2} = \frac{45}{1,50 - 0,15} = 33,33 \text{ мА.}$$

Сонымен бірге R_3 кедергісі қуаты

$$P_3 = I_{max}^2 R_3 = 33,33^2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9 \cdot 1000 = 1 \text{ Вт,}$$

яғни, R_3 кедергісінде ешқандай қуат қоры жоқ (резистор есепті қуаты $0,9 \text{ Вт}$ тең рұқсат етілген қуаты 1 Вт таңдалған). Демек, кернеудің тағы сол -10% көбею жағына рұқсат етілген ауытқуда рұқсат етілген қуат шегі жоғары болады, және резистор R_3 жанып кетуі мүмкін.

R_4 және R_5 резисторлары таңдалу кезінде қарастырылған қуат қорлары жоқтығына оңай көз жеткізуге болады (есептің басқа көрсеткіштерінде рұқсат етілген шек жоғары болуы ықтимал).

Резисторлардың бірдей сенімділігі қамтамасыз етіледі, егер олардың таңдалатын рұқсат етулі қуаттары, резисторлардағы бірдей токтардың кедергілері мәндеріне пропорционалды болса.

3.7. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

3.9. Станцияны тұтынушымен байланыстыратын желінің екі сымтеміріндегі кернеу жоғалтуларын анықтаңыз, егер, тұтынушы кедергісі 22 А ток күшінде 10 Ом тең болса, ал желі басындағы кернеу 225 В құрайды.

3.10. Трамвай сымтемірі мен жерлендірілген рельс арасындағы кернеу 600 В тең. Сымтемір арқылы жүргізілетін жұмыстарын көтеру алаңы қандай кедергіге ие болуын анықтау керек, егер, тері құрғақ болған жағдайда адам

денесінің кедергісі 50 кОм, ал өмірге қауіпті ток күші 1 мА тең болса.

3.11. Генераторға қосылған тұтынушы 220 В кернеуде 5 тәулік үзіліссіз жұмыс нәтижесінде 25кВт·с электроэнергиясын шығындады. Ток күші мен тұтынушы кедергісін анықтаңыз.

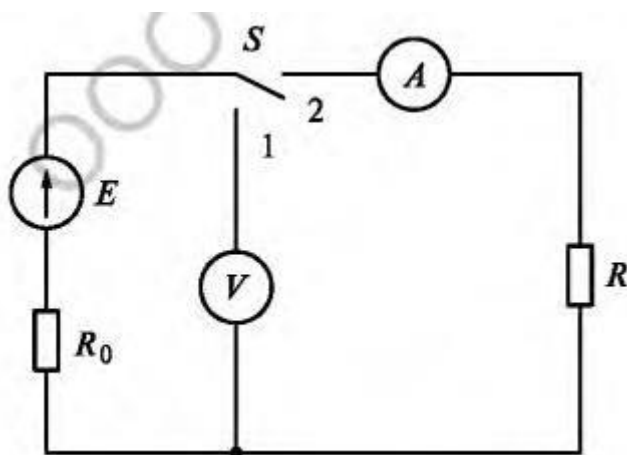
3.12. 220 В кернеулі тұтыну қуаты 5 кВт электр пеші ішкі кедергісі 0,22 Ом энергия көзіне қосылған. Энергия көзі ЭҚК және ПӘК анықтаңыз.

3.13. Сигнал шамы аккумуляторға қосылған, осы қосылысқа дейін оның қысқыштарындағы кернеу 4,5 В тең болды. Шамды қосқан соң аккумулятор қысқыштарындағы кернеу 4,2 В дейін азайды. Аккумулятор ішкі кедергісін және шам кедергісін анықтаңыз, егер тізбектегі ток күші 700 мА құраса.

3.14. 10 кВт тұрақты ток электр қозғалтқышының механикалық қуаты кернеуі 220 В және ПӘК 80%. Қозғалтқыштың электр қуаты мен ток күшін анықтаңыз.

3.15. Кедергілері $R_1 = 4,7 \text{ Ом}$, $R_2 = 6,8 \text{ Ом}$, $R_3 = 18$ үш бірізді байланыстырылған тұтынушылар ЭҚК $E = 90$ қуат көзіне және $R_0 = 0,5 \text{ Ом}$ ішкі кедергісіне қосылған. Тізбектегі ток күшін, көздің ішкі кедергісімен бірге барлық тұтынушылар кернеулері түсуін, көздер шығарымындағы кернеулерді, және көзбен дамытылатын және берілетін қуатын, оның ПӘК және барлы тұтынушылар қуатын анықтаңыз.

3.16. 3.19 суретте көрсетілген тізбекте S кілті 1 жайында вольтметр 6,3 В көрсетеді, ал 2 жайында – амперметр 1,5 А көрсетеді. Энергия көзінің ЭҚК және ішкі кедергісін анықтаңыз, егер, жүктеме кедергісі $R = 3,9 \text{ Ом}$, ал амперметр кедергісі және вольтметр өткізгіштігін елемеуге болады.



3.19. сурет 3.16. есепке электр тізбегі схемасы

3.17. Генератор қысқыштарына қосылған вольтметр бос жүрісте 230 В көрсетеді. Қосылған жүктеме кезіндегі вольтметр көрсеткіштерін анықтаңыз, егер, ЭҚК және энергия көзінің ішкі кедергісі ($R_0 = 0,2 \text{ Ом}$) тұрақты ток арқылы сақталып тұрса, ал тізбектегі ток күші 10, 20, 40 және 50 А мәнің қабылдаса.

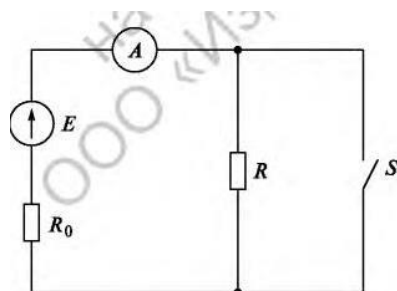
3.18. Ішкі кедергісі 0,2 Ом генератор қысқыштарына кедергісі 1000 Ом вольтметр қосылған. ЭҚК (пайызбен) өлшемінің қатынасты қателігін формула арқылы есептеңіз

$$\gamma = \frac{E - U}{E} 100.$$

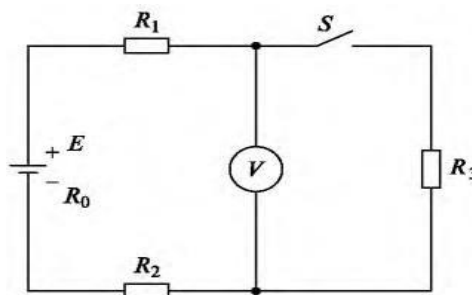
3.19. Гирлянданың бірізді қосылған шамдарының бірі жанып кетті, және барлық шамдар сөніп қалды. Шам баллондары түрлі түсті лакты жабынмен жабылған, соның арқасында ақаулығы көрінбейді. Қалай вольтметр көмегімен жанып кеткен шамды және қалай электр өлшегіш құралдарын пайдаланбай ақаулықты табуға болатынын түсіндіру қажет.

3.20. 3.20 сурет көрсетілген электр тізбегінде амперметр ашық S кілтте 3А және тұйық кілтте (қысқа тұйықталу ток күші) 24 А көрсетіп тұр. R жүктемесі кедергісінің R_0 көзінің ішкі кедергісіне қатынасын анықтаңыз.

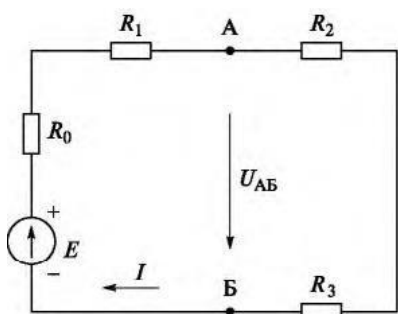
3.21. 3.21. сурет көрсетілген электр тізбегі вольтметр ашық S кілтте 230 В және тұйық кілтте 225 В көрсетіп тұр. ЭҚК, энергия көзінің ішкі кедергісін және тұйық кілт жағдайындағы тізбектегі ток күшін анықтау қажет, егер $R_1 = 70 \text{ Ом}$, $R_2 = 18 \text{ Ом}$, $R_3 = 47$.



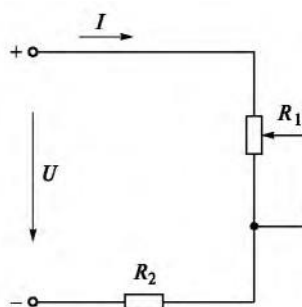
3.20. сурет. 3.20 есеп электр тізбегі схемасы



3.21. сурет 3.21. есеп электр тізбегі схемасы



3.22 сурет. 3.22 есеп электр тізбегі схемасы



3.23 сурет. Токты реостат арқылы реттеу электр тізбегінің схемасы

3.22 3.22 суретте көрсетілген электр тізбекте ЭҚК энергия көзі $E=24\text{В}$, егер кедергі $R_2=3,3$ кедергі $R_3=4,7$ болғанда тізбекте $I=2\text{А}$ ток күшін қамтамасыз ететін кедергі R_1 мәнін анықтау. Энергия көзінің ішкі кедергісін елемейміз.

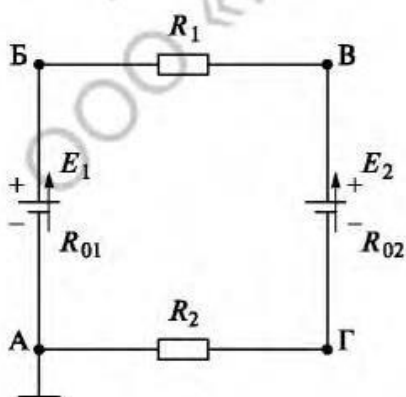
3.23 3.22 суретте көрсетілген электр тізбекте энергия көзі қысқыштарында кернеу 90 В тең, кедергі $R_1 = 11 \text{ Ом}$, ал $R_2 = R_3$. $U_{AB} = 57 \text{ В}$ жағдайындағы R_2 кедергісін және сыртқы аумақ кедергілеріндегі кернеулер түсуін анықтаңыз. Энергия көзінің ішкі кедергісін елемейміз.

3.24. Тұтынушыдағы 220 В кедергісімен ток күші желіге қосу кезінде 4 А тең болды. 3.23 суретте көрсетілген тізбектегі ток күшін реттеу үшін R_2 тұтынушысымен бірізді R_1 реостатты қосты. Тізбектегі ток күші 2 А дейін төмендеуі үшін реостат кедергіге ие болу керекін анықтаңыз.

3.25. Энергия көзі ЭҚК $E = 9$, оның ішкі кедергісі $R_0 = 0,5 \text{ Ом}$. Тізбек сыртқы аумағымен бөлінетін қуат кедергінің қандай мәнінде максималды болады және осы қуаттың мәні қандай екенін анықтаңыз.

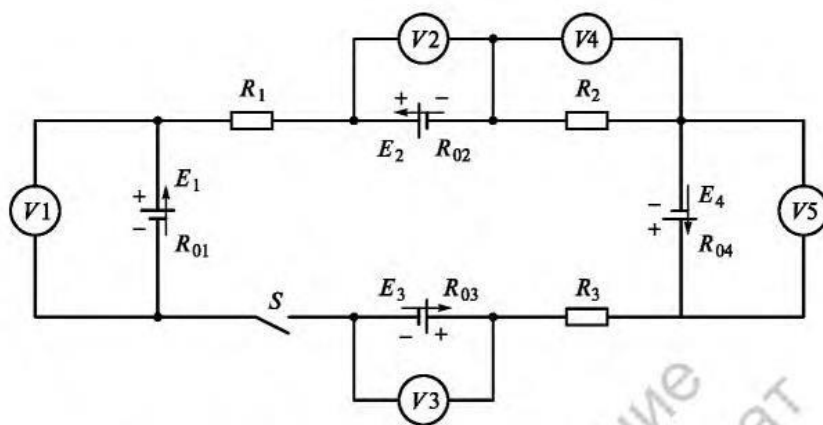
3.26. Энергия көзінің максималды пайдалы қуаты 200 Вт құрайды, ал оның ЭҚК $E = 100 \text{ В}$. Қабылдағыш кедергісін және тізбектегі ток күшін анықтау қажет.

3.27. Сурет 3.3 көрсетілген ЭҚК $E = 25 \text{ В}$, ал ішкі кедергісі $R_0 = 0,5 \text{ Ом}$ энергия көзі электр тізбегі жүктемесінде қандай максималды қуат бөлетінің анықтаңыз. Осы жағдайда R жүктеме кедергісіне, тізбектегі ток күшіне, көз арқылы өндірілетін қуат және оның ПӘК нешеге тең болатының табыңыз. Қандай жүктеме кедергісінде көз ПӘК 90% құрайды, егер, осы жағдайда көз 37,5 Вт өндірісе?



3.28. 3.24 суретте көрсетілген электр тізбегінде $E_1 = 50 \text{ В}$, $E_2 = 20 \text{ В}$, $R_1 = 15 \text{ Ом}$, $R_2 = 30 \text{ Ом}$, $R_{01} = 1,5 \text{ Ом}$, $R_{02} = 2 \text{ Ом}$. Ток күшін, тізбек аумақтарындағы кернеулерді, энергия көздері қуаттарын, тұтынушылар қуаттарын анықтап және қуаттар балансын құру қажет. Сонымен бірге, берілген тізбектегі барлық қуат көздерін алмастыратын ЭҚК және қуаттың эквивалентті көзінің ішкі кедергісін анықтаңыз.

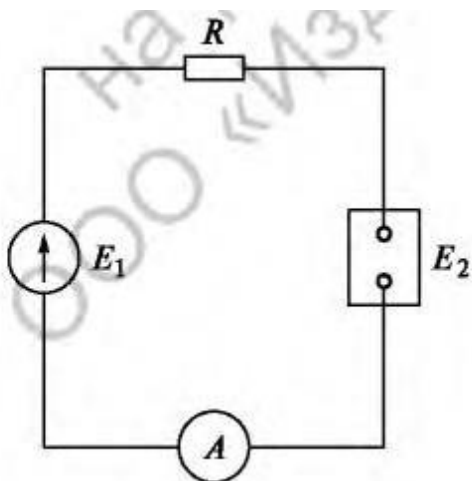
3.24. сурет 3.28 есеп электр тізбегі схемасы



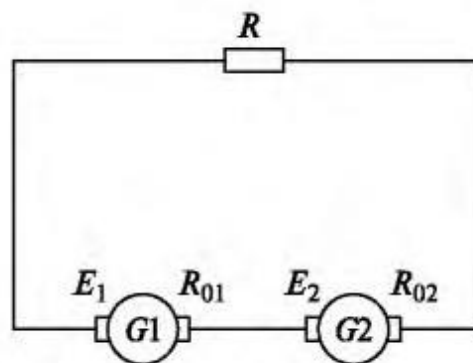
3.25 сурет. 3.29 есеп электр тізбегі схемасы

3.29. 3.25 сурет көрсетілген тұйық S кілтті жағдайында тізбектегі вольтметр көрсеткіштері қалай өзгередінің анықтаңыз, егер $E_1 = 50$ В, $E_2 = 25$ В, $E_3 = 15$ В және $E_4 = 60$ В болса.

3.30. 3.26 суретте көрсетілген E_1 және E_2 энергия көздерінен құралған (сәйкес ЭҚК 10 және 5 В) тармақталмаған тізбекте және шекті кедергісі $R = 50$ Ом кедергілер магазинінен амперметр арқылы өлшенетін $I = 100$ мА тоғы өтеді. Энергия көздері қалай қосылған және олардың қысқыштары кернеуі нешеге тең екенің анықтаныз. Энергия көздерінің ішкі кедергілерін елемейміз.



3.26 сурет. 3.30 есеп электр тізбегі схемасы



3.27 сурет. 3.31 есеп электр тізбегі схемасы

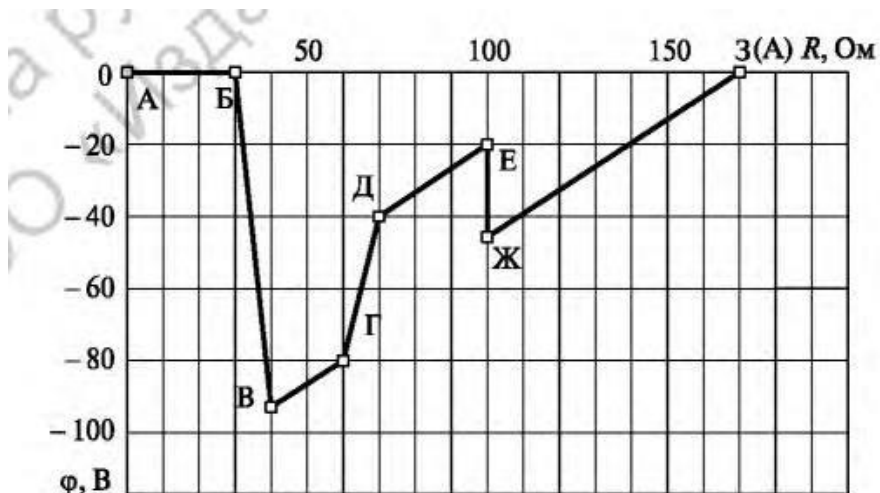
3.31. 3.27 суретте көрсетілген тармақталмаған тізбекте 15 А қысқа тұйықталудың бірдей токтарымен екі энергия көздері және кедергісі 5 Ом қабылдағыш қосылған. ЭҚК және энергия көздерінің ішкі кедергісін анықтаңыз, егер, оларды тізбекке келісімді қосылуында 3 А күшінде ток өтсе, ал қарсы қосылуда – 0,2 А күшті ток.

3.32. Аккумулятор қысқыштары арасындағы кернеу 5 А разрядтық токта 8 В тең. Зарядталу басында осы ток кернеуі 10В дейін көбейді. Аккумулятордың ЭҚК және ішкі кедергісін анықтаңыз.

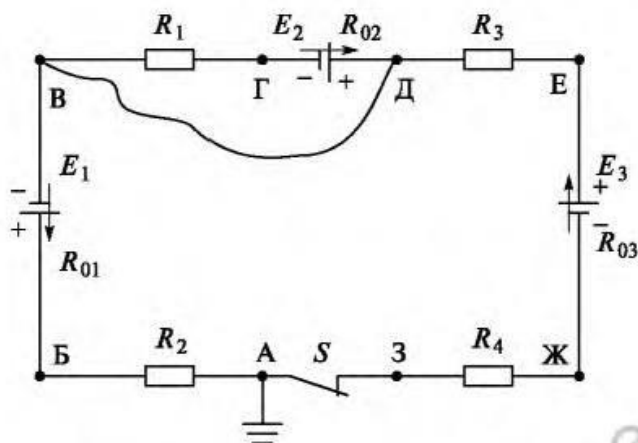
3.33. Алты элементті сыйымдылығы 80 А ·с аккумуляторлы батарея 16 с ішінде кернеуі 18 В тұрақты ток көзінен қуаттандырылады. Зарядталудың өзгермейтін токты қамтамасыз етуші зарядтау тоғымен реостат кедергісі өзгеру шектерін анықтаңыз, егер, батарея әрбір элементінің ЭҚК зарядталу басында 1,2 В, ал соңында - 2,0 В тең болса. Аккумуляторлардың ішкі кедергілерін елемейміз.

3.34. Ішкі кедергісі 3 Ом түзеткішіне реостат арқылы аккумуляторлы батарея қосылған. Оның зарядталуы басында 7 Ом реостат кедергісінде ток күші 4 А құраса, ал түзеткіш шығаруындағы кернеу 100 В тең болды. Зарядталу соңында 1 А ток күшінде реостат кедергісі 12 Ом құрады.

Аккумуляторлы батарея шғаруындағы кернеуді анықтау және зарядталу уақытының бастапқы және соңғы қуаттары балансын құрастыру қажет.



3.28. сурет 3.35 есеп потенциалды диаграмма схемасы



Сурет 3.29. Есептер 3.36. және 3.37 электр тізбегі схемасы

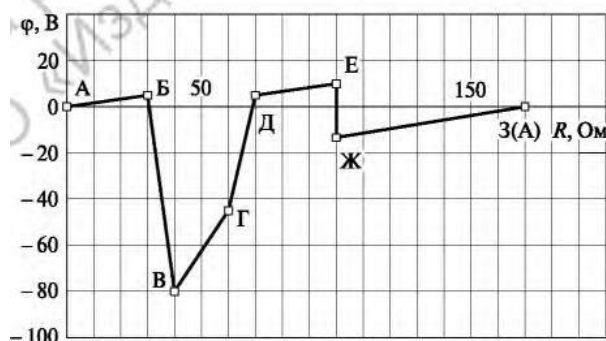
3.35. 3.8 суретте көрсетілген электр тізбегінде қандай ақаулар еңгізілген, егер оның потенциалды диаграммасы түрі 3.28 суретте көрсетілгендей болса. Тізбектегі кернеу мен ток күшіне осы ақау қалай әсер еткенің бағалаңыз.

3.36. 3.29 сурет көрсетілген электр тізбегінде өткізгіш арқылы В және Д шығарудары қысқартылған. Тізбектегі токтарды және энергия көздері жұмыстары режимдерін анықтаңыз. Нүктелер потенциалдарын есептеу және есеп 3.6 келтірілген тізбек параметрлері арқылы потенциалды диаграмма құру қажет.

3.37. 3.29 сурет көрсетілген электр тізбегінің потенциалды диаграммасы қандай түрге ие болатының, және де егер S кілтін ашса және бұл жағдайда есеп 3.6 келтірілген тізбек элементтері параметрлері А және З нүктелері арасындағы кернеі нешеге тең болатыныңанықтаңыз.

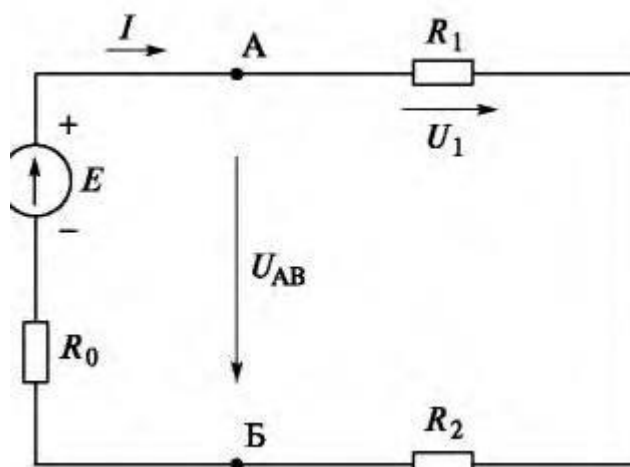
3.38. 3.30 сурет көрсетілгендей потенциалды диаграмма түрі бойынша

электр тізбегін бейнелеңіз және тізбектегі токтарды, олардың бағыттары мен қуат көздері жұмыс режимдерін анықтау керек. Егер қалыпты тұйықталған А және В нүктелері арасындағы S кілттің ашса потенциалды диаграмма түрі қалай өзгертінің көрсетіңіз.



Сурет 3.30. Есеп 3.38. тізбегі потенциалды диаграммасы.

3.39. 3.31 суретте көрсетілген тізбектегі R_1 және R_2 кедергілері үшін резисторлар таңдау, егер А және В нүктелері арасындағы кернеу $U_{AB} = 36$ В, тізбектегі ток күші $I = 0,08$ А, ал U_1 кернеуі R_1 кедергісінде 16 В тең.



Сурет 3.31. Есеп 3.39. электр тізбегі схемасы

3.40. 1,5 еселі сенімділік қорын қамтамасыз ете отырып үш бірізді байланыстырылған 120, 180 және 220 Ом кедергілерімен рұқсат етілген қуаттарды таңдаңыз, егер бірінші кедергі шығаруындағы кернеу 8,5 кернеуді құраса.

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕР ЖАУАПТАРЫ

3.9 5 В.

3.10. 0,55 МОм астам.

3.11. 0,945 А; 233 Ом.

3.12. 225 В; 97,8%.

- 3.13. 0,43 Ом; 6 Ом.
 3.14. 12,5 кВт; 56,8 А.
 3.15. 3 А; 1,5 в; 14,1 В; 20,4 в; 54 в; 88,5 В; 270 Вт; 265,5 Вт; 98,3%; 42,3 Вт; 61,2 Вт; 162 Вт.
 3.16. 6,3 в; 0,3 Ом.
 3.17. $U = 228; 226; 222; 220$ В.
 3.18. 0,02%
 3.19. Жанып кеткен шам шығарымында вольтметр желі кернеуін көрсетеді, ал қалған барлығында – нөл. Сондай-ақ, әрбір кезекті тұйықталуда барлық шамдар жанбағанша әрбір шамды кезекпен тұйықтауға болады. Сонымен бірге шамдардың жану жарықтығы арта түседі.
 3.20. 7:1.
 3.21. 230 В; 3 Ом; 5 А.
 3.22. 4 Ом.
 3.23. 9,5 Ом; 33 В; 28,5 В; 28,5 В.
 3.24. 55 Ом.
 3.25. 0,5 Ом; 40,5 Вт.
 3.26. 12,5 Ом; 4 А.
 3.27. 312,5 Вт; 0,5 Ом; 25 А; 625 Вт; 50%; 15 Ом.
 3.28. 0,62 А; 49,07 В; 9,28 В; 21,24 В; 18,56 В; 30,35 Вт; 5,74 Вт; 13,14 Вт; 11,48 Вт; $U_{AB}I = U_{BB}I + U_{BG}I + U_{GA}I$ немесе $30,35 = 13,14 + 5,74 + 11,48$; 30 В; 3,5 Ом.
 3.29. U_1 және U_5 кернеулері азаяды, ал U_2, U_3, U_4 – көбейеді.
 3.30. қарсы; 10 және 5 В.
 3.31. 10В; 0,67 Ом; 8,75 В; 0,58 Ом.
 3.32. 9 В; 0,2 Ом.
 3.33. 5 А; 2,19 дан 1,2 Ом дейін.
 3.34. 72 В; 97 в; $448 = 48 + 112 + 288$ (Вт); $112 = 3 + 12 + 97$ (Вт).
 3.35. R_2 қысқа тұйықталу; ток бағыты өзгеріссіз, ток күші 0,64 А дейін көбейді.
 3.36. 0,89 А; 1,17 А; барлық көздер генератор режимінде жұмыс атқарады; нүктелер потенциалы келесілер:

Нүкте	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З (А)
φ, В	0	26,8	-64,3	-87,6	-64,3	-37,5	-62,5	0

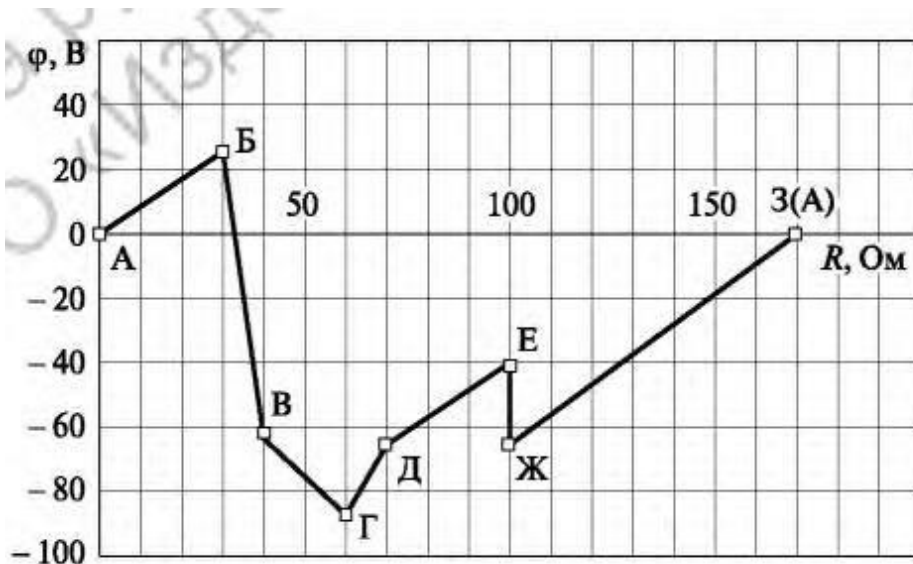
Потенциалды диаграмма 3.32 суретте көрсетілген.

3.37. Потенциалды диаграмма 3.33 суретте көрсетілген $U_{A3} = 125$ В.

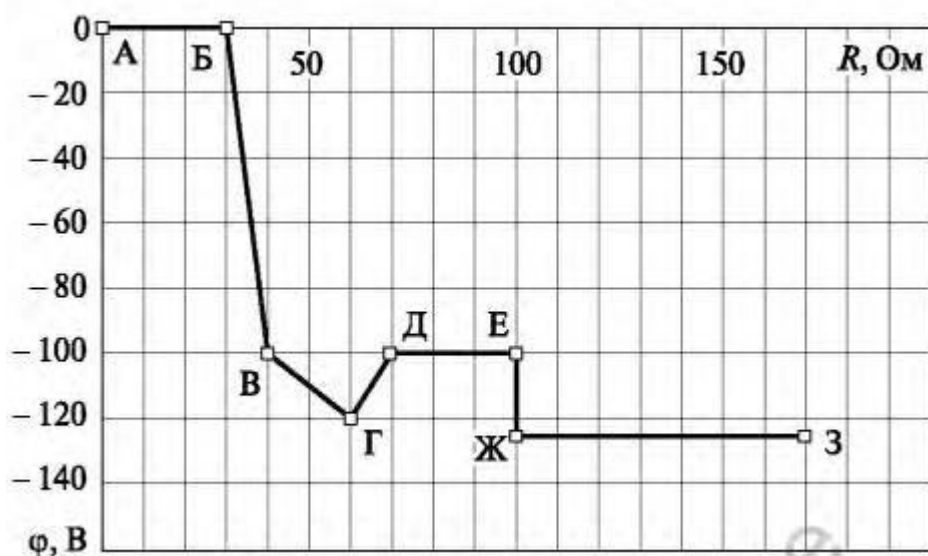
3.38. Тізбек схемасы 3.34, а суретте көрсетілген; 1,63 А; 0,19 А; ашық S кілт жағдайындағы потенциалды диаграмма 3.34, б суретте көрсетілген.

3.39. Есептеу мәндері: $R_1 = 200$ Ом; $P_1 = 1,28$ Вт; $R_2 = 250$ Ом; $P_1 = 1,6$ Вт. R_1 қамтамасыз ету үшін бірізді қосылған 100 Ом (1 Вт) екі резистор таңдаймыз, ал R_2 үшін – төрт 100 Ом кедергі, оның екуі (1 Вт) өзара және екі қатарлас (0,5 Вт) бірізді қосылған.

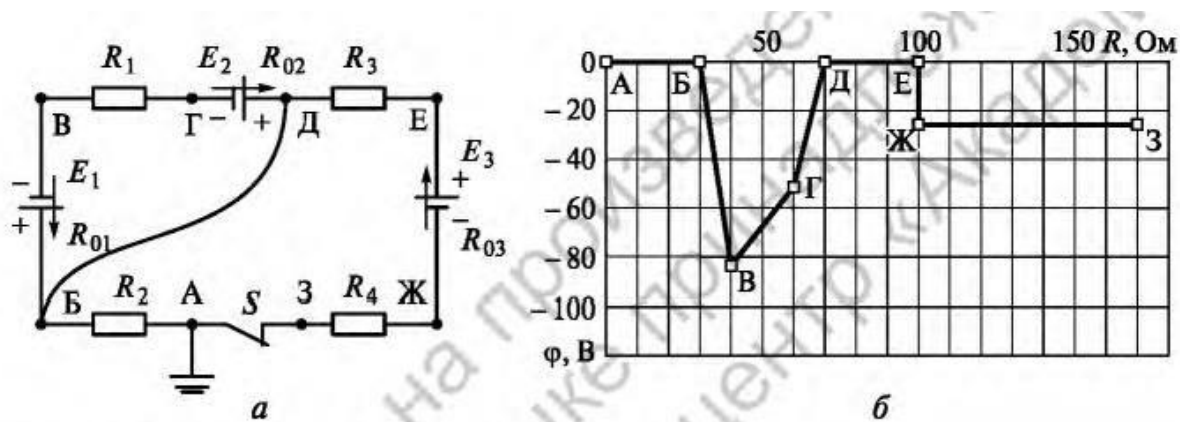
3.40. 0,9 Вт (1 Вт); 1,35 (1,5 Вт); 1,66 (2 Вт).



Сурет 3.32. Есеп 3.36 тізбектің потенциалды диаграммасы



Сурет 3.33. Есеп 3.37 тізбектің потенциалды диаграммасы



Сурет 3.34. Тұйықталған тізбектің сурет 3.30 (а) келтірілген потенциалды диаграмма түрі бойынша құрастырылған және осы тізбектің ашық S кілті жағдайындағы потенциалды диаграммасы схемасы

4 ТАРАУ

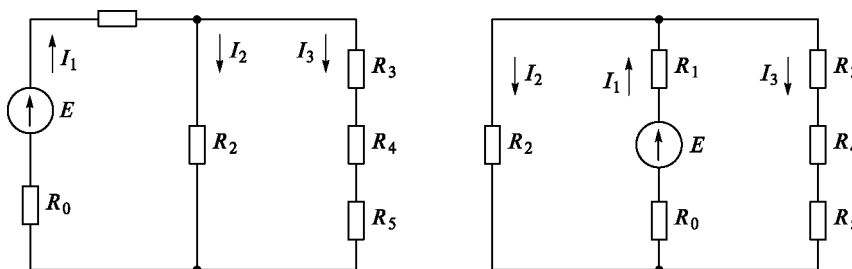
ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ БІР ЭНЕРГИЯ КӨЗІ БАР ТАРМАҚТАЛҒАН ТІЗБЕКТЕРІ. ҮЙІРТКІ ӘДІСІ

4.1. Бір энергия көзі және екі түйіні бар тізбек

4.1. есеп. Электр тізбегінің тармағында ЭҚК бар $E = 100$ В тізбекті энергия көзі мен $R_0 = 0,5$ Ом ішкі кедергісі және $9,5$ Ом кедергісі бар тізбекті жалғаудан тұрады. А және Б нүктелерінде тармақтың шетіне тағы екі тармақ жалғанған, олардың біреуі 25 Ом тұратын үш тізбекті жалғанған кедергіден, ал келесісі — 50 Ом кедергіден тұратын құрамалы кедергіден тұрады.

Электр тізбегінің сызбасын жасау. Тармақтардағы тоқты, тізбектің элементтеріндегі кернеуді, энергия көзінің сыртқа шығарылған өткізгішіндегі және түйіндік нүктелер арасындағы кернеуді анықтау. Тізбектің есебінің дұрыстығын тексеру үшін қуат теңгерімінің теңдігін жасау керек.

Шешімі. 1. Э л е к т р т і з б е г і н і ң с ы з б а с ы . 4.1. суретте көрсетілгендей сызбалық бейненің екі нұсқасы болуы мүмкін. 4.1 суретте сызбада, *a* қуат көзі сол тармақта, 4.1, суретіндегі *b* сызбасында — ортасында орналасқан. Егер тізбек есебі 4.1.б суретте көрсетілгендей болса, сол және оң тармақтағы кедергілер



4.1. сурет. Екі түйінді тізбекті көрсету тәсілдері:

a — сол тармақтағы қуат көзі; *b* — орта тармақтағы қуат көзі.

бір түйінге (А және Б) жалғанғандықтан олар параллель жалғанатындығын бірден аңғармасақ, ол қиындық туғызуы мүмкін. Осы арқылы, 4.1, *a* және *b* суреттегі сызбалар — бұл бір тізбектің әртүрлі сызбалық бейнелері, ал соған сәйкес бірдей есептелінеді.

2. Т і з б е к т і ң ж а л п ы т о к к ү ш і н I_1 табу. Есептеу үшін үйірткі әдісін пайдаланамыз — сызбаның алғашқы жеңілдетілуіне негізделеді — үйірткі — келесі кезеңмен оның алғашқы қалпына келтіру.

R_3 , R_4 , R_5 кедергілерінің тізбекті жалғауын R_{35} жалпы кедергісіне ауыстырумен сызбаны жеңілдетейік:

$$R_{35} = R_3 + R_4 + R_5 = 3 \cdot 25 = 75 \text{ Ом.}$$

R_2 және R_{35} кедергілердің параллель тізбегін R_{25} жалпы кедергісімен ауыстырайық:

$$R_{25} = \frac{R_2 R_{35}}{R_2 + R_{35}} = \frac{50 \cdot 75}{50 + 75} = 30 \text{ Ом.}$$

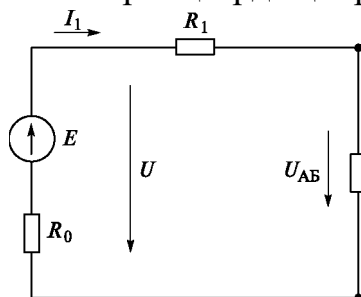
Нәтижесінде есептеу әдістемесі 3 тарауда көрсетілген эквивалентті тармақталмаған тізбекті аламыз. (4.2 сурет).

4.2 суретте көрсетілген тармақталмаған тізбектерде барлық элементтерде бір энергия көзі бар толық тізбек үшін Ом заңымен анықталатын жалпы ток I_1 жүреді.

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_{25} + R_0} = \frac{100}{9,5 + 30 + 0,5} = 2,5 \text{ А.}$$

3. Тізбектің тармақтарындағы тоқты анықтау. Үйірткі әдісіне сәйкес I_1 ток күшін анықтағаннан кейін 4.1. суретте көрсетілген сызбаға ораламыз және берілген тізбектің тармақтарындағы I_2 және I_3 ток күштерін табамыз. Оны екі тәсілмен орындауға болады: тармақ арасында жалпы тоқты тарату және түйіндік кернеу бойынша.

Жалпы тоқты бөлу бойынша тармақтардағы тоқты анықтаймыз. Жалпы ток I_1 А түйінінде олардың кедергісіне кері пропорциональ таралатын екі токқа бөлінеді (I_2 және I_3). Екі параллель тармақтағы кез-келген тармақ қарама-қарсы тармақтағы кедергінің жалпы тогына көбейтіндісінің екі тармақтағы кедергілердің қосындысын бөлгенге тең екені белгілі. Мысалы, параллель тармақтардың біріндегі ток күші



4.2. сурет. 4.1 суретте көрсетілген эквивалентті тізбектің тармақталмаған тізбектің сызбасы

$$I_2 = \frac{I_1 R_{35}}{R_2 + R_{35}} = \frac{2,5 \cdot 75}{50 + 75} = 1,5 \text{ А.}$$

Басқа параллель тармақтағы ток күшін I_3 алғашқыға ұқсас секілді немесе Кирхгофтың бірінші заңы (оңайы) бойынша анықтауға болады:

$$I_3 = I_1 - I_2 = 2,5 - 1,5 = 1 \text{ А.}$$

Түйіндік кернеуді U_{AB} және түйіндік кернеу бойынша тізбек тармағындағы тоқты анықтаймыз. Көрсетілген кернеуді 4.2 суретте көрсетілген жеңілдетілген эквивалентті сызба бойынша анықтау оңай:

$$U_{AB} = I_1 R_{25} = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ В}$$

Қарастырылып отырған сызбалар эквивалентті болғандықтан, онда тізбектегі түйіндік кернеу U_{AB} сол мәнге ие болады (4.1 суретті қарау). Онда

тізбек аумағы үшін Ом заңына сәйкес ток күші

$$I_2 = U_{AB}/R_2 = 75/50 = 1,5 \text{ A.}$$

Ток күшін I_3 I_2 ток күшіне ұқсас немесе немесе Кирхгофтың бірінші заңы (оңайы) бойынша анықтауға болады:

$$I_3 = I_1 - I_2 = 2,5 - 1,5 = 1 \text{ A.}$$

4. Берілген тізбектегі кернеуді анықтау. R_2 және R_{35} кедергісіндегі кернеу бірдей және түйіндік кернеуге тең:

$$U_2 = U_{35} = U_{AB} = 75 \text{ В}$$

R_3 , R_4 , және R_5 кедергілеріндегі кернеу сондай ақ бірдей:

$$U_3 = U_4 = U_5 = U_{AB}/3 = 75/3 = 25 \text{ В.}$$

R_1 және R_0 кедергілеріндегі кернеуді тізбек бөлігі үшін Ом заңымен анықтаймыз:

$$U_1 = I_1 R_1 = 2,5 \cdot 9,5 = 23,75 \text{ В}; U_0 = I_1 R_0 = 2,5 \cdot 0,5 = 1,25 \text{ В.}$$

Генератор-қуат көзінің сыртқа шығарылған өткізгішіндегі кернеу

$$U = E - U_0 = 100 - 1,25 = 98,75 \text{ В.}$$

5. Берілген тізбекке арналған қуат теңгерімін тексеру. Энергия көзімен дамидын қуат,

$$P_{\text{ист}} = EI_1 = 100 \cdot 2,5 = 250 \text{ Вт.}$$

Сыртқы тізбекке энергия көзі ретінде берілетін қуат

$$P_{\text{потр}} = UI_x + U_0 I_1 = 98,75 \cdot 2,5 + 1,25 \cdot 2,5 = 250 \text{ Вт.}$$

Соған сәйкес, $P_{\text{ист}} = P_{\text{потр}}$, яғни қуат теңгерімі орындалады, бұл орындалған есептің дұрыстылығын растайды.

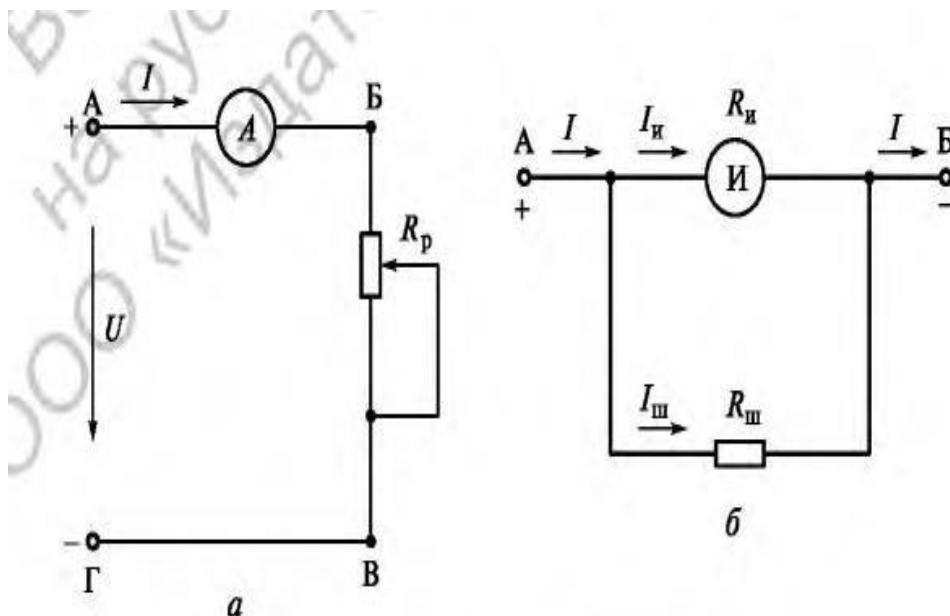
4.2 Бір энергия көзі және екі түйіні бар тізбектердің электрлік өлшемдерде қолданылуы

4.2. есеп. 4.3 *a* суретте көрсетілген тізбекте R_p реостаттың кедергісін өзгерте отырып, ток күшін 0,25-тен 2 А дейін реттеуге болады. Тізбекте ток күшін өлшеу үшін көп шекті амперметр қолданады. Амперметрдің өлшегіш механизмінің номиналды ток күші $I_n = 0,5 \text{ А}$, ал оның кедергісі $R_u = 1 \text{ Ом}$.

Келесі ток өлшеуін қамтамасыз етуші: 0,75; 1,5; 2,5 А, амперметрдің $R_{\text{ш}}$ шунтталған кедергісін анықтау.

Шешім.1. Токты өлшеу шегінің кеңеюі. Ток күшін өлшеу үшін амперметр деп аталатын құрал қолданылады. Амперметр ол арқылы өтетін ток күшін көрсетеді. Демек, тізбектің қандай да бір элементінде (қабылдағышта, генераторда) немесе тізбектің кез-келген жерінде ток күшін өлшеу үшін амперметрді 4.3, *a* суретінде көрсетілгендей тізбектей қосады. Амперметрді қосу тізбектің жұмысының режиміне әсер етпеуі тиіс, ол деген, оның кедергісі қабылдағыштың, генератордың немесе тізбектің жерінің кедергісімен салыстырғанда аз болуы тиіс. Ол жағдайда амперметрдегі қуат

жоғалтымы да аз болады.



4.3 сурет. Тізбектегі тоқты өлшеу сызбасы
а- амперметрді қосу; б – шунтты қосу

Кез-келген өлшегіш механизмінің басты бөлігі өлшеуіш механизм болып табылады (И өлшеуіші). Амперметр электромагниттік, магнитоэлектрлік, ферродинамикалық және жылу өлшеуіш құралдар негізінде орындалады. Токты өлшеудің әртүрді рәсіміне қарамастан, кез-келген өлшеуіш механизм ол арқылы өтетін номиналды (шектік) ток күшімен $I_{и}$ және оның ішкі кедергісімен $R_{и}$ сипаталады.

Көптеген жағдайда ток мәні бойынша айтарлықтай ерекшелетін өлшеуіштің номиналды ток күшінен асатын тоқты өлшеуге тура келеді. Ол үшін көп шекті құралдар пайдаланылады. Токты өлшеу шегінің кеңеюі үшін шунтты пайдаланады. Шунт манганиннен жасалады және тұрақты кедергіге $R_{ш}$ ие.

Шунт пен өлшеуіш (кедергісі бар) өзара параллель жалғанады. (4.3,б сурет). Өлшенетін ток I параллельді жалғау кезінде өлшеуіш тогына $I_{и}$ және шунт тогына $I_{ш}$ бөлінеді. Жалпы ток күші бойынша бір параллель тармақтағы ток күшін анықтауға арналған белгілі формула бойынша өлшенетін ток күші I арқылы көрсетуге болады:

$$I_{и} = I \frac{R_{ш}}{R_{ш} + R_{и}},$$

мұндағы өлшенетін ток күші

$$I = I_{и} \frac{R_{ш} + R_{и}}{R_{ш}} = I_{и} \left(1 + \frac{R_{и}}{R_{ш}} \right). \quad (4.1)$$

$R_{ш}$ шунттың кедергісінің кез-келген мәні үшін, құралды өлшеу шегін

формула (4.1.) бойынша анықтау оңай ($I_{ном}$ өлшенетін токтың шектік күші)
 Бұл жағдайда $I_u = I_{u \cdot ном}$, ал $I = I_{ном}$

(4.1) формуладан I өлшенетін ток күші өлшеуіштің I_u ток күшімен шунттаушы көбейткіш деп аталатын тұрақты қатынасты байланыста (R_{II} және R_{III} кедергілердің тұрақты мәнінде).

Құрал бағытының әртүрлі орналастырылған шунттарда (сәйкесінше, өлшеудің әртүрлі шегінде) ауытқуы өлшенетін токтың әртүрлі күшіне сәйкес келеді.

$$- \quad - \quad (4.2)$$

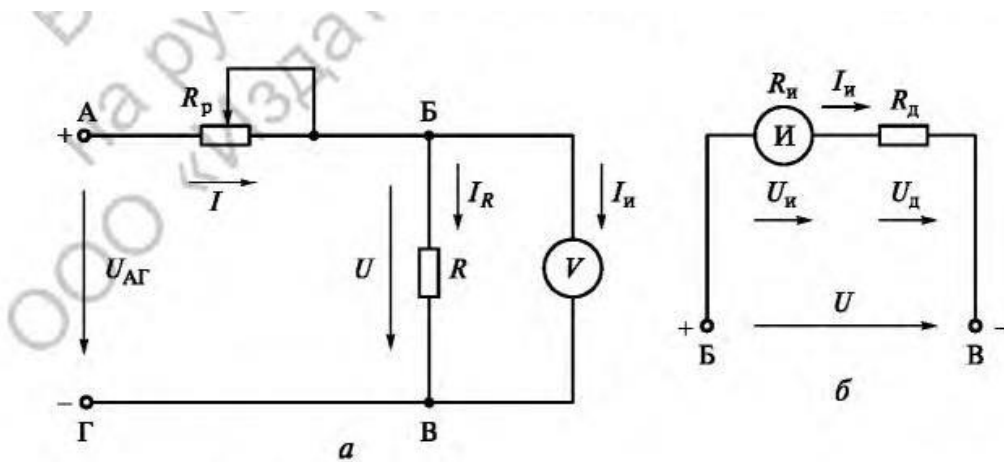
2. Токты өлшеудің берілген шегі үшін шунттың кедергісіна ны қ та у . Өлшеуіштің белгілі номиналды (шектік) ток күшінде I_u , оның кедергісінде R_u және өлшенетін шектік ток күші I (4.2) формула бойынша шунтталушы көбейткішті $= I/I_u$, одан кейін берілген шекте ток күшінің I өлшеуін қамтамасыз етуші шунттың кедергісін анықтау оңай:

$$R_{ш} = \frac{R_u}{\rho - 1}. \quad (4.3)$$

(4.3) формула бойынша берілген шартқа сәйкес $I_u = 0,5$ А ток күші және $R_u = 1$ Ом кедергінің белгілі мәніндегі амперметрдің өлшеу шегінің шунт кедергісін $R_{ш}$ анықтаймыз:

I, A (өлшеу шегі)	0,75	1,5	2,5
$\rho = I/I_u$ (шунттаушы көбейткіш)	1,5	3	5
$R_{ш}, Ом$ (шунттың кедергісі)	2	0,5	0,25

4.3 есеп. 4.4, а суретте көрсетілген тізбекте R_p реостаттың көмегімен токты реттеу кезінде, R кедергісіндегі кернеу кең аралықта өзгереді. Оны өлшеу үшін 4.2 есептегі амперметрдегідей сондай өлшеуіш механизмі бар вольтметр қолданылады. (өлшеу механизмінің номиналды ток күші $I_u = 0,5$ А, ал оның кедергісі $R_u = 1$ Ом).



4.4. сурет. Тізбекте кернеуді өлшеу сызбасы:
a — вольтметрді қосу; *б* - қосымша кедергіні қосу

75, 150 және 300 В кернеу өлшеуін қамтамасыз етуші вольтметрдің қосымша кедергінің R_d мәнін анықтау.

Шешімі.1. Кернеуді өлшеу шегінің кеңеюі. Кернеуді өлшеу үшін вольтметр деп аталатын өлшеуіш құралын пайдаланады. Вольтметрде амперметр өлшеуіш механизміне ұқсас өлшеу механизмі қолданылуы мүмкін. Мұндай өлшеуіштің қозғалмалы бөлігінің бұрылу бұрышы өлшеуіш механизмінің ток күшіне байланысты, бірақ вольтметр шкаласы кернеу бойынша градусталады, яғни оның шкаласында өлшеуіштің қозғалмалы бөлігінің әртүрлі бұрылу бұрышыны сәйкес келетін кернеудің мәні белгіленеді.

Тізбекті қандай да бір екі нүкте арасындағы кернеуді өлшеу үшін 4.4, а суретте көрсетілгендегідей вольтметр бұл нүктелерге *параллель* жалғанады. Вольтметрді жалғау тізбектің жұмыс режимін өзгертпеуі үшін, оның кедергісі ол қосылған нүктелер арасындағы кедергіден үлкен болуы тиіс.

Өлшеуіштің кедергісі R_{II} аз болғандықтан, онда вольтметрдің үлкен кедергісі (4.4, б сурет) *тізбектей* өлшеуішпен жалғанатын үлкен салыстырмалы кедергісі бар (манганина, константана) материалдан жасалған қосымша кедергіні R_d пайдаланумен қамтамасыз етіледі.

Тізбек элементтерінің тізбектей жалғануы кезінде берілген жеткізілген кернеу U бұл элементтер арасына кедергінің мәніне пропорционал таралғандықтан, өлшеуіштегі кернеудің U_{II} түсуі өлшенетін кернеудің аз бөлігі болып табылады.

U кернеуінің вольтметр бетіндегі кернеуден U_{II} қанша есе үлкен екендігін көрсететін қатынас қосымша кедергінің көбейткіші деп аталады, яғни

$$\rho = \frac{U}{U_{II}} \quad (4.4)$$

$U = (R_{II} + R_d)I_{II}$, ал $U_{II} = R_{II}I_{II}$ ескере отырып, (4.4) формуладан аламыз

$$\rho = \frac{R_{\text{и}} + R_{\text{д}}}{R_{\text{и}}}. \quad (4.5)$$

Өлшеуіштің белгілі мәніндегі кедергі $R_{\text{и}}$ мен қосымша кедергінің көбейткіші ρ белгілі мәндерінде (4,5) формуладан қосымша кедергіні $R_{\text{д}}$ анықтау мәнін табамыз

$$R_{\text{д}} = R_{\text{и}} (\rho - 1). \quad (4.6)$$

Өлшеуіштің шектік тогының белгілі мәнінде вольтметрдің шектің өлшеуін (*шектік кернеу*) анықтауға болады.

$$U_{\text{max}} = (R_{\text{и}} + R_{\text{д}}) I_{\text{и. max}}. \quad (4.7)$$

Формуладан өлшеу шегі қосымша кедергісіне $R_{\text{д}}$ байланысты екенін көруге болады. Қосымша кедергі $R_{\text{д}}$ мәнін өзгерте отырып, вольтметрдің өлшеу шегін түрлендіруге болады.

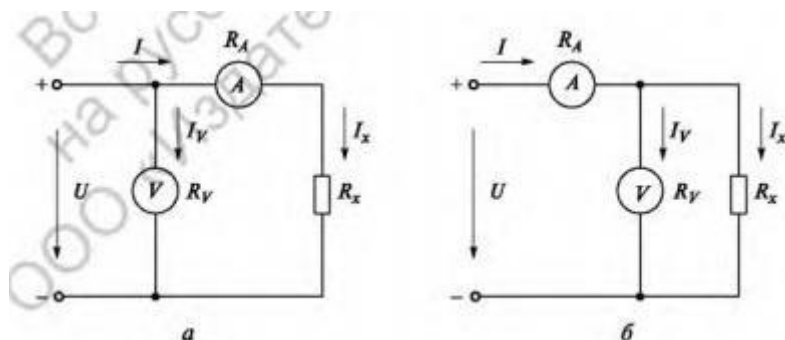
2. Кернеуді өлшеудің берілген шегін алу үшін қосымша кедергінің мәнін анықтау. Ом заңына сәйкес өлшеуіштегі шектік кернеу

$$U_{\text{и}} = R_{\text{и}} I_{\text{и}} = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ В.}$$

(4.5) формула бойынша өлшеу шегінің есебінің берілген әрбір шарты ρ қосымша кедергінің көбейткішінің мәнін анықтаймыз, ал (4.6) формула бойынша — $R_{\text{д}}$ қосымша кедергінің мәнін

U, В (өлшеу шегі)	75	150	300
$\rho = U / U_{\text{и}}$ (қосымша кедергінің көбейткіші)	150	300	600
$R_{\text{д}}$, Ом (қосымша кедергі)	149	299	599

4.4 есеп. Амперметр— вольтметр әдісі көмегімен кедергіні өлшеу кезінде 4.5, а және б суреттерінде. көрсетілген екі сызба қолданылады:



4.5 сурет. Амперметр — вольтметр әдісі көмегімен кедергіні өлшеу сызбасы:
a — амперметр өлшенетін кедергінің тармағындағы токты өлшейді; *b* — амперметр тізбектегі жалпы токты өлшейді.

Осы сызбаның әрқайсысы үшін R_x белгісіз кедергісі вольтметр мен амперметрдің көрсеткіштерінің қатынасы ретінде анықталады.

Әрбір сызба көмегімен кедергіні өлшеу ерекшеліктерін қарастыру және R_x үлкен және кіші мәніне арналған сызбаны таңдауды негіздеу. Әрбір сызба үшін 10 және 100 Ом кедергіні өлшеу қателігін анықтау және егер екі сызбада да амперметр және вольтметр қолданылса, ал кедергілер сәйкесінше $R_A = 0,5$ Ом және $R_V = 1000$ Ом тең болса, олардың әрқайсысы үшін өлшеу сызбасын таңдау.

Шешімі. 1. Вольтметр және амперметрдің көмегімен кедергі өлшеу. Кедергіні тұрақты токта өлшеудің бірнеше тәсілі бар: вольтметр және амперметрдің, өлшеуіш белдікпен, зарядты немесе разрядты сыйымдылықты ыдыспен, белгілі ішкі кедергісі бар вольтметрмен, омметрмен, потенциометрмен немесе мегаомметрмен, электронды омметрмен және т.с.с көмегімен.

Вольтметр және амперметрді пайдаланумен кедергіні өлшеу әдісі айтарлықтау қарапайым болып табылады, бірақ өлшеу нақтылығы шектеулі. Біріншіден, айтарлықтай жоғары нақтылық көрсеткіші жоқ екі құралмен орындалады, екіншіден, өлшеу нәтижесіне құралдардың бірінің өзіндік кедергісі әсер етеді.

Вольтметр мен амперметр көмегімен кедергіні өлшеу сызбаларын қарастырайық (4.5 суретті қарау).

Мұндағы R — вольтметр мен амперметрдің қатынасына тең кедергі болсын. R_x (өлшенетін кедергі) — кернеудің ол арқылы өтетін ток күшінің кедергісіне R_x қатынасы

4.5, *a* суретте көрсетілген сызбаны пайдалану кезінде вольтметр U кернеуін, ал амперметр — I_x ток күшін өлшейді, сондықтан кедергі

$$R = \frac{U}{I_x} \quad (4.8)$$

U кернеуі өлшенуші кедергідегі кернеудің R_x (U_x) және амперметрдің кедергісіндегі R_A (U_A), соммасына тең.

яғни,

$$U = U_x + U_A = I_x R_x + I_x R_A,$$

Тізбек бөлігі үшін Ом заңына сәйкес (4.8) формуланы ескере отырып өлшенетін кедергіні табамыз:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U - I_x R_A}{I_x} = R - R_A,$$

мұндағы

$$R = R_x + R_A. \quad (4.10)$$

(4.10) формуладан құралдың көрсеткіші бойынша анықталған өлшенетін кедергі R_x , R_A кедергі мәнінен жоғары болады.

Осы арқылы 4.5, а суретте көрсетілген сызба бойынша өлшенетін R_x кедергіні анықтау кезінде R_A кедергісін ескеру керек.

Егер R_x өлшенетін кедергі ескермеуге болатын амперметрдің R_A кедергісімен салыстырғанда, онда $R_x \approx R$, яғни, $R_x = R = U/I_x$ тең деуге болады. 4.5, б суреттегі сызбаны пайдалану кезінде вольтметр U_x кернеуін ток күші өтетін R_x кедергісіне өлшейді, амперметр I ток күшін өлшейді.

Онда, бұл жағдайда келесі байланыс дұрыс:

$$R = \frac{U_x}{I}, \quad (4.11)$$

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I - I_V}, \quad (4.12)$$

Мұндағы I_V — вольтметр арқылы өтетін ток күші.

Ом заңына сәйкес

$$I_V = U_x / R_V. \quad (4.13)$$

(4.11) және (4.12) салыстыра келе, $I - I_V < I$ болғандықтан өлшенетін R_x R -дан үлкен екені көрінеді.

Егер өлшенетін кедергі R_x R_V кедергісімен салыстырғанда аз болса, онда соған сәйкес, ток күші I_x вольтметрдің ток күші I_V үлкенірек болады, ол жағдайда оны ескермеуге болады.

Онда (4.11) және (4.12) формулаларына сәйкес R_x өлшенетін кедергі R тең деуге болады:

$$R_x = R = U_x / I. \quad (4.14)$$

Егер жоғары нақтылық қажет болмаса, (4.14) өрнегі кедергіні өлшеу үшін тәжірибеде жиі қолданылады.

Көрсетілген талдаудан кедергінің өлшеу нақтылығын арттыру үшін кез-келген сызбаны пайдалану кезінде, өлшеу құралдарының шкаласында көрсетілген кедергісінің мәнін ескеру қажет.

2. Өлшеу сызбасына байланысты кедергіні өлшеудің қателігін есептеу. Өлшеу қателігі келесі формуламен есептеледі (сәйкесінше салыстырмалы бірлікте және пайызда):

$$\gamma = \frac{|R - R_x|}{R_x}; \quad \gamma = \frac{|R - R_x|}{R_x} 100. \quad (4.15)$$

4.5, а суретте көрсетілген сызба бойынша кедергіні өлшеудің қателігін анықтайық. Қателікті анықтауға арналған өрнек (салыстырмалы бірлікте және пайызда) (4.10) формуланы (4.15) формулаға салумен $R > R_x$, ескере отырып, келесі түрге келеді:

$$\gamma = \frac{R - R_x}{R_x} = \frac{R_x + R_A - R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x}; \quad \gamma = \frac{R_A}{R_x} 100. \quad (4.16)$$

4.5 б суретте қателікті анықтауға арналған өрнек (салыстырмалы бірлікте және пайызда) (4.11)... (4.13) формуланы (4.15) формулаға салумен $R_x > R$, ескере отырып, келесі түрге келеді:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{R_x - R}{R_x} = 1 - \frac{R}{R_x} = 1 - \frac{U_x}{IR_x} = 1 - \frac{U_x}{(I_x + I_V)R_x} = \\ &= 1 - \frac{U_x}{U_x \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_V} \right) R_x} = 1 - \frac{R_V}{R_x + R_V}; \quad (4.17) \\ \gamma &= \left(1 - \frac{R_V}{R_x + R_V} \right) 100. \end{aligned}$$

3. Кедергіні өлшеу қателігінің есебі $R_x = 10$ Ом. Кедергіні өлшеу қателігін 4.5 а сызба бойынша формуламен (4.16) анықтаймыз:

$$\gamma = \frac{R_A}{R_x} 100 = \frac{0,5}{10} 100 = 5\%.$$

Кедергіні өлшеу қателігін 4.5, б сызба бойынша формуламен (4.17) анықтаймыз:

$$\gamma = \left(1 - \frac{R_V}{R_x + R_V} \right) 100 = \left(1 - \frac{1000}{10 + 1000} \right) 100 = 0,99\%.$$

Есептеу нәтижелері $R_x = 10$ Ом кернеуі амперметрдің кедергісімен салыстырғанда аз болатындығын көрсетуде. $R_A = 0,5$ Ом және 4.5, а суретінде көрсетілген сызба бойынша R_x есептеу, 5 % тең үлкен қателікті береді.

Сол уақыттағы $R_x = 10$ Ом кедергісі вольтметрдің кедергісімен $R_V = 1000$ Ом салыстырғанда айтарлықтай аз екенін көрсетеді, және 4.5, б суреттегі сызба бойынша R_x өлшеуі айтарлықтай аз қателік көрсетеді - 1 % .

Осы арқылы, тапсырмада берілген құралдың кедергісінде 10 Ом көлеміндегі кедергіні амперметр мен вольтметрді пайдаланумен өзгерту. 4.5 б суретте көрсетілген сызбаны пайдалану жақсырақ.

Кедергіні өлшеу қателігінің есебі $R_x = 100$ Ом. 4.5, а суреттегі сызба бойынша кедергіні өлшеу қателігін (4.16) формула бойынша анықтаймыз:

$$\gamma = \frac{R_A}{R_x} 100 = \frac{0,5}{100} 100 = 0,5\%.$$

4.5, б суреттегі сызба бойынша кедергіні өлшеу қателігін (4.17) формула бойынша анықтаймыз:

$$\gamma = \left(1 - \frac{R_V}{R_x + R_V} \right) 100 = \left(1 - \frac{1000}{100 + 1000} \right) 100 = 9,09\%.$$

Есептеу нәтижесі $R_x = 100$ Ом кедергісі амперметрдің кедергісімен $R_A = 0,5$ Ом

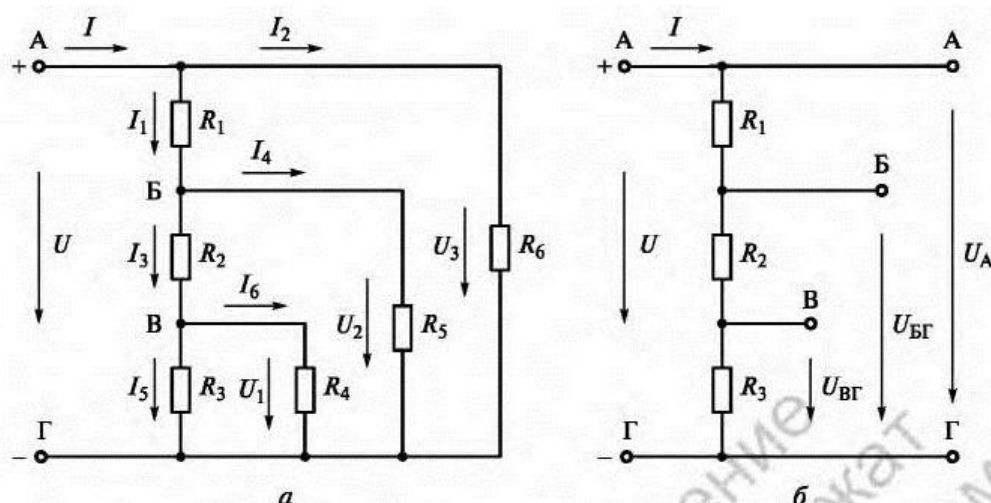
салыстырғанда айтарлықтай үлкен екенін көрсетеді, және 4.5, *a* суреттегі сызба бойынша R_x өлшеуі аз қателік көрсетеді: 0,5 %.

Сол уақыттағы вольтметрдің кедергісі $R_v=1000$ Ом кедергісі амперметрдің кедергісімен $R_x=100$ Ом салыстырғанда айтарлықтай аз екенін көрсетеді, және 4.5, *б* суреттегі сызба бойынша R_x өлшеуі айтарлықтай үлкен қателік көрсетеді - 9 % аса.

Осы арқылы, тапсырмада берілген құралдың кедергісінде 100 Ом көлеміндегі кедергіні амперметр мен вольтметрді пайдаланумен өзгерту. 4.5, *a*. суретте көрсетілген сызбаны пайдалану жақсырақ.

4.3. Бір энергия көзі және бірнеше түйіндері бар тізбектер

45 *есеп.* Әртүрлі үш кернеу және тогы бар электронды қондырғының қуат көзін қамтамасыз етуші бөлгіш кернеудің кедергісі мен тұтынушы қуатын анықтау (4.6, *a* сурет): $U_1 = 10$ В; $U_2 = 14,5$ В; $U_3 = 20$ В; $I_2 = 15$ мА. $I_4 = 10$ мА; $I_6 = 5$ мА. Энергия көзінің кернеуі жұмыс режимі және бос жүріс режимі үшін тең етіп қабылдау $U = U_3 = 20$ В



4.6. сурет. Кернеу бөлгішінің сызбасы:

a —қосылған тұтынушысы бар жұмыс режимі; *б* —бос жүріс режимінде

Шешімі. 1. Кернеу бөлгіш және оның жұмыс режимі. Кернеу бөлгіш —бірнеше тізбектей жалғанған кедергіден тұратын кез-келген тізбек, мысалы 4.6 суреттегі R_1, R_2, R_3 кернеуден тұратын тізбек. Егер U кернеуі бар энергия көзін өткізгішке осындай тізбекті жалғаса, онда кернеу белгілі бөліктермен бөлгіш тізбегінде кедергі бойынша таралады.

4.6 *a* суреттегі бөлгіштің қуат көзіне қосылу үшін екі өткізгіші (A және Γ) және электронды қондырғының үш тізбегіне қосылу үшін үш өткізгіш жұбы бар (A мен Γ , B мен Γ , B мен Γ). Бұл тізбектер энергия тұтынушы болып табылады, сондықтан R_4, R_5, R_6 кедергілері бар сызбада көрсетілген.

4.6 *б* суретте өшірілген тұтынушылары бар берілген кернеу бөлгіштің сызбасы көрсетілген, яғни бос жүріс режимінде.

Бөлгіштің аттас өткізгіштері арасындағы кернеу жұмыс режимі және бос жүріс режимінде бір болмағандықтан (тұтынушыларды қосу сызбаның аттас өткізгіштері арасындағы кедергі, токтың және кернеудің өзгерісін туғызады), бөлгіштің кедергісін есептеуді жұмыстық режимде өткізу қажет, яғни қосылған тұтынушылармен бірге сызба бойынша (4.6, а суретті қарау)

2. Бөлгіш кедергісін есептеу. Бөлгіштің R_3 кедергісін анықтаймыз. Көрсетілген сызбада бөлгіштің мәнін бірегей анықтауға болмайтынына көз жеткізуге болады (4.6 суретті қарау), яғни бұл тапсырма көп мәнді. Бос жүріс режиміндегі кернеудің берілген мәнінде $R_1:R_2:R_3$ кедергілердің қатынасын анықтауға болады, бірақ оның мағынасын анықтауға болмайды.

Бірақ кедергінің біреуін берсек жеткілікті, мысалы R_3 , сонда бөлгіштің қалған кедергілерін (R_1 және R_2) бірегей анықтауға болады. Әдетте R_4 ұтынушының жұмыс режимін кернеу U_1 , әсерін азайту үшін, $R_3 \ll R_4$ таңдайды. R_3 таңдау кезінде тәжірибе барысында жиі мына қатынасты пайдаланады

$$R_3 = (0,1 \dots 0,15) R_4. \quad (4.18)$$

Тізбектегі кедергіні R_4 берілген U_1 кернеуі мен I_6 ток күшіне негіздеуден Ом заңы арқылы анықтаймыз:

$$R_4 = U_1 / I_6 = 10 / 5 \cdot 1000 = 2000 \text{ Ом} = 2 \text{ кОм}.$$

(4.18) қатынасқа сәйкес $R_3 = 0,125 R_4$ қабылдаймыз, онда $R_3 = 0,125 \cdot 2000 = 250 \text{ Ом}$.

R_2 бөлгіш кедергісін анықтау үшін үйірткі әдісі R_2 кедергідегі ток күшін I_3 анықтаймыз, яғни R_3 және R_4 кедергілерінің параллель жалғауының жалпы тогы ретінде. R_3 және R_4 жалпы кедергіге ауыстырумен жалпы кернеуі U_1 белгілі болғандықтан, Ом заңы бойынша I_3 ток күшін анықтаймыз:

$$I_3 = \frac{U_1}{R_{34}} = \frac{U_1 (R_3 + R_4)}{R_3 R_4} = I_5 \frac{R_3 + R_4}{R_4} = 40 \frac{250 + 2000}{2000} = 45 \text{ мА}.$$

Тексеру үшін I_3 ток күшін Ом заңы бойынша алдын ала I_5 ток күшін анықтап алғаннан кейін, ең қарапайым әдіс Кирхгофтың бірінші заңы бойынша анықтаймыз:

$$I_5 = U_1 / R_3 = 10 / 250 = 0,04 \text{ А} = 40 \text{ мА};$$

$$I_3 = I_5 + I_6 = 40 + 5 = 45 \text{ мА}.$$

R_2 кедергісінің $U_{\text{БВ}}$ кернеуін анықтаймыз:

$$U_{\text{БВ}} = U_2 - U_1 = 14,5 - 10 = 4,5 \text{ В}.$$

Бөлгіштің R_2 кедергісін Ом заңы бойынша анықтаймыз:

$$R_2 = U_{\text{БВ}} / I_3 = 4,5 / 45 \cdot 1000 = 100 \text{ Ом}.$$

Бөлгіштің R_2 кедергісін анықтау үшін Кирхгофтың бірінші заңы бойынша ток күшін I_1 анықтаймыз:

$$I_1 = I_3 + I_4 = 45 + 10 = 55 \text{ мА}.$$

кедергісіндегі кернеуін $U_{\text{АВ}}$ табайық:

$$U_{\text{АВ}} = U_3 - U_2 = 20 - 14,5 = 5,5 \text{ В}.$$

Онда Ом заңына сәйкес бөлгіштің кедергісі

$$R_1 = U_{\text{АВ}} / I_1 = 5,5 / 55 \cdot 1000 = 100 \text{ Ом}.$$

3. Бөлгіштің кедергісі тұтынатын қуатты есептеу. Кернеу бөлгішінің сенімділігін (қауіпсіздігін) қамтамасыз ету үшін оның кедергісін есептеу аз болатыны түсінікті, оның тұтынатын қуатын білу керек.

R_1 кедергісіне бөлінетін қуат

$$P_{\text{потр } 1} = U_{AB}I_1 = 5,5 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,3025 \text{ Вт.}$$

R_2 кедергісіне бөлінетін қуат

$$P_{\text{потр } 2} = U_{BB}I_3 = 4,5 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,2025 \text{ Вт.}$$

R_3 кедергісіне бөлінетін қуат

$$P_{\text{потр } 3} = U_{BF}I_5 = U_1I_5 = 10 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{ Вт.}$$

Осы арқылы, электронды қондырғының жұмыс тәртібі әрқайсысының қуаты 0,5 Вт кем емес $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$ және $R_3 = 250 \text{ Ом}$ үш кедергіден тұратын бөлгіш кернеу қамтамасыз ете алады. Тандалынған резисторлардың кедергіге рұқсатын ескеру қажеттілігімен шартталған қуаттың белгіленген қоры қондырғыны қыздырудан қорғауға және оның жұмысының сенімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді,

4. Есептің дұрыстылығын тексеру үшін қуат теңгерімін жасау. Қуат көзі мен тұтынушыны табайық:

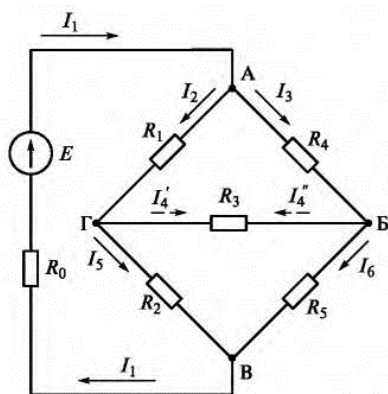
$$P_{\text{ист}} = UI = U_3(I_1 + I_2) = 20(55 + 15) \cdot 10^{-3} = 1,4 \text{ Вт;}$$

$$P_{\text{потр}} = P_{\text{потр } 1} + P_{\text{потр } 2} + P_{\text{потр } 3} + U_3I_2 + U_2I_4 + U_1I_6 = 0,3025 + 0,2025 + 0,4 + 20 \cdot 15 \cdot 10^{-3} + 14,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1,4 \text{ Вт.}$$

$P_{\text{ист}} = P_{\text{потр}} = 1,4 \text{ Вт}$ қуат теңгерімін сақтау орындалған есептің дұрыстылығын растайды.

4.4. Бір энергия көзі бар тізбектер тұтынушыларды жұлдызша және үшбұрыш схемасымен жалғағанда. Түрлендіру әдісі

4.6 есеп. Келесі параметрлер кезінде: $E = 63 \text{ В}$; $R_0 = 0,5 \text{ Ом}$; 4.7 суретте көрсетілген көпірлі тізбектің барлық тогын анықтау: $R_1 = 30 \text{ Ом}$; $R_2 = 20 \text{ Ом}$; $R_3 = 25 \text{ Ом}$; $R_4 = 15 \text{ Ом}$; $R_5 = 10 \text{ Ом}$.



Шешімі. 1. Қарастырылып отырған тізбектің ерекшеліктері. Барлық бұрын қарастырылған тізбекте тармақтағы токтың бағыны нақты анықталды. Берілген тізбекте кедергісіндегі токтың бағытын нақты алдын ала анықтауға болмайды. Ток I_1 А түйініндегі I_1 ток I_2 және I_3 екі токқа тармақталады, бағыттары нақты анықталған: клеммадан «+» көзден клеммаға қарай «-».

4.7 сурет. Тізбектің көпірлі тізбегі

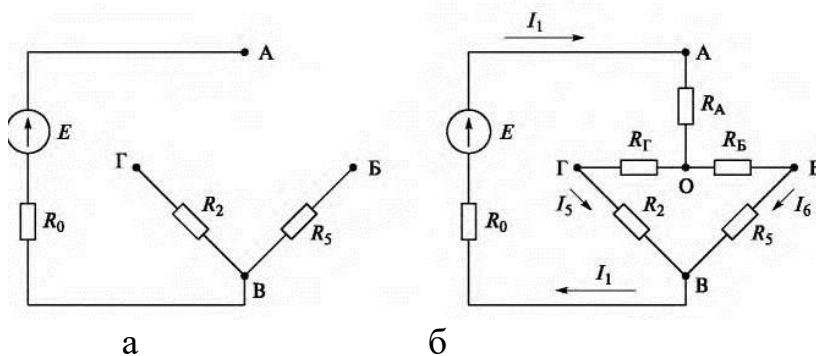
Г және Б түйіндерінде I_2 және I_3 токтары тармақталады. Осы арқылы R_3

кедергісінде бағытталған бөлшектің токтың екі қарама-қарсы бетіне шығады (сызықшалы бағытпен көрсетілген): оңға бағытталған ток (тогының бөлігі), және солға бағытталған тогы (тогының бөлігі). кедергісінде нәтижелі токтың бағытын анықтау тізбектің параметрлеріне байланысты және есептеу барысында ғана анықталады. және токтары бір бағытқа— клеммадан «-» көзге бағытталған.

Сонымен бірге, бір энергия көзі бар бұрын қарастырылған тізбек есебінің тапсырмаларында кедергінің тізбектей және параллель жалғауына негізделі. Бұл тапсырмада мұндай жалғау жоқ, бір түйінге қосылған кедергі (параллель жалғаудың белгісі) және бір ток өтетін кедергі (тізбектей жалғаудың белгісі) жоқ.

Соған қарамастан берілген тізбекті есептеуге арналған бұрынғы әдіс, егер сызбаның белгілі түрлендіруін орындаса мүмкін болып табылады. Берілген тізбектің өзіндік ерекшелігі бар: оның жұлдызшамен екі байланысы (R_1, R_2, R_3 және R_3, R_4, R_5) және оның үшбұрышты екі байланысы (R_1, R_3, R_4 және R_2, R_3, R_5) бар. Егер кедергінің үшбұрышының бірін кедергінің эквивалентті жұлдызшасына түрлендірсе, немесе керісінше, жұлдызшаны эквивалентті үшбұрышқа түрлендірсе, онда тізбекте сызбала тізбектей және параллель жалғау пайда болады, және тапсырманы үйіртку әдісімен шешуге болады.

2. Көпірлі тізбектің кедергі үшбұрышын R_1, R_3, R_4 эквивалентті кедергі жұлдызына ауыстыру. Алдымен 4.8, суретте көрсетілгендегідей берілген сызбаны ауыстырылатын үшбұрышсыз елестетеміз.



4.8. сурет. Көпірлі тізбектің кедергі үшбұрышын эквивалентті кедергі жұлдызына ауыстыру:

- a* — тізбекте А, Б, Г нүктелері арасындағы кедергі жұлдызшасын өшіру;
- б* — тізбекте А, Б, Г нүктелері арасындағы кедергі жұлдызшасын қосу.

Одан кейін бұл тізбектегі А, Б, Г түйін нүктелері арасындағы кедергілерінің R_A, R_B, R_G (4.8 б сурет) жұлдызшасына орналастырамыз. Осы арқылы алынған тізбектің тізбектей және параллель жалғанған кедергілері бар, соған сәйкес оңайлатылуы мүмкін, яғни тармақталмаған тізбекке (қысқартылған) түрленуі мүмкін және үйіртку әдісіне есептелген.

R_G және R_2 кедергілері R_B және R_5 секілді өзара тізбектей жалғанған.

Олардың жалпы кедергілері $R_{Г2}$ және $R_{Б5}$ өзара параллель жалғанған және жалпы бір $R_{Г5}$ ауыстырылуы мүмкін. Ауыстырғаннан кейін ішкі кедергісі R_0 және R_A мен $R_Г$ кедергісі бар ЭҚК көзіне ие тармақталмаған тізбекті аламыз.

Ом заңы бойынша жеңілдетілген тізбегінде ток күшін I_1 анықтауға болады. Берілген тізбектің қалған тогы жеңілдетілген (түрленген) тізбектің біртіндеп жаюмен анықталады.

3. Тізбекті үйірткілеу және ток күшін I_1 анықтау (4.8 б суретті қарау). R_A , R_B , $R_Г$ жұлдыздарының сәулелерінің кедергісін анықтаймыз. Бір түйінге бағытталған эквивалентті жұлдызшаның сәулелерінің кедергісінің теориясына сәйкес, үшбұрыштың бар төбелеріне бөлінген, бұл түйінде жинақталған үшбұрыштың екі төбесінің кедергісінің көбейтіндісіне тең. Осы арқылы,

$$R_A = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{30 \cdot 15}{30 + 25 + 15} = 6,4 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{R_3 R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{25 \cdot 15}{30 + 25 + 15} = 5,4 \text{ Ом};$$

$$R_Г = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{30 \cdot 25}{30 + 25 + 15} = 10,7 \text{ Ом}.$$

Тізбектің ОВ бөлігіндегі жалпы кедергіні анықтаймыз:

$$R_{Г2} = R_Г + R_2 = 10,7 + 20 = 30,7 \text{ Ом};$$

$$R_{Б5} = R_B + R_5 = 5,4 + 10 = 15,4 \text{ Ом};$$

Тізбектің жалпы ток күші

$$I_1 = \frac{E}{R_0 + R_A + R_{ОВ}} = \frac{63}{0,5 + 6,4 + 10,2} = 3,67 \text{ А}.$$

I_5 және I_6 ток күштерін анықтайық. Тізбекте О және В нүктелерінің арасындағы кернеуді табайық:

$$U_{ОВ} = I_1 R_{ОВ} = 3,67 \cdot 10,2 = 37,57 \text{ В}.$$

I_5 және I_6 ток күштерін Ом заңы бойынша анықтаймыз:

$$I_5 = \frac{U_{ОВ}}{R_{Г2}} = \frac{37,57}{30,7} = 1,22 \text{ А}; \quad I_6 = \frac{U_{ОВ}}{R_{Б5}} = \frac{37,57}{15,4} = 2,45 \text{ А}.$$

5. А, В және Г түйіндері арасындағы кернеуді U_{AB} , U_{AG} , U_{BG} анықтау. Кедергідегі ток үлкен потенциалды нүктеден аз потенциалды нүктеге өтетіндігін және Ом заңы бойынша кедергідегі кернеу ток күшімен кедергінің көбейтіндісіне тең, жазамыз

$$\varphi_A - \varphi_O = I_1 R_A; \quad \varphi_O - \varphi_Г = I_5 R_Г; \quad \varphi_O - \varphi_B = I_6 R_B. \quad (4.19)$$

(4.19) теңдеуде қосу немесе азайтумен (қажет болса) U_{AB} , U_{AG} , U_{BG}

кернеулерін анықтаймыз:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_O + \varphi_O - \varphi_B = I_1 R_A + I_6 R_B = 3,67 \cdot 6,4 + 2,45 \cdot 5,4 = 36,7 \text{ В};$$

$$U_{AG} = \varphi_A - \varphi_O + \varphi_O - \varphi_G = I_1 R_A + I_5 R_G = 3,67 \cdot 6,4 + 1,22 \cdot 10,7 = 36,7 \text{ В};$$

$$U_{BG} = \varphi_O - \varphi_G - \varphi_O + \varphi_B = I_5 R_G - I_6 R_B = 1,22 \cdot 10,7 - 2,45 \cdot 5,4 = 0. \quad 6.$$

6.4.7. суреттегі I_2 , I_3 және I_4 ток күшін анықтау. Есептің дұрыстылығын тексеру. 4.7 және 4.8, б суреттегі сызбалар эквивалентті болғандықтан, онда потенциалдар мен олардың аттас нүктелері сәйкесінше, осы нүктелер арасындағы кернеуде тең болады. Осы арқылы, берілген кедергілерде R_1 , R_3 және R_4 (4.7 суретті қарау) кернеу белгілі, сәйкесінше Ом заңы бойынша ток күшін анықтауға болады:

$$I_2 = \frac{U_{AG}}{R_1} = \frac{36,7}{30} = 1,22 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{36,7}{15} = 2,45 \text{ А};$$

$$I_4 = \frac{U_{BG}}{R_3} = \frac{0}{25} = 0.$$

Есептің дұрыстылығын тексеру үшін тізбектің қуат теңгерімін жасаймыз, қуат көзі мен тұтынушыны есептейміз және салыстырамыз:

$$P_{ист} = EI_1 = 63 \cdot 3,67 = 231,2 \text{ Вт};$$

$$P_{потр} = I_1^2 R_0 + U_{AG} I_2 + U_{AB} I_3 + U_{BG} I_4 + I_5^2 R_2 + I_6^2 R_5 = 3,67^2 \cdot 0,5 + 36,7 \cdot 1,22 + 36,7 \cdot 2,45 + 0 + 1,22^2 \cdot 20 + 2,45 \cdot 10 = 231,2 \text{ Вт};$$

$$P_{ист} = P_{потр} = 231,2 \text{ Вт}.$$

Қуат теңгерімі орындалған есептің дұрыстырылығын растайды.

7. Алынған есеп нәтижелерін талдау. Берілген тапсырмаға ұқсас қарастырылып отырған сызбасы бар тізбек көпірлік деп аталады. Олар автоматика қондырғыларында және электр өлшеулерінің техникадасында, сонымен қатар кедергіні өлшеу үшін кең түрде пайдаланылады. 4.7 суретте көрсетілген көпірлі сызбадағы БГ деп белгіленген тармақ *көпірдің диагоналі* деп аталады.

Көпірлік сызбаның ерекшелігі, оның қарама-қарсы иіндерінің кедергісінің көбейтіндісі бірдей болса, онда көпір диагоналі нөлге тең.

Қарастырылып отырған тапсырмада қарама-қарсы иіндерінің кедергісінің көбейтіндісі бірдей: $R_1 R_5 = 30 \cdot 10 = 300 \text{ Ом}^2$; $R_2 R_4 = 20 \cdot 15 = 300 \text{ Ом}^2$. Сәйкесінше, көпір диагоналіндағы ток күші I_4 нөлге тең.

Бұл көпірлік сызбаның ерекшелігі көпірдің көмегімен кедергіні өлшеу үшін қолданылады. Көпірді екі қарама-қарсы иіндеріне белгіленген кедергіні, ал басқа екі иіндердің біріні – өлшенетінін қосады. Одан кейін қалған иінде көпір диагоналіндағы ток күші нөлге тең болмайынша, кедергіні таңдайды. Енді өлшенуші кедергіні анықтау үшін қарама-қарсы иіндердің кедергісінің белгілі көбейтіндісін, көпірдің таңдап алынған мәніне бөлу қалды.

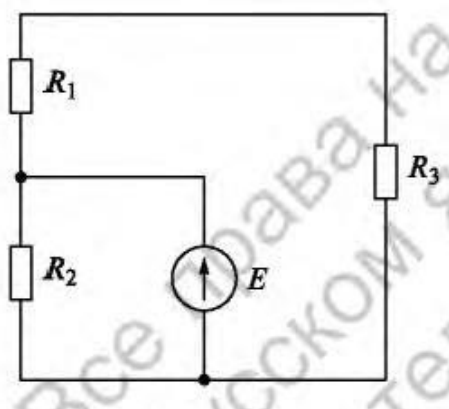
4.5. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

4.7.4.9 суретте көрсетілгендегідей тізбекте, ЭҚК көзі $E = 20$ В; $R_1 = R_2 = 100$ Ом; $R_3 = 250$ Ом Тізбектің барлық жерлері үшін ток және қуатты анықтау. Қуат теңгерімін жасау.

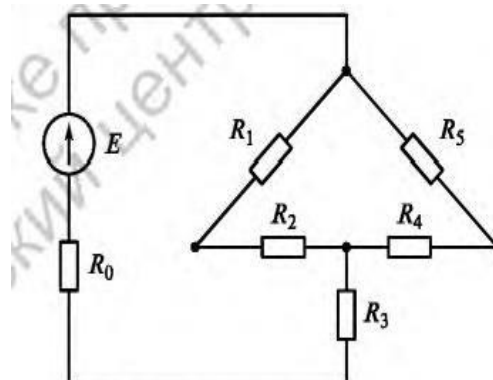
4.8. 4.10 суретте көрсетілген тізбектегі кедергісіндегі R_2 ток күші 1,2 А құрайды. Тізбекте келесі кедергілер мәніндегі энергия көзінің ЭҚК анықтау: $R_1 = 20$ Ом; $R_2 = 10$ Ом; $R_3 = 7$ Ом; $R_4 = 5$ Ом; $R_5 = 10$ Ом; $R_0 = 0,5$ Ом

4.9.4.11 суретте көрсетілген тізбектегі ток күші I , НЗ шамын қосқаннан кейін $H1$ және $H2$ жарық шамдарының жарықтылығы қалай өзгертіндегін анықтау, егер R_n — сым желісінің кедергісі болса.

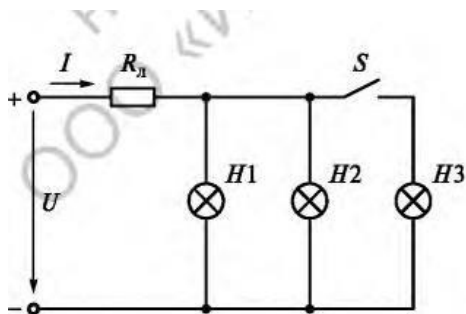
4.10.4.12 суретте көрсетілген тізбек элементтерінің параметрлері келесі мәнге ие: $E = 120$ В; $R_1 = 10$ Ом; $R_2 = 40$ Ом; $R_3 = 14$ Ом; $R_4 = 80$ Ом; $R_5 = 50$ Ом. Тізбектің барлық тармағындағы тоқты анықтау.



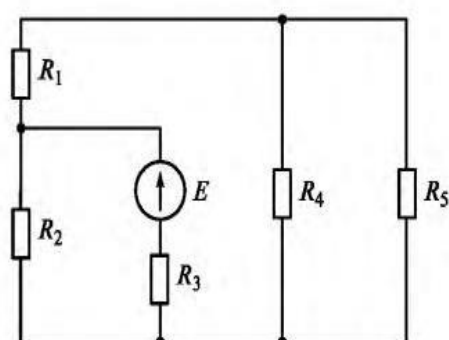
4.9. 4.7 сурет. тапсырмаға арналған электр тізбегі



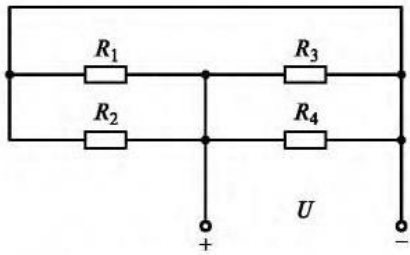
4.10. сурет. 4.8 тапсырмаға арналған электр тізбегі



4.11. сурет. 4.9 тапсырмаға арналған



4.12. сурет. 4.10 тапсырмаға арналған электр тізбегі



4.13. сурет 4.11. тапсырмаға арналған электр тізбегі

4.11. Егер $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 20$ Ом болса 4.13 суретте көрсетілген тізбектің эквивалентті кедергісін анықтау

4.12. 1 А шегі бар амперметрдің клеммалары арасындағы кедергі 0,02 Ом тең. 0,005 Ом кедергілі және құрал 0,75 А көрсеткендегі ток күшіне ие тұйықталу болған кездегі амперметрдің өлшеу шегін анықтау.

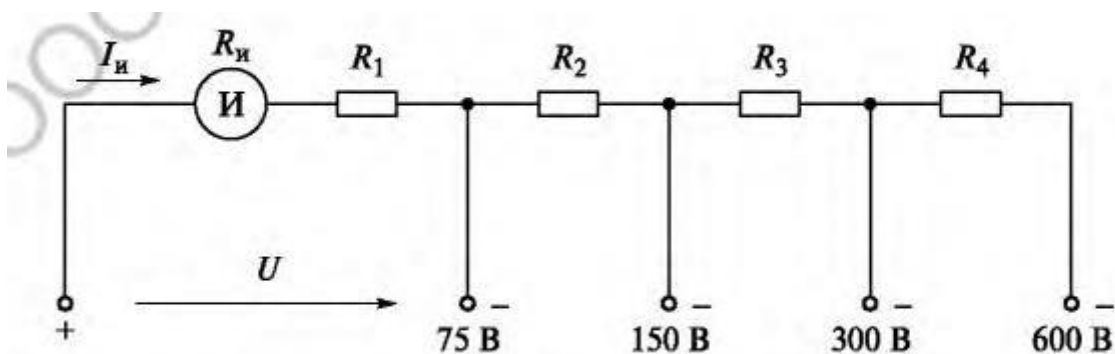
4.13. Вольтметрде өлшеудің төрт шегі бар: 75, 150, 300, 600В (4.14. сурет). Өлшем механизмінің номиналды ток күші (ең үлкен рұқсат етілген) 4мА, ал кедергісі 10 Ом құрайды. Көрсетілген мәнге дейін өлшеу шегін ұлғайтуға мүмкіндік беретін $R_1 \dots R_4$ қосымша кедергілерін анықтау.

4.14. Электронды қондырғы көзінің тізбегіндегі кернеуді реттеу үшін (4.15, а сурет) кедергісі R_n екі бөлікке бөлінетін: R'_n және R'' потенциометр қолданылады.

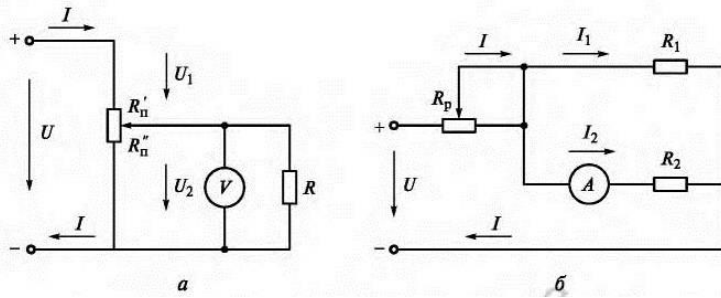
R кірмелік кедергісі бар электронды қондырғы (энергия қабылдауыш) R_n кедергісімен потенциометр аумағына параллель жалғанады. R энергия қабылдауыштың кедергісінің ұлғаюы кезінде тізбектегі вольтметрдің көрсеткіші қалай өзгертіндігін анықтау.

4.15. 4.15 б суретте көрсетілген тізбекте тұрақты кернеудегі U реостаттың қозғалтқышын оңға ауыстырды. Осы кезде амперметрдің көрсеткішінің өзгертіндігін анықтау.

4.16. 4.15 б суретте көрсетілген тізбекте R_1 кедергінің қысқа тұйықталауы болса, амперметрдің көрсеткіші қалай өзгертіндігін және R_2 кедергісінің қысқа тұйықталуы болса не болатындығын анықтау. Амперметрдің кедергісін ескермеу



4.14. сурет. 4.13 тапсырмаға арналған вольтметрдің электр тізбегінің сызбасы



4.15. Сурет. Айнымалы кедергінің қосылу кедергісі

4.17. 4.12 суретте көрсетілгенде тізбекте R_2 кедергісінің үзілуі болса, кедергісіндегі R_5 ток күші қалай өзгередігін анықтау.

4.18. Егер құралдың кедергісі $R_A = 0,15$ Ом және $R_V = 1500$ Ом болса, 4.5 суретте көрсетілген сызбаны пайдалану кезінде амперметр мен вольтметр көмегімен $R_x = 100$ Ом кедергісінің қателігін анықтау. R_x берілген кедергіні өлшеу үшін қай сызбаны таңдауды бағалау.

4.19. Егер құралдың кедергісі $R_A = 0,15$ Ом және $R_V = 1500$ Ом болса, 4.5 суретте көрсетілген сызбаны пайдалану кезінде помощью амперметр мен вольтметр көмегімен $R_x = 5$ Ом кедергісінің қателігін анықтау. R_x берілген кедергіні өлшеу үшін қай сызбаны таңдауды бағалау.

4.20. Егер $U = 50$ В; $R_1 = 70$ Ом; $R_2 = 90$ Ом; $R_3 = 200$ Ом; $R_4 = 1500$ Ом; $R_5 = 1000$ Ом; $R_6 = 1200$ Ом болса, 4.6 а суретте көрсетілген бөлгіш тізбегіндегі бар тоқты және тұтынушылардағы кернеуді U_1, U_2, U_3 анықтау.

4.21. 4.7 суретте көрсетілген тізбекті есептеу үшін, АБГ кедергісінің үшбұрышын эквивалентті жұлдызға түрлендіру. Элемент параметрлерінің келесі мәндеріндегі барлық тоқты және жұлдыздың кедергісін анықтау: $E = 110$ В; $R_0 = 0,2$ Ом; $R_1 = 50$ Ом; $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 15$ Ом; $R_4 = 40$ Ом; $R_5 = 30$ Ом.

4.22. Егер бұл тізбектің қалған параметрлері 4.21 көрсетілген тапсырмадағы мәнге, ал R_3 кедергісіндегі ток күші нөлге тең болса, 4.7.суретте көрсетілген көпірлі сызбаның А және Г нүктелері арасындағы қосылған R_1 өлшенетін кедергіні анықтау.

ӨЗІНДІК ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕРДІҢ ЖАУАБЫ

4.7. 0,257 А; 0,2 А; 0,057 А; 5,143 Вт; 0,327 Вт; 4 Вт; 0,816 Вт; $0,327 + 4 + 0,816 = 5,143$ Вт.

4.8 63 В.

4.9 I ток күші өседі; H_2 шамдарының жарықтығы азаяды

4.10 3,51 А; 1,74 А; 1,77 А; 0,67 А; 1,07 А.

4.11 5 Ом.

4.12 5 А; 3,75 А.

4.13 18,74; 18,75; 37,5; 75 кОм.

4.14 U_2 кернеуі өседі.

4.15 Амперметрдің көрсеткіші азаяды.

4.16 Қысқа тұйықтал уезінде амперметрдің көрсеткіші R_1 (I_2 ток күші) нөлге дейін азаяды. Қысқа тұйықталу кезінде R_2 амперметрдің көрсеткіші (I_2 ток күші) ұлғаяды.

4.17 R_5 кернеуіндегі ток күші азаяды

4.18 0,15%; 6,25%; 4.5 а суретте көрсетілген сызбаны таңдау керек

4.19 3%; 0,33%; 4.5 б суретте көрсетілген сызбаны таңдау керек

4.20 2,2 А; 0,178 А; 0,042 А; 0,141 А; 0,038 А; 0,124 А; 0,017 А; 24,8 В; 37,5 В; 50 В.

4.21 19,05 Ом; 5,71 Ом; 7,14 Ом; 3,17 А; 1,466 А; 1,707 А; 0,337 А; 1,803 А; 1,37 А.

4.22 26,67 Ом.

5 ТАРАУ

ӘР ТҮРЛІ ТАРМАҚТАРҒА ҚОСЫЛҒАН БІРНЕШЕ ЭНЕРГИЯ КӨЗІ БАР ТҮРАҚТЫ ТОКТЫҢ ТАРМАҚТАЛҒАН ТІЗБЕКТЕРІ

5.1. Түйіндік және контурлық теңдеулер әдісі (Кирхгоф теңдеулері әдісі)

5.1 есеп. 5.1 суретте көрсетілген тізбектегі токтарды Кирхгоф теңдеулерінің әдісімен оның келесі параметрлерінде анықтау: $E_1 = 230$ В; $E_2 = 120$ В; $R_1 = 200$ Ом; $R_2 = 1$ кОм; $R_3 = 500$ Ом; $R_{01} = 20$ Ом; $R_{02} = 5$ Ом. Қуат теңгерімін есептеу.

Шешімі. 1. Әдіс сипаттамасы. Берілген әдіс Кирхгофтың бірінші және екінші заңдарын қолдануға негізделген. Электр тізбектерін есептеудің басқа әдістерінің алдында бұл әдістің артықшылығы болып оның схемалардың қандай да бір түрленуін талап етпейтіндігі мен кез келген көздері мен тармақтары бар кез келген тізбекті есептеуге жарайтындығы табылады.

2. Белгісіз токтар санын анықтау және олардың бағытын таңдау. 5.1 суреттегі электр тізбегінің екі Б және Д түйіндерінің арасында үш тармақтары бар (БАЕД, БД, БВД). Электр тізбегіндегі токтар саны оның тармақтарының санына тең. Салдарынан, берілген тізбектегі токтар саны үшеуіне тең.

Берілген тізбек күрделілер қатарына жатады, себебі, түрлі тармақтарында бірнеше энергия көздері бар. Күрделі тізбекте тармақтардағы токтар, бағыттарын токтар есебіне дейін көрсетуге болмайды, сондықтан, токтар бағыттары ерікті түрде таңдалады. Мысалы, берілген тізбек тармақтарындағы токтар бағыттарын ерікті түрде 5.1 суретте көрсетілгендей штрих бағытталармен таңдаймыз.

Таңдалған бағыттарды оңтайлы деп есептей отырып, Кирхгофтың бірінші және екінші заңдары бойынша қажетті теңдеулерді құрамыз.

Есептеуге дейін біздің тарапымыздан барлық бағыттар да дұрыс таңдалмағандығын, яғни, нағыз бағыттармен сәйкес келмейтіндіктерін айтуға болады, себебі, Д түйініне барлық токтар кіреді, бір одан ешнәрсе шықпайды, бұл ток ағынының үздіксіздігі заңына қайшы келеді.

3. Теңдеулердің қажетті санын анықтау. Тізбектегі токтарды есептеуге арналған теңдеулер саны белгісіз токтар санына тең болуы тиіс. Салдарынан, 5.1 суретте көрсетілген тізбек үшін үш теңдеу құрау қажет. Алдымен, қарапайымы ретінде Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеу құрамыз.

4. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеулер құру. n түйіндері бар тізбек үшін Кирхгофтың бірінші заңы бойынша құралатын тәуелсіз теңдеулер саны түйіндер санына қарағанда бірге кем болуы керек, яғни, $n-1$. Аталған тізбек екі түйіннен тұрғандықтан, ол үшін тек бір ғана теңдеу құрау қажет, мысалы Д түйіні үшін:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0. \quad (5.1)$$

4. Кирхгофтың екінші заңы бойынша теңдеулер құру. Жетіспейтін теңдеулер Кирхгофтың екінші заңы бойынша тәуелсіз контурлар үшін құрылады, яғни, кем дегенде бір тармағы бар, ертерек таңдалған контурларға кірмейтін контурлар үшін.

Берілген тізбекте тек қана үш контур бар (АБДЕ, БВГД, АВГЕ), олардың екеуі түрлі тіркестерде тәуелсіз болып келеді: АБДЕ, БВГД; АБДЕ, АВГЕ; БВГД, АВГЕ.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша теңдеулер құрағанда алдын ала контурлардың әрқайсысының айналым бағыттары (НО) ерікті түрде таңдалады (контур айналымдарының бағыттары сәйкес келмеуі мүмкін). Тәуелсіз контурларды (АБДЕ и БВГД) және олардың айналымдарының бағыттарын (НО1 и НО2) 5.1-суретте көрсетілгендей таңдаймыз.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша келесі белгілі ережелерді орындай отырып теңдеулер құрамыз:

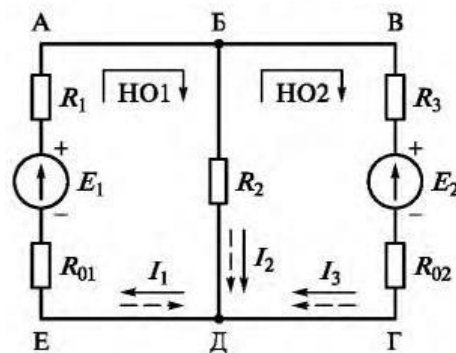
- егер оның бағыты контур айналымының ерікті түрде таңдалған бағытымен сәйкес келмесе, ЭДС «+» белгісімен жазылады. Кері жағдайда ЭДС «—» таңбасымен жазылады;
- егер кедергі кезінде ток бағыты контур айналымымен сәйкес келсе, кедергіде кернеудің төмендеуі «+» таңбасымен жазылады, кері жағдайда «-» таңбасымен жазылады.

Осындай жолмен, таңдалған тәуелсіз контурлар (АБДЕ және БВГД) мен олардың айналымының бағыттарына арналған теңдеулер келесі түрге ие:

$$E_1 = -I_1/R_1 + R_{01} + I_2 R_2; \quad (5.2)$$

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 (R_3 + R_{02}) \quad (5.3)$$

5.1-сурет. Үш тармағы бар күрделі электр тізбегі



6. Токтарды есептеу және олардың ақиқат бағыттарын анықтау. Кедергі мен ЭДС кедергілерінің берілген мәндерін (5.2) және (5.3) теңдеулеріне қойып және бұл теңдеулердің барлық мүшелерін 10-ға бөлсек, келесіні аламыз:

$$23 = -22I_1 + 100I_2; \quad (5.4)$$

$$-12 = -100I_2 + 50,5I_3. \quad (5.5)$$

Токтарды есептеу үшін теңдеудің (5.1), (5.4) және (5.5) үш тәуелсізбен шешіміне келіп тіреледі.

Теңдеулердің алынған жүйесін шешу үшін айеымалыны біртіндеп жою әдісін пайдаланамыз. Ол үшін I_1 тогын жүйенің кез келген теңдеуінен, мысалы, (5.1) теңдеуінен басқа белгісіз токтар арқылы өрнектейміз:

$$I_1 = -(I_2 + I_3). \quad (5.6)$$

(5.4) өрнегіне (5.6) теңдеуін қойып, келесіні аламыз:

$$23 = 22(I_2 + I_3) + 100I_2. \quad (5.7)$$

(5.7) теңдеуінің ұқсас мүшелерін келтіргеннен кейін (5.7) теңдеуі келесі түрді қабылдайды:

$$23 = 122I_2 + 22I_3. \quad (5.8)$$

Осындай жолмен, екі I_2 және I_3 белгісіздері бар екі теңдеу (5.5) және (5.8) алынады. (5.5) теңдеуін -22 санына көбейтіп, ал (5.8) теңдеуін $50,5$ санына көбейтіп және оларды қосып келесі өрнекті аламыз:

$$1425,5 = 836I_2,$$

бұл жерде

$$I_2 = 0,17 \text{ А.}$$

I_2 мәнін (5.8) теңдеуіне қойып, $I_3 = (23 - 122 \cdot 0,17)/22 = 0,1 \text{ А}$ табамыз.

(5.1) теңдеуінен

$$I_1 = -I_2 - I_3 = -0,17 - 0,1 = -0,27 \text{ А аламыз.}$$

I_1 тогы күшінің теріс мәні ток бағыты бастапқыда бұрыстандалғандығын білдіреді, яғни, оның ақиқат бағыты көрсетілген пунктирлік бағыттамаға қарама-қарсы болып келеді (токтардың ақиқат бағыттары 5.1-суретте тұтас бағыттамамен көрсетілген). Дегенмен, бұл ретте теңдеулерге қою кезінде есептеу процесінде алынған белгі есебімен ток мәндерін пайдаланатындығын есте сақтау қажет, себебі, бұл теңдеулер токтардың бастапқыда тандалған бағыттары үшін тура келеді.

7. Е с е п д ұ р ы с т ы ғ ы н т е к с е р у ү ш і н қ у а т т е ң г е р і м і н қ ұ р у . Токтың ақиқат бағыттарын ЭДС көздері бағыттарымен салғастырып, берілген тізбектегі энергия көздері түрлі режимдерде жұмыс жасайды деген қорытындыға келеміз: E_1 — генератор режимінде, ал E_2 — тұтынушы режимінде. Генератормен өндірілетін қуат барлық тұтынушылар қуатының қосындысына тең болуы қажет. Бұл теңдікті тексереміз:

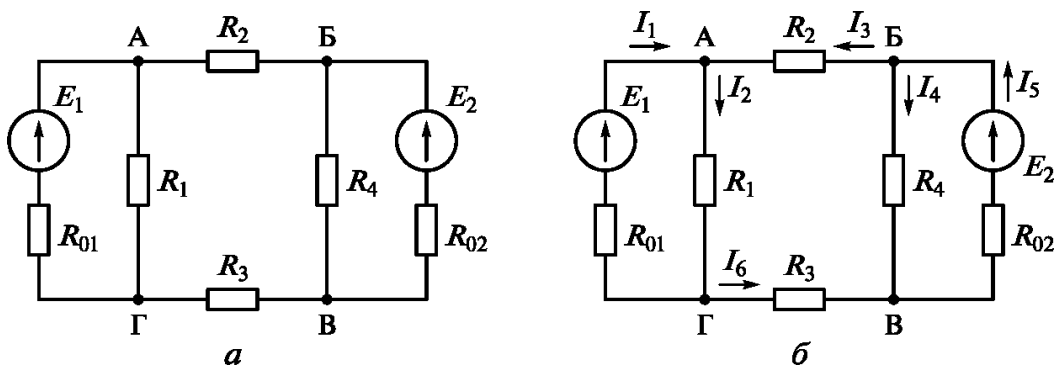
$$\begin{aligned} P_{\text{ген}} &= E_1 I_1 = 230 \cdot 0,27 = 62,1 \text{ Вт}; \\ P_{\text{потр}} &= I_1^2 (R_1 + R_{01}) + I_2^2 R_2 + E_2 I_2 + I_3^2 (R_3 + R_{02}) = 0,27^2 \cdot 220 + 0,17^2 \cdot 1000 + 120 \cdot 0,1 + 0,1^2 \cdot 505 = 62 \text{ Вт}; \\ P_{\text{ген}} &= P_{\text{потр}} = 62 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Қуаттар теңдігі есеп дұрыстығын дәлелдейді.

5.2 Токтардың қабаттасуы әдісі

5.2 есеп. 5.2 а суретте көрсетілген тізбектегі токтардың қабаттасуы әдісімен оның параметрлерінің келесі мәндерінде есептеу: $E_1 = 35 \text{ В}$; $E_2 = 63 \text{ В}$; $R_1 = 30 \text{ Ом}$; $R_2 = 15 \text{ Ом}$; $R_3 = 40 \text{ Ом}$; $R_4 = 25 \text{ Ом}$; $R_{01} = R_{02} = 2 \text{ Ом}$. Есептеу дұрыстығын тескеруді жүргізу.

Шешімі. 1. Әдіс сипаттамасы және оны қолданудың пайдалылығын негіздеу. Қабаттасу әдісі күрделі тізбек есебін әрқайсысында бір ЭДС бар бірнеше қарапайым тізбектер есебімен алмастыруға мүмкіндік береді. Сызықтық тізбектің қандай да бір тармағындағы ток күші энергия көздерінің әрекет ететін ЭДС арқылы берілген тармақта жеке туындайтын үзік токтардың алгебралық қосындысына тең.



5.2-сурет. 5.2 (а) тапсырмасына электр тізбегінің схемасы және бұл тізбекте тоқты тарату (б)

Берілген тізбекте түрлі тармақтардағы екі энергия көзі және алты тармақ бар, салдарынан, оларды анықтау үшін Кирхгоф теңдеуі әдісімен алты теңдеуден құралған жүйені шешуге тура келетін алты белгісіз ток бар. Қабаттасу әдісін пайдалану екі қарапайым тізбекті есептеу шешімін үйірткі әдісімен жүргізуге мүмкіндік береді, бұл анағұрлым жеңіл болып келеді.

2. Берілген тізбекте жеке әрекет ететін E_1 ЭҚК туындайтын үзік токтарды $I_1' \dots I_6'$ анықтау. 5.2 а суретте берілген тізбекте E_1 басқа энергия көздерінің барлық ЭҚК жоямыз. Бұл ретте берілген әдіспен есептеу кезінде жоюға олардың ішкі кедергілері емес, тек энергия көздерінің ЭҚК келетіндігін есте сақтау керек.

Нәтижесінде E_1 бір энергия көзі бар қарапайым тізбекті аламыз (5.3, а-сурет), оның есептеу әдістемесі (4.1-тарау бөлігі) келесіге келіп тіреледі:

а) тізбекте E_1 көзімен туындайтын үзік токтар бағыттарын анықтаймыз. Бір энергия көзі бар тізбектегі токтар «+» E_1 клеммасынан «-» клеммасына 5.3, а-суретте көрсетілгендей бағытталған;

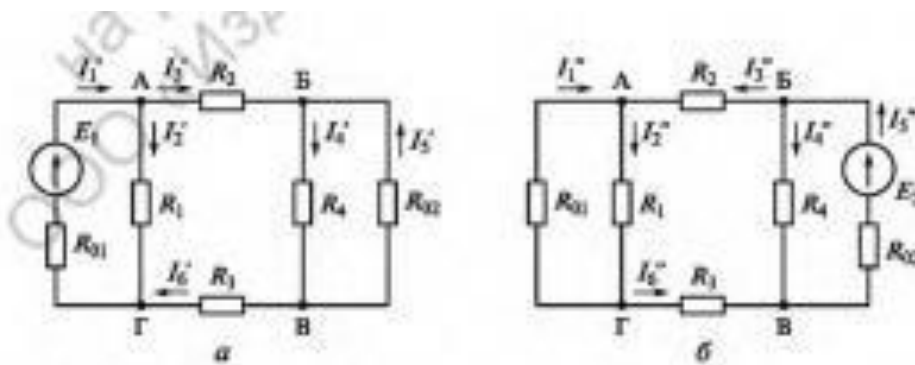
б) $I_1' \dots I_6'$ үзік токтарын үйірткі әдісімен анықтаймыз, ол үшін:

- R_2, R_3, R_4 және R_{02} кедергілер топтарын баламалы кедергілермен алмастырамыз:

$$R_{\partial 1} = R_2 + R_3 + R_4 + R_{02} = 15 + 40 + 10 + 11,352 = 56,852 \text{ Ом};$$

- R_1 және $R_{\partial 1}$ кедергілерінің параллель байланыстарын баламалы кедергілермен алмастырамыз

$$R_{\partial 2} = \frac{R_1 \cdot R_{\partial 1}}{R_1 + R_{\partial 1}} = \frac{10 \cdot 56,852}{10 + 56,852} = 19,638 \text{ Ом}$$



5.3-сурет. E_1 (а) көзімен және E_2 (б) көзімен туындайтын 5.2-суретте көрсетілген тізбектегі үзік токтар

және R_{01} ішкі кедергісі бар және I_1' тогы жүретін R_{02} кедергісі бар E_1 К көзінің тізбекті байланысынан тұратын тармақталмаған I_1' тізбекті аламыз;

- Ом заңы бойынша толық тізбек үшін I_1' тогының күшін анықтаймыз:

$$I_1' = \frac{E_1}{R_{01} + R_2 + R_3 + R_4 + R_{02}}$$

- тізбек схемасын жаямыз, яғни, I_1' жалпы тогы бойынша кедергілері R_1 және R_{01} екі параллель тармақтарындағы біріндегі ток күшін анықтаймыз. Мысалы, кедергісі R_{01} тармақтағы ток күші:

$$I_1' = I_1' \frac{R_{01}}{R_{01} + R_1}$$

- Кирхгофтың бірінші заңы бойынша кедергісі R_1 екінші параллель тармақтағы I_2' тогының күшін анықтаймыз:

$$I_2' = I_1' - I_3' = 1.618 - 0.559 = 1.059 \text{ A}$$

- I_3' тогы бойынша кедергілері сопротивлениями R_4 және R_{02} параллель тізбектердегі токтар күшін анықтаймыз:

$$I_4' = I_3' \frac{R_{02}}{R_4 + R_{02}}$$

$$I_5' = I_3' - I_4' = 0.559 - 0.041 = 0.518$$

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша кедергісі R_3 тармақтағы ток күшін анықтаймыз:

$$I_6' = I_3' = I_4' + I_5' = 0.559 \text{ A.}$$

3. Берілген тізбекте жеке әрекеттететін E_2 ЭҚК-пен туындайтын $I_1'' \dots I_6''$ үзік токтарын анықтау. Берілген тізбекте E_2 басқа ЭҚК көздерінің барлығын жоямыз. 5.3 б суретте көрсетілгендей токтар бағытталған бір ЭҚК бар тармақталған қарапайым тізбекті аламыз. E_2 -нің үзік токтарын $I_1'' \dots I_6''$ деп белгілейміз.

Есептеу кезінде шатасып кетпеу үшін токтарды белгілеу үшін сәйкес тармақтарда шешім барысында алынатын барлық қосымша схемаларда бірдей индекстер қолданған жөн.

$I_1'' \dots I_6''$ үзік токтарын үйірткі әдісімен есептейміз, ол үшін:

- R_2 , R_3 кедергілерінің тізбекті байланысын және R_1 мен R_{01} параллель

байланысының жалпы кедергісін R_1 және R_{01} баламалы кедергімен алмастырамыз:

$$R_{33} = R_2 + R_3 = 15 + 40 = 56,875 \text{ Ом};$$

• R_4 және R_{33} кедергілерінің параллель байланысын баламалы байланыспен алмастырамыз:

$$R_{34} = \frac{R_4 \cdot R_{33}}{R_4 + R_{33}} = 17,366 \text{ Ом};$$

E_2 ЭҚК, R_{02} ішкі кедергісі мен ток жүретін R_{34} кедергісі бар энергия көзінің тізбекті байланысынан тұратын тармақталмаған тізбекті аламыз:

$$I_5'' = \frac{E_2}{R_{02} + R_{34}} = \frac{10}{2 + 17,366} = 0,515 \text{ А};$$

• тізбек схемасын ашамыз, яғни, I_5'' жалпы тогы бойынша кедергілері R_{33} және R_4 параллель тармақтардағы токтар күшін анықтаймыз:

$$I_3'' = I_5'' \frac{R_4}{R_4 + R_{33}} = 0,515 \frac{25}{25 + 56,875} = 0,26 \text{ А};$$

$$I_4'' = I_5'' - I_3'' = 0,515 - 0,26 = 0,255 \text{ А};$$

• I_3'' жалпы тогы бойынша кедергілері R_{01} және R_1 параллель тармақтардағы токтар күшін анықтаймыз:

$$I_1'' = I_3'' \frac{R_1}{R_1 + R_{01}} = 0,26 \frac{30}{30 + 2} = 0,231 \text{ А};$$

$$I_2'' = I_3'' - I_1'' = 0,26 - 0,231 = 0,029 \text{ А};$$

• кедергісі R_3 тармақтағы ток күшін анықтаймыз:

$$I_6'' = I_3'' = I_1'' + I_2'' = 0,231 + 0,029 = 0,26 \text{ А}.$$

4. 5.2 a суретте көрсетілген бастапқы тізбектегі токтарды анықтау. Бастапқы тізбектегі әрбір тармақтағы ток күші ондағы үзік токтардың алгебралық қосындысына тең.

I_1 ток күші (E_1 ЭҚК бар тармақтағы) I_1' және I_1'' үзік токтарының айырмасына тең, себебі, олар бір-біріне қарама-қарсы бағытталған (5.3-сурет):

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 1,618 - 0,931 = 0,687 \text{ А},$$

ал I_1 тогының бағыты үлкен ток бағытымен сәйкес келеді, яғни, I_1' тогымен сәйкес келеді.

I_2 ток күші (кедергісі R_1 тармақтағы) бірдей бағытталған I_2' және I_2'' үзік токтарының қосындысына тең:

$$I_2 = I_2' + I_2'' = 1,059 + 0,062 = 1,121 \text{ А},$$

Ал I_2 тогының бағыты I_2' және I_2'' токтарының бағытына сәйкес келеді.

I_3 тогының күші (кедергісі R_2 тармақтағы) қарама-қарсы бағытталған I_3' және I_3'' үзік токтарының айырмасына тең:

$$I_3 = I_3'' - I_3' = 0,993 - 0,559 = 0,434 \text{ А,}$$

ал I_3 тогының бағыты I_3'' үлкен үзік тогының бағытымен сәйкес келеді.

Ток күші

$$I_4 = I_4' + I_4'' = 0,041 + 2,26 = 2,301 \text{ А,}$$

ал I_4 тогының күші I_4' және I_4'' токтарының бағыттарымен сәйкес келеді. Ток күші

$$I_5 = I_5'' - I_5' = 3,253 - 0,518 = 2,735 \text{ А,}$$

ал I_5 тогының күші I_5'' тогының бағытымен сәйкес келеді. Ток күші

$$I_6 = I_6'' - I_6' = 0,993 - 0,559 = 0,434 \text{ А,}$$

ал I_6 тогының бағыты I_6'' тогының бағытымен сәйкес келеді.

Бастапқы тізбек тармақтарындағы токтар бағыттары — ток тарату 5.2, б-суретте көрсетілген. Бұл ретте тармақтағы ток бағытына үлкен үзік токтың бағытымен (егер тармақтағы үзік токтар түрлі жақтарға бағытталса), не тармақтың үзік токтарының бағытымен (егер олар бір жаққа бағытталса) сәйкес келеді.

5. Токтар есептерінің дұрыстығын тексеру. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша 5.2 б суретте көрсетілген тізбек түйіндері үшін теңдеу құрамыз:

• А түйіні үшін

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0,687 - 1,121 + 0,434 = 0;$$

• Б түйіні үшін

$$-I_3 - I_4 + I_5 = -0,434 - 2,301 + 2,735 = 0;$$

• В түйіні үшін

$$I_4 - I_5 + I_6 = 2,301 - 2,735 + 0,434 = 0;$$

• Г түйіні үшін

$$-I_1 + I_2 - I_6 = -0,687 + 1,121 - 0,434 = 0.$$

Әрбір түйіндегі токтардың алгебралық қосындысы нөлге тең, бұл берілген токтар есептерінің дұрыстығын дәлелдейді.

5.3. Контурлық токтар әдісі

5.3 есеп. 5.4 суретте көрсетілген тізбектегі токтарды контурлық токтар әдісімен оның келесі параметрлерінде есептеу: $E_1 = 35 \text{ В}$; $E_2 = 63 \text{ В}$; $R_1 = 30 \text{ Ом}$; $R_2 = 15 \text{ Ом}$; $R_3 = 25 \text{ Ом}$; $R_{01} = R_{02} = 2 \text{ Ом}$. Есеп дұрыстығын тексеруді жүргізу.

Шешімі. 1. **Ә д і с с и п а т т а м а с ы .** Күрделі тізбектерді есептеуге арналған контурлық токтар әдісі түйіндік және контурлық теңдеулер әдісі секілді Кирхгофтың бірінші және екінші заңдарын қолдануға негізделген. Бұл әдістің ерекшелігі болып қосымша контурлық токтарды, яғни, электр тізбегінің тұйық контурларында жүретін токтарды енгізу табылады, бұл тізбектегі токтарды есептеуге қажетті теңдеулер санын қысқартуға мүмкіндік береді.

2. **Т ә у е л с і з к о н т у р л а р қ ұ р а м ы н т а ң д а у .** 5.4-суретте берілген тізбекте үш тәуелсіз контур бойынша төрт тіркестен тұрады. Солардың бірін таңдайық: АБЖЗ; БВЕЖ; ВГДЕ.

3. **К о н т у р л ы қ т о к т а р б а ғы т т а р ы н т а ң д а у .** Әрбір таңдалған тәуелсіз контур үшін ерікті түрде контурлық ток бағытын таңдаймыз (мысалы, 5.4-суретте көрсетілгендей штрих бағыттамалармен). Контурлық токтарды рим цифрларымен нөмірлеу қабылданған: I_I, I_{II}, I_{III} .

4. **Т е ң д е у л е р ж ү й е с і н қ ұ р у .** Таңдалған тәуелсіз контурлар үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша қолайлылық үшін контур айналымының бағытын оның контурлық тогының бағытымен қатар қолдана отырып үш теңдеу құрамыз. Теңдеулерде кернеулердің азаюын жазған кезде контурлардың іргелес тармақтарында екеуден кем емес контурлық ток, яғни, өзінің тогы және іргелес контурлар тогы (токтары) жүретінін ескеру керек:

$$-E_1 = I_I(R_1 + R_{01}) + I_{II}R_{01};$$

$$-E_1 = I_I R_{01} + I_{II}(R_{01} + R_2 + R_3) + I_{III}R_3;$$

$$-E_2 = I_{II}R_3 + I_{III}(R_3 + R_{02}).$$

5. **К о н т у р л ы қ т о к т а р д ы а н ы қ т а у .** Берілген жүйе теңдеуіне тізбек параметрлерінің мәндерін қоямыз:

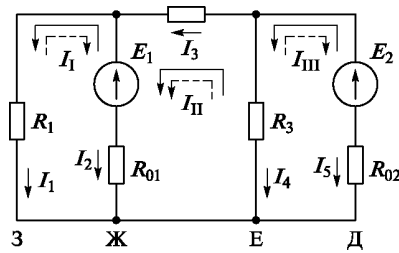
$$-35 = 32I_I + 2I_{II}; \quad (5.9)$$

$$-35 = 2I_I + 42I_{II} + 25I_{III}; \quad (5.10)$$

$$-63 = 25I_{II} + 27I_{III}. \quad (5.11)$$

Теңдеулердің алынған жүйесін белгілі әдістердің бірімен шешеміз, мысалы, алмастырып қою әдісі арқылы. Ол үшін жүйенің (5.9) теңдеуін пайдаланамыз және I_I тогының күшін I_{II} тогы арқылы өрнектейміз:

$$I_I = -35/32 - 2/32I_{II}. \quad (5.12)$$



5.4-сурет. 5.3-тапсырмаға А электр тізбегінің контурлық токтармен схемасы

(5.12) өрнегін жүйенің (5.10) теңдеуіне қоямыз. Ұқсас мүшелерді келтіру (5.11) екі белгісізі бар екі теңдеу жүйесін қалыптастырады:

$$-525 = 670I_{II} + 400I_{III}; \quad (5.13)$$

$$-63 = 25I_{II} + 27I_{III}. \quad (5.14)$$

I_{III} тогының күшін анықтаймыз, (5.13) теңдеуін -27 санына, ал (5.14) теңдеуін 400 санына көбейтеміз және алынған теңдеулерді қосамыз:

$$-11025 = -8090I_{II},$$

бұл жерде

$$I_{II} = 1,363 \text{ A.}$$

(5.12) өрнегінен I_I тогының күшін анықтаймыз:

$$I_I = -35/32 - 2/32 I_{II} = -35/32 - 2/32 \cdot 1,363 = -1,179 \text{ A.}$$

I_{III} тогының күшін (5.14) теңдеуіне I_{II} мәнін қойып анықтаймыз:

$$I_{III} = (-63 - 25 I_{II})/27 = (-63 - 25 \cdot 1,363)/27 = -3,595 \text{ A.}$$

Себебі, I_I және I_{III} контурлық токтарының есептік мәндері «-» белгісімен шығады, бұл токтардың таңдалған бағыттарын қарама-қарсыға өзгерту қажет. Контурлық токтардың ақиқат бағыттары 5.4-суретте тұтас бағыттамаалармен көрсетілген.

6. Тізбек тармақтарындағы мәндер мен бағыттарды анықтау. Тармақтардағы токтарды оларда жүретін контурлық токтардың олардың ақиқат бағыттарының есебімен алгебралық қосындысы ретінде анықтаймыз.

БАЗЖ тармағында тек бір I_I контурлық ток жүреді, сондықтан, I_I тогының күші I_I контурлық тогына тең:

$$I_I = I_I = 1,179 \text{ A,}$$

ал I_I тогының бағыты I_I тогының ақиқат бағытымен сәйкес келеді.

БЖ тармағында түрлі жақтарға бағытталған I_I және I_{II} контурлық токтары жүреді, сондықтан ток күші

$$I_2 = I_{II} - I_I = 1,363 - 1,179 = 0,184 \text{ A,}$$

ал I_2 тогының бағыты I_{II} тогының ақиқат бағытымен сәйкес келеді, себебі, I_{II} тогының күші I_I тогының күшінен көп.

БВ тармағында тек бір I_{II} контурлық тогы жүреді, сондықтан ток күші

$$I_3 = I_{II} = 1,363 \text{ A,}$$

ал I_3 тогының бағыты I_{II} тогының ақиқат бағытымен сәйкес келеді. БЕ тармағында I_{II} және I_{III} контурлы тогының бағыты әр түрлі жаққа қарайды.

$$I_4 = I_{III} - I_{II} = 3,595 - 1,363 = 2,232 \text{ A},$$

ал I_4 тогының бағыты I_{III} тогының ақиқат бағытымен сәйкес келеді, себебі, I_{III} тогының күші I_{II} тогының күшінен көп.

ВГДЕ тармағында тек бір I_{III} контурлық тогы жүреді, сондықтан ток күші

$$I_5 = I_{III} = 3,595 \text{ A},$$

ал I_5 тогының бағыты I_{III} тогының ақиқат бағытымен сәйкес келеді.

7. Токтар есебінің дұрыстығын тексеру. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша 5.4 суретте көрсетілген тізбектің барлық түйіндері үшін теңдеулер құрамыз және бұл теңдеулердің сол жақ бөліктерін есептейміз:

• Б түйіні үшін

$$-I_1 - I_2 + I_3 = -1,179 - 0,184 + 1,363 = 0;$$

• В түйіні үшін

$$-I_3 - I_4 + I_5 = -1,363 - 2,232 + 3,595 = 0;$$

• Е (Ж) түйіні үшін

$$I_1 + I_2 + I_4 - I_5 = 1,179 + 0,184 + 2,232 - 3,595 = 0.$$

Тізбектегі әрбір түйіндегі токтардың алгебралық қосындысы нөлге тең, бұл берілген токтар есебінің дұрыстығын дәлелдейді.

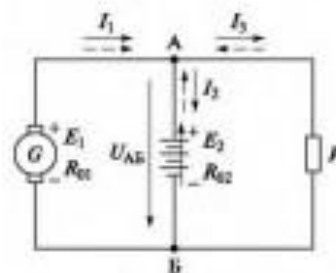
5.4 Екі түйіндер әдісі

5.4 есеп. Екі түйіндер әдісімен 5.5 суретте көрсетілген тізбектегі ток күшін буферлік аккумуляторлық батареяда E_2 егер, генератор ($\mathcal{E}KK$ $E_1 = 245\text{В}$ және ішкі кедергісі $R_{01} = 0,5 \text{ Ом}$) мен кедергісі $R = 10 \text{ Ом}$ аккумуляторлық ($E_2 = 230 \text{ В}$ және $R_{02} = 0,4 \text{ Ом}$) батарея параллель байланысса және тұтынушыны қоректендірсе есептеуге болады.

Шешімі. 1. Ә д і с с и п а т т а м а с ы . Екі түйіндер әдісі күрделі тізбектерді егер бұл тізбекте тармақтардың кез келген

мөлшерінде тек екі түйін болса немесе ол мұндай тізбекке түрлене алса жарамды болады.

Екі түйіндері бар тізбектер тәжірибеде жиі кездеседі және екі түйіндер әдісі олардың есептеуді біршама жеңілдетеді. Бұл ретте тармақтардағы токтар түйіндер арасындағы кернеу арқылы қарапайым формулалар бойынша жеңіл есептеледі.



5.5-сурет. 5.4-тапсырмаға электр тізбегінің схемасы

2. Қ а р а с т ы р ы л а т ы н т і з б е к т і ң е р е к ш е л і к т е р і . Аккумуляторды буферлік қосу пайдалану шарттары бойынша энергия көзінің тіпті қысқа мерзімге сөнуіне жол берілмейтін тұтынушыларды қоректендіру үшін қолданылады. Бұл жағдайда аккумуляторлық батарея қоректің негізгі көзіне параллель түрде біріншісінің қатардан шығып қалған жағдайында

энергияның қосалқы көзі ретінде жалғанады. Мұндай қосу, мысалы, автомобильдердің электр тізбектерінде, заманауи дербес компьютерлерде, апаттық электрлік жарықтандыруда және т. б. пайдаланылады. Қалыпты жағдайларда тұтынушы энергияның тек негізгі көзінен қоректенуі тиіс екендігі анық, ал аккумулятор зарядтау режимінде жұмыс жасауы тиіс, бұл негізгі көздің ЭҚК-нің аккумулятордың ЭҚК-нен нақты артуымен қамтамасыз етіледі. Бұл ретте аккумулятордағы ток оның ЭҚК қарама-қарсы бағытталған және аккумулятор энергия тұтыну режимі — зарядтауда жұмыс жасайды. Энергияның негізгі көзін сөндірген кезде аккумулятор тізбектегі жалғыз қорек көзі ретінде жұмыстың генераторлық режиміне көшеді және тұтынушыны қоректендіреді.

3. Тізбек тармақтарындағы токтар бағыттарындау. Тізбектегі барлық токтарды бір түйінге бағыттаймыз, мысалы, 5.5 суретте көрсетілгендей А түйініне штрих бағыттамамен.

4. Тармақтардың өткізгіштіктерін анықтау:

$$G_1 = \frac{1}{R_{01}} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ См}; \quad G_2 = \frac{1}{R_{02}} = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ См};$$

$$G_3 = \frac{1}{R} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ См}.$$

5. U_{AB} түйіндік кернеуін анықтау. Теориядан білетіміздей, түйіндер арасындағы кернеу тармақтардың сәйкес таңбамен алынған ЭҚК туындылары мен барлық тармақтардың өткізгіштіктерінің қосындысына бөлінген өткізгіштіктердің алгебралық қосындысына тең:

$$U = \frac{\sum_{\text{алг}} (EG)}{\sum G},$$

«+» таңбасымен ток бағытымен сәйкес келетін ЭҚК жазылады, ал «-» таңбасымен — токтың таңдалған бағытына қарама-қарсы бағытталған ЭҚК жазылады. Тапсырманың сандық деректерінің есебінен келесіні аламыз:

$$U_{AB} = \frac{E_1 G_1 + E_2 G_2}{G_1 + G_2 + G_3} = \frac{245 \cdot 2,0 + 230 \cdot 2,5}{2,0 + 2,5 + 0,1} = 231,522 \text{ В}.$$

6. Тізбектегі токтарды анықтау. Теорияға сәйкес екі түйіндері бар күрделі тізбек тармағындағы ток сәйкес таңбамен алынған ЭҚК және сәйкес тармақтың өткізгіштігіне көбейтілген түйіндік кернеудің айырмасына тең. Бұл ретте ЭҚК тармақтағы таңбалған қарама-қарсы болғанда «-» таңбасымен, ал ЭҚК және тармақтағы ток бағыттары сәйкес болғанда «+» таңбасымен жазылады.

Берілген тізбек тармақтарындағы токтарды анықтаймыз:

- генераторы бар тармақтағы ток күші

$$I_1 = (E_1 - U_{AB}) G_1 = (245 - 231,522) 2,0 = 27 \text{ А};$$

- аккумуляторы бар тармақтағы ток күші

$$I_2 = (E_2 - U_{AB}) G_2 = (230 - 231,522) 2,5 = -3,8 \text{ А};$$

- жүктемедегі ток күші

$$I_3 = -U_{AB} G_3 = -231,522 \cdot 0,1 = -23,2 \text{ А.}$$

Аккумулятор мен жүктемедегі токтар теріс мәнге ие, салдарынан, бұл токтардың бағыттары бұрыс тандалған және оларды өзгерту қажет. Токтардың ақиқат бағыттары 5.5 суретте тұтас бағыттамлаармен көрсетілген. Аккумулятор берілген жағдайда зарядтау режимінде жұмыс жасайды.

7. Е с е п д ұ р ы с т ы ғ ы н т е к с е р у . Кирхгофтың бірінші заңы бойынша қарастырылатын тізбек түйіндерінің кез келгені үшін

$$I_1 - I_2 - I_3 = 27 - 3,8 - 23,2 = 0.$$

Тізбектегі А (немесе Б) түйініндегі токтардың алгебралық қосындысы нөлге тең, бұл есеп дұрыстығын дәлелдеді.

5.5 есеп. 5.4 суретте көрсетілген тізбектегі токтарды екі түйіндер әдісімен 5.3 тапсырмада көрсетілген деректерді қолдана отырып есептеу.

Шешімі. 1. Берілген тізбекті түрлендіру. Берілген тізбекте (5.4-сурет) Б, В және Ж нүктелерінің үш түйіндері бар, бірақ оны екі түйіндері бар тізбекке R_1, R_2, R_3 кедергілер үшбұрышын R_B, R_B, R_J кедергілерінің баламалы жұлдызымен алмастыра отырып түрлендіруге болады (5.6, а сурет штрих сызықтар).

Жұлдыз кедергілерінің мәндері баламалы үшбұрыш кедергілері арқылы теориядан белгілі формулалар бойынша есептеледі:

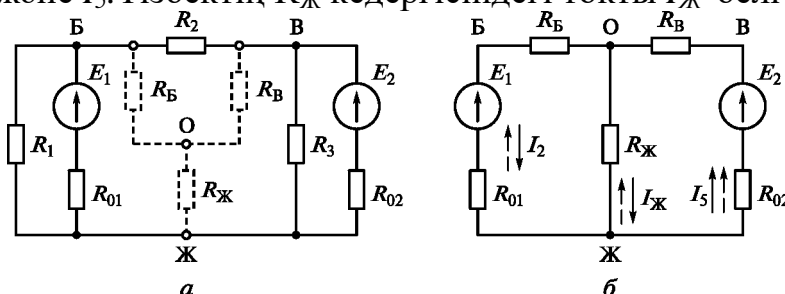
$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{30 \cdot 15}{30 + 15 + 25} = 6,429 \text{ Ом;}$$

$$R_B = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{15 \cdot 25}{30 + 15 + 25} = 5,357 \text{ Ом;}$$

$$R_J = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{30 \cdot 25}{30 + 15 + 25} = 10,714 \text{ Ом.}$$

Түрленген тізбек 5.6 б суретте көрсетілген.

2. Түрленген тізбек тармақтарындағы токтар бағыттарын тандау және оларды белгілеу. Барлық токтарды бір түйінге, мысалы, О түйініне 5.6 б суретте көрсетілгендей штрих бағыттамалармен бағыттаймыз. Бұл ретте тізбектің өзгермеген бөліктеріндегі токтар белгілерін сақтаймыз, яғни, бастапқы тізбекте қабылданған E_1 және E_2 бар тармақтарда (5.4 сурет): I_2 және I_5 . Тізбектің R_J кедергісіндегі токты I_J белгілейміз.



5.6-сурет. R_1, R_2, R_3 (а) кедергілер үшбұрышы бар түрлендіруге және түрлендіруден кейінгі R_B, R_B, R_J ; (б) кедергілерінің баламалы жұлдызы бар дейінгі электр тізбегі

3. Тармақтар өткізгіштіктерін анықтау. 5.6 б суреттегі тізбекте

$$G_1 = \frac{1}{R_B + R_{01}} = \frac{1}{6,429 + 2} = 0,119 \text{ См};$$

$$G_2 = \frac{1}{R_{\text{ж}}} = \frac{1}{10,714} = 0,093 \text{ См};$$

$$G_3 = \frac{1}{R_B + R_{02}} = \frac{1}{5,357 + 2} = 0,136 \text{ См}.$$

4. $U_{\text{ож}}$ түйіндік кернеуін анықтау

$$U_{\text{ож}} = \frac{E_1 G_1 + E_2 G_3}{G_1 + G_2 + G_3} = \frac{35 \cdot 0,119 + 63 \cdot 0,136}{0,119 + 0,093 + 0,136} = 36,55 \text{ В}.$$

5. 5.6 б суретте көрсетілген тізбектегі токтарды анықтау:

$$I_2 = (E_1 - U_{\text{ож}}) G_1 = (35 - 36,55) 0,119 = -0,184 \text{ А}.$$

$$I_{\text{ж}} = -U_{\text{ож}} G_2 = -36,55 \cdot 0,093 = -3,411 \text{ А}.$$

$$I_5 = (E_2 - U_{\text{ож}}) G_3 = (63 - 36,55) 0,136 = 3,595 \text{ А}.$$

I_2 және $I_{\text{ж}}$ токтары теріс мәндерге ие, сондықтан олардың бағыттарын қарама-қарсыға өзгерту қажет (тұтас бағыттамамен көрсетілген), ал мәндерді оң мәндерге өзгерту қажет.

б. Б а с т а п қ ы т і з б е к т е г і т о к т а р д ы а н ы қ т а у . 5.4 суретте көрсетілген бастапқы тізбектегі I_2 және I_5 токтары түрленген тізбектегідей бағыттармен мәндерге ие (5.6 б сурет):

$$I_2 = 0,184 \text{ А}; I_5 = 3,595 \text{ А}.$$

I_2 тогы E_1 көзінің ЭҚК бағытына қарама-қарсы бағытталғандықтан ол тұтынушы режимінде жұмыс жасайды және R_1 кедергісіндегі ток күші

$$I_1 = \frac{U_{\text{БЖ}}}{R_1} = \frac{E_1 + I_2 R_{01}}{R_1} = \frac{35 + 0,184 \cdot 2}{30} = 1,179 \text{ А}.$$

R_1 кедергісі E_1 көзіне параллель қосылған. Б нүктесі E_1 энергиясы көзінің оң қысқышы, ал Ж нүктесі теріс болғандықтан ϕ_B потенциалы $\phi_{\text{ж}}$ потенциалынан үлкен болады. Салдарынан, R_1 кедергісіндегі I_1 тогы Б нүктесінен Ж нүктесіне, яғни, ϕ_B үлкен потенциалынан $\phi_{\text{ж}}$ кіші потенциалына бағытталған, бұл оның бастапқы тізбектегі бағытына сәйкес болады.

R_3 кедергісіндегі ток күші

$$I_4 = \frac{U_{\text{ВЖ}}}{R_3} = \frac{E_2 - I_5 R_{02}}{R_3} = \frac{63 - 3,595 \cdot 2}{25} = 2,232 \text{ А}.$$

I_4 тогы В нүктесінен Ж (E) нүктесіне бағытталған, себебі, В нүктесі — E_2 энергия көзінің оң қысқышы, демек, $\phi_B > \phi_{\text{ж}}$.

5.6 б суретте көрсетілген тізбектегі R_B және R_B кедергілеріндегі потенциалдар айырмасын табамыз:

$$\varphi_O - \varphi_B = I_2 R_B = 0,184 \cdot 6,429 = 1,183 \text{ В};$$

$$\varphi_B - \varphi_O = I_5 R_B = 3,595 \cdot 5,357 = 19,258 \text{ В}.$$

Алынған теңдеулерді қосып, 5.4-суретте көрсетілген тізбектегі В және Б нүктелері арасындағы кернеуді табамыз:

$$U_{BB} = \varphi_B - \varphi_B = 19,258 + 1,183 = 20,441 \text{ В}.$$

R кедергідегі ток күші:

$$I_3 = \frac{U_{BB}}{R_2} = \frac{20,441}{15} = 1,363 \text{ А}.$$

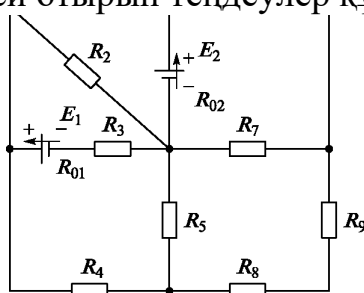
Себебі, $U_{BB} = \varphi_B - \varphi_B$ потенциалдар айырмасы оң мәнге ие болғандықтан, $\varphi_B > \varphi_B$ және I_3 тогы В нүктесінен Б нүктесіне бағытталған.

Есептеуден алынған берілген тізбектегі токтар мәндері мен олардың бағыттары (5.4 сурет) 5.3 тапсырмадағы контурлық токтар әдісімен есептеу нәтижелерімен сәйкес келеді, бұл есептеудің екі әдісінің де заңдылығын дәлелдейді.

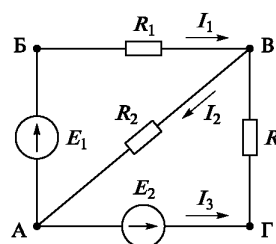
5.5. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

5.6 5.7 суретте көрсетілген тізбекте қанша тармақтар, түйіндер, контурлар мен тәуелсіз контурлар бар екендігін анықтау. Тізбекте қанша түрлі токтар бар екендігін, тізбектің барлық токтарын есептеу үшін қанша теңдеу құру қажет екендігін, Кирхгофтың бірінші заңы бойынша және екінші заңы бойынша қанша тәуелсіз теңдеулер құруға болатындығын көрсету.

5.7 5.8-суретте көрсетілген тізбектегі барлық мүмкін контурлар үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша айналымның оң бағытымен — сағат тілімен есептей отырып теңдеулер құру.



5.7-сурет. 5.6-тапсырмаға электр тізбегінің схемасы



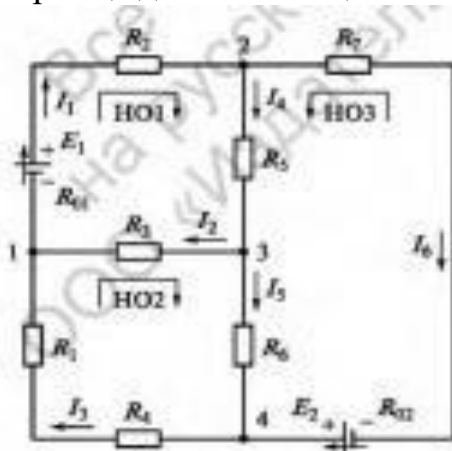
5.8-сурет. 5.7-тапсырмаға электр тізбегінің схемасы

5.8 5.9-суретте берілген тізбекте қанша тармақтар, түйіндер, контурлар мен тәуелсіз контурлар бар екендігін анықтау. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша 1... 3 түйіндері үшін теңдеулер құру және Кирхгофтың екінші заңы бойынша айналым бағыттары (НО1... НО3) тізбек схемасында көрсетілген үш тәуелсіз контурлар үшін теңдеулер құру.

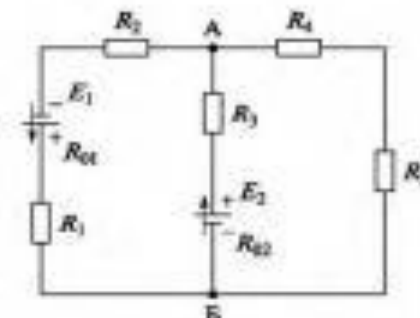
5.9 5.10-суретте көрсетілген тізбек тармақтарындағы токтарды Кирхгоф

теңдеулерінің әдісімен оның элементтерінің келесі параметрлерінде анықтау: $E_1 = 260 \text{ В}$; $E_2 = 80 \text{ В}$; $R_1 = 220 \text{ Ом}$; $R_2 = 40 \text{ Ом}$; $R_3 = 780 \text{ Ом}$; $R_4 = 1,2 \text{ кОм}$; $R_5 = 0,8 \text{ кОм}$; $R_{01} = 0$; $R_{02} = 20 \text{ Ом}$. Қуат теңгерімін есептеу.

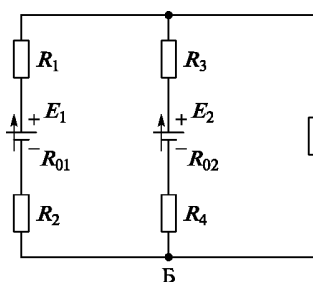
5.10 5.11-суретте берілген тізбек тармақтарындағы токтарды Кирхгоф теңдеулерінің әдісімен оның элементтері параметрлерінің



5.9-сурет. 5.8-тапсырмаға электр тізбегінің схемасы



5.10-сурет. 5.9-тапсырмаға электр тізбегінің схемасы



5.11-сурет. 5.10-тапсырмаға электр тізбегінің схемасы

келесі мәндерінде анықтау: $E_1 = 110 \text{ В}$; $E_2 = 50 \text{ В}$; $R_1 = R_4 = 100 \text{ Ом}$; $R_2 = 50 \text{ Ом}$; $R_3 = 150 \text{ Ом}$; $R_5 = 600 \text{ Ом}$; $R_{01} = 10 \text{ Ом}$; $R_{02} = 0$. Қуат теңгерімін есептеу.

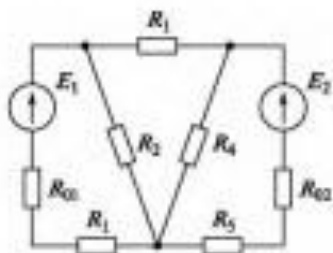
5.115. 10-суретте көрсетілген тізбек тармақтарындағы токтарды қабаттасу әдісімен және екі түйіндер әдісімен оның элементтерінің келесі параметрлерінде анықтау: $E_1 = 60 \text{ В}$; $E_2 = 80 \text{ В}$; $R_1 = 100 \text{ Ом}$; $R_2 = 40 \text{ Ом}$; $R_3 = 150 \text{ Ом}$; $R_4 = 20 \text{ Ом}$; $R_5 = 250 \text{ Ом}$; $R_{01} = 10 \text{ Ом}$; $R_{02} = 20 \text{ Ом}$. Тізбек көздері қандай режимдерде жұмыс жасайтынын және R_5 кедергісіндегі токтың бағыты қандай екендігін көрсету.

5.12 5.11-суретте берілген тізбек тармақтарындағы токтарды контурлық токтар және екі түйіндер әдісімен оның элементтері параметрлерінің келесі мәндерінде анықтау: $E_1 = 50 \text{ В}$; $E_2 = 25 \text{ В}$; $R_1 = 75 \text{ Ом}$; $R_2 = 40 \text{ Ом}$; $R_3 = 150 \text{ Ом}$; $R_4 = 50 \text{ Ом}$; $R_5 = 100 \text{ Ом}$; $R_{01} = R_{02} = 0$. U_{AB} түйіндік еренеуін табу, тізбек энергиясының көздері қандай режимдерде жұмыс жасайтынын және R_5 кедергісіндегі токтың бағыты қандай екендігін көрсету.

5.13 5.5-суреттегі тізбектегі егер ЭҚК $E_1 = 122 \text{ В}$ генераторы мен $R_{01} = 0,25 \text{ Ом}$ ішкі кедергісі және $E_2 = 120 \text{ В}$ және $R_{02} = 0,4 \text{ Ом}$ аккумуляторлық батареясы параллель байланысса және баламалы кедергісі $R = 15 \text{ Ом}$ тұтынушыны қоректендірсе, буферлік аккумуляторлық батарея, генератор мен тұтынушыдағы токтарды анықтау.

5.14 Автономдық жұмыста аккумуляторлық батарея 115 В дейін токтан ажыратылды. Тізбектегі токтарды оны 5.5 суретте берілген схема бойынша генераторға қосқан кезде 5.13 тапсырмада көрсетілген деректерді пайдалана отырып анықтау.

5.15 Автомобильді буферлік қоректендіру схемасы 5.5 суретте берілген. Автомобиль аккумуляторы заряды тогының күшін және генератор мен жүктемедегі сәйкес токтарды генератордың ЭҚК $E_1 = 14$ В, ішкі кедергісі $R_{01} = 0,1$ Ом, аккумуляторлық батарея ЭҚК $E_2 = 12$ В, оның ішкі кедергісі $R_{02} = 0,125$ Ом, ал жүктеме кедергісі $R = 1,25$ Ом болғанда



5.12-сурет. 5.16, 5.17-тапсырмаларға электр тізбегінің схемасы

5.16 5.12-суретте берілген тізбектің барлық бөліктеріндегі токтарды контурлық токтар әдісімен оның элементтері параметрлерінің келесі мәндерінде анықтау: $E_1 = 45$ В; $E_2 = 75$ В; $R_1 = 40$ Ом; $R_2 = 15$ Ом; $R_3 = 30$ Ом; $R_4 = 50$ Ом; $R_5 = 100$ Ом; $R_{01} = R_{02} = 2$ Ом.

5.17 5.12-суретте көрсетілген тізбектің барлық бөліктеріндегі токтарды екі түйіндер әдісімен 5.16-тапсырма деректерін пайдаланып анықтау.

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАР ЖАУАПТАРЫ

5.6. 9; 5; 20; 5; 9; 9; 4; 5.

5.7 $E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2$ (АБВА контуры); $-E_2 = -I_2 R_2 - I_3 R_3$ (АВГА контуры); $E_3 - E_2 = I_x R_x - I_3 R_3$ (АБВГА контуры).

5.8 6; 4; 7; 3; $I_x - I_2 - I_3 = 0$; $I_x - I_4 - I_6 = 0$; $I_2 - I_4 + I_5 = 0$;

$E_1 = I_1 (R_2 + R_3) + I_2 R_4$; $0 = -I_2 R_2 + I_3 (R_3 + R_4) + I_4 R_5$; $E_6 = I_2 R_5 - I_3 R_6 - I_4 (R_6 + R_7)$. 02

5.9 0,381 А; 0,301 А; 0,08 А. $P_{\text{ген}} = P_{\text{тұтын}} = 123,26$ Вт.

5.10 0,222 А; 0,098 А; 0,124 А; $P_{\text{ген}} = P_{\text{тұтын}} = 24,4$ Вт.

5.11 0,429 А; 0,445 А; 0,016 А; екі көз де генератор режимінде жұмыс жасайды; R_5 кедергісіндегі ток Б түйініне бағытталған.

5.12 0,321 А; 0,19 А; 0,131 А; 13,073 В; екі көз де генератор режимінде жұмыс жасайды; R_5 кедергісіндегі ток А түйініне бағытталған.

5.13 0; 8 А; 8 А.

5.14 7,741 А; 15,614 А; 7,873 А.

5.15 4,426 А; 14,468 А; 10,043 А.

5.16 0,744 А; 0,916 А; 0,172 А; 0,378 А; 0,55 А.

5.17 0,744 А; 0,916 А; 0,172 А; 0,378 А; 0,55 А.

6 ТАРАУ

ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ ТІЗБЕКТЕР

6.1. Конденсаторлардың қосылуының жалпы сыйымдылығын есептеу

6.1 есеп. Дайын ауыспалы сыйымдылық конденсаторлары сәйкес келмейтін, берілген шектерде сыйымдылықты реттеуді жиі түрде талап ететін радиотехникалық, электр өлшеу және басқа аппаратурада 6.1 суретінде келтірілген схема бойынша конденсаторлар байланысы қолданылады. Егер ауыспалы сыйымдылық конденсаторының сыйымдылығы $C_n = 10 \dots 200$ пФ, $C_1 = 300$ пФ және $C_2 = 50$ пФ болса, жалпы байланыс сыйымдылығының өзгеру шектерін анықтаңыз.

Шешімі. C_n және C_2 конденсаторларының параллель байланысының ортақ сыйымдылығының C' өзгеру шектерін анықтаймыз:

$$C'_{\min} = C_2 + C_{n \min} = 50 + 10 = 60 \text{ пФ};$$

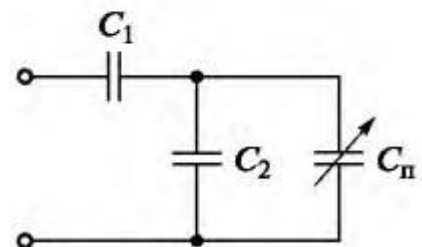
$$C'_{\max} = C_2 + C_{n \max} = 50 + 200 = 250 \text{ пФ}.$$

6.1 суретінде келтірілген тізбектің ортақ сыйымдылығының C өзгеру шектерін анықтаймыз:

$$C_{\min} = \frac{C_1 C'_{\min}}{C_1 + C'_{\min}} = \frac{300 \cdot 60}{360} = 50 \text{ пФ};$$

$$C_{\max} = \frac{C_1 C'_{\max}}{C_1 + C'_{\max}} = \frac{300 \cdot 250}{550} = 136,36 \text{ пФ}.$$

Сонда, тізбектің ортақ сыйымдылығы $C = 50 \dots 136,36$ пФ.



6.1 сурет. Конденсаторлардың аралас байланысуы

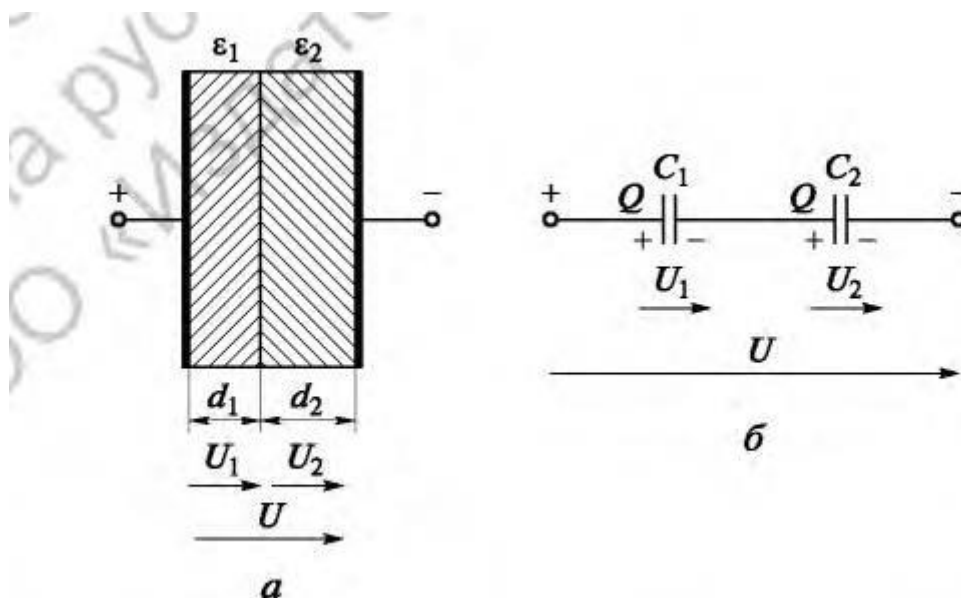
6.2. Конденсаторлар тізбегіндегі кернеулер мен зарядтардың таралуы

6.2 есеп. Тегіс екі қабатты конденсатордың диэлектригі слюда (мусковит) және ауадан тұрады (6.2 а суреті). Конденсатордың әрбір тілімшесінің ауданы $S = 33 \text{ см}^2$. Слюда қалыңдығы $d_1 = 2,5 \text{ мм}$, ауа қабатының қалыңдығы $d_2 = 3 \text{ мм}$. Егер слюданың диэлектрлік өткізгіштігі $\epsilon_1 = 7,5$, ал слюданы тесіп өтудің кернеулігі $\xi_{\text{пр}1} = 200 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ болса, ең «әлсіз» қабат үшін беріктіктің қос қорын сақтап, конденсаторды қосу мүмкін бола алатын шектік кернеу мен конденсатор сыйымдылығын табу (қосымша 2). Ауа қабатшасының диэлектрлік өткізгіштігі $\epsilon_2 = 1$, ал тесіп өту кернеулігі $\xi_{\text{пр}2} = 3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$. Конденсаторды шектік рұқсат етілген кернеуге қосқаннан кейін диэлектриктар арасында кернеу қалай үлестіретіндігін, слюдалық қабат қандай беріктік қормен жұмыс істейтіндігін және сонда осы конденсатор қандай энергияны сақтайтынын анықтау.

Шешімі. 1. Екі қабатты конденсатор сыйымдылығын анықтаңыз. Теория бойынша, тегіс екі қабатты конденсаторды екі кезекті түрде байланысқан тегіс конденсаторлар ретінде қарастыруға болады. олардың сыйымдылығы келесідей болады:

$$C_1 = \frac{S\epsilon_1\epsilon_0}{d_1}; \quad C_2 = \frac{S\epsilon_2\epsilon_0}{d_2}, \quad (6.1)$$

мұндағы ϵ_0 – электр тұрақтысы. $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.



6.2 сурет. Тегіс екі қабатты конденсатордың құрылымы (а) және ауыстыру схемасы (б)

Сонда екі қабатты конденсатор сыйымдылығы

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{S\epsilon_1\epsilon_2\epsilon_0}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}, \quad (6.2)$$

ал есеп деректерін есепке алатын болсақ

2. Электростатикалық өріс кернеулігін ауа қабатында анықтау. Ең алдымен, екі қабатты конденсаторды қосуға болатын, шектік кернеуді анықтайтын, ең «әлсіз» қабат - ауа қабаты екендігін дәлелдейміз.

$$C = \frac{S \epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_0}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1} = \frac{33 \cdot 7,5 \cdot 1 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{(7,5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,25) 100} = 8,77 \text{ пФ.}$$

$$Q_1 = Q_2 = Q. \quad (6.3)$$

Конденсаторларды кезекті байланысы кезінде олардың зарядтары бірдей және бүкіл жүйе зарядына тең болады, сондықтан C_1 және C_2 конденсаторлардан тұратын жүйе үшін (6.2, б суретін қараңыз) келесі теңдеу ақиқат

$Q_1 = C_1 U_1$, $Q_2 = C_2 U_2$, $Q = C U$ болғандықтан, теңдікті (6.3) есепке ала отырып, екі қабатты конденсатордың қабаттарындағы кернеуді келесі түрде жазуға болады

$$U_1 = \frac{C U}{C_1}; \quad U_2 = \frac{C U}{C_2}. \quad (6.4)$$

Теңдікке (6.4) өрнектерді (6.1) және (6.2) қойсақ:

$$U_1 = U \frac{\epsilon_2 d_1}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}; \quad U_2 = U \frac{\epsilon_1 d_2}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}. \quad (6.5)$$

(6.5) өрнегін есепке алып, бірінші және екінші диэлектрикте өріс кернеулігін табамыз:

$$\xi_1 = \frac{U_1}{d_1} = U \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}; \quad \xi_2 = \frac{U_2}{d_2} = U \frac{\epsilon_1}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}. \quad (6.6)$$

(6.6) өрнегінен диэлектриктердегі өрістердің кернеулігі диэлектрик өткізгіштіктеріне кері пропорционалды болып келетінін көреміз:

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}, \quad (6.7)$$

ол дегеніміз, диэлектриктің диэлектрик өткізгіштігі неғұрлым кем болса, ондағы өріс кернеулігі соғұрлым үлкен болады. Бұны конденсаторларды құрастыру кезінде есепке алу қажет, өйткені ауа қабаты немесе көпіршіктері конденсатор диэлектригіне өткен сәтінде, диэлектрикті тесіп өту қаупі пайда болады. мысалы, қағаз конденсаторларын жасау кезінде парафинмен сіңдіру қолданылады, оның арқасында ең төмен диэлектрик өткізгіштігі бар барлық ауа көпіршіктері ығыстырылады.

Келтірілген ойлар қарастырылатын есептегі ең «әлсіз» буын деп ауа қабатшасын санауға негіз бар болады. беріктіктің қос қоры талаптарына сәйкес «әлсіз» қабат үшін ауа қабытшасының беріктік қоры $k_{\text{пр} 2} = 2$ деп санаймыз. $k_{\text{пр} 2} = \xi_{\text{пр} 2} / \xi_2$ қатынасынан электр өрісінің ауа қабатшасындағы шектік кернеулігін ξ_2 анықтаймыз:

$$\xi_2 = \frac{\xi_{\text{пр} 2}}{k_{\text{пр} 2}} = \frac{3 \cdot 10^6}{2} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ В/м.}$$

3. Шекті рұқсат кернеулерді анықтау. (6.6) өрнегінен екі қабатты конденсатордың астарындағы кернеуді табамыз:

$$U = \xi_2 \frac{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}{\epsilon_1} = 1,5 \cdot 10^6 \frac{7,5 \cdot 3 + 1 \cdot 2,5}{7,5 \cdot 10^3} = 5 \text{ кВ,}$$

сонымен қатар ауа қабатшасының беттері арасындағы кернеуді табамыз:

$$U_2 = \xi_2 d_2 = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^3 \text{ В} = 4,5 \text{ кВ.}$$

Кезекті байланыс ерекшеліктеріне сүйеніп, слюдалық қабат шектері арасындағы кернеуді келесі түрде жазамыз

$$U_1 = U - U_2 = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ кВ.}$$

4. Слюда ішіндегі электр өрісінің кернеулігін және

$$\xi_1 = \frac{U_1}{d_1} = \frac{500}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 200\,000 \text{ В/м.}$$

оның беріктік қорын анықтау. (6.6) өрнегіне сәйкес слюда ішіндегі электр өрісінің кернеулігі

Слюданың беріктік қоры

$$k_{\text{пр} 1} = \frac{\xi_{\text{пр} 1}}{\xi_1} = \frac{200 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^5} = 1000.$$

5. Конденсатордағы энергия қорын анықтау. Конденсатордағы энергия қоры

$$W_э = \frac{CU^2}{2} = \frac{8,77 \cdot 10^{-12} \cdot 5^2 \cdot 10^6}{2} = 110 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

6.3. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

6.3. Сыйымдылығы 2 мкФ конденсаторына кезекті түрде басқа конденсатор қосылған. Жалпы байланыс сыйымдылығы 1,2 мкФ құрайды. Екінші конденсатордың сыйымдылығын анықтаңыз.

6.4. 6.3 суретінде келтірілген жалпы байланыс сыйымдылығының өзгеру шектерін анықтау. Егер $C_1 = 450$ пФ, $C_2 = 50$ пФ, ал ауыспалы C_3 сыйымдылығы 50 ...450 пФ шегінде реттелінеді.

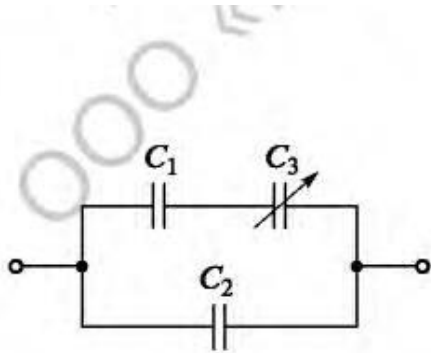
6.5. Егер $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 9$ мкФ болса, 6.4 суретінде конденсаторлардың жалпы байланыс сыйымдылығын анықтау.

6.6. Сыйымдылықтары $C_1 = 450$ мкФ $\pm 10\%$ және $C_2 = 200$ мкФ $\pm 5\%$ конденсаторлар параллель байланысқан. Оның құрамына кіретін сыйымдылықтардың берілген шекті рұқсат шамаларын есепке ала отырып, байланыстың жалпы сыйымдылығының максималды және минималды шамаларын анықтау.

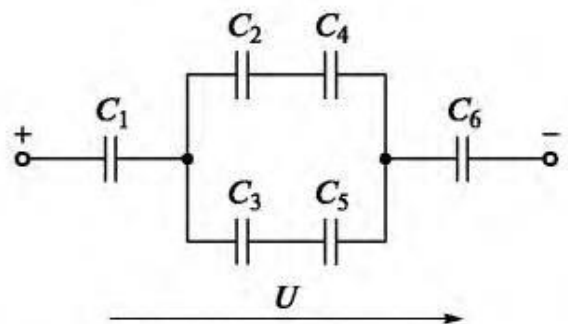
6.7. Кернеуі 120 В желіге кезекті түрде сыйымдылықтары $C_1 = 3$ мкФ және $C_2 = 6$ мкФ бар екі конденсатор қосылған. Әрбір конденсатордағы кернеу төмендеуін анықтау.

6.8. Егер $C_1 = C_6 = 40$ мкФ, $C_2 = C_4 = 30$ мкФ, $C_3 = C_5 = 50$ мкФ, ал $U = 300$ В болса, 6.4 суретінде келтірілген байланыстағы конденсаторлардың толық сыйымдылығы мен кернеуді анықтау.

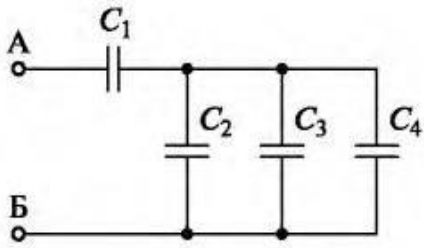
6.9. Тегіс қағаз конденсаторды жасау кезінде ауа қабатшасы пайда болды. Егер парафинделген қағаз ортасындағы өріс кернеулігі $1,5 \cdot 10^5$ В/м болса, осы қабатша шегіндегі электр өрісінің кернеулігі мен оның беріктік қорын анықтау.



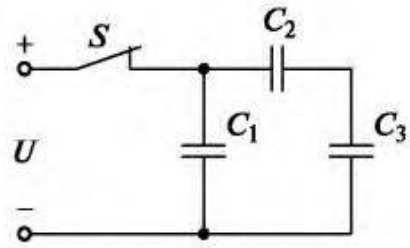
6.3 сурет. 6.4 есебіне конденсаторлардың байланысу схемасы



6.4 сурет. 6.5 есебіне конденсаторлардың байланысу схемасы



6.5 сурет. 6.11 есебіне конденсаторлардың байланысу схемасы



6.6 сурет. 6.12 есебіне конденсаторлардың байланысу схемасы

6.10. Қалыңдығы 3 см шыны тілімше кіргізілген тегіс ауа конденсаторының ауа сыйымдылығы қанша екендігін анықтаңыз, егер оның тілімшелері арасындағы қашықтық 4 см, ал астарының ауданы 300 см^2 құрайтын болса. Егер конденсаторға жіберілетін кернеу 6 кВ болса, әрбір диэлектригіндегі кернеулердің төмендеуін табу.

6.11. 6.5 суретінде көрсетілген конденсаторлар байланысының А және В шығыстарына 60 В кернеу жіберілді. Байланыстың жалпы заряды мен конденсаторлардағы зарядтар мен кернеуді есептеу, егер $C_1 = 5 \text{ мкФ}$; $C_2 = 1 \text{ мкФ}$; $C_3 = 2,5 \text{ мкФ}$; $C_4 = 4 \text{ мкФ}$.

6.12. 6.6 суретіндегі схемада кілттің S тұйықталуынан кейін, оның көзі тізбекке $35,4 \text{ мкКл}$ зарядын беріп, конденсатор C_2 $2,4 \text{ кВ}$ кернеуге дейін зарядталды. C_1 және C_2 конденсаторларындағы кернеуді және C_2 және C_3 конденсаторларының сыйымдылықтарын анықтаңыз, егер $3C_2 = 4C_3$ және $C_1 = 5 \cdot 10^3 \text{ пФ}$.

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕРДІҢ ЖАУАПТАРЫ

6.3. 3 мкФ .

6.4. $95 \dots 275 \text{ пФ}$.

6.5. 3 мкФ .

6.6. 705 мкФ ; 595 мкФ .

6.7. 80 В ; 40 В .

6.8. $13,33 \text{ мкФ}$; 100 В ; 50 В , 50 В ; 50 В ; 50 В ; 100 В .

6.9. $6,45 \cdot 10^5 \text{ В/м}$; $4,65$.

6.10. $18,6 \text{ пФ}$; $4,2 \text{ кВ}$; $1,8 \text{ кВ}$.

6.11. $Q = Q_1 = 180 \text{ мкКл}$; $Q_2 = 24 \text{ мкКл}$; $Q_3 = 60 \text{ мкКл}$; $Q_4 = 96 \text{ мкКл}$; $U_1 = 36 \text{ В}$; $U_2 = U_3 = U_4 = 24 \text{ В}$.

6.12. $4,2 \text{ кВ}$; $1,8 \text{ кВ}$; $8 \cdot 10^3 \text{ пФ}$; $6 \cdot 10^3 \text{ пФ}$.

ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ТІЗБЕКТЕРІ

7.1. СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ТІЗБЕКТЕЙ ҚОСЫЛУЫ

7.1 есеп. 7.1 *a* суретінде көрсетілген тізбектегі терморезисторлар – сызықтық емес кедергілер ретінде қолданылатын жартылай сызықтық емес элементтер НЭ1 және НЭ2 кезекті түрде байланыстырылған. Осы терморезисторлардың вольт-амперлік сипаттамалары (ВАС) 7.1 *б* суретінде координаталардың бір жүйесінде келтірілген.

Тізбектегі ток күшінің 1 ден 10 мА диапапозында өзгеруі кезінде ток күшінен келетін I НЭ1 терморезистор кедергісіне байланысты графикті құрастырып, есептеу.терморезисторлардағы кернеуді және тізбектегі ток күші $I = 4$ мА кезінде олардың ортақ кернеуін және, оған қоса, кернеу $U = 7$ В кезінде тізбектегі ток күші мен терморезисторлардағы кернеуді анықтау.

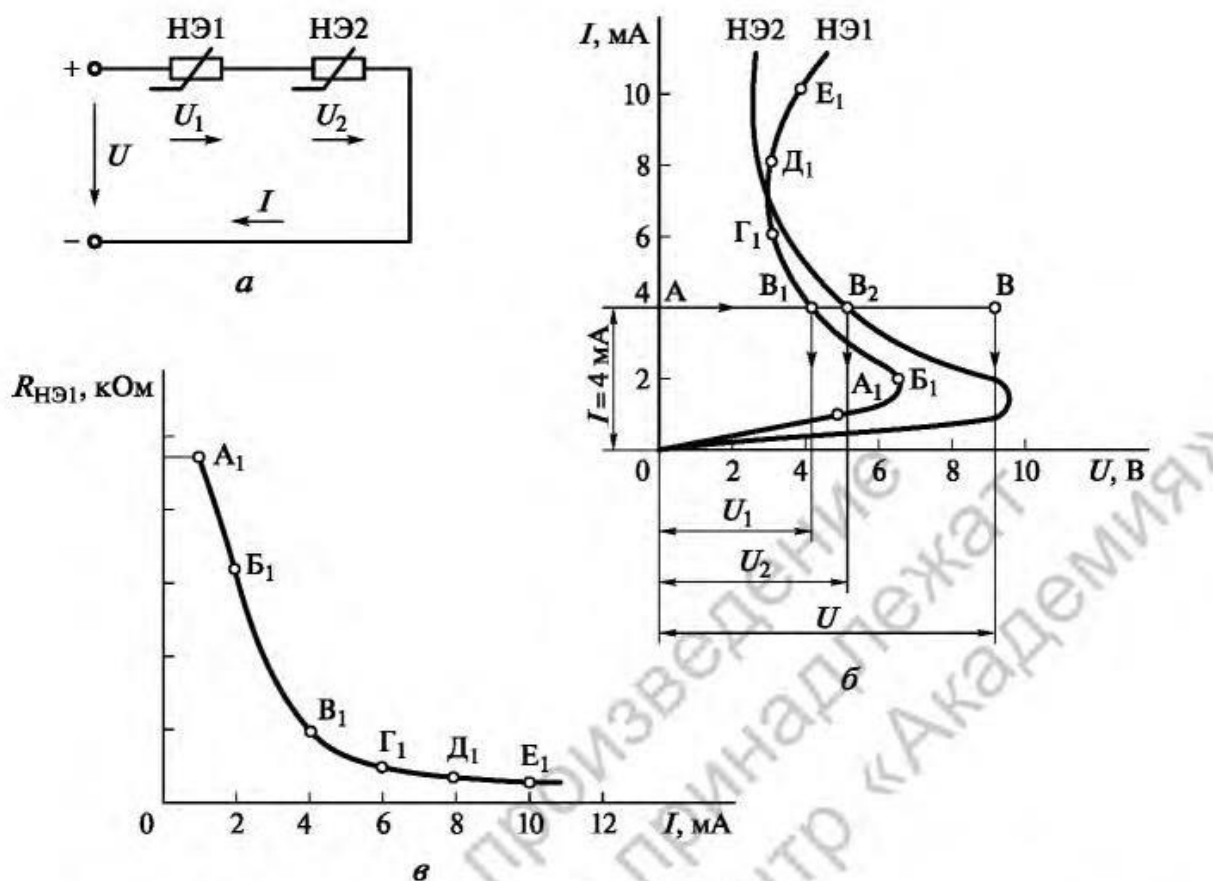
Шешімі. 1. Сызықтық емес НЭ1 элементі кедергісінің ток күшіне тәуелділігіне байланысты графикті құрастыру. Ток шамаларының 0 ден 1 мА диапазонында НЭ1 терморезистор ВАС (7.1, *б* суретінде 0-ден A_1 нүктесіне дейін қараңыз) сипаты сызықтық болып келеді, сондықтан берілген токтар диапазонында НЭ1 терморезистор кедергісінің шамасы тұрақты болы келеді:

$$R_{\text{НЭ1}} = \frac{U_{1A1}}{I_{A1}} = \frac{4,8}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,8 \text{ кОм} = \text{const.}$$

Мұндағы U_{1A1} – тізбектегі ток $I_{A1} = 1$ мА кезінде $A1$ ВАХ НЭ1 нүктесіндегі кернеу.

Ток күшінің одан кейінгі жоғарылауы жағдайында НЭ1 вольт-амперлік сипаттамасы тік сызықан қатты ауытқып тұрады.

$R_{\text{НЭ1}}=f(I)$ тәуелділігінің графигін құрастыру үшін НЭ1 терморезисторының ВАС нүктерелірнің бір қатар координаталарын – ток күші I шамаларын және ток (m_I) пен кернеу(m_U) осьтері бойынша таңдалған масштабтарды есепке ала отырып, оларға сәйкес келетін кернеу U_1 шамасын (7.1 *б* суретінде – $B_1...E_1$ нүктелерінің координаталары) анықтау. Осы нүктелерді U_1/I қатынасы сияқты терморезистор кедергісін $R_{\text{НЭ1}}$ анықтаймыз.



Сурет 7.1. Сызықтық емес элементтердің кезекті байланысы

а – тізбек схемасы; б – терморезисторлардың вольт-амперлік сипаттамалары және белгілі ток күші бойынша тізбек кернеуін анықтау мысалы; в – терморезистор кедергісінің ток күшінен тәуелділік графигі

Алынған деректерді 7.1 кестесі түрінде рәсімдейміз.

Есеп нәтижелері бойынша (7.1 кестесін қараңыз) $R_{HЭ1} = f(I)$ тәуелділігінің графигін құрастырамыз (сурет 7.1, в).

Кесте 7.1

Тізбектегі сызықтық емес элементті кедергісінің ток күшінен тәуелділігі

Точка ВАХ	I , мА	U_1 , В	$R_{HЭ1}$, кОм
Г ₁	6	3,1	0,516
Д ₁	8	3,2	0,400
Е ₁	10	3,9	0,325

7.1 кестесінің аяқталуы

Точка ВАХ	I , мА	U_1 , В	$R_{НЭ1}$, кОм
Γ_1	6	3,1	0,516
Δ_1	8	3,2	0,400
E_1	10	3,9	0,325

$R_{НЭ1} = f(I)$ графигі сызықтық емес элементтің кедергісі тұрақты екендігін және сызықтық емес элемент ішіндегі ток күшіне немесе ондағы кернеудің төмендеуіне тәуелді болатынын көрсетеді.

Сонымен қатар, график нақты түрде терморезисторлар сияқты сызықтық емес элементтердің келесі ерекшелігін көрсетеді: терморезистордағы ток пен температураның өсуімен оның кедергісі төмендейді, яғни *терморезисторлардың температуралық коэффициенті кері болып тұрады*. Сондықтан олар температура әсерін реттеу, өлшеу және теңгеру құрылғыларында кең түрде қолданылады. Мысалы, температураның өсуімен вольтметрдің өлшеу тізбегіндегі кедергінің өсуі салдарынан пайда болатын вольтметрдің температуралық қателігін оның қосалқы кедергісін терморезистор арқылы ауыстырып, оны төмендетуге болады.

2. Тізбектегі белгілі ток күші кезінде терморезисторлардағы кернеулерді және олардың жалпы кернеуін анықтау. Терморезисторлардың вольт-амперлік сипаттамалары сызықтық емес сипатқа ие болғандықтан (7.1 б суретін қараңыз), ал ол дегеніміз терморезисторлардың кедергілері тұрақты емес және ондағы кернеулердің төмендеуін Ом заңы бойынша аналитикалық жағынан анықтау мүмкін емес болады. бірақ оны ВАС арқылы жасау жеңіл болып тұр. Ол үшін токтар осінде таңдалған масштабта тізбектегі белгілі ток күшіне I сәйкес келетін нүктені тауып, сол нүкте арқылы кернеулер осіне параллель, әрбір терморезисторлардың ВАС қиылысуына дейін өтетін түзуді өткізу жеткілікті болады. Изделіп отырған кернеуді таңдалған масштабтағы кернеулер осін есепке ала отырып, алынған қиылысу нүктелерінің кернеулер осіне түсетін проекциялары ретінде анықтаймыз.

Мысалы, берілген тізбекте ток күші $I = 4$ мА үшін таңдалған масштабта ток осі бойынша А нүктесі сәйкес келеді (7.1, б суретін қараңыз). Осы нүкте арқылы кернеулер осіне параллель болатын, сызықтық емес элементтердің ВАС қиылысуына дейін B_1 және B_2 нүктелерінде түзуді өткіземіз. Изделініп отырған кернеулер $\overline{1}$ және $\overline{\quad}$ кесінділерінің, кернеулер осі бойынша таңдалған масштабын есепке ала отырып, кернеулер осіне түсетін

проекцияларына тең болады. $m_U = 2 \text{ В/см}$ масштабы кезінде кесінді ұзындығы $\overline{AB_1} = 2,05 \text{ см}$, ал $\overline{AB_2} = 2,5 \text{ см}$ болады. Ол дегеніміз,

$$U_1 = \overline{AB_1} m_U = 2,05 \cdot 2 = 4,1 \text{ В}; \quad U_2 = \overline{AB_2} m_U = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ В}.$$

Сызықтық емес элементтердің кезекті байланысының жалпы кернеуін U осы элементтердің әрқайсысындағы кернеулер сомасы ретінде анықтаймыз:

Графикалық түрде жалпы кернеу $\overline{U} = \overline{U_1} + \overline{U_2}$ кесіндісінің кернеулер

$$U = U_1 + U_2 = 4,1 + 5 = 9,1 \text{ В}.$$

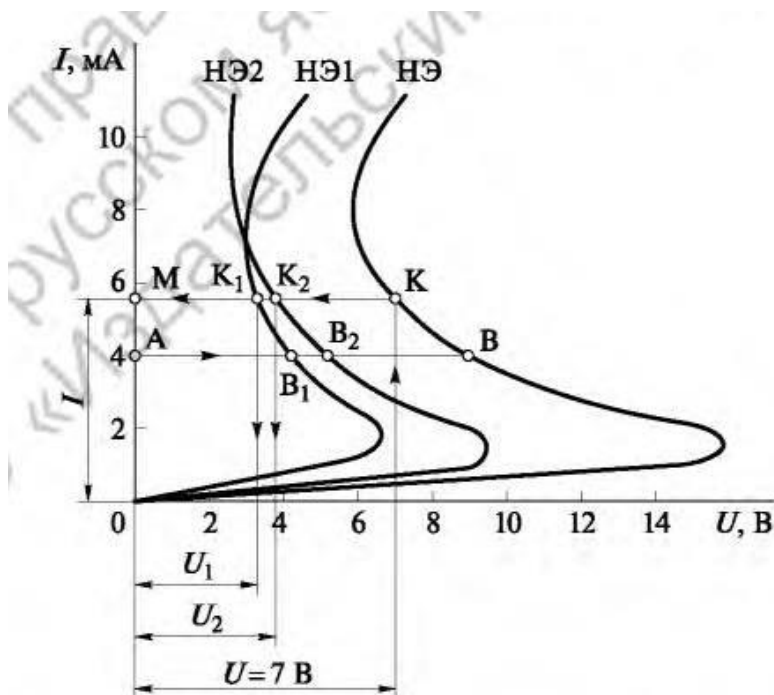
осінің таңдалған масштабын m_U есепке ала отырып есептелген кернеулер осіне түсетін проекциясына сәйкес келеді.

3. Берілген жалпы кернеу U кезіндегі терморезисторлардағы кернеу мен тізбектегі ток күшіна н ы қ т а у . Терморезисторлардың сызықтық емес ВАС сипаты салдарынан осы есепті графикалық түрде орындау тиімді болады. есепті орындау сатылары:

а) терморезисторлардың кезекті байланысының жалпы вольт-амперлік сипаттамасын құрастыру;

б) байланысының жалпы вольт-амперлік сипаттамасы бойынша сызықтық емес кернеулер мен тізбектегі ток күшін анықтау.

Терморезисторлардың кезекті байланысының жалпы ВАС сол координаталар жүйесіндегі сызықтық емес элементтердің белгілі ВАС пайдалану арқылы құрастырамыз.



Сурет 7.2. Терморезисторлардың кезекті байланысының жалпы вольт-амперлік сипаттамасын құрастыру және оны токтар мен кернеулерді анықтау үшін қолдану

Ол үшін токтар осінде ток күшінің шамаларын таңдап, осы шамалардың әрқайсысы үшін жеке терморезисторлардағы кернеуді графикалық түрде және ток күші $I = 4$ мА үшін шешімнің 2 тармағында келтірілген әдістеме бойынша оның жалпы кернеуін анықтаймыз. 7.2 суретінде келтірілген, берілген нүктелер арқылы өткізілген қисық НЭ терморезисторлардың кезекті байланысының жалпы ВАС болып табылады.

Жалпы вольт-амперлік сипаттама бойынша сызықтық емес элементтердегі кернеу мен тізбектегі ток күшін анықтаймыз. Ол үшін кернеулер осінде (7.2 суретін қараңыз) кернеулер осі бойынша таңдалған масштабты есепке ала отырып, берілген $U = 7$ В кернеуге сәйкес келетін кесіндіні бөліп шығарамыз. Оның шетінен кезекті байланыстың жалпы ВАС қиылысуына дейін перпендикуляр сызығын өткіземіз де, К нүктесін аламыз. К нүктесі ординатасының токтар осіне түсетін проекциясы (ОМ кесіндісі) токтар осі бойынша таңдалған масштабта m_I ток күшіне I тең болып келеді. Мысалы, $m_I = 2$ мА/см кезінде $\overline{OM} = 2,8$ см, ал ток күші

$$I = \overline{OM}_1 m_I = 2,8 \cdot 2 = 5,6 \text{ см.}$$

K_1 және K_2 нүктелерінің абциссалары – кернеулер осі бойынша таңдалған масштабты есепке ала отырып, НЭ1 және НЭ2 терморезисторларының вольт-амперлік сипаттамаларымен, К нүктесі арқылы өткізілген горизонтальдің қиылысу нүктелері сәйкесінше терморезисторлардағы U_1 және U_2 кернеулеріне тең болады.

$m_U = 2$ мА/см кезінде $\overline{MK}_1 = 1,65$ см, ал $\overline{MK}_2 = 1,85$ см. Сонда, $U = 7$ В жалпы кернеу кезінде терморезисторларда келесі кернеу шамаларына ие боламыз:

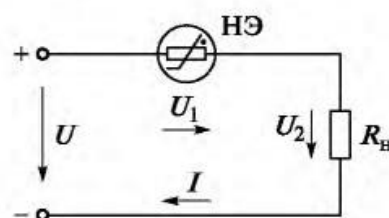
$$U_1 = \overline{MK}_1 m_U = 1,65 \cdot 2 = 3,3 \text{ В;}$$

$$U_2 = \overline{MK}_2 m_U = 1,85 \cdot 2 = 3,7 \text{ В.}$$

7.2. Сызықтық және сызықтық емес элементтердің тізбектей қосылуы. Қиылысулар әдісі

7.2 есеп. 7.3 суретінде келтірілген электр тізбегінде жүктеу кедергісімен R_H кезекті түрде кіріс кернеуінің U тербелістері кезінде жүктелімдегі тоқты тұрақты түрде ұстау үшін қызмет ететін сызықтық емес элемент – бареттер (сутек атмосферасындағы болат жіп) қосылған.

Сурет 7.3. Бареттер (НЭ) мен сызықтық кедергісінің (R_H) кезекті байланысы схемасы

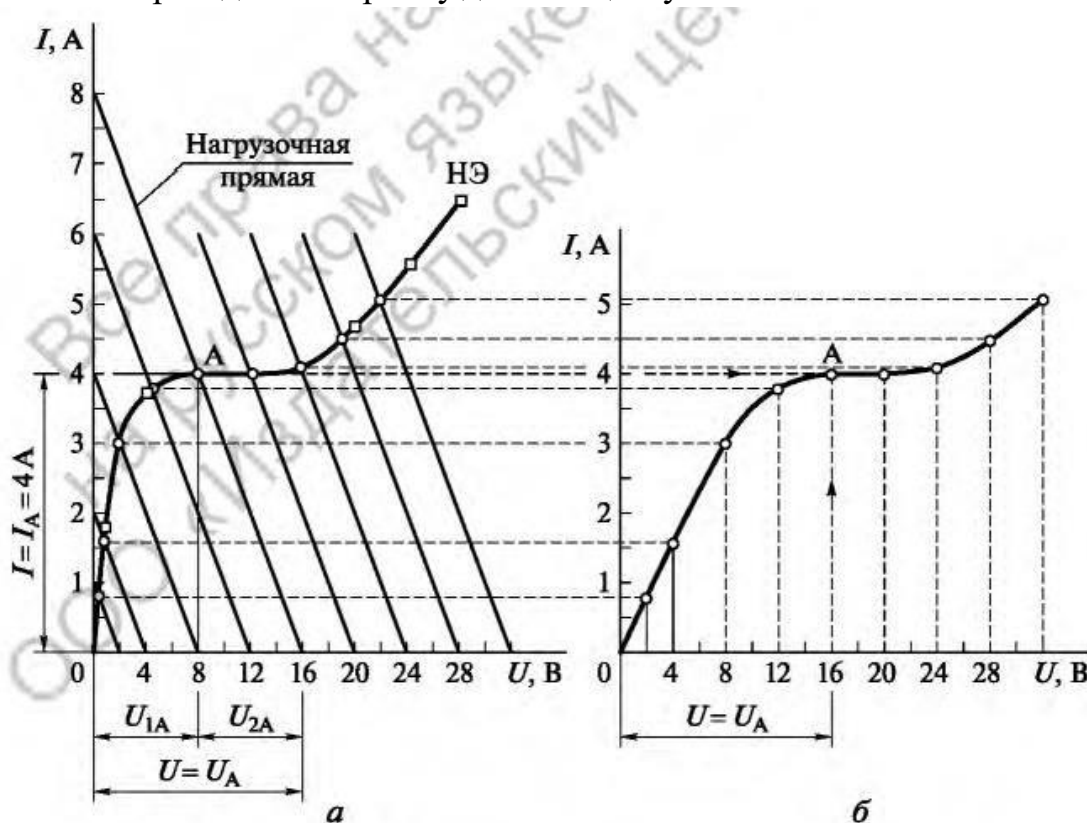


Тізбек кірісіндегі кернеуді U және тізбек учаскелеріндегі U_1 және U_2 кернеудерді тізбектегі ток күші $I = 4$ А кезінде анықтау, егер жүктелім кедергісі $R_H = 2$ Ом және бареттер ВАС $I = f(U_1)$ келесі кесте түрінде беріліп тұрса:

$U_1, \text{В}$	0	1	2	4	8	12	16	20	24	28
$I, \text{А}$	0	1,8	3,0	3,8	4,0	4,0	4,1	4,7	5,6	6,5

Тізбек кірісіндегі кернеудің U өзгеруіне байланысты берілген тізбектегі ток күшінің I өзгеру графигін $I = f(U)$ құрастыру, $U_{\text{ном}} = 18$ В және $I_{\text{ном}} = 4$ А кезіндегі осы тізбектегі токтың тұрақтандыру коэффициентін және, сонымен қатар, егер ток күші I $U = 24$ В кіріс кернеуі кезінде 4тен 4,5 А дейін диапазонында өзгертін болса, тізбек жүктелімі R_H қай шектерде өзгертінін анықтау.

Шешімі. 1. Берілген сызықтық емес элементтің ВАС, жүктелім кедергісі R_H және ондағы өтетін ток күші I кезіндегі тізбек кірісіндегі және оның элементтеріндегі кернеуді анықтау.



Сурет 7.4. Сызықтық кедергісінің бареттер ВАС пен жүктелім түзуін (а) және олардың кезекті байланысының жалпы ВАС (б) құрастыру

Тізбектің сызықтық емес элементінің вольт-амперлі сипаттамасын құрастырамыз. Ол үшін координаталардың (I, U) тікбұрышты жүйесінде координаталардың осьтері бойынша масштабтарды таңдап (мысалы, $m_I = 1$ А/см, $m_U = 4$ В/см), есеп шартындағы ВАС шамалары бойынша ток күшінің

НЭ оның шығыстарындағы кернеуінен тәуелділігін құрастырамыз: $I = f(U_1)$, яғни бареттер ВАС (7.4 а сурет).

Бареттер ВАС ерекшелігі: тізбек кірісіндегі кернеудің U өзгеруі кезінде және бареттер шығыстарындағы онымен байланысты болатын кернеудің U_1 өзгеруі кезінде, белгілі бір диапазонда бареттердегі ток және сәйкесінше барлық тізбектегі ток тұрақты болып қалады. Бұл ерекшелік кіріс кернеуінің тербелістері кезінде тізбек жүктеліміндегі токты тұрақтандыру үшін қолданылады. Қарастырылатын жағдайда бареттердегі (және тізбектегі) ток күші бареттерде 6,3 тен 14 В дейін кернеудің U_1 өзгеру диапазонында тұрақты болып қалады ($I = 4$ А) (7.4 а суретін қараңыз).

Ток күші $I = 4$ А кезінде тізбектегі кернеуді анықтаймыз. Берілген ток күші $I = 4$ А бареттер ішінде 6,3 ден 14 В дейін кернеудің U_1 өзгеру диапазонында сақталатындақтан, осы диапазондағы нүктелердің бірін таңдаймыз, мысалы А нүктесі, ол үшін $U_1 = U_{1A} = 8$ В болады.

Тізбек элементтерінің байланысы кезекті болғандықтан, жүктелімдегі ток бареттер тогына тең болады: $I = I_A = 4$ А. Сонда жүктелімдегі кернеу $U_{2A} = I_A R_H = 4 \cdot 2 = 8$ В, ал тізбек кірісіндегі кернеу оның элементтеріндегі кернеулер сомасына тең болады:

$$U = U_A = U_{1A} + U_{2A} = 8 + 8 = 16 \text{ В.}$$

U_A және U_{2A} кернеулері 7.4 суретінде сол координаталар жүйесінде кернеулер осі бойынша таңдалған масштабта m_U көрсетілген.

2. Тізбек кірісінде қиылысу тәсілі арқылы ток күшінің I кернеуден U тәуелділігі графигін құрастыру. Сызықтық емес және сызықтық элементтердің жалпы ВАС құрастыру үшін 7.1 есебінің 3 тармағында келтірілген тәсіл қолданылады. Ол үшін координаталардың бір жүйесінде $I = f(U)$ сызықтық емес және сызықтық элементтердің ВАС құрастыру қажет. Осыдан кейін ток күші шамаларының бір қатары үшін графикалық түрде жалпы кернеуді тізбектің сызықтық емес және сызықтық учаскелерінде кернеулер сомасы ретінде анықтап, пайда болған нүктелер арқылы қисықты өткізу.

Дегенмен, сызықтық емес және сызықтық элементтердің кезекті байланысы үшін жалпы вольт-амперлік сипаттамасының одан да ыңғайлы тәсілі – қиылысу тәсілі бар. Оның мәні келесідей болады.

Жүктелімдік түзуді құрастырып, $I = f(U)$ тәуелділігінің бірінші нүктесінің координаталарын анықтаймыз. Жүктелімдік түзу – сызықтық емес элементіндегі кернеу өзгеруіне байланысты тізбектегі ток өзгерісінің графигі: $I = f(U_1)$ тізбектегі берілген кернеулер U және жүктелім кедергісі R_H кезінде.

$I = f(U)$ тәуелділігі тізбектегі ток теңдігімен анықталынады:

$$I = (U - U_1) / R_H. \quad (7.1)$$

Жүктелімдік түзуді құрастыру үшін кіріс кернеуінің ерікті мәнін (мүмкін варианттардың біреуін) аламыз, мысалы, $U = 16$ В.

Жүктелімдік түзу сызықтық емес ВАС сияқты (7.4, а суретін қараңыз) дәл сол координаталар жүйесінде (7.1) теңдігіне сәйкес координаталары келесідей болатын екі нүкте бойынша құрастыралады:

$$U_1 = 0, \quad I = U/R_H = 16/2 = 8 \text{ A};$$

$$U_1 = U = 16 \text{ В}, \quad I = 0.$$

$R_H = 2$ Ом және $U = 16$ В кезінде екі графикке сәйкес келетін тізбектегі токтың I жалғыз ғана шамасын анықтайтын, сызықтық емес элементтің (А нүктесі) вольт-амперлік сипаттамасы бар жүктелімдік түзудің қиылысу нүктесі *жұмыс нүктесі* деп аталады.

Сонымен, жүктелімдік түзу арқылы тәуелділік графигінің $I = f(U)$ бірінші нүктесінің (А) координаталары анықталған – берілген тізбектің жалпы ВАС (7.4 б сурет): $U = 16$ В, $I = 4$ А.

Енді $I = f(U)$ тәуелділігінің басқа нүктелерінің координаталарын анықтап, тізбектің жалпы ВАС құрастырамыз. Тізбектің жалпы кернеудің басқа шамалары үшін токтар мәнін де қиылысу тәсілі арқылы жүктелімдік түзу арқылы анықтауға болады.

Сонда келесі факторларды есеп алу жөн:

- жүктелімдік түзудің еңісі тек қана жүктелім кедергісінің R_H берілген шамасы бойынша анықталады және $R_H = \text{const.}$ кезінде кіріс кернеуінің өзгеруі жағдайында тұрақты болып қалады;
- кіріс кернеуінің кез келген берілген мәні кезінде жүктелімдік түзу белгіленген шама U бойынша өтеді.

Сонда, жалпы ВАС қиылысу тәсілі арқылы құрастыру келесі тәртіпте жүзеге асырылады:

а) кернеулер осінде (7.4, а суретін қараңыз) кіріс кернеуінің U бір қатар мәндерін таңдаймыз да, таңдалған нүктелер арқылы $U = 16$ В үшін құрастырылған жүктелімдік түзулерді, жүктелімдік түзу параллельдерін өткіземіз.

б) кіріс кернеуінің U әрбір мәні үшін ток күші I мәндерін НЭ сызықтық емес элементінің ВАС бар жүктелімдік түзуге сәйкес келетін қиылысу нүктесінің ординатасы ретінде анықтаймыз;

в) дәл сол немесе жаңа координаталар жүйесінде (7.4, б суретін қараңыз) нүктелердің координаталарын анықтап, $I = f(U)$ графигінің нүктелерін саламыз. Құрастырылған нүктелер арқылы өткізілген қисық берілген тізбектің жалпы ВАС болып табылады.

3. Берілген тізбектегі токты тұрақтандыру коэффициентін анықтау. Электр тізбектерінде ток стабилизаторлары ретінде сызықтық емес элементтер қолданылады. Олардың ВАС кернеулер осіне параллель болатын учаскелері бар. Қарастырылатын тізбекте ток стабилизаторы ретінде 7.4 а суретінде келтірілген вольт-амперлік сипаттамасы бар бареттер қолданылады. Сызықтық элементпен (жүктеліммен) кезекті түрде қосылған бареттер кіріс кернеудің 14...23 В

диапазонында өзгеруі кезінде жүктелімде тұрақты токты алуға мүмкіндік береді (7.4 б суретін қараңыз).

Токты тұрақтандырудың тиімділігі токтың салыстырмалы өзгерістері кернеу өзгерістеріне қатысты неше есе кем екендігін көрсететін тұрақтандыру коэффициенті S_I арқылы бағаланады:

$$S_I = \frac{\Delta U / U_{\text{НОМ}}}{\Delta I / I_{\text{НОМ}}} \quad (7.2)$$

мұндағы, ΔU және $U_{\text{НОМ}}$ – кіріс кернеуінің абсолютті өзгеруі мен номиналды мәні; ΔI және $I_{\text{НОМ}}$ – жүктелімдегі токтың абсолютті өзгеруі мен номиналды мәні.

Сонымен, 7.4, б суретіндегі графиктен кернеудің 14...23 В диапазонында тізбектегі ток күші тұрақтыға дерлік түрде қалады, яғни

$$\Delta U = 23 - 14 = 9 \text{ В.}$$

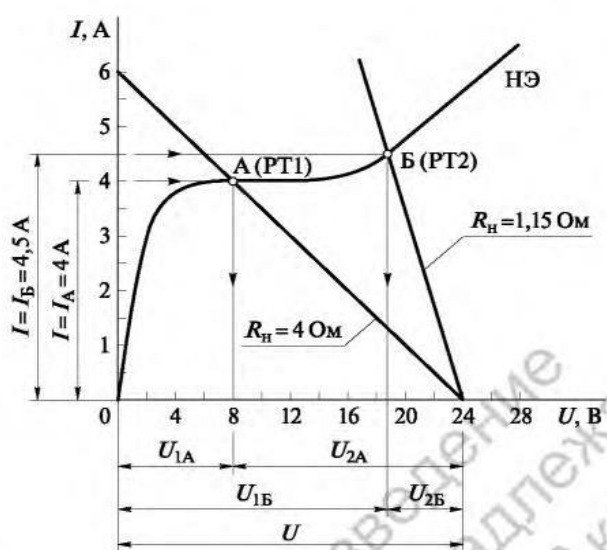
Сонда ток күшінің абсолютті өзгерісі

$$\Delta I = 4,05 - 3,95 = 0,1 \text{ А.}$$

Кіріс кернеуі мен тізбек тогының берілген номиналды мәндері кезінде ($U_{\text{НОМ}} = 18 \text{ В}$, $I_{\text{НОМ}} = 4 \text{ А}$) (7.2) формуласына сәйкес токтың тұрақтандыру коэффициенті

$$S_I = \frac{\Delta U / U_{\text{НОМ}}}{\Delta I / I_{\text{НОМ}}} = \frac{9/18}{0,1/4} = 20.$$

4. Тұрақты кіріс кернеуі кезінде $U = 24 \text{ В}$ жүктелімнің өзгеру диапазоны мен тізбектегі ток күшінің 4 ... 4,5 А шегінде өзгеруін анықтау.



7.5 сурет. Жүктелім кедергісіне R_H байланысты жұмыс нүктесінің (ЖН) орналасуы

Жүктелім кедергісін R_H ток күші $I = 4$ А кезінде келесідей анықтаймыз:

а) осьтер бойынша масштабтарды таңдап (мысалы, $m_U = 4$ В/с, $m_I = 1$ А/см), есеп шартында берілген мәндер бойынша бареттердің вольт-амперлік сипаттамасын құрастырамыз (сурет 7.5);

б) бареттердің вольт-амперлік сипаттамасында А нүктесін белгілейміз. Ол ток күшінің $I = 4$ А мәніне сәйкес келеді. Тізбектің барлық бөліктерінде ток күші бірдей болғандықтан, А нүктесі РТ1 тізбегі жұмыс нүктесінің орналасуын анықтайды, яғни сызықтық емес элементтің вольт-амперлік сипаттамасы мен жүктелімдік түзудің қиылысу нүктесін;

в) екі нүктеден өтетін жүктелімдік түзуді саламыз: РТ1 нүктесі мен кернеулер осі бойынша таңдалған масштабтағы $U = 24$ В кернеуіне сәйкес келетін кернеулер осіндегі нүктесін;

г) жүктелімдегі (U_{2A}) кернеуді кернеулер осі бойынша таңдалған масштабқа көбейтілген кернеулер осіндегі 8 және 24 (4 см) мәндері арасындағы кесінді ұзындығы ретінде анықтаймыз, яғни $U_{2A} = 4 \cdot 4 = 16$ В;

д) Ом заңы бойынша жүктелім кедергісін анықтаймыз:

$$R_H = \frac{U_{2A}}{I_A} = \frac{16}{4} = 4 \text{ Ом.}$$

Жүктелім кедергісі R_H тізбектегі ток күші $I = 4,5$ А кезінде келесідей анықтаймыз:

а) бареттердің вольт-амперлік сипаттамасында (7.5 суретін қараңыз) РТ2 (Б нүктесі) жаңа жұмыс нүктесінің орналасуын белгілейміз. Ол ток күшінің $I = 4,5$ А мәніне сәйкес келеді. Одан кейін РТ2 және $U = 24$ В мәні арқылы өтетін жаңа жүктелімдік түзуін құрастырамыз;

б) графикалық түрде масштабты m_U есепке ала отырып, жүктелімдегі кернеуді анықтаймыз: $U_{2B} = 1,3 \cdot 4 = 5,2$ В;

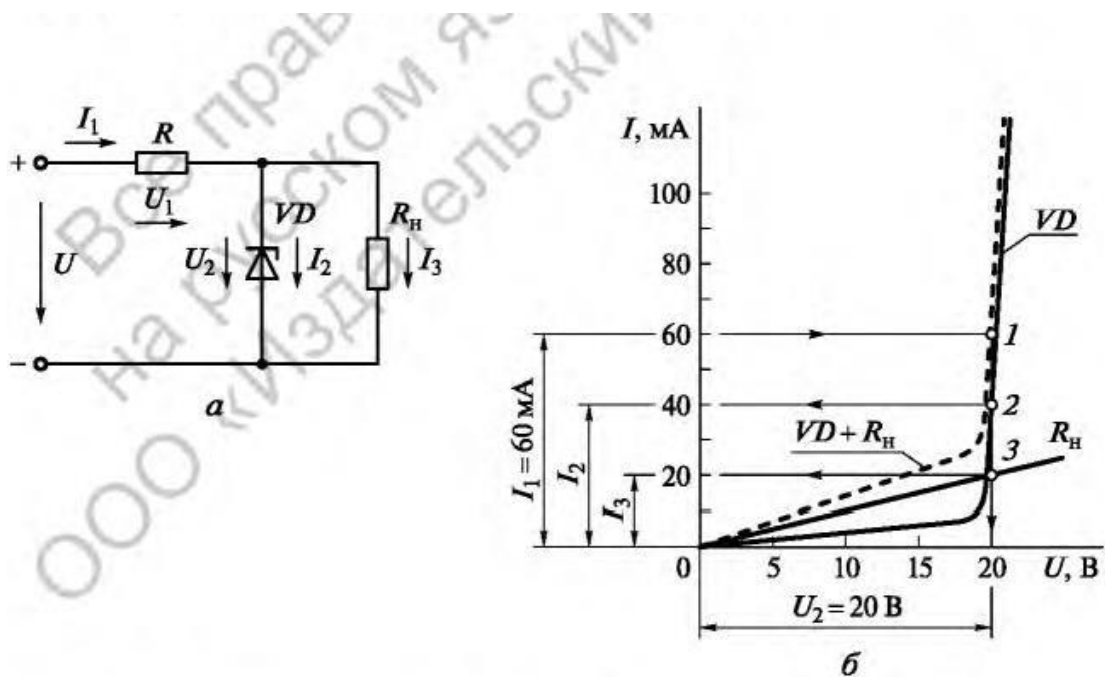
в) $I = 4,5$ А ток күшіне сәйкес келетін жүктелім кедергісін анықтаймыз:

$$R_H = \frac{U_{2B}}{I_B} = \frac{5,2}{4,5} = 1,15 \text{ Ом.}$$

Сонда, $U = 24$ В кіріс кернеуі кезінде және ток күшінің 4 ... 4,5 А шегінде өзгеруі кезінде жүктелім кедергісі R_H 1,15 ... 4 Ом диапазонында өзгереді.

7.3. СЫЗЫҚТЫҚ ЖӘНЕ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ПАРАЛЛЕЛЬ ҚОСЫЛУЫ

7.3 есеп. 7.6, а суретінде келтірілген электр тізбегінде кернеуді тұрақтандыру үшін жүктелімге $R_H = 1$ кОм параллель түрде стабилитрон VD қосылған. Оның вольт-амперлік сипаттамасы 7.6, б суретінде келтірілген (VD қисығы).



Сурет 7.6. Стабилитрон мен жүктелімнің параллель байланысы:
 а – тізбек схемасы; б – стабилитрон мен жүктелімнің параллель байланысының ВАС құрастыру; $I_1 \dots 3$ – ВАС және құрылыс сызықтарының қиылысу нүктелері

Егер ортақ ток күші $I_1 = 60$ мА болса, жүктелім кедергісіндегі кернеуді U_2 және стабилитрон (I_2) мен жүктелімдегі (I_3) ток күшін анықтау.

Шешімі. 1. Сызықтық элемент ВАС құрастыру – жүктелім. Жүктелім ВАС стабилитрон ВАС құрастырылған координаталар жүйесінде құрастырамыз (7.6 б суретіндегі VD қисығын қараңыз). Оның осьтері бойынша масштабтары да дәл сондай болады (мысалы, $m_U = 5$ В/с, $m_I = 20$ мА/см). Себебі сызықтық элемент ВАС – түзу сызық болғандықтан, оны құрастыру үшін екі нүкте жеткілікті болады, мысалы оның координаталары келесі болуы мүмкін:

7.6 б суретінде жүктелім ВАС R_n белгіленген.

$$U_2 = 0; I_3 = 0;$$

$$U_2 = 20 \text{ В}; I_3 = U_2/R_n = 20/1000 = 20 \text{ мА.}$$

2. Стабилитрон және жүктелім кедергісінің параллель байланысының жалпы вольт-амперлік сипаттамасын құрастыру. Жалпы ВАС құрастыру үшін элементтердің параллель байланысының келесі ерекшеліктерін пайдаланамыз:

- тізбектің параллель байланысқан учаскелеріндегі кернеу бірдей;
- параллель байланысу кезінде жалпы ток оның параллель учаскелеріндегі токтардың сомасына тең болады.

Кернеулер осінде (7.6, б суретін қараңыз) кернеулер осі бойынша таңдалған масштабта жеке кернеулерге сәйкес келетін нүктелер қатарын таңдаймыз (мысалы, 5, 10, 15 В және т.б.) да, олардың әрқайсысы арқылы токтар осіне қатысты түзу мен параллель сызықтарын өткіземіз.

Кернеулер осінде таңдалған нүкте мен токтар осі бойынша таңдалған масштабта VD және R_H қисықтарының түзудің қиылысу нүктелері арасындағы түзу кесінділері берілген кернеу үшін стабилитрон (I_2) мен жүктелімдегі (I_3) токтардың күштеріне сәйкес келеді. Түзудің жоғарыда берілген кесінділерін қосатын болсақ, жалпы ток күшіне сәйкес келетін кесіндіні (токтар осьтері бойынша масштабында) және параллель байланысының жалпы ВАС нүктелерінің бірін аламыз. Мысалы, 20 ... 3 және 20 ... 2 кесінділерін $U_2 = 20$ В кернеуі үшін қосатын болсақ, I_1 жалпы ток күшіне сәйкес келетін 20 ... 1 кесіндіні және параллель байланысының жалпы вольт-амперлік сипаттамасының I нүктесін аламыз.

Дәл солай жалпы ВАС басқа нүктелерін табамыз ($VD+ R_H$ қисықтарын 7.6 б суретінен қараңыз).

3. Жүктелім мен стабилитронда токтар күштері мен олардың ортақ тогы белгілі болған кездегі жүктелім кедергісіндегі кернеуді анықтау. Токтар осі бойынша таңдалған масштабта ($m_I = 20$ мА/см) берілген жалпы токтың $I_1 = 3 \cdot 20 = 60$ мА мәніне сәйкес келетін токтар осіне 3 см болатын кесіндіні алып, параллель байланысының I нүктесінде жалпы ВАС ($VD+ R_H$ қисығы) қиылысуына дейін горизонталды түзуді өткіземіз. I нүктесінен кернеулер осіне қарай перпендикуляр сызықты жібереміз. Кернеулер осі бойынша таңдалған масштабтағы ($m_U = 5$ В/с) $U_2 = 4 \cdot 5 = 20$ В кернеуге сәйкес келетін 0...20 (4 см) кесіндіні аламыз.

Сонда перпендикулярлардың VD және R_H қисықтарымен қиылысу нүктелері 2 және $3U_2 = 20$ В кернеуі кезінде стабилитрон I_2 мен жүктелімдегі I_3 токтарды токтар осінің таңдалған масштабына $m_I = 20$ мА/см көбейтілген 2 ...20 (2 см) жән 3 ...20 (1 см) кесінділерінің проекциялары ретінде анықтауға мүмкіндік береді:

$$I_2 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ мА}; \quad I_3 = 1 \cdot 20 = 20 \text{ мА}.$$

7.4. Сызықтық және сызықтық емес элементтердің аралас қосылуы

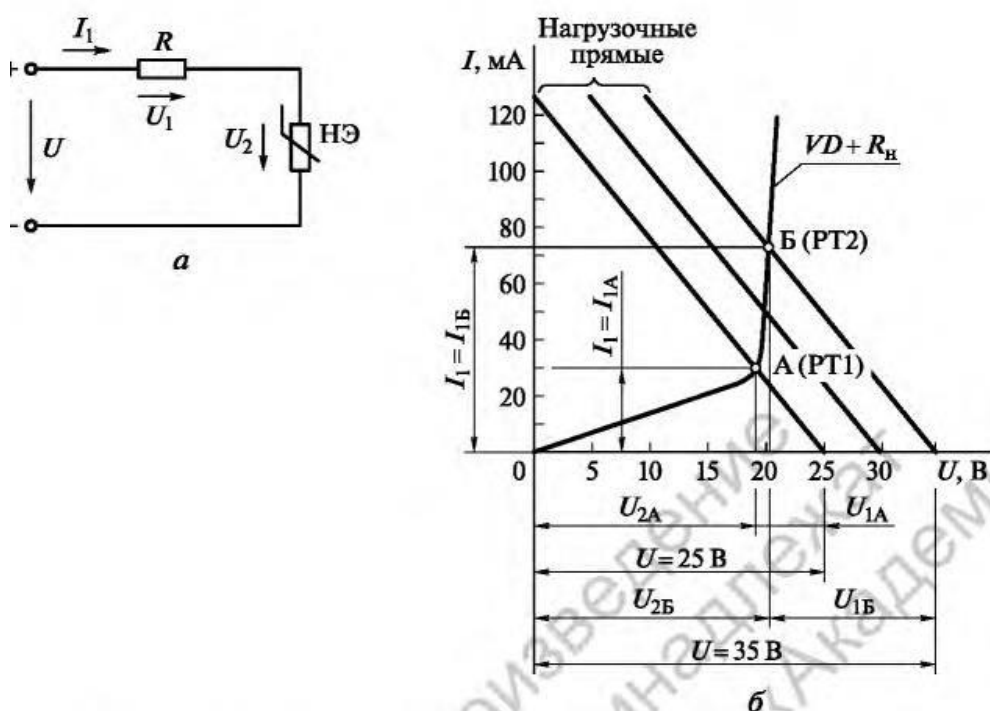
7.4 есеп. 7.6 а суретінде көрсетілген кернеуді тұрақтандыру схемасында стабилитрон типі Д816А. Оның ВАС 7.6 б суретінде (VD қисығы) келтірілген және балластық кедергі $R = 200$ Ом арқылы жүктелімге $R_H = 1$ кОм параллель қосылған.

Егер тізбектің кіріс кернеуі $U = (30 \pm 5)$ В болса, жүктелімдегі кернеу тербелістерін анықтау. Сонымен қатар, егер номиналды кіріс кернеуі $U_{ном} = 30$ В, ал жүктелімдегі номиналды кернеу $U_{2 ном} = 20$ В болатын болса, берілген тізбектегі кернеуді тұрақтандырудың тиімділігін анықтау.

Шешімі. 1. Кіріс кернеуінің U берілген өзгерісі кезінде жүктелімдегі U_2 кернеу тербелістерін анықтау. Берілген тізбектің графикалық үйірткісін жасаймыз. Ол үшін екі элементтің (VD стабилитроны мен R_H жүктелім кедергісі) параллель байланысын 7.3

есепін шешу кезінде анықталған (7.6 б суретіндегі $VD + R$ қисығын қараңыз), жалпы вольт-амперлік сипаттамасы бар, бір эквивалентті сызықтық емес элементпен (НЭ) алмастырайық. Үйірткі нәтижесінде 7.7 а суретінде көрсетілген $VD + R_H$ қисығы түрінде ВАС бар, эквивалентті сызықтық емес элементі мен R сызықтық элементінің кезекті байланысуы бар эквивалентті тізбекті аламыз. Осы тізбек үшін берілген есеп қиылысу тәсілі арқылы оңай шешіледі.

Кернеудің U_2 өзгеріс шектерін анықтаймыз. Ол үшін 7.7 б суретінде көрсетілген координаталар жүйесінде, мысалы, 7.3 есебінде қабылданған осьтер бойынша масштабтарды пайдаланып, $VD + R_H$ қисығын саламыз. Екі нүкте бойынша жалпы кернеудің $U = 25$ В шамасы кезіндегі жүктелімдік түзуді саламыз (тізбек кернеулерін өлшеудің сол жақ шегі). Осы түзудің координаталар нүктелері келесідей болады:



Сурет 7.7. Кернеуді тұрақтандырудың электр тізбегі:

a – тізбектің эквивалентті схемасы; *б* – кіріс кернеуінің берілген шектерінде өзгеруі кезіндегі тізбектегі ток пен оның учаскелеріндегі кернеудің өзгеру шектерін анықтауға арналған графиктер (нагрузочные кривые – жүктелімдік қисықтар)

$$U_2 = 0; I_1 = U/R = 25/200 = 125 \text{ мА};$$

$$U_2 = U = 25 \text{ В}; I_1 = 0.$$

Жүктелімдік түзудің ВАС НЭ (PT1 жұмыс нүктесі) сызығымен қиылысудың А нүктесі жүктелімдегі R_H кернеулер өзгеруінің сол жақ шегін $m_U = 5$ В/с масштабындағы PT1 нүктесінің (3,8 см) абцисса ұзындығының көбейтіндісі ретінде анықтауға мүмкіндік береді:

Параллель ауысу арқылы кернеулердің оң жақ шегі $U = 35$ В бойынша

$$U_{2A} = 3,8 \cdot 5 = 19 \text{ В}.$$

$$U_{2Б} = 4,04 \cdot 5 = 20,2 \text{ В.}$$

өтетін жүктелімдік түзуді аламыз. Жүктелімдік түзудің ВАС НЭ (РТ2 жұмыс нүктесі) сызығымен қиылысудың А нүктесі жүктелімдегі R_H кернеулер өзгеруінің оң жақ шегін $m_U = 5 \text{ В/с}$ масштабындағы РТ2 нүктесінің (4,04 см) абцисса ұзындығының көбейтіндісі ретінде дәл солай анықтауға мүмкіндік береді:

Сонда, U_2 кернеуінің R_H жүктеліміндегі өзгерісі

$$\Delta U_2 = U_{2Б} - U_{2А} = 20,2 - 19 = 1,2 \text{ В.}$$

2. Жүктелімдегі кернеуді тұрақтандыру тиімділігіна
н ы қ т а у . Кернеудің тұрақтандыру сапалығы *тұрақтандыру коэффициентімен* S_U бағаланады. Ол жүктелім кедергісіне түсетін тұрақтандырылған кернеудің салыстырмалы өзгерісі қорек кернеуінің салыстырмалы өзгерісінен неше есе кем екендігін көрсетеді:

$$S_U = \frac{\Delta U / U_{\text{НОМ}}}{\Delta U_2 / U_{2 \text{НОМ}}}, \quad (7.3)$$

Мұндағы ΔU және $U_{\text{НОМ}}$ - кіріс кернеуінің абсолюттік өзгерісі мен номиналды шамасы; ΔU_2 және $U_{2 \text{НОМ}}$ - жүктелімдегі кернеудің абсолюттік өзгерісі мен номиналды шамасы.

Кернеудің тұрақтандыру коэффициентін табу:

$$S_U = \frac{\Delta U / U_{\text{НОМ}}}{\Delta U_2 / U_{2 \text{НОМ}}} = \frac{10/30}{1,2/20} = 5,6.$$

7.5. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

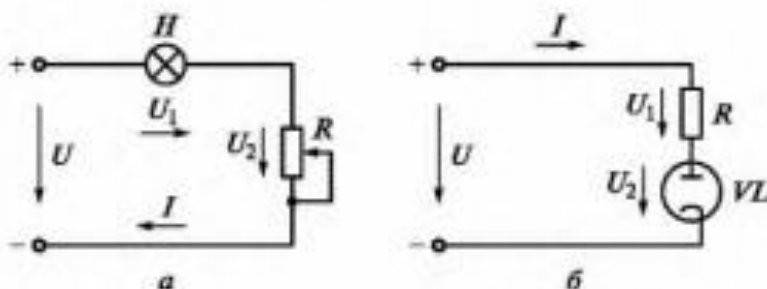
7.5. Егер шам ВАС келесі шамалармен берілген болса, ток күшінің 0,2; 0,4; 0,6; 0,7; 0,75 А шамалары кезінде вольфрамдық жібі бар электр қыздыру шамының кедергісін анықтау:

$U, \text{ В}$	0	80	160	240	320	400
$I, \text{ А}$	0	0,35	0,55	0,67	0,72	0,75

7.6. Екі сызықтық емес элемент кезекті түрде байланысқан (7.1, а суретін қараңыз). Егер ВАС келесі шамалармен берілген болса, жалпы кернеу $U =$

$I, \text{ А}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,8
$U_1, \text{ В}$	0	20	30	40	45	50	60
$U_2, \text{ В}$	0	25	38	50	60	70	80

100 В кезіндегі сызықтық емес элементтердегі ток күші I мен кернеуін U_1 және U_2 анықтау:



Сурет 7.8. Тізбекті байланыс схемалары:

a – қыздыру шамдары мен реостаттар; b – екі электродты шамдар мен сызықтық кедергілер

7.7. Қыздыру шамымен бірге кезекті түрде реостат қосылған (7.8, a суретін қараңыз). Егер байланыстың жалпы кернеуі $U = 140$ В, реостат кедергісі $R = 100$ Ом, ал шам ВАС төменде келтірілген мәндерге ие болса, тізбектегі ток күші мен шам (U_1) және реостаттағы (U_2) кернеуді анықтаңыз:

$U_1, \text{В}$	0	20	40	60	80	100	120
$I, \text{А}$	0	0,12	0,22	0,3	0,38	0,43	0,48

7.8. 7.8 a суретінде келтірілген, тізбектегі жалпы кернеу мәндері 100, 180 және 300 В және реостаттың тұрақты кедергісі 100 Ом кезіндегі тізбектегі ток күшін анықтаңыз.

7.9. Егер 120 В жалпы кернеу кезінде реостаттың кедергісі 60-тан 200 Ом шамасына өзгертін болса, 7.8 a суретінде келтірілген тізбектегі қыздыру шам кернеуі мен ток күші қалай өзгертінін анықтау.

7.10. Екі стабилитрон кезекті түрде байланысқан. Егер стабилитрондар ВАС төменде келтірілген мәндерге ие болса, 22 мА ток кезінде байланыс шығысындағы жалпы кернеуді U графикалық тәсілмен анықтау:

$I, \text{мА}$	5	10	15	20	25	30
$U_1, \text{В}$	50	50,1	50,3	50,6	51,0	51,5
$U_2, \text{В}$	98	98,1	98,3	98,6	99,0	99,5

7.11. Кенотрон VL (екі электродты шам) және сызықтық кедергі $R = 2,27$ Ом кезекті түрде кернеуі $U = 170$ В қуат көзіне байланыстырылған (сурет 7.8, b). Егер кенотрон ВАС төменде келтірілген мәндерге ие болса, тізбектегі ток

күшін, сызықтық кедергісі және кенетрондағы кернеуді R және, сонымен

I, mA	0	3,5	9	28	56	84	112
U_2, B	0	20	40	80	120	160	200

қатар, кенетрон кедергісін анықтау:

7.12. 7.3 суретінде көрсетілген тізбекте кіріс кернеуінің U тербелістері кезінде жүктелімде тұрақты токты сақтау үшін, жүктелім резисторымен $R_H = 3$ Ом кезекті түрде бареттер қосылған. Егер бареттер ВАС төменде келтірілген мәндерге ие болса, қиылысу тәсілі арқылы $R = f(I)$ тәуелділігін, яғни кезекті байланыстың жалпы ВАС нүкте координаталарын алуға болады.

U_1, B	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	12	14
I, A	0	1,00	1,60	2,00	2,10	2,15	2,20	2,25	2,50	3,20

7.13. Фотоэлемент және сызықтық байланыстың $R = 50$ МОм кезекті байланысы кернеуі 200 В желісіне қосылған. Егер фотоэлемент ВАС төменде келтірілген мәндерге ие болса, тізбектегі ток күші мен фотоэлементтегі кернеуді және кедергіні анықтау:

U, B	0	50	100	150	200	250
$I, \text{мкА}$	0	0,2	0,6	1,4	2,6	5,6

7.14. Ток пен кернеу осьтерінің келесі масштабтары кезіндегі, 7.13 есебінің шарттары бойынша ток осіне түсетін жүктелімдік түзудің көлбеу бұрышын анықтау: $m_U = 20 \text{ В/с}$, $m_I = 0,4 \text{ мкА/см}$.

7.15. 7.13 есебінің шарттары бойынша R кедергісінің $\pm 20\%$ диапазонында өзгеруі кезінде фотоэлементтегі кернеу тербелістерінің шектерін анықтау.

7.16. Екі сызықтық емес элемент ВАС 7.6 есебінде келтіріліп, параллель түрде байланысады. Егер ортақ ток күші 1,5 А болса, сызықтық емес элементтердегі токтарды анықтаңыз.

7.17. Қыздыру шамы сызықтық резистормен $R = 50$ Ом параллель байланысқан. Егер ток күші тізбектің тармақталмаған бөлігінде $I = 4$ А, ал қыздыру шамның ВАС төменде келтірілген мәндерге ие болса, параллель байланыс шығыстарындағы кернеуді және шам токтары мен кедергілерін анықтау:

U, B	0	20	40	60	80	100	120
I, A	0	0,6	1,1	1,5	1,85	2,15	2,4

7.18. Сызықтық емес элемент пен жүктелім кедергісі $R_H = 100$ Ом параллель

байланысып, $R = 50$ Ом кедергісі арқылы тұрақты кернеуге $U = 25$ В қосылған. Егер сызықтық емес элементтің ВАС төменде келтірілген мәндерге ие болса, ортақ ток пентізбек тармақтарындағы токтарды анықтау:

$U, \text{В}$	0	8	16	24	32
$I, \text{А}$	0	0,2	0,28	0,3	0,31

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕРДІҢ ЖАУАПТАРЫ

7.5. 200 Ом; 250 Ом; 308 Ом; 388 Ом; 533 Ом.

7.6. 1,83 А; 43 В; 57 В.

7.7. 0,4 А; 90 В; 50 В.

7.8. 0,31 А; 0,48 А; 0,68 А.

7.9. 0,4-тен 0,3-ке дейін, 88-ден 60-қа дейін

7.10. 149,5 В.

7.11. 35 мА; 90 В; 80 В; 2,57 кОм.

7.12. Жалпы ВАС нүктелерінің координаталары келесі:

$U, \text{В}$	0	2	4	6	8	10	12	14
$I, \text{А}$	0	0,55	1,10	1,65	2,00	2,10	2,12	2,20

7.13. 1,2 мкА; 140 В; 60 В.

7.14. 45°

7.15. 134-тен 147 В дейін.

7.16. 0,9 А; 0,6 А; 27,5 В.

7.17. 96 В; 2,08 А; 1,92 А.

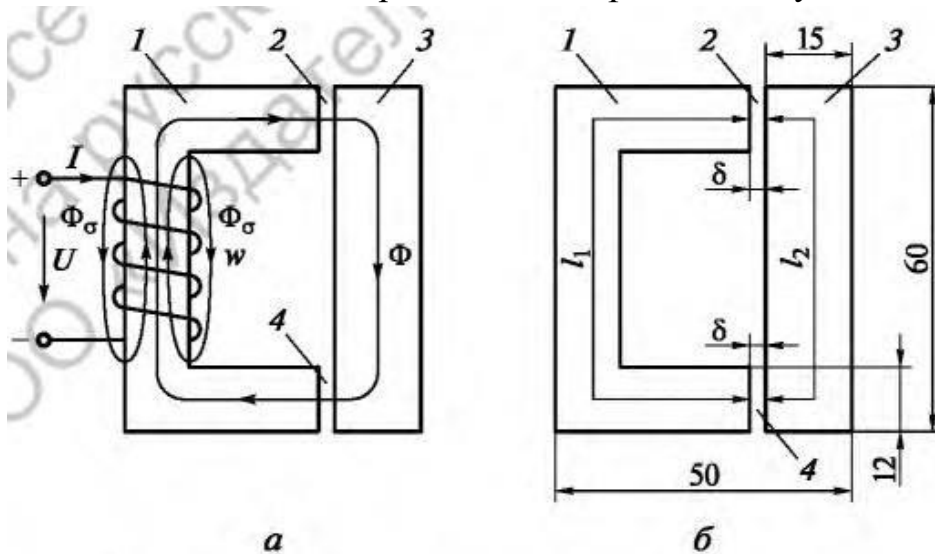
7.18. 9,4 В; 0,312 А; 0,22 А; 0,092 А.

МАГНИТТІК ТІЗБЕКТЕР

8.1. Берілген магнит ағынында тармақталмаған біртекті емес магниттік тізбек

8.1 есеп. Өлшемдері 8.1 б суретінде келтірілген (миллиметрлерде) электрмагниттік құрылғысының магнитөткізгіші (8.1 а сурет) құйма болаттан жасалған. Магнитөткізгішінің қалыңдығы 25 мм. Жарманың 3 магнитөткізгіштің П-тәрізді бөлігімен 1 түйісу жерлерінде әрқайсысының ұзындығы $\delta = 0,25$ мм ауа саңылаулары бар 2 және 4.

Егер шарғыдағы орам саны $w = 100$ болса, $\Phi = 3,5 \cdot 10^{-4}$ Вб магниттік ағынды жасау үшін қажетті болатын шарғыдағы ток күшін есептеу. Болаттың абсолюттік және салыстырмалы магниттік өткізгіштігін және белгіленген магниттік ағын шамалары кезіндегі магниттік тізбектің барлық бөлшектеріндегі магниттік кедергісін табу. Құрылғының магнитөткізгішінде ауа саңылаулары жоқ болған жағдайда дәл сондай ағынды ($\Phi = 3,5 \cdot 10^{-4}$ Вб) жасау үшін қажетті болатын шарғыдағы ток күшін есептеу.



Сурет 8.1. Тармақталмаған магниттік тізбек:

а – графикалық бейне; б – магнитөткізгішінің геометриялық өлшемдері; 1 - П-тәрізді бөлшек; 2, 4 – ауа саңылаулары; 3 – жарма

Шешімі. 1. Берілген магниттік ағынды жасау үшін қажетті құрылғының шарғысындағы ток күшін есептеу. Болат магнитөткізгішінің шарғының магниттік өрісіне тигізетін әсерін бағалаймыз. Шарғының ішінде болат магнитөткізгішінің бар болуы шарғы тоғымен жасалатын магниттік өріс суретін анықтайды. Магниттік

өткізгіштігі жоғары болаты болат ауаға қарағанда ағын үшін магниттік кедергісі кем болатын жолды ұсынады. Сондықтан магниттік күш тізбектерінің көбісі ауа бойынша емес, болат бойынша тұйықталады. Ол өзекшеде орналасқан шарғыны жалғап тұрып, оны тороидальді түрге келтіреді. Магниттік тізбектердің тек сәл кіші бөлігі ғана ауа бойынша шарғы орамдары айналасында тұйықталып, Φ_σ сейілу ағынын жасайды. Оның шамасы Φ ағынымен салыстырғанда болатта аз болады да, оны есептеулер кезінде есепке алмайды.

Сонда, магнит жолының ұзындығы магнитөткізгішінің ұзындығымен анықталады да, магнитөткізгіші бойынша тұйықталатын Φ ағыны оның барлық ұзындығы бойынша бірдей болып саналады ($\Phi = \text{const.}$).

Есептеулерді жасау кезінде магнитөткізгіші учаскелерге бөлінеді. Сонымен бірге, әрбір учаскенің көлденең қимасының ауданы бүкіл ұзындық бойынша бірдей ($S = \text{const.}$) және бір материалдан жасалған болуы тиіс (магниттік өткізгіштігі бірдей $\mu = \text{const.}$). Осы жағдайда учаскенің ауданы бүкіл ұзындық бойынша индуктивтілігі бірдей болады $B = \text{const}$, себебі $B = \Phi/S$ және кернеулігі де тұрақты $H = \text{const}$, себебі $H = B/\mu_a$ (мұндағы μ_a – учаске материалының абсолютті магниттік өткізгіштігі).

8.1 *a* суретінде көрсетілген магниттік тізбекте осындай учаскелердің саны төрт болады ($n = 1 \dots 4$, мұндағы n учаске орнының нөміріне сәйкес келеді).

Тізбек учаскелерінің магниттік өріс индукциясын анықтаймыз, ол үшін алдымен осы учаскелердің көлденең қимасының ауданын табу керек:

$$S_1 = S_2 = S_4 = 12 \cdot 25 = 300 \text{ мм}^2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$S_3 = 15 \cdot 25 = 375 \text{ мм}^2 = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Сонда тізбек учаскелерінің магниттік индукцияларын келесі түрде жазып аламыз:

$$B_1 = B_2 = B_4 = \Phi/S_1 = 3,5 \cdot 10^{-4}/(3 \cdot 10^{-4}) = 1,17 \text{ Тл};$$

$$B_3 = \Phi/S_3 = 3,5 \cdot 10^{-4}/(3,75 \cdot 10^{-4}) = 0,93 \text{ Тл}.$$

Тізбек учаскелерінің магниттік өрісінің кернеулігін анықтаймыз. Ауа саңылауларының (2 және 4 учаскелерінің) салыстырмалы және абсолюттік магниттік өткізгіштіктері келесідей болғандықтан:

$$\mu_2 = \mu_4 = 1; \mu_{a2} = \mu_{a4} = \mu_2 \mu_0 = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м},$$

онда ауа учаскелерінің кернеулігін келесі түрде жазып аламыз:

Қарастырылатын тізбектің ферромагниттік учаскелерінің (1 және 3 учаскелерінің) кернеуліктерін анықтау үшін $H = B/\mu_a$ қатынасын қолдануға

$$H_2 = H_4 = B_2/\mu_{a2} = B_2/(4\pi \cdot 10^{-7}) = 1,17/(4\pi \cdot 10^{-7}) = 9,28 \cdot 10^5 \text{ А/м}.$$

болмайды. Себебі ферромагниттік материалдардың абсолюттік магниттік өткізгіштігі тұрақты болмайды да, кернеуліктің әлі белгісіз емес шамасына

тәуелді болады. Осы жағдайда кернеуліктер индукциялардың белгілі шамалары бойынша анықталады – жиі түрде кестелер түрінде келтірілетін магниттенудің қисықтары $B = f(H)$ бойынша. Кернеуліктің одан да нақты шамаларын анықтау үшін берілген материалдың магниттену қисығын кесте бойынша салу тиімді болады. Осындай кестеде (қосымша 4) келтірілген деректер бойынша құйма болат үшін магниттенудің қисығын құрастырамыз (сурет 8.2).

8.2 суретінде келтірілген магниттенудің қисығы бойынша болат учаскелерінің $B_1 = 1,17$ Тл және $B_3 = 0,93$ Тл индукцияларының мәндеріне сәйкес келетін кернеуліктерді анықтаймыз. График осьтері бойынша таңдалған масштабтарын есеп ала отырып ферромагниттік учаскелердің келесі кернеуліктерін аламыз:

$$H_1 = 1220 \text{ А/м (точка А);}$$

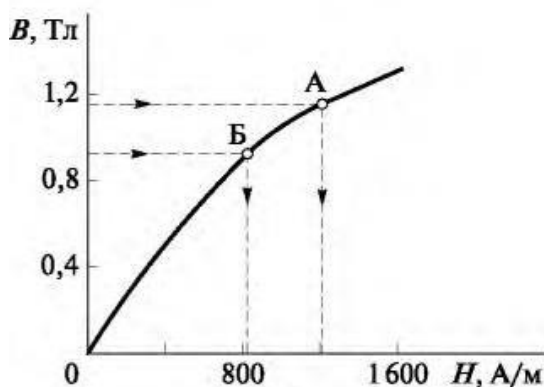
$$H_3 = 840 \text{ А/м (точка Б).}$$

Құрылғы шарғысындағы магниттену күші мен ток күшін анықтаймыз. Толық ток заңы бойынша толық ток $\Sigma^{\text{алг}}(Iw)$ (ампер-орамдардың алгебралық сомасы немесе құрылғы шарғысының магниттік қозғаушы - магниттену күші (МҚК) кез келген таңдалған магниттік күштік тізбегіне сәйкес келетін контур учаскелерінің магниттік кернеулер U_{mn} сомасына тең болады:

$$\Sigma^{\text{алг}}(Iw) = \Sigma^{\text{алг}} U_{mn} = \Sigma^{\text{алг}} H_n l_n$$

мұндағы H_n - магниттік өріс кернеулігі; l_n - n учаскесінің ұзындығы.

Құрылғының магниттік өрісінің орташа күштік тізбегіне сәйкес келетін контурды таңдаймыз (8.1 а суретін қараңыз). 8.1 б суретінде көрсетілген өлшемдер бойынша таңдалған контур учаскелердің ұзындығын анықтаймыз:



Сурет 8.2. Құйма болаттың магниттену қисығы

$$l_1 = (50 - 15 - 0,25 - 6) \cdot 2 + (60 - 6 - 6) = 105,5 \text{ мм;}$$

$$l_2 = 60 - 6 - 6 + 7,5 + 7,5 = 63 \text{ мм.}$$

Қарастырылатын құрылғы шарғысының МҚК (ампер-орамдарын) келесі түрде жазып аламыз

$$Iw = H_1 l_1 + H_2 \delta + H_3 l_2 + H_4 \delta = H_1 l_1 + 2H_2 \delta + H_3 l_2. \quad (8.1)$$

H_n , l_n және δ мәндерін (8.1) теңдігіне қойып, қарастырылатын құрылғы МҚК

анықтаймыз:

$$Iw = 1220 \cdot 105,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 9,28 \cdot 10^5 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} + 840 \cdot 63 \cdot 10^{-3} = 645,83 \text{ А.}$$

осы жағдайда құрылғының шарғысындағы ток күші

$$I = Iw/w = 645,83/100 = 6,5 \text{ А.}$$

2. Магниттік ағынның берілген шамалары кезінде, 8.1, а суретіндегі магниттік тізбектің барлық учаскелерінің магниттік кедергісі мен болаттың абсолютті және салыстырмалы магниттік өткізгіштерін есептеу алу. 1 және 3 ферромагниттік (болат) учаскелерінің магниттік өткізгіштіктерін табамыз:

Болат учаскелерінің салыстырмалы магниттік өткізгіштіктерін

$$\mu_{a1} = B_1/H_1 = 1,17/1220 = 9,6 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/м;}$$

$$\mu_{a3} = B_3/H_3 = 0,93/840 = 11,1 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/м.}$$

анықтаймыз:

$$\mu_1 = \mu_{a1}/\mu_0 = 9,6 \cdot 10^{-4}/(4\pi \cdot 10^{-7}) = 764;$$

$$\mu_3 = \mu_{a3}/\mu_0 = 11,1 \cdot 10^{-4}/(4\pi \cdot 10^{-7}) = 883.$$

Анықталған нәтижелер берілген тізбектің болат учаскелері ауамен салыстырғанда 764 және 883 рет есе көп магниттік өткізгіштікке ие болатындығын көрсетеді.

Магниттік тізбек учаскелерінің магниттік кедергілерін табамыз:

$$R_{M1} = l_1/(\mu_{a1}S_1) = 105,5 \cdot 10^{-3}/(9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^{-4}) = 3,67 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн;}$$

$$R_{M2} = R_{M4} = \delta/(\mu_0S_1) = 0,25 \cdot 10^{-3}/(4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^{-4}) = 6,63 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн;}$$

$$R_{M3} = l_2/(\mu_{a3}S_3) = 63 \cdot 10^{-3}/(11,1 \cdot 10^{-4} \cdot 3,75 \cdot 10^{-4}) = 1,52 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн.}$$

Болат және ауа учаскелерінің магниттік кедергілері, олардың ұзындықтарындағы үлкен (жүздеген есе) айырмашылықтарына қарамастан, бірдей тәртіпке ие болады екен. Қарастырылатын мысалда ұзындықтары сәйкесінше болат учаскелеріне қарағанда 422 және 252 рет есе кем болатын ауа саңылауларының кедергісі шамамен 2-3 есе үлкен болады. Себебі қарастырылатын мысалдағы ауа саңылауларының магниттік өткізгіштігі болаттың магниттік өткізгіштігінен шамамен 800...900 есе кем болып тұр.

3. Ауа саңылаулары жоқ болатын кезде магнитөткізгішінде $\Phi = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ ағынды жасау үшін құрылғы шарғысындағы қажетті ток күшін есептеу. Егер 8.1 суретіндегі магнитөткізгішінде ауа саңылауларын нөлге дейін қысқартатын болсақ, қарастырылатын магниттік тізбек біртекті емес, көлденең қимасының әр түрлі аудандары бар ($S_1 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ және $S_3 = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$) екі учаскелерден (1 және 3) тұратын болады.

Осы жағдайда толық ток заңына сәйкес магниттеу күші

$$I_w = U_{M1} + U_{M3} = H_1 l_1 + H_3 l_2 = \\ = 1220 \cdot 105,5 \cdot 10^{-3} + 840 \cdot 63 \cdot 10^{-3} = 181,6 \text{ А/м.}$$

Учаскелердің белгілі магниттік кедергілері кезінде магниттеу күшін магниттік тізбекке арналған Ом заңы бойынша да анықтауға болады. Қарастырылатын жағдайда

$$I_w = U_{M1} + U_{M3} = \Phi(R_{M1} + R_{M3}) = \\ = 3,5 \cdot 10^{-4} (3,67 + 1,52) 10^5 = 181,6 \text{ А/м.}$$

Бірдей дерлік нәтиже есептеу әдістемесінің дұрыстығын дәлелдейді. Осы жағдайда шарғыдағы ток күші

$$I = I_w/w = 181,6/100 = 1,82 \text{ А.}$$

Ол дегеніміз, ауа саңылаулары жоқ болған кезде қарастырылатын құрылғының шарғысындағы ток күші 6,5-нан 1,82 А дейін төмендейді. Демек, магниттік тізбектегі ауа саңылауларының жоқ болуы МҚК едәуір қысқартуға мүмкін береді. Ол дегеніміз МҚК жасайтын, берілген ағынды жасау үшін қажет болатын шарғылардағы ток күштері де қысқарады. Дегенмен, жиі кезде ауа саңылаулары шарасыз болады, мысалы, құрылғының айналмалы немесе қозғалмалы элементтерін магниттік тізбек құрамына енгізу қажеттілі бар болса.

8.2. Берілген магниттеуші күште тармақталмаған біртекті емес магниттік тізбек

8.2 есеп. 8.1 есебінде қарастырылған электрмагниттік құрылғы үшін 400 А тең магниттеу күшімен жасалған Φ магниттік ағыны мәнін анықтау.

Шешімі. 1. I_w магниттеу күшінен Φ ағыны тәуелділігін құрастыру және есептеу. Ең алдымен берілген $I_w = 400$ А магниттеу күшімен жасалған Φ ағынының шамаланған мәнін анықтаймыз. Берілген магниттік тізбек үшін толық ток пен Ом заңына сәйкес болатын теңдікті құрастыруға болады:

$$I_w = U_{M1} + U_{M2} + U_{M3} + U_{M4} = \Phi R_{M.общ.}$$

мұндағы $R_{M.общ} = R_{M1} + R_{M2} + R_{M3} + R_{M4}$.

Болат учаскелерінің кедергілерін елемей (себебі олар ауа саңылауларының кедергілерімен салыстырғанда шағын болғандықтан), тек ауа

$$R_{M.общ} = 2R_{M2} = 2\delta/(\mu_0 S_2) = \\ = 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} (4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^{-4}) = 13,27 \cdot 10^5 \text{ 1/Гн,}$$

саңылауларының магниттік кедергілерінің теңдігін есеп алу арқылы ($R_{M2} =$

R_{M4}) біз келесі өрнекті аламыз

Сонда $I_W = 400$ А мәні кезінде ағын

$$\Phi = I_W / R_{\text{м.общ}} = 400 / (13,27 \cdot 10^5) = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Енді магниттік ағынның бір қатар шамалары үшін МҚК анықтаймыз. Φ ағынының оның есептелінген шамалы мәніне жақын бірнеше мәндерін белгілейміз. 8.1 есебінде қарастырылған әдістеме бойынша, осы ағындарға сәйкес келетін магниттеу күштерін I_W анықтаймыз. Есептеулер нәтижелерін 8.1 кесте түрінде рәсімдейміз.

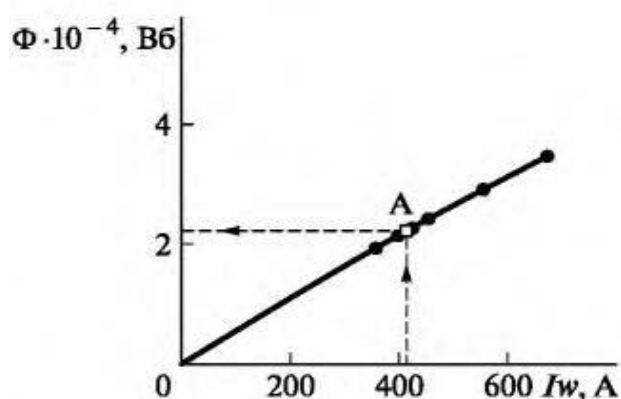
К е с т е 8 . 1

Белгіленген Φ ағыны бойынша МҚК анықтау

$\Phi \cdot 10^{-4}, \text{ Вб}$	2,0	2,2	2,3	2,5	3,0	3,5
$B_1, \text{ Тл}$	0,67	0,73	0,77	0,83	1,00	1,17
$B_2 = B_4, \text{ Тл}$	0,67	0,73	0,77	0,83	1,00	1,17
$B_3, \text{ Тл}$	0,53	0,59	0,61	0,67	0,80	0,93
$H_1, \text{ А/м}$	550	610	650	720	920	1220
$H_2 = H_4, \text{ А/м}$	$5,31 \cdot 10^5$	$5,84 \cdot 10^5$	$6,10 \cdot 10^5$	$6,63 \cdot 10^5$	$7,96 \cdot 10^5$	$9,28 \cdot 10^5$
$H_3, \text{ А/м}$	420	470	490	550	690	840
I_W	350	386	404	442	538	646

Сурет 8.3. Φ ағынының құрылғы шарғысының I_W магниттеу күшінен тәуелділігі

8.1 кестесінің деректері бойынша қарастырылатын құрылғысының магнитөткізіндегі Φ ағынының оның шарғысының I_W магниттеу күшінен тәуелділігін құрастырамыз (сурет 8.3).



2. $\Phi = f(I_W)$ қисығы бойынша, магниттеу күшінің берілген шамасына сәйкес келетін ағынды анықтау. Магниттеу күштерінің I_W осіне (8.3 суретін қараңыз) $I_W = 400$ А берілген шамасына сәйкес келетін кесіндіні түсіреміз де, оның шетінен магниттеу қисығымен А нүктесінде қиылысуына дейін перпендикулярды өткіземіз. А нүктесінің ординатасын ағындар осьтері

бойынша масштабын есепке алу арқылы анықтаймыз.

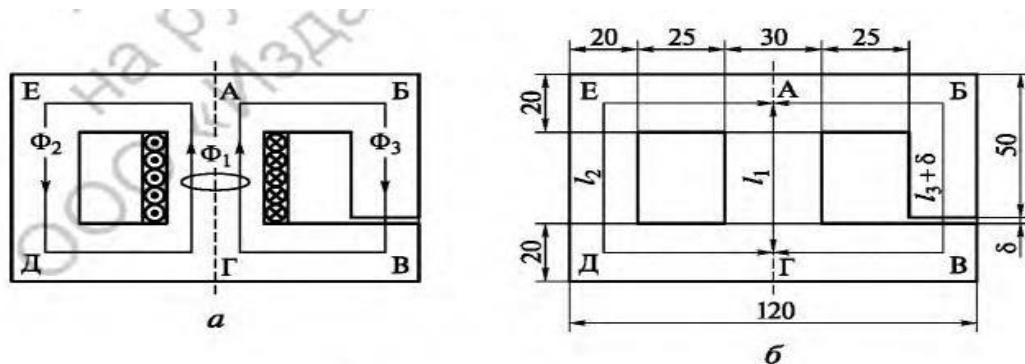
$I_w = 400$ А берілген магниттеу күшінің шамасы үшін ағын $\Phi = 2,27 \cdot 10^{-4}$ Вб.

8.3. Симметриялы емес тармақталған магниттік тізбек

8.3 есеп. 8.4 а суретінде келтірілген құрылғының магнитөткізгіші маркасы 1512 (Э42) электртехникалық болаттан жасалған және оның 8.4 б суретінде келтірілген өлшемдері мен 20 мм тең қалыңдығы бар.

Егер магнитөткізгішінің сол жақ сырығындағы ағын δ саңылауындағы ағыннан 3 есе үлкен болса, магнитөткізгішіндегі $\delta = 1$ мм ауа саңылауында $\Phi_3 = 2 \cdot 10^{-4}$ Вб магниттік ағынның жасайтын орамның магнитқозғаушы күшін анықтау.

Шешімі. 1. Берілген магниттік тізбектегі тармақтар санын анықтау. Тармақталған магниттік тізбекті (8.4 суретін қараңыз) магниттік ағындары әр түрлі болатын (Φ_1 , Φ_2 және Φ_3) үш тармақтан (АГ, АЕДГ, АБВГ) тұратын түрде елестетуге болады.



Сурет 8.4. Тармақталған магниттік тізбек:

а – графикалық бейне; б – магнитөткізгішінің геометриялық өлшемдері

2. Кернеуліктері бірдей болатын магниттік тізбек учаскелерін бөліп шығару және олардың өлшемдерін анықтау. Қарастырылатын құрылғының магниттік тізбегін төрт учаскеге бөліп қарастыруға болады: АГ, АЕДГ, АБВГ (екі ферромагниттік бөлшектердің сомасы) және δ . Олардың әрқайсысы учаскенің бүкіл ұзындығы бойынша бірдей ағынмен, көлденең қима ауданы мен материалдардың бірдей болуымен сипатталып, содан шығатыны, магниттік өріс кернеулігінің де мәндері бірдей болып келеді.

Әрбір учаскенің көлденең қимасының ұзындығы мен ауданын 8.4 б

$$l_1 = l_{AG} = 50 - 10 + 1 = 51 \text{ мм};$$

$$l_2 = l_{AEDG} = 2(10 + 25 + 15) + 51 = 151 \text{ мм};$$

$$l_3 = l_{ABVG} - \delta = 151 - 1 = 150 \text{ мм};$$

$$l_4 = \delta = 1 \text{ мм};$$

$$S_1 = 30 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$S_2 = S_3 = S_4 = 20 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

суретінде келтірілген магнитөткізгішінің өлшемдері бойынша анықтаймыз:
 3. Магниттік тізбектің әр түрлі тармақтарындағы магниттік өрісінің кернеуліктерін есептеп алу. АГ тармағындағы ағынды магниттік тізбек үшін Кирхгофтың заңын пайдалып және есеп шарты бойынша $\Phi_2 = 3\Phi_3$ екендігін есеп ала отырып анықтаймыз:

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 = 3\Phi_3 + \Phi_3 = 4\Phi_3 = 4 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Индукция

$$B_1 = \Phi_1/S_1 = 8 \cdot 10^{-4}/(6 \cdot 10^{-4}) = 1,33 \text{ Тл.}$$

Ферромагнитті материалдан жасалған АГ учаскесіндегі H_1 кернеулігін B_1 индукциясының мәні бойынша анықтаймыз. Ол үшін 1512 болат (қосымша 4) кернеулігі

$$H_1 = 850 \text{ А/м.}$$

(Кернеуліктің одан да нақты мәнін анықтау үшін магниттеу қисығының бөлігін құрастыру тиімді болар еді.)

АЕДГ тармағындағы Φ_1 ағынын анықтаймыз:

$$\Phi_2 = 3\Phi_3 = 3 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Индукция

$$B_2 = \Phi_2/S_2 = 6 \cdot 10^{-4}/(4 \cdot 10^{-4}) = 1,5 \text{ Тл.}$$

Ферромагнитті материалдан жасалған АЕДГ учаскесіндегі H_2 кернеулікті B_2 индукциясының мәні бойынша анықтаймыз. 1512 болат үшін (қосымша 4) кернеулік

$$H_2 = 2750 \text{ А/м.}$$

Тапсырма бойынша және, ол дегеніміз, бүкіл тармақталмаған біртекті емес АБВГ тармағында саңылаудағы ағын

$$\Phi_3 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Жалпы ұзындығы белгіленген l_3 АБВГ тармағының ферромагнитті учаскелеріндегі индукция,

$$B_3 = \Phi_3/S_3 = 2 \cdot 10^{-4}/(4 \cdot 10^{-4}) = 0,5 \text{ Тл.}$$

Ферромагнитті материалдан жасалған АБВГ учаскесіндегі H_3 кернеулікті B_3 индукциясының мәні бойынша анықтаймыз. 1512 болат үшін (қосымша 4) кернеулік

$$H_3 = 85 \text{ А/м.}$$

АБВГ тармағының барлық учаскелеріндегі Φ_3 ағыны бірдей болғандықтан, ал ауа саңылауының көлденең қимасының ауданы S_1 оған жанасатын ферромагниттік учаскесінің ауданына тең болғандықтан S_3 , δ ауа саңылауындағы индукция

$$B_4 = B_3 = 0,5 \text{ Тл.}$$

Ауа саңылауындағы кернеу

$$H_4 = B_4/\mu_0 = 0,5/(4\pi \cdot 10^{-7}) = 39,8 \cdot 10^4 \text{ А/м.}$$

4. Ш а р ғ ы н ы ң М Қ К а н ы қ т а у . Магнитқозғаушы күшті I_w келесі контурларының біреуі үшін: АЕДГА және АБВГА толық ток заңы бойынша (магниттік тізбек үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша) теңдікті құрастыру арқылы анықтауға болады. Екі вариантты да қарастырайық.

АЕДГА контуры бойынша МҚК анықтаймыз

$$I_w = H_2 l_2 + H_1 l_1 = 2750 \cdot 151 \cdot 10^{-3} + 850 \cdot 51 \cdot 10^{-3} =$$

$$I_w = H_1 l_1 + H_3 l_3 + H_4 \delta = 850 \cdot 51 \cdot 10^{-3} + 85 \cdot 150 \cdot 10^{-3} +$$

$$+ 39,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{-3} = 43,35 + 12,75 + 398 = 454,1 \text{ А.}$$

АБВГА контуры бойынша МҚК анықтаймыз

Екі контур бойынша есептеулерді жасау кезінде бірдей дерлік нәтижелер алынды. Олардың айырмашылығы есептердің таңдалған дәлдігімен шартталып, 1 % кем үлесті құрайды.

Сонда, берілген ағынды құрылғысындағы магнитөткізгішінде құрастыру үшін 458,6 А тең магниттеу күші қажет болады.

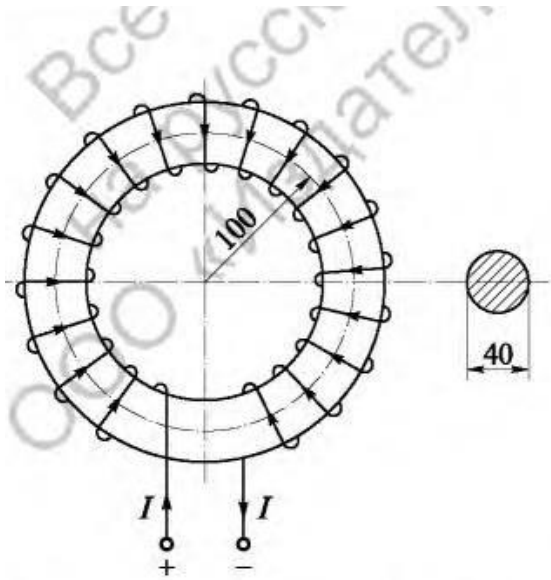
8.4. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

8.4. Маркасы 1511 (қосымша 4) электротехникалық болаттан жасалған, сақина пішінді тороидалық өзекшесінде $\Phi = 2 \cdot 10^{-3}$ Вб магниттік ағынын құрастыру қажет. Өзекшенің өлшемдері 8.5 суретінде миллиметрлермен берілген. 100 орамы бар ток күшін, болаттың магниттік өткізгіштігін (абсолютті және салыстырмалы) және шарғының индуктивтілігін анықтау керек.

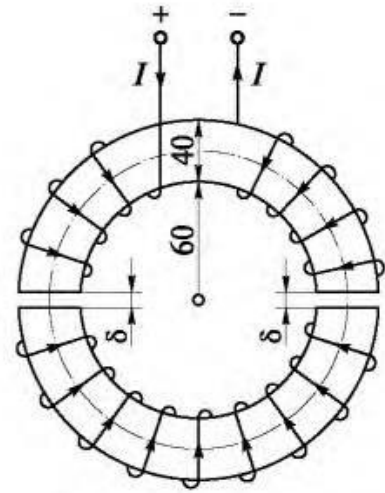
8.5. Өлшемдері 8.5 суретінде миллиметрлермен берілген, құйма болаттан (қосымша 4) жасалған тороидалық сақина $\delta = 0,2$ мм саңылаулары бар екі бөліктен тұрады. Сақинада сымның 925 орамынан тұратын орама орналастырылған. Сақина ішінде $\Phi = 1,25 \cdot 10^{-3}$ Вб магниттік ағынын жасайтын орамдағы ток күшін табу.

8.6. 8.5 есебінде берілген болат сақинаның саңылаулары жоқ. Магниттік ағын шамасы сақталатын орамдағы ток күшін және болаттың салыстырмалы магниттік өткізгіштігін анықтау.

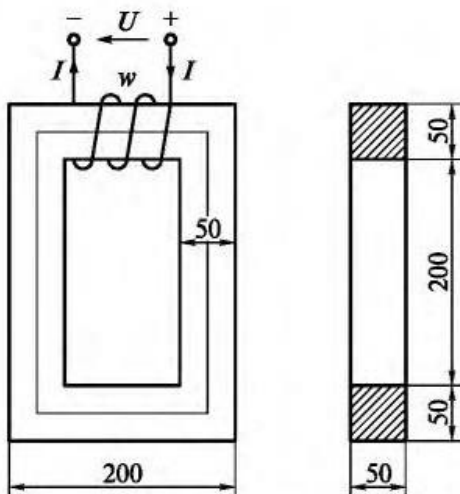
8.7. Егер шарғыдағы орам саны $w = 200$, ал ток күші $I = 6$ А болса, өлшемдері 8.7 суретінде миллиметрлермен берілген электрмагниттік құрылғысы өзекшесінің магниттік кедергісі мен магниттік ағынды анықтау. Өзекше 1512 электротехникалық болаттан жасалған және оның қимасының 10% табақтар арысындағы оқшаулану құрайды.



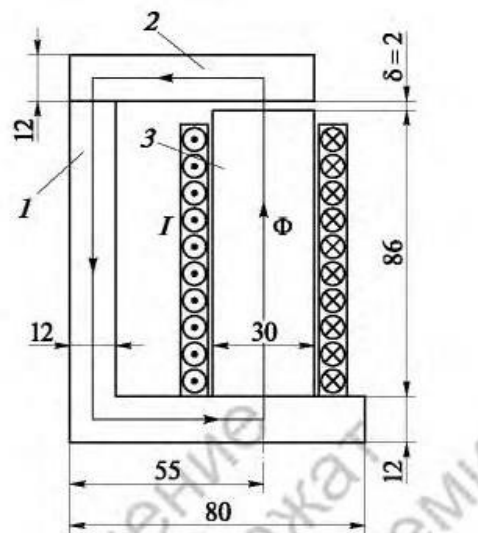
Сурет 8.5. 8.4 есебіне келтірілген
электрмагниттік құрылғы



Сурет 8.6. 8.5 есебіне келтірілген
электрмагниттік құрылғы



Сурет 8.7. 8.7 есебіне келтірілген
электрмагниттік құрылғы

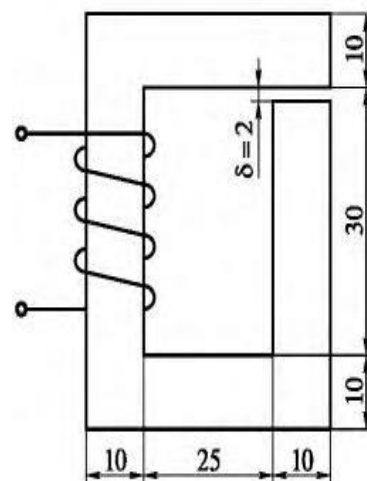


Сурет 8.8. 8.8 есебіне келтірілген
электрмагниттік құрылғы:
1 – жарма; 2 – зәкір; 3 - өзекше

8.8. 8.7 есебінде берілген шарттар бойынша, шарғыдағы ток күші 3 А тең болған кезінде, магниттік ағын мен электрмагниттік құрылғысы өзекшесінің магниттік кедергісін анықтау.

8.9. 8.5 суретінде көрсетілген электрмагниттік құрылғысының болат өзекшесінде $\delta = 2$ мм тең ауа саңылауы арамен тесілген. Егер орамдағы ток күші 31,4 А тең болса, 8.4 есебінде берілген шарғының орамдар санын анықтау.

8.10. Клапандық типтегі электрмагниттік релесінің магниттік тізбегі (8.8 суреті) болаттан жасалған (қосымша 4). Реленің жарма 1 мен зәкір 2 тікбұрышты қимасы 75 x 12 мм, ал өзекше 3 – диаметрі 30 мм дөңгелек қима. Басқа өлшемдер миллиметрлермен 8.8 суретінде көрсетілген. Ток күші 0,2 А болған кездегі $\Phi = 1,2 \cdot 10^{-3}$ Вб магниттік ағынды қоздыру үшін қажет болатын реле шарғысындағы орам санын анықтау.

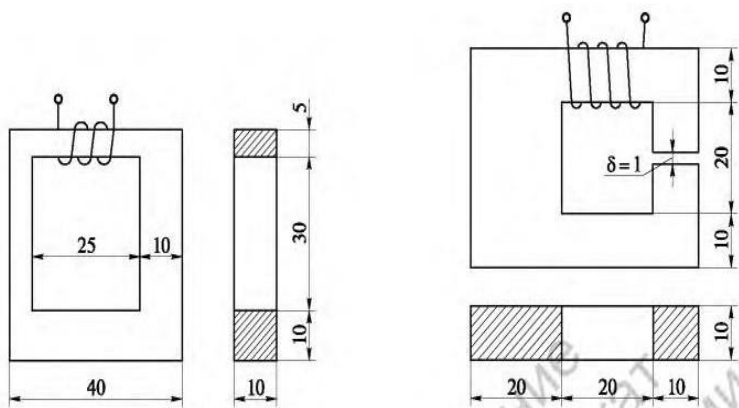


Сурет 8.9. 8.11 есебіне келтірілген электрмагниттік құрылғы

8.11. Электрмагниттік құрылғысының магнитөткізгішінде $\Phi = 0,45 \cdot 10^{-4}$ Вб тең магниттік ағын пайда болады. Магнитөткізгіш маркасы 1311 (қосымша 4) электртехникалық болаттан жасалған және оның қалыңдығы 5 мм. Басқа өлшемдер миллиметрлермен 8.9 суретінде

көрсетілген. Орам саны $w = 1000$ болған кезде, ондағы ток күшін анықтау.

8.12. Электрмагниттік құрылғысының магнитөткізгішінде $\Phi = 0,35 \cdot 10^{-4}$ Вб тең магниттік ағын пайда болады. Магнитөткізгіш маркасы 1311 (қосымша 4) электротехникалық болаттан жасалған және оның қалыңдығы 10 мм. Басқа өлшемдер миллиметрлермен 8.10 суретінде көрсетілген. Орам саны $w = 500$ болған кезде, ондағы ток күшін анықтау.



8.13. Егер орам саны $w = 1000$ орамдағы ток күші 1 А тең болса, 8.9 суретінде көрсетілген магнитөткізгішіндегі ағымды анықтау. Магнитөткізгішінің материалы мен өлшемдері 8.11 есебінде келтірілген.

8.14. Магнитөткізгіш өлшемдері 8.11 суретінде келтірілген, $\delta = 1$ мм ауа саңылауында 1,4 Тл тең индукцияны тудыратын магниттік тізбектегі магниттеу күшін анықтау. Магнитөткізгішінің материалы – 1211 болат (қосымша 4).

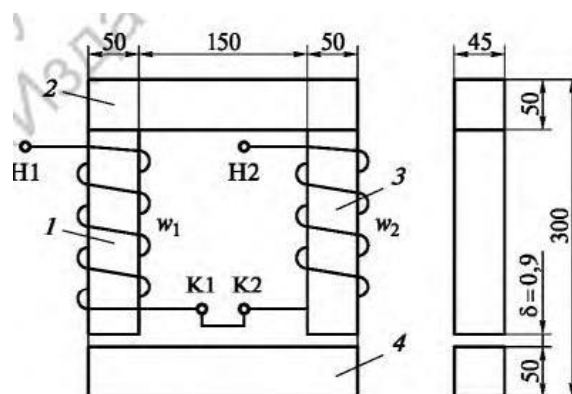
8.15. Егер МҚК 1000 теі болса, 8.11 суретінде көрсетілген магниттік тізбектегі магниттік ағынды анықтау. Магнитөткізгішінің материалы – 1211 болат.

Сурет 8.10. 8.12 есебіне келтірілген электрмагниттік

Сурет 8.11. 8.14 есебіне келтірілген электрмагниттік құрылғы

Сурет 8.12. Электрмагниттік реле:

1,3 – өзекше сырықтары; 2 – жарма; 4 - зәкір



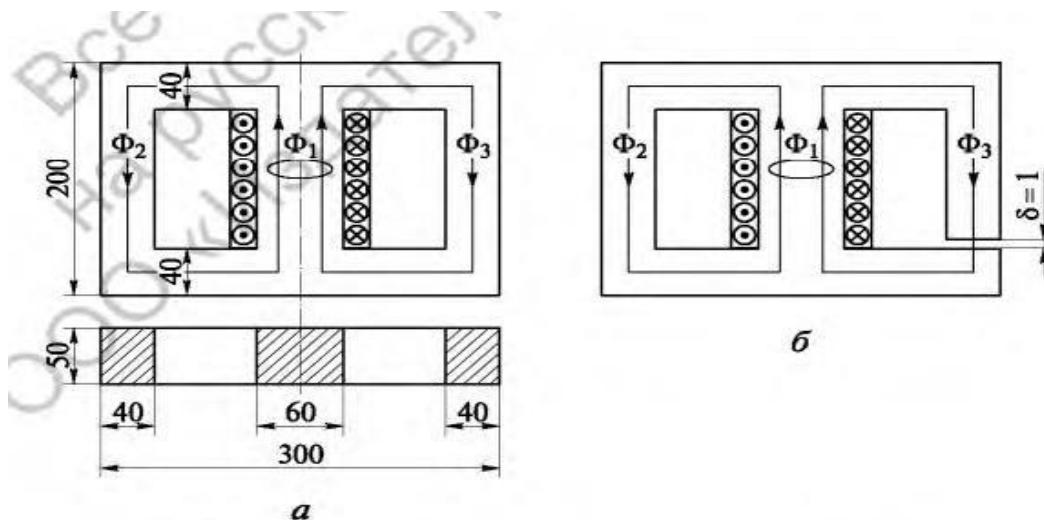
8.16. реленің магниттік тізбегі 1211 электртехникалық болаттан жасалған (қосымша 4). Өзекшенің 1 және 3 сырықтарына екі шарғы қондырылған. Шарғылар орамдарының бағыттары, олардың бастарының (Н1, Н2) және шеттерінің (К1, К2) қосылуы және, сонымен қатар, магнитөткізгішінің көрсетілген электрмагниттік өлшемдері 8.12 суретінде көрсетілген. Егер бірінші шарғының орам саны $w_1 = 2000$, ал екіншісінің – $w_2 = 600$ болса, шарғылардағы ток күші 0,8 А кезіндегі тізбектегі магниттік ағынды анықтау.

8.17. 500 орамы бар шарғы магнитөткізгішінің орталық сырығында орналасқан (сурет 8.13, а) және 1511 болаттан жасалған (қосымша 4). Егер шеткі сырықтарында ағын $\Phi_2 = \Phi_3 = 2 \cdot 10^{-3}$ Вб болса, шарғыдағы ток күшін анықтау.

8.18. Егер $\delta = 1$ мм көлденең ауа саңылауын жасау үшін (сурет 8.13, б), 8.17 есебінде берілген электрмагниттік құрылғысының шарғысындағы ток күшін

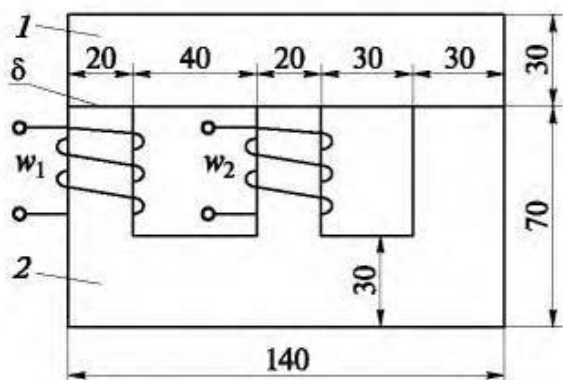
сырықтың шеткі оң жағында Φ ағынның шамасын сақтау үшін оны қалай өзгеру керек екендігін анықтау.

8.19. 8.14 суретінде көрсетілген электрмагниттік құрылғысының екі сырығында орам саны w_1 және w_2 болатын екі орама орналастырылған. 1512 электртехникалық болаттан жасалған (қосымша 4) жарма 1 мен өзекше сырықтарының 2 түйісу жерлерінде $\delta = 0,1$ мм ауа саңылаулары бар. Магнитөткізгішінің қалыңдығы 20 мм. Егер магнитөткізгішінің екі сырығының әрқайсысында индукция 0,9 Тл тең болса, орамалардың МҚК анықтау.



Сурет 8.13. Тармақталған магниттік тізбектер:

a – симметриялы; *б* – симметриялы емес



Сурет 8.14. 8.19 есебіне келтірілген тармақталған симметриялы емес магниттік тізбек:

1 – жарма; *2* – өзекше

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРҒА ЖАУАПТАР

8.4. 31,4 А; $3,2 \cdot 10^{-4}$ Гн/м; 254; $6,36 \cdot 10^{-3}$ Гн.

8.5. 0,74 А.

8.6. 0,5 А; 870.

8.7. $32 \cdot 10^{-4}$ Вб; $3,74 \cdot 10^5$ 1/Гн.

8.8. $29,3 \cdot 10^{-4}$ Вб; $2,06 \cdot 10^5$ 1/Гн.

8.9. 181.

8.10. 17 840.

8.11. 1,6 А.

8.12. 0,068 А.

8.13. $0,3 \cdot 10^{-4}$ Вб.

8.14. 1 224 А.

8.15. $1,2 \cdot 10^{-4}$ Вб.

8.16. $24,4 \cdot 10^{-4}$ Вб.

8.17. 0,51 А.

8.18. Магнитөткізгішінің оң жақ сырығында Φ_3 магниттік ағынның шамасын сақтау үшін, магнитөткізгішінде $\delta = 0,1$ мм ауа саңылауын жасау кезінде, шарғыдағы ток күшін 4,06 А дейін арттыру керек, яғни δ дерлік есе үлкейту.

8.19. $I_1 w_1 = 294$ А; $I_2 w_2 = 281$ А.

АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ТАРМАҚТАЛМАҒАН ТІЗБЕКТЕРІ

9.1. Синусоидалды өлшемдердің кескіні. Толқындық және векторлық диаграммалар

9.1 есеп. Синусоидалық ток амплитудасы $I_m = 5$ А, бұрыштық жиілігі $\omega = 314$ рад/с және бастапқы фазасы $\psi = 30^\circ$.

Синусоидалық токтың лездік мәні теңдігін құрастыру. Егер $\omega t_1 = 0$, $\omega t_2 = 30^\circ$ және $\omega t_3 = 60^\circ$ болса, ток мезгілін, жиілігін және лездік мәндерін анықтау. Алынған теңдігіне сәйкес ток графигін $i(\omega t)$ құрастыру.

Шешімі. 1. Синусоидалық токтың лездік мәні теңдігін құрастыру. Жалпы түрде синусоидалық ток келесі теңдікпен сипатталады

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi). \quad (9.1)$$

(9.1) теңдігіне амплитуда, бұрыштық жиілік пен бастапқы фазаның шамаларын қойып, біз қажетті теңдікті аламыз

$$i = 5 \sin(314t + 30^\circ).$$

2. Синусоидалық ток сипаттамаларын анықтау.
Синусоидалық ток мерзімі

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{314} = 0,02 \text{ с};$$

синусоидалық ток жиілігі (циклдық)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Гц.}$$

$\omega t_1 = 0$, $\omega t_2 = 30^\circ$ және $\omega t_3 = 60^\circ$ болса, токтың лездік мәндерін (9.1) теңдігі

$$i_2 = 5 \sin(30^\circ + 30^\circ) = 2,5\sqrt{3} \text{ А};$$

$$i_3 = 5 \sin(60^\circ + 30^\circ) = 5 \text{ А.}$$

бойынша табамыз:

3. $i(\omega t)$ ток графигін құрастыру. Берілген ток $i = 5 \sin(314t + 30^\circ)$ графигін құрастыру үшін 360° шегінде ωt бұрышының әртүрлі

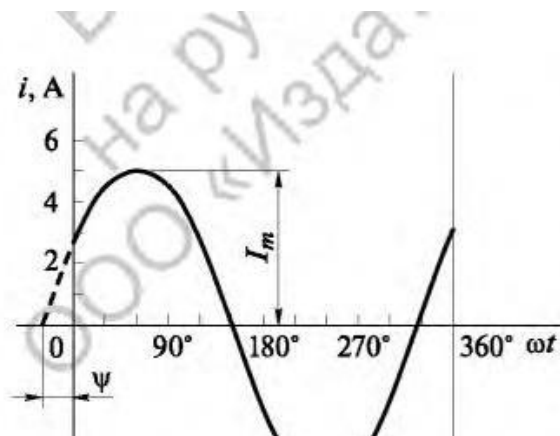
мәндеріне сәйкес келетін токтың лездік мәндер қатарын анықтау. Алынған деректерді 9.1 кестесіне енгіземіз.

К е с т е 9 . 1

Период бойынша толқындық диаграмма нүктелерінің координаталары

ωt	0	30°	60°	90°	120°	150°	180°
i, A	$\frac{I_m}{2}$	$I_m \frac{\sqrt{3}}{2}$	I_m	$I_m \frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{I_m}{2}$	0	$-\frac{I_m}{2}$
ωt	210°	240°	270°	300°	330°	360°	—
i, A	$-\frac{I_m \sqrt{3}}{2}$	$-I_m$	$-\frac{I_m \sqrt{3}}{2}$	$\frac{I_m}{2}$	0	$\frac{I_m}{2}$	—

Ток i пен фазаның ωt осьтері бойынша масштабтарды таңдап, 9.1 кестесіне сәйкес толқындық диаграмма деп аталатын (сурет 9.1) $i(\omega t)$ графигін құрастырамыз. Синусоидалық шаманың мәндері мезгіл (360° сәйкес келетін) өткеннен соң қайталанатын, сондықтан ток өзгерісінің сипаты туралы түсінікті алу үшін бір уақыт мезгіліндегі оның лездік мәндерінің бір өзгеру циклын құрастыруға жеткілікті болады.



Сурет 9.1. 9.1 есебіне келтірілген толқындық диаграмма

Есеп 9.2. Ауыспалы токтың екі кезекті түрде қосылған генераторларында 50 Гц жиілігімен өзгерген және бір-біріне қатысты 60° фазасы бойынша жылжыған синусоидалық электрқозғаушы күштерін e_1 және e_2 тудырады. Сонда $e_1 e_2$ -ні асып түседі. ЭҚК амплитудалары: $E_{1m} = 50$ В және $E_{2m} = 30$ В.

ЭҚК лездік мәндерінің e, e_1 және e_2 теңдігін құрастыру (тікелей қосылған генераторлардың жиынтық ЭҚК).

Олардың толқындық және векторлық диаграммаларын құрастыру. E_1, E_2 және $E_{ЭҚК}$ әректтегі мәндерін анықтау. Ауыспалы ток генераторларының тікелей қосылуы іс жүзінде неге қолданылмайтынын түсіндіру.

Шешімі. 1. ЭҚК лездік мәндерінің e_1 және e_2 теңдіктерін құрастыру. Ауыспалы ток генераторының зәкірінің орамасы шектерінде пайда болатын синусоидалық ЭҚК жалпы түрде келесі теңдікпен беріледі

$$e = E_m \sin \beta = E_m \sin (\omega t + \psi), \quad (9.2)$$

мұндағы E_m – ЭҚК амплитудалық мәні; $\beta = \omega t + \psi$ – әрекеттегі электр бұрышы; $\omega = 2\pi f$ – бұрыштық жиілік; ψ – бастапқы фаза.

Есеп шарты бойынша ЭҚК (e_1 және e_2) бірдей циклдық жиілікпен өзгереді $f = 50$ Гц, ол дегеніміз, бұрыштық жиілігі де бірдей болады

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

Бұрыштық жиіліктің тең болуының арқасында ЭҚК e_1 және e_2 арасындағы фазалық ығысу φ уақыт өтуімен тұрақты болып қалады: $\varphi = \text{const} = 60^\circ$. Уақыттың бастапқы сәтінде ($t = 0$) ЭҚК e_1 бастапқы фазасы $\varphi_1 = 0$ тең болады. Өйткені ЭҚК e_1 e_2 -ден $\varphi = 60^\circ$ бұрышына асатындықтан, ЭҚК e_2 бастапқыи фазасы

$$\psi_2 = \psi_1 - \varphi = -60^\circ.$$

Сонда, (9.2) теңдігіне сәйкес ЭҚК e_1 және e_2 лездік мәндерін келесі түрде жазып аламыз

$$e_1 = E_{1m} \sin (\omega t + \psi_1) = 50 \sin 314t;$$

$$e_2 = E_{2m} \sin (\omega t + \psi_2) = 30 \sin (314t - 60^\circ). \quad (9.3)$$

2. Синусоидалық ЭҚК e_1 және e_2 графиктерін (толқындық диаграммаларын) құрастыру. Оның тәртібі келесідей болады:

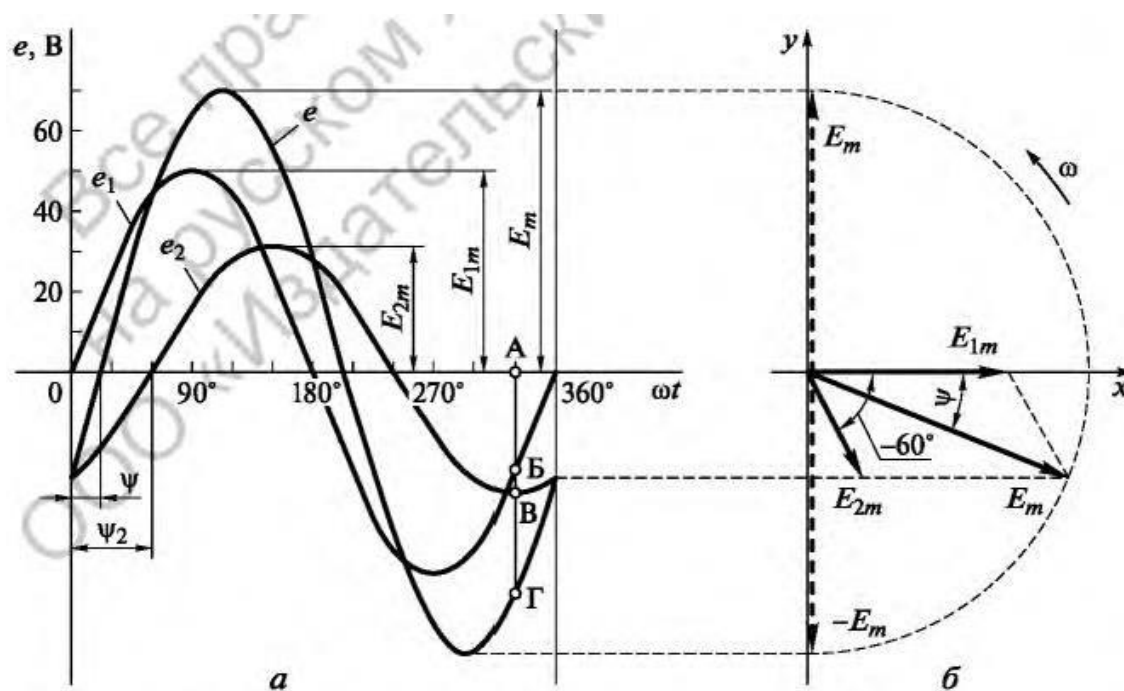
а) 360° шегінде ωt әрекеттегі фазалық бұрышының бір қатар мәндері үшін ЭҚК e_1 және e_2 лездік мәндерін (9.3) формулалары арқылы табамыз. Сонда синусоидалық шаманың лездік мәндері тек келесі мерзімде ғана емес, белгілі тригонометриялық қатынастарға $\sin \beta = \sin(\pi - \beta)$, а- $\sin \beta = \sin(\pi + \beta)$ сәйкес келетін бір мерзім шеңберінде бірдей болатынын есепке алу қажет. ЭҚК e_1 және e_2 есептеулерінің нәтижелерін 9.2 кестесі түрінде рәсімдейміз;

б) координаталардың тікбұрышты жүйесінде абциссалар (ωt) осі мен ординаталар (ЭДС) осі бойынша масштабтарды таңдаймыз;

в) 9.2 кестесінің деректері бойынша осьтер бойынша таңдалған масштабтарды есепке ала отырып, $e_1(\omega t)$ және $e_2(\omega t)$ графиктерін (толқындық диаграммаларды) олардың келесі қосылуы үшін тиімді болатындай бір координаталар жүйесінде құрастырамыз (9.2, а суреті).

ωt бұрышының бір мерзім ішінде өзгерісі кезіндегі ЭҚК e_1 және e_2 өзгеруі

ωt	0	30°	60°	90°	120°	150°	180°
e_1, B	0	25	$25\sqrt{3}$	50	$25\sqrt{3}$	25	0
e_2, B	$7,5\sqrt{3}$	-15	0	15	$7,5\sqrt{3}$	30	$7,5\sqrt{3}$
e, B	$-7,5\sqrt{3}$	10	$25\sqrt{3}$	65	$32,5\sqrt{3}$	55	$7,5\sqrt{3}$
ωt	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
e_1, B	-25	$-25\sqrt{3}$	-50	$-25\sqrt{3}$	-25	0	—
e_2, B	15	0	-15	$-7,5\sqrt{3}$	-30	$-7,5\sqrt{3}$	—
e, B	-10	$-25\sqrt{3}$	-65	$-25\sqrt{3}$	-55	$-7,5\sqrt{3}$	—



Сурет 9.2. Толқындық диаграммалар (а) мен векторларды қосу арқылы (б) екі генератордың жиынтық ЭҚК құрастыру ($e = e_1 + e_2$)

3. Генераторлардың жиынтық ЭҚК графигін (толқындық диаграммасын) құрастыру. Жиынтық ЭҚК $e = e_1 + e_2$ графигін құрастыру кездетікелей қосылудың бұрында зерртелген заңдары ауыспалы ток үшін ақиқат және лездік мәндер үшін келесі түрде қолданылуы мүмкін: *уақыттың әрбір сәтінде ЭҚК дербес генераторлардың ЭҚК алгебралық сомасына тең болып келеді (қосылатын ордината белгісін есепке ала отырып).*

Мысалы, $\omega t = 330^\circ$ (нүкте А) сәйкес келетін уақыт сәті үшін қисық ординатасын құрастырамыз (9.2, а суретін қараңыз). Ол үшін А нүктесінен e_1 (Б нүктесі) және e_2 (В нүктесі) қисықтарымен қиылысуына дейін перпендикулярды өткіземіз. e_1 және e_2 қисықтарының ординаталарының белгісі бірдей болғандықтан ($\overline{}$ және $\overline{}$ кесінділері), жиынтық e қисығы ординатасының $\overline{} = \overline{} + \overline{}$ кесіндісі болады да, оны құрастыру үшін перпендикуляр сызығында В нүктесінен төмен қарай $\overline{} = \overline{}$ кесіндісін түсіреміз.

Сол сияқты әрекеттерді ωt басқа бір қатар мәндері үшін жасаймыз (0-ден 360° дейін). Өткізілген нүктелер арқылы қисықты өткізіп, біз жиынтық ЭҚК графигін - e қисығын аламыз.

4. Генераторлардың жиынтық ЭҚК векторы мен векторлық диаграмманы құрастыру. Құрастыру тәртібі келесідей болады:

а) ЭҚК үшін таңдалған масштабта тікбұрышты координаталар жүйесінде транспортир арқылы түсірілген, абциссалар осьтерінің оң бағытына қатысты ψ_1 және ψ_2 бастапқы фазаларының бұрыштары астында жататын, E_{1m} және E_{2m} амплитудалық мәндерге тең болатын ұзындықтары бар синусоидалық ЭҚК e_1 және e_2 векторларын (векторлық диаграмманы) құрастырамыз;

б) e_1 және e_2 векторларын векторларды қосудың бар әдістерінің бірі арқылы қосамыз, мысалы, параллелограмм ережесі бойынша.

Қорытқы векторының ұзындығы жиынтық ЭҚК E_m амплитудасына тең болады. Қорытқы вектор мен абциссалар осінің оң бағыты арасындағы бұрыш ψ қорытқы вектордың бастапқы фазасының бұрышы болып табылады.

Қорытқы вектор жиынтық векторлар сияқты дәл сол бұрыштық жылдамдықпен айналады $\omega = 314$ рад/с.

5. Жиынтық ЭҚК лездік мәндері теңдігін құрастыру. Синусоидалық түрде өзгертін шамаларды қосу кезде қорытқы шамасы да дәл сол синусоидалық сипатқа және бұрыштық жиілікке ω ие болатыны белгілі. Ол дегеніміз, жалпы түрде жиынтық ЭҚК лездік мән теңдігі $e = E_m \sin(\omega t + \psi)$ (9.2) теңдігі түрінде болады. Сонда жиынтық синусоидалық өзгертін шаманың лездік мәні теңдігін құрастыру үшін оның амплитудасы мен бастапқы фазасын анықтау жеткілікті болады.

Математикалық тұрғыдан қарағанда осындай күрделі әрекетті орындау оңай емес, себебі амплитудалары әр түрлі синусоидалық шамалары қосудың тригонометриялық формулалары жоқ. Графикалық құрылымдардың

дәлдігімен сипатталатын тұрғыдан қарағанда, жиынтық синусоидалық шамасының лездік мәні теңдігін толқындық немесе векторлық диаграммасын пайдалану арқылы құрастыру жеңілдірек болар еді.

Генераторлардың жиынтық ЭҚК лездік мәні теңдігін құрастыру үшін толқынды диаграмманы пайдалануды қарастырайық (9.2, а суретін қараңыз). Координаталар осьтері бойынша таңдалған масштабтары кезінде (мысалы, $m_e = 20$ В/с және $m_{\omega t} = 60^\circ/\text{см}$) жиынтық синусоидалық ЭҚК амплитудасына сәйкес келетін, ординаталар осі бойынша \bar{m} кесіндісінің ұзындығын және жиынтық ЭҚК бастапқы фазасына сәйкес келетін, абциссалар бойынша $\bar{\psi}$ кесіндісінің ұзындығын анықтау:

$$\bar{m} = 3,5 \text{ см}; \quad \bar{\psi} = 0,37 \text{ см.}$$

Жиынтық синусоидалық ЭҚК амплитудасы мен бастапқы фазасын анықтау: Сонда, $\varphi = 314$ рад/с бұрыштық жиілік кезінде ЭҚК лездік мәні теңдігі келесі

$$E_m = \bar{E}_m m_e = 3,5 \cdot 20 = 70 \text{ В}; \quad \psi = -\bar{\psi} m_{\omega t} = -0,37 \cdot 60 = -22^\circ.$$

түрге ие болады:

$$e = 70 \sin(314t - 22^\circ) \text{ В.} \quad (9.4)$$

Енді генераторлардың жиынтық ЭҚК лездік мәні теңдігін құрастыру үшін векторлық диаграмманың қолданылуын қарастырайық:

а) ЭҚК мәнін E_m анықтаймыз. Ол үшін 9.2, б суретіндегі вектор ұзындығын өлшейміз. Масштаб $m_e = 20$ В/с, қорытқы вектордың ұзындығы $E_m = 3,5$ см болса, онда

$$E_m = \bar{E}_m m_e = 3,5 \cdot 20 = 70 \text{ В};$$

б) транспорт арқылы қорытқы вектордың бастапқы фаза бұрышын өлшейміз:

$$\psi = -22^\circ;$$

в) қорытқы ЭҚК лездік мәні теңдігін құрастырамыз. Ол үшін (9.2) өрнегіне алынған E_m , ψ және φ мәндерін қоямыз,

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi) = 70 \sin(314t - 22^\circ) \text{ В};$$

г) алынған нәтижені (9.4) өрнегімен салыстырамыз.

Сонымен, синусоидалық шамаларды толқындық және векторлық диаграммалар арқылы қосу бірдей нәтижені алуды қамтамасыз етеді – қорытқы ЭҚК лездік мәні үшін (9.4) өрнегі түріндегі теңдік.

Векторлық диаграмма арқылы жиынтық ЭҚК амплитудасы мен бастапқы базасын тек графикалық түрде ғана емес, математикалық тұрғыдан да анықтауға болады.

Жалпы түрде бастапқы фаза бұрышын ψ келесі формула бойынша

анықтауға болады

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{E_{1m} \sin \psi_1 + E_{2m} \sin \psi_2}{E_{1m} \cos \psi_1 + E_{2m} \cos \psi_2}.$$

9.2, б суретінде көрсетілген кез келген қиғаш бұрышты үшбұрыш үшін

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{50 \sin 0^\circ + 30 \sin(-60^\circ)}{50 \cos 0^\circ + 30 \cos(-60^\circ)} = -0,399; \quad \psi = -22^\circ.$$

E_m амплитудасын анықтау үшін тригонометриядан белгілі косинустар теоремасын қолдануға болады. 9.2, б суретінде көрсетілген кез келген қиғаш бұрышты үшбұрыш үшін:

$$\begin{aligned} E_m^2 &= E_{1m}^2 + E_{2m}^2 - 2E_{1m}E_{2m} \cos(180^\circ - \varphi) = \\ &= 50^2 + 30^2 - 2 \cdot 50 \cdot 30 \cos 120^\circ = 4900; \quad E_m = 70 \text{ В.} \end{aligned}$$

б. ЭҚК әрекеттегі мәндерін есептеу. Синусоидалық түрде өзгеретін әрекеттегі мәндері максималды мәндерінен $\sqrt{2}$ есе кем болады, сондықтан *Әдетте векторлық диаграммалар амплитудалар үшін емес, әрекеттегі мәндер үшін құрастырылады.* Келесіде осы шарт сақталынатын болады. векторлар әрекеттегі мәндерді көрсету үшін олардың масштабын $\sqrt{2}$ есе

$$E_1 = E_{1m} / \sqrt{2} = 50 / \sqrt{2} = 35,4 \text{ В};$$

$$E_2 = E_{2m} / \sqrt{2} = 30 / \sqrt{2} = 21,2 \text{ В};$$

$$E = E_m / \sqrt{2} = 70 / \sqrt{2} = 49,5 \text{ В.}$$

қысқарту керек.

7. Ауыспалы ток генераторларының тізбектей қосылуы іс жүзінде неге қолданылмайтын түсіндірейік. ЭҚК қосудың векторлық диаграммалардан (мысалы, 9.2, б суреті) жиынтық ЭҚК амплитудасы тек дербес генераторлар ЭҚК амплитудаларынан емес, сонымен қатар, қосу кезінде орамдардың орналаусына байланысты болатын олардың бастапқы фазаларының анықталатын бұрыштың ЭҚК арасындағы фазалық жылжудан φ да тәуелді болып келеді. Зәкірлердің орамдарының бастапқы фазаларының үйлесуі жоқ болатын жағдайларда генераторлардың қосылуы кезінде ЭҚК бастапқы фазалары e_1 және e_2 және, сәйкесінше, олардың арасындағы фазалардың жылжу бұрыштары да 0-ден 360° -қа дейін кез келген мәндерге ие бола алады.

Мысалы, фазалардың үйлесуі кезінде ($\varphi = 0$) жиынтық ЭҚК амплитудасы:

$$E_m = E_{1m} + E_{2m} = 50 + 30 = 80 \text{ В.}$$

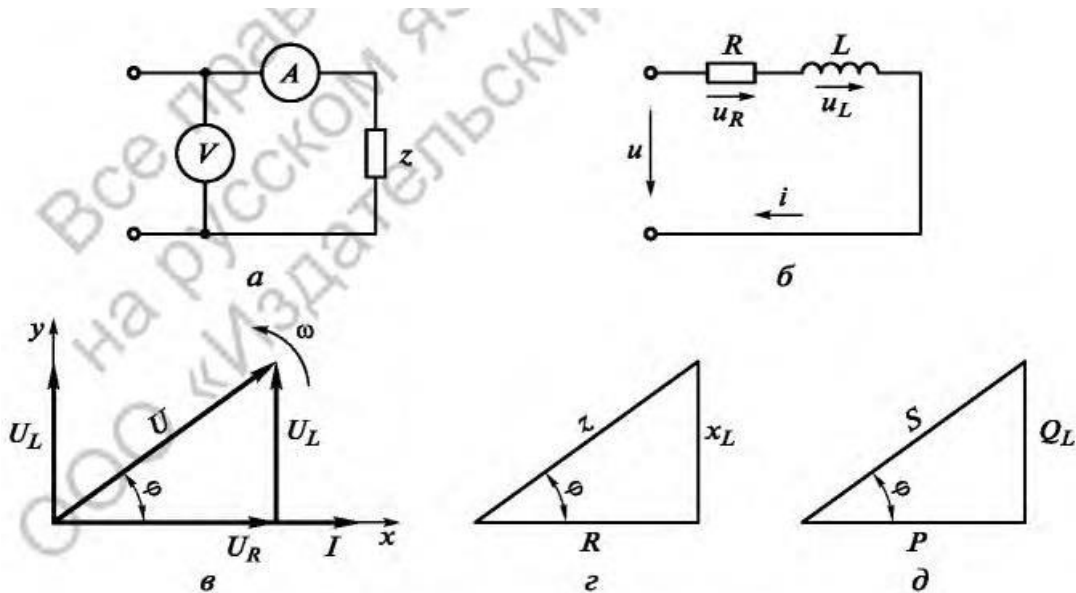
Кері фазалық қосылу кезінде ($\varphi = 180^\circ$)

$$E_m = E_{1m} - E_{2m} = 50 - 30 = 20 \text{ В.}$$

Қажетті ЭҚК алу үшін фазалардың үйлесуі қажеттілігінен ауыспалы ток генераторларының тізбектей қосылуы қолданылмайтыны дерлік.

9.2. Белсенді кедергісі мен индуктивтігі бар тізбек

9.3 есеп. Шарғының zR және L параметрлерін анықтау үшін 9.3, *a* суретінде көрсетілген электр тізбегі, ең алдымен, тұрақты ток желісіне және одан кейін жиілігі $f = 50$ Гц ауыспалы ток желісіне қосылады. $I_1 = 4$ А тұрақты ток кезінде вольтметр $U_1 = 80$ В кернеуді көрсетті, ал $I_2 = 2$ А ауыспалы ток кезінде – кернеу $U_2 = 50$ В.



Сурет 9.3. Нақты индуктивтілік шарғысы:

a – 9.3 есебіне келтірілген электр тізбегі; *б* – белсенді және реактивті элементтердің тізбектей қосылуы бар орналастыру схемасы; *з* – кедергілер үшбұрышы; *д* – қуаттар үшбұрышы

Тізбектің қоректену кернеуі $U = 220$ В және жиілігі 50 Гц кезінде белсенді, реактивті және толық қуаттарын және шарғының магниттік өрісінде сақталатын ең үлкен энергияны анықтау. Тізбектің векторлық диаграммасы мен кернеулер, кедергілер мен қуаттардың үшбұрыштарын құрастыру. Тізбектің қуат коэффициентін анықтау. Ауыспалы ток кезінде Кирхгофтың екінші заңын қолдану ерекшеліктерін түсіндіру.

Шешімі. 1. Шарғы параметрлерін анықтау. Тұрақты ток кезінде жиілік $f = 0$, ал шарғының индуктивтілік кедергісі $x_L = 0$. Шарғы белсенді кедергісі R Ом заңы бойынша анықталынады:

$$R = U_1 / I_1 = 80 / 4 = 20 \text{ Ом.}$$

Ауыспалы ток кезінде шарғының z кедергісі толық болады да, әрекеттегі мандерінде Ом заңы бойынша анықталынады:

$$z = U_2/I_2 = 50/2 = 25 \text{ Ом.}$$

Шарғының индуктивті кедергісі

$$x_L = \sqrt{z^2 - R^2} = \sqrt{25^2 - 20^2} = 15 \text{ Ом.}$$

Шарғының индуктивтілігі $x_L = 2\pi fL$ болады, содан шығатыны

$$L = \frac{x_L}{2\pi f} = \frac{15}{314} = 47,8 \text{ мГн.}$$

2. Шарғы қуаттары мен магниттік энергиясын есептеу. Қоректендіру кернеуі 220 В кезінде тізбектегі токтың әрекеттегі мәні

$$I = \frac{U}{z} = \frac{220}{25} = 8,8 \text{ А.}$$

Сәйкесінше тізбектің белсенді және реактивті индуктивті қуаттары келесідей болып тұрады

$$P = I^2 R = 8,8^2 \cdot 20 = 1548,8 \text{ Вт} = 1,6 \text{ кВт};$$

$$Q_L = I^2 x_L = 8,8^2 \cdot 15 = 1161,6 \text{ вар} = 1,16 \text{ квар.}$$

Толық қуатты келесі формуланың кез келгені бойынша анықтауға болады:

$$S = I^2 z; \quad S = UI; \quad S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}.$$

Сонда,

$$S = UI = 220 \cdot 8,8 = 1936 \text{ В} \cdot \text{А} = 1,94 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Шарғының магниттік өрісінде сақталатын ең үлкен энергияны келесі формулалар бойынша анықтауға болады:

$$W_{L \max} = LI^2; \quad W_{L \max} = \frac{Q_L}{\omega} = \frac{Q_L}{2\pi f}.$$

Сонда,

$$W_{L \max} = \frac{Q_L}{2\pi f} = \frac{1161,6}{2\pi \cdot 50} = 3,7 \text{ Дж.}$$

3. Индуктивтілік шарғының кернеулер үшбұрышы мен векторлық диаграмманы құрастыру. Векторлық диаграмма – синусоидалық токтар мен тізбек кернеуін қамтитын және бір-біріне қатысты фазалардың ығысуын есепке ала отырып, координаталардың бір жүйесінде құрастырылған векторлардың жиынтығы. Векторлардың ұзындығы ток (m_i) пен кернеу (m_u) бойынша таңдалған масштабтарды есепке ала отырып,

синусоидалық шамалардың амплитудалық және әрекеттегі мәндеріне тең болады.

Индуктивтілік шарғысын белсенді және индуктивті элементтердің тезбектей қосылуы бар орналастыру схемасымен сипаттауға болатыны белгілі (сурет 9.3, б).

Сонда, индуктивтілік шарғысының векторлық диаграммасы – келесі векторлардың жиынтығы: ток \vec{i} , кернеулер \vec{u}_R және \vec{u}_L (белсенді және индуктивті элементтерде сәйкесінше) және жалпы кернеу \vec{u} .

Шарғы кернеуінің белсенді және реактивті құрамдастарының әрекеттегі мәндері Ом заңы бойынша анықталынады:

$$U_R = RI = 20 \cdot 8,8 = 176 \text{ В}; U_L = x_L I = 15 \cdot 8,8 = 132 \text{ В}.$$

Тізбек элементтерінің тікелей қосылуының векторлық диаграммасын құрастыру кезде векторлық диаграмманың негізі ретінде (оған қатысты қалған векторлар құрастырылатын вектор) тізбектің басқа элементтері үшін ортақ ток векторы алынуы жөн. Бұл диаграмманың басқа векторларының өзара орналасуын нақты анықтауға мүмкіндік береді. Ток бойынша масштабты таңдап, мысалы, $m_i = 2 \text{ А/см}$, координаталардың тікбұрышты жүйесінің басынан (сурет 9.3, в) ток векторын құрастырамыз. Ыңғайлылық үшін оны абциссалар осінің оң бағытымен қиыстырамыз.

Шарғының жалпы кернеуінің лездік мәні оның құрамдастарының белсенді және реактивті лездік мәндерінің сомасына тең болғандықтан:

$$u = u_R + u_L = U_{Rm} \sin \omega t + U_{Lm} \sin (\omega t + \pi/2),$$

онда жалпы кернеу векторы векторлардың геометриялық сомасына тең болады:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L.$$

Кернеу бойынша масштабты таңдап, мысалы $m_u = 55 \text{ В/см}$, координаталар жүйесінің басынан шарғы кернеуінің белсенді құрамдасынан ток векторы бағытында векторды өткіземіз, өйткені кернеудің белсенді құрамдасы u_R фаза бойынша токпен сәйкес келеді. \vec{u}_L және \vec{u}_R векторларын m_u масштабында қосу үшін \vec{u}_L векторының шетінен \vec{u}_R реактивті құрамдасынан векторды өткіземіз. u_L реактивті индуктивті құрамдасы токты $\pi/2$ бұрышына асып түскендіктен, \vec{u}_L ординаталар осінің оң бағытында, абциссалар осіне перпендикуляр түрде салынады. Сонда координаталар басынан векторының аяғына қарай құрастырылған вектор жалпы кернеу векторына сәйкес келеді. Таңдалға масштаб кезде $m_u = 55 \text{ В/см}$ $\vec{U} = 4 \text{ см}$ кесінді болады да, сонда жалпы кернеу

$$U = \vec{U} m_U = 4 \cdot 55 = 220 \text{ В}.$$

Индуктивтілік шарғысының кернеулер үшбұрышы U_R , U_L және U кернеулерін

тудырады (9.3, в суретін қараңыз).

4. Берілген тізбектің кедергілер үшбұрышы мен қуаттарын құрастыру. Кернеулер үшбұрышының барлық жақтарын тізбектегі әрекеттегі ток мәніне I тең мәнге бөлу арқылы біз кедергілер үшбұрышына ие боламыз (9.3, г суреті). Тиісті масштабта пайда болған ұқсас үшбұрыш жақтары тізбек кедергілеріне тең болады:

$$R = U_R/I = 176/8,8 = 20 \text{ Ом};$$

$$x_L = U_L/I = 132/8,8 = 15 \text{ Ом};$$

$$z = U/I = 220/8,8 = 25 \text{ Ом}.$$

Кедергілер синусоидалық шамалар емес, сондықтан олар бағыттары бар векторлармен емес, тек олардың ұзындықтарының сандық мәндерімен сипатталатын скалярлық кесінділермен бейнеленеді.

Кернеулер үшбұрышының барлық жақтарын тізбектегі әрекеттегі ток мәніне I тең мәнге көбейту арқылы қуаттар үшбұрышына ие боламыз (9.3, д суреті). Тиісті масштабта пайда болған ұқсас үшбұрыш жақтары тізбек қуаттарына тең болады да, олар (кедергілер де сияқты) векторлық шамалар емес, скалярлық шамалар болып табылады:

$$P = U_R I = 176 \cdot 8,8 = 1,6 \text{ кВт}; Q_L = U_L I = 132 \cdot 8,8 = 1,16 \text{ вар};$$

$$S = UI = 220 \cdot 8,8 = 1,94 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

5. Берілген тізбектің қуаттар коэффициентін анықтау. Тізбектің қуаттар коэффициентін ($\cos \varphi$) кез келген анықталған үшбұрышынан анықтауға болады – кернеулер, кедергілер немесе қуаттар (9.3, в...д суретін қараңыз):

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{z} = \frac{P}{S}.$$

Мысалы, берілген тізбек үшін

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{176}{220} = 0,8.$$

6. Ауыспалы ток кезінде Кирхгофтың екінші заңын қолдану ерекшеліктері. Ауыспалы ток тізбектерінде Кирхгоф заңдары тек лездік мәндер немесе векторлық пішінде ғана ақиқат болады.

Мысалы, R және L элементтерінің тізбектей қосылуының жалпы кернеуін келесі теңдікпен бейнелеуге болады

$$u = u_R + u_L = U_{Rm} \sin \omega t + U_{Lm} \sin (\omega t + \pi/2),$$

немесе векторлық пішінде

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L,$$

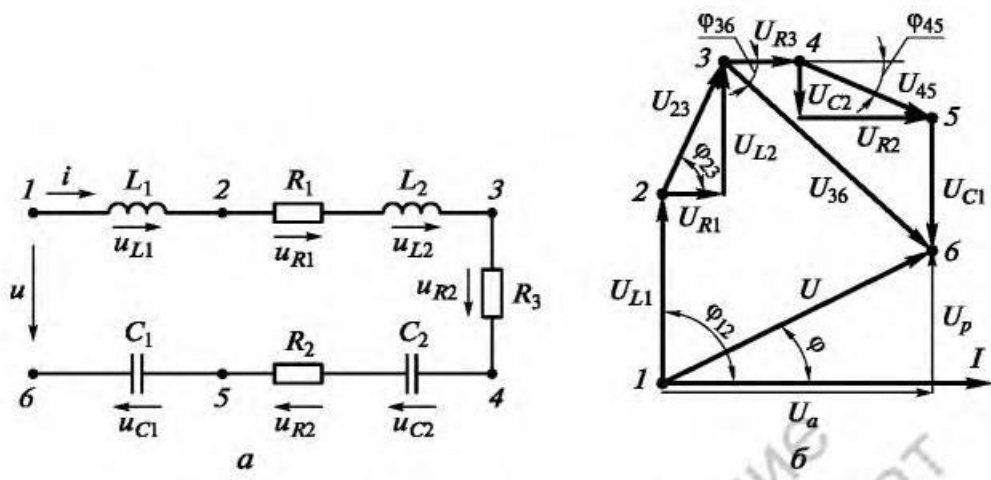
яғни, жалпы кернеу векторы элементтердің кернеулері векторларының геометриялық сомасына тең болады.

Сонда тікелей қосылуының жалпы кернеуінің әрекеттегі мәні $U=U_R+U_L$, себебі тікбұрышты үшбұрыштың гипотенузасы катеттердің сомасына тең емес, яғни өрнек ақиқат болады.

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} < U_R + U_L.$$

9.3. Тармақталмаған RLC-тізбектің жалпы жағдайы

9.4 есеп. Орналастыру схемасы 9.4, *a* суретінде келтірілген электр тізбегі жиілігі 50 Гц және кернеуі $U = 214$ В болатын ауыспалы ток желісіне қосылған. Тізбек учаскелерінің кедергілері белгілі: $R_1 = 30$ Ом; $R_2 = 60$ Ом; $R_3 = 40$ Ом; $x_{L1} = 100$ Ом; $x_{L2} = 70$ Ом; $x_{C1} = 70$ Ом; $x_{C2} = 30$ Ом. Берілген тізбектің топографиялық диаграммасын құрастыру. Тізбектегі токты I , индуктивтіліктерді (L_1, L_2) және сыйымдылықтарды (C_1, C_2); тізбектің жеке учаскелеріндегі кернеулерді $U_{12}, U_{23}, U_{45}, U_{36}$; тізбектің



Сурет 9.4. Тармақталмаған RLC-тізбегі:

a – орналастыру схемасы; *б* – тізбектің векторлық диаграммасы

белсенді, реактивті және толық қуаттарын; кернеулер u_{23}, u_{45}, u_{36} мен тізбектегі ток i арасындағы фазалардың ығысу бұрыштарын анықтау. Егер токтың бастапқы фазасы болса, ток i пен $u, u_{12}, u_{23}, u_{45}, u_{36}$ кернеудің лездік мәндерінің теңдігін құрастыру.

Шешімі. 1. Берілген тізбекте топографиялық диаграмманы құрастыру. 9.4 *a* суретінде тізбек элементтерінің қосылу нүктелері (индуктивтілік шарғылары, резистор мен конденсаторларының) $1 \dots 6$ түрінде олардың схемадағы кезектілігіне сәйкес

белгіленеді. Топографиялық диаграмма – тізбек элементтерінің кезектілігіне сәйкес құрастырылған векторлық диаграмма екендігі белгілі. Сонда векторлардың бір-бірімен қосылу нүктелері тізбек элементтерінің қосылу нүктелеріне сәйкес келеді де, электр тізбегінің әрбір нүктесіне векторлық диаграмманың белгілі бір нүктесі сәйкес келеді. Егер тізбектің орналастыру схемасының барлық учаскелеріндегі кернеу белгілі болатын болса және барлық кернеу векторлары таңдалған масштабтағы диаграммада құрастырылған болса, онда тізбектің кез келген нүктелері арасындағы кернеу вектор ұзындығы сияқты кернеу масштабына көбейтілген векторлық диаграмманың сәйкес нүктелерінің арасындағы ұзындығы сияқты анықталынады.

9.4, б суретінде берілген тізбектің топографиялық диаграммасының жалпы түрі келтірілген. Көрнекілік үшін абциссалар осінің оң бағытына бағытталған токтың векторы негіз ретінде алынған. Жалпы кернеу векторы схеманың дербес учаскелеріндегі кернеу векторларының геометриялық сомасына тең болғандықтан, координаталар жүйесінің басынан (1 нүктесі) бірінші вектор (u_{L1} кернеуі), ал оның шетінен (2 нүкте) келесі вектор өткізіледі. Және сол түрде соңғы вектор өткізгенге дейін жалғасады. Сонда индуктивті сипатқа ие болатын учаскелеріндегі кернеу токты 90° асып түседі; белсенді сипатқа ие болатын учаскелеріндегі кернеу токпен сәйкес келеді; сыйымдылықты сипаттағы учаскелерде токтан 90° артта қалады. Координаталардың басынан (1 нүктесі) соңғы вектордың шетіне (6 нүктесі) өткізілген вектор u жалпы кернеуге сәйкес келеді.

2. Т і з б е к т е г і I т о г ы н а н ы қ т а у . Есептеуді келесі тәртіпке жүзеге асырамыз (9.4, а суретін қараңыз):

а) тізбектің белсенді кедергісі

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 30 + 60 + 40 = 130 \text{ Ом};$$

б) тізбектің реактивті кедергісі

$$x = x_{L1} + x_{L2} - x_{C1} - x_{C2} = 100 + 70 - 70 - 30 = 70 \text{ Ом};$$

в) тізбектің жалпы кедергісі

$$z = \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{130^2 + 70^2} = 147,65 \text{ Ом};$$

г) тізбектегі ток

$$I = U/z = 214/147,65 = 1,45 \text{ А}.$$

3. Берілген тізбек индуктивтіліктері мен сыйымдылықтарынан анықтау. Реактивті кедергілердің берілген мәндерін пайдаланып, есептеуді жасаймыз:

$$L_1 = \frac{x_{L1}}{2\pi f} = \frac{100}{2\pi \cdot 50} = 0,318 \text{ Гн} = 318 \text{ мГн};$$

$$L_2 = \frac{x_{L2}}{2\pi f} = \frac{70}{2\pi \cdot 50} = 0,223 \text{ Гн} = 223 \text{ мГн};$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f x_{C1}} = \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 70} = 45,5 \text{ мкФ};$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f x_{C2}} = \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 30} = 106,1 \text{ мкФ}.$$

4. Тізбек учаскелерінде кернеулерді анықтау. Есептеуді Ом заңы бойынша жасаймыз

а) 1 – 2 учаскесіндегі кернеу

$$U_{12} = I z_{12} = U_{L1} = I x_{L1} = 1,45 \cdot 100 = 145 \text{ В};$$

б) 2 – 3 учаскесінің жалпы кедергісі

$$z_{23} = \sqrt{R_1^2 + x_{L2}^2} = \sqrt{30^2 + 70^2} = 76,16 \text{ Ом},$$

ал осы учаскідегі кернеу

$$U_{23} = I z_{23} = 1,45 \cdot 76,16 = 110 \text{ В};$$

в) 4 – 5 учаскесінің жалпы кедергісі

$$z_{45} = \sqrt{R_2^2 + x_{C2}^2} = \sqrt{60^2 + 30^2} = 67,08 \text{ Ом},$$

ал осы учаскідегі кернеу

$$U_{45} = I z_{45} = 1,45 \cdot 67,08 = 97 \text{ В};$$

г) 3 – 6 учаскесінің жалпы кедергісі

$$\begin{aligned} z_{36} &= \sqrt{R_{36}^2 + x_{36}^2} = \sqrt{(R_2 + R_3)^2 + (x_{C1} + x_{C2})^2} = \\ &= \sqrt{(60 + 40)^2 + (70 + 30)^2} = 141,42 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

ал осы учаскідегі кернеу

$$U_{36} = I z_{36} = 1,45 \cdot 141,42 = 205 \text{ В}.$$

5. Тізбек қуаттарын анықтау. Тізбектің белсенді қуаты

$$P = I^2 R = 1,45^2 \cdot 130 = 273 \text{ Вт};$$

тізбектің реактивті қуаты

$$Q = I^2 x = 1,45^2 \cdot 70 = 147 \text{ вар};$$

тізбектің толық қуаты

$$S = UI = 214 \cdot 1,45 = 310 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

6. Тізбектегі кернеулер u , u_{23} , u_{45} , u_{36} мен ток i арасындағы фазалардың ығысу бұрыштарын анықтау. u , u_{23} , u_{45} , u_{36} кернеулеріне сәйкес келетін фазалардың ығысу бұрыштары келесідей болады:

$$\varphi = \arctg(x/R) = \arctg(70/130) = \arctg 0,54 = 28^\circ 18';$$

$$\varphi_{23} = \arctg(x_{L2}/R_1) = \arctg(70/30) = \arctg 2,33 = 66^\circ 48';$$

$$\varphi_{45} = \arctg(x_{C2}/R_2) = \arctg(30/60) = \arctg 0,5 = 26^\circ 36';$$

$$\varphi_{36} = \arctg((x_{C1} + x_{C2})/(R_2 + R_3)) = \arctg(100/100) = \arctg 1 = 45^\circ.$$

7. $\psi_1 = 0$ кезіндегі тізбектің ток пен кернеулер теңдігі. $\psi_1 = 0$ кезіндегі ток пен кернеудің лездік мәндерінің теңдігін құрастырамыз:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) = I\sqrt{2} \sin(2\pi f t + \psi_i) = 1,45\sqrt{2} \sin 314t;$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_i + \varphi) = 214\sqrt{2} \sin(314t + 28^\circ 18');$$

$$u_{12} = U_{12m} \sin(\omega t + \psi_i + \varphi_{12}) = 145\sqrt{2} \sin(314t + 90^\circ);$$

$$u_{23} = U_{23m} \sin(\omega t + \psi_i + \varphi_{23}) = 110\sqrt{2} \sin(314t + 66^\circ 48');$$

$$u_{45} = U_{45m} \sin(\omega t + \psi_i - \varphi_{45}) = 97\sqrt{2} \sin(314t - 26^\circ 36');$$

$$u_{36} = U_{36m} \sin(\omega t + \psi_i - \varphi_{36}) = 205\sqrt{2} \sin(314t - 45^\circ).$$

9.4. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

9.5. Жиілігі 50 Гц кезінде синусоидалық токтың периоды мен бұрыштық жиілігі неге тең болатынын анықтау.

9.6. Синусоидалық шамасының бірдей бастапқы фазасында оң және кері мәндері болуы мүмкін ба?

9.7. Егер фазалық ығысу 90° болса, 50 Гц жиілікпен өзгертін екі синусоидалық токтардың уақытша ығысуын табу.

9.8. Синусоидалық ЭҚК векторлық диаграммаларын құрастыру

$$e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + \psi_1); \quad e_2 = E_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$$

екі вариантта олардың арасындағы фазалардың ығысуының тұрақты шамасы

кезінде, уақыттың бастапқы сәтінде абциссалар осінің оң бағытына қатысты орналасуы келесі варианттар үшін беріледі:

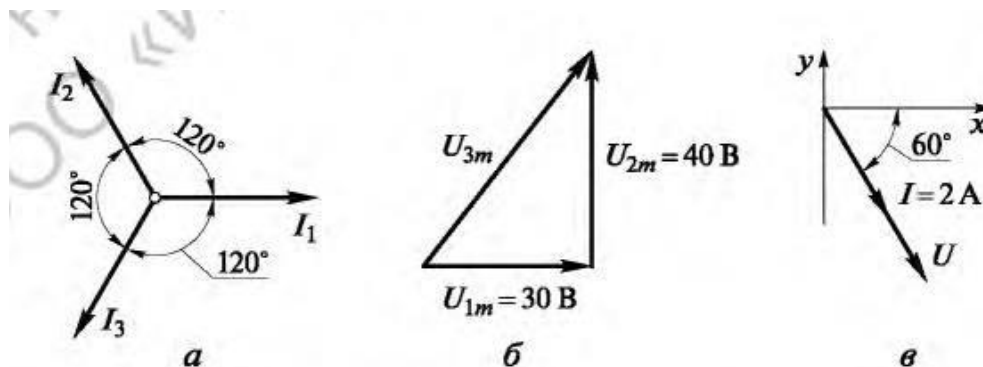
а) $t = 0$ кезінде $\psi_1 = 30^\circ$, ал фаза $\psi_2 = -60^\circ$;

б) $t = 0$ кезінде ЭҚК $e_2(0) = 0$.

Екі вариант үшін лездік мәндер теңдігін құрастыру.

9.9. Егер токтар жиілігі $f = 50$ Гц, $I_{1m} = I_{2m} = I_{3m} = 5$ А болса, үш ток теңдігін жазу, олардың векторлық диаграммасы 9.5 а суретінде келтірілген және осы токтардың қосындыларын табу.

9.10. Жиілігі $f = 50$ Гц, 9.5 б суретінде келтірілген векторлық диаграммадағы үш синусоидалық кернеу теңдігін жазу.



Сурет 9.5. Векторлық диаграммалар:

а – 9.9 есебіне; б – 9.10 есебіне; в – 9.12 есебіне

9.11. Екі ток келесі теңдіктермен берілген:

$$i_1 = 2 \sin(\omega t + 90^\circ); \quad i_2 = 3 \sin(\omega t + 30^\circ).$$

Токтардың лездік мәндерінің $i_3 = i_1 + i_2$, $i_4 = i_1 - i_2$ және $i_5 = i_2 - i_1$ теңдіктерін құрастыру.

9.12. Ауыспалы ток тізбегінің белсенді кедергісі 100 Омға, ал желі жиілігі 50 Гц тең. Тізбектің векторлық диаграммасы 9.5, в суретінде келтірілген. Ток пен кернеу теңдіктерін жазу және осы тізбектің белсенді қуатын анықтау.

9.13. Қуаты 1 кВт қыздыру құрылғысы кернеуі $u = 220\sqrt{2} \sin(314t + \pi/2)$ бар ауыспалы ток желісіне қосылған. Тізбек кедергісі мен токтың әрекеттегі мәнін табу.

9.14. 9.13 есебіндегі тізбек үшін координаталардың бір жүйесінде ток, кернеу және белсенді қуат графиктері мен векторлық диаграмманы масштабта құрастыру. Осы есептің шарты бойынша уақыттың келесі сәттеріндегі қуаттың лездік мәндерін анықтау: $t_1 = 0$, $t_2 = 0,005$ с, $t_3 = 0,01$ с, $t_4 = 0,0175$ с.

9.15. Индуктивтілігі $L = 17$ мГн шарғы және шамасын есепке алмауға болатын кіші белсенді кедергісі ауыспалы токтың желісіне қосылған. Желі кернеуі $U = 22$ В тұрақты түрде әрдайым сақталынады. Жиіліктері 0, 25, 50 және 75 Гц кезіндегі шарғының x_L индуктивті кедергісін, тізбектегі I ток күшін, Q_L реактивті қуатын және, сонымен қатар, шарғының магниттік өрісінде сақталатын максималды энергияның W_{Lmax} есептеу графигін құрастыру. f жиілігінің 0-ден 75-ге дейін өзгеруі кезінде берілген шамалардың өзгеру сипатын анықтау.

9.16. Егер тізбектегі ток күші $I = 5$ А болса, индуктивтілік шарғысы кернеуі $u = 220\sqrt{\sin(314t + 30^\circ)}$ желісіне қосылған. Берілген кернеудің белсенді және реактивтік құрамдастарын және шарғының R және L параметрлерін анықтау.

9.17. Индуктивтілік шарғысының ауыспалы ток тізбегіне қосылуы кезінде вольтметр $U_1 = 12$ В кернеуді көрсетті. Сонда ток күші $I_1 = 4$ А болды. Ток күші $I_2 = 5$ А кезінде, жиілігі $f = 50$ Гц ауыспалы токтағы осы шарғысының жұмысы кезінде вольтметр $U_2 = 25$ В кернеуді көрсетті. Ауыспалы токта жұмыс істеу кезіндегі шарғының белсенді кедергісін, индуктивтілікті, белсенді, реактивті, толық қуаттарын және қуат коэффициентін анықтау.

9.18. Электр қозғалтқышы кернеуі $U_1 = 220$ В және жиілігі $f = 50$ Гц бар ауыспалы ток желісіне тікелей қосылған сөндіруші резистор R арқылы қосылады. Дәл осы қозғалтқыш тікелей, сөндіруші резисторсыз кернеуі $U_2 = 127$ В және дәл сондай $f = 50$ Гц жиілігі бар ауыспалы ток желісіне қосылады. Сонда, егер екі жағдайда да қозғалтқыш тогы бірдей болатын болса, қозғалтқыштың белсенді қуаты $P_d = 10$ Вт, ал $\cos \varphi_d = 0,9$ болады. Тізбек элементтерінің параметрлерін (сөндіруші резистор R кедергісін, R_d белсенді кедергіні және қозғалтқыш орамасының индуктивтілігін L_d) және тізбектегі ток пен оның учаскелеріндегі кернеулерді (резистор мен қозғалтқыш) табу. Желінің $U_1 = 220$ В кернеуі кезінде бүкіл тізбектің белсенді қуаты мен қуат коэффициентін анықтау.

9.19. Конденсатор арқылы тұрақты кернеу көзіне қосылған жарықтандыру шамы жанатынын анықтау.

9.20. Желінің жарамдылығын тексеру үшін ($U = 220$ В, $f = 50$ Гц) оған конденсатор C арқылы 70 В кернеу мен 50 Вт жиілікке көзделген жарықтандыру шамы қосылған. Конденсатордағы қандай сыйымдылық пен кернеудің мәндері кезінде шам жанудың номиналды режимі қамтамасыз етілетінін және сыйымдылықты қандай баламалық белсенді кедергісімен алмастыруға болатынын анықтау.

9.21. Синусоидалық кернеу жиілігінің f артуы кезінде, 9.6 а суретінде көрсетілген тізбектегі кернеу U_2 қалай өзгередінін анықтау (артады немесе қысқарады) және тізбектегі ауыспалы кедергісінің R_2 мақсатын түсіндіру.

9.22. Келесі жағдайларда 9.6 б суретінде көрсетілген тізбектегі құралдардың көрсеткіштері қалай өзгередінін анықтау (артады немесе қысқарады):

а) R кедергісінің қысқа тұйықталуы;

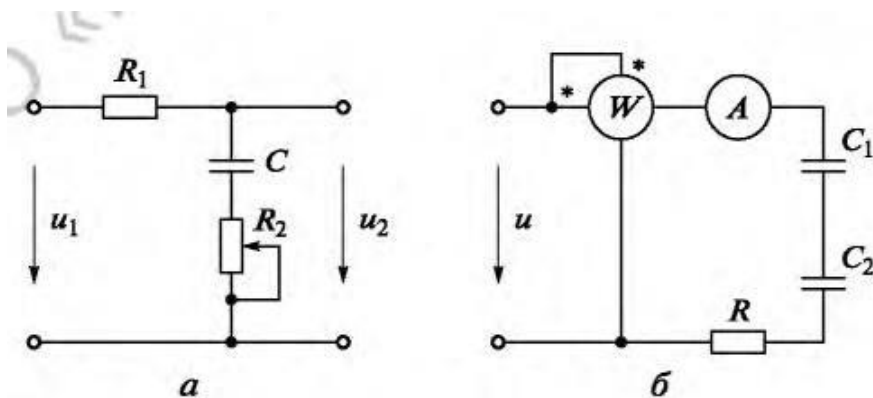
б) C_2 конденсаторының тесіп өтуі (тілімшелердің қысқа тұйықталуы);

в) қуат көзі кернеуі жиілігінің артуы.

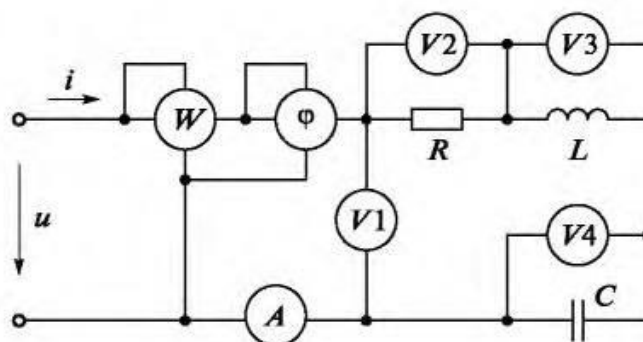
Өлшеу құралдары қуатын тұтынуды жаратпау.

9.23. Егер негіз ретінде векторы қабылданған болса, 9.4 суретінде көрсетілген тізбектің векторлық диаграммасын құрастыру. Осы жағдайда жалпы кернеудің ψ_U бастапқы фазасы неге тең болатынын анықтау.

9.24. $U = 220$ В, $f = 50$ Гц қуат көзіне белсенді кедергісі $R = 100$ Ом, ал индуктивтілігі $L = 70$ мГн және сыйымдылығы $C = 150$ мкФ бар конденсаторы бар тізбектей қосылған индуктивтілік шарғысының тізбегі қосылған. Тізбектегі токты, элементтердегі кернеуді, белсенді, реактивті және толық қуаттарын, оған қоса, тізбектің қуат коэффициентін анықтау.



Сурет 9.6. 9.21 (а) және 9.22 (б) есептеріне келтірілген электр тізбектерінің схемалары



Сурет 9.7. Қосылған электрөлшеу аспаптары бар тармақталмаған RLC-тізбегінің схемасы

9.25. Белсенді кедергі, индуктивтілік және сыйымдылықтан тұратын тізбек учаскесінің шықпасында кернеу $U = 50$ В. Тізбектегі ток $I = 2$ А, қоректендіруші желі жиілігі $f = 400$ Гц, ал сыйымдылықтағы кернеу $U_C = 70$ В. Егер қуат коэффициенті $\cos \varphi = 0,7$ болса, тізбектің белсенді кедергісін, сыйымдылықпен екі болуы ықтимал тізбек индуктивтілігін анықтау.

9.26. 9.7 суретінде келтірілген тізбекте амперметр А мен вольтметр $V_2...V_4$ келесі көрсеткіштерге ие болады: $I = 0,5$ А; $U_2 = 45$ В; $U_3 = 120$ В; $U_4 = 60$ В. Егер қуат кернеуінің бұрыштық жиілігі $\varphi = 1\ 000$ рад/с болса, вольтметр V_1 (кернеу U_1) көрсеткішін және тізбек параметрлерін анықтау.

9.27. 9.7 суретінде келтірілген тізбекте вольтметрлердің келесі көрсеткіштері белгілі: $V_1 - 200$ В; $V_3 - 60$ В; $V_4 - 220$ В. V_2 вольтметрінің көрсеткіштері мен фазометр көрсеткіштерін анықтау.

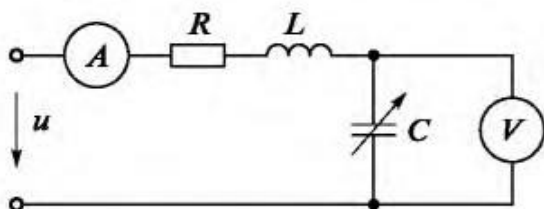
9.28. 9.7 суретінде келтірілген кезекті тізбекте индуктивтілікті өзгеру арқылы резонанс орналастырылған. Тізбекке қосылған қандай құралдар резонанс режимін тіркеуге мүмкіндік беретінін белгілеу.

9.29. 9.7 суретінде келтірілген тізбек кедергісі оның барлық элементтеріндегі кернеу бірдей болу үшін қандай қатынаста болуы тиіс екендігін анықтау.

9.30. Кезекті RLC-тізбегінің кернеуі оның шықпаларындағы кернеуден 2 есе

көп болатын индуктивтілік пен сыйымдылық шарттарын анықтау.

9.31. 9.7 суретінде келтірілген тізбекте амперметр 0,2 А көрсетеді. $V_2...V_4$ вольтметрлерінің көрсеткіштері сәйкесінше 220, 170 және 170 В. Егер қуат кернеуінің жиілігі $f = 50$ Гц болса, тізбек параметрлерін және вольтметр V_1 , ваттметр W және фазометр φ көрсеткіштерін анықтау.



Сурет 9.8. Ауыспалы сыйымдылығы бар тармақталмаған RLC-тізбегінің схемасы

9.32. Индуктивтілік шарғы параметрлерін анықтау үшін онымен кезекті түрде мүлтіксіз реттеуші конденсатор қосылған. Пайда болған тізбекті (сурет 9.8) кернеуі 10 В және жиілігі 50 Гц желіге қосты. $C = 4$ мкФ кезінде сыйымдылықты өзгере отырып, резонансты амперметрдің максималды көрсеткішін тіркеу арқылы кернеулер резонансына қол жеткізілді. Сонда конденсатордағы кернеу 150 В тең болды. Шарғы параметрлерін (R және L), резонанстық ток пен контур сапалылығын анықтау.

9.33. Тармақталмаған RLC-тізбегінде индуктивтілік шарғысы ($L = 30$ мкГн, $R = 10$ Ом) және энергия жоғалтымдары есепке алынбайтын конденсатор ($C = 3000$ пФ) синусоидалық кернеуі $U = 5,3$ В бар генератордан қуат алады. Ал оның жиілігі 200-700 кГц диапазонында өзгереді. Конденсатор мен шарғыдағы жиілік, ток, кернеудің резонанстық мәндерін және, сонымен қатар, конденсатор мен қуат көзіндегі кернеулердің қатынасын анықтау, яғни кернеудің күшейту коэффициентін k_U немесе контур сапалылығын Q .

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕРДІҢ ЖАУАПТАРЫ

9.5. 0,02 с; 314 рад/с.

9.6. Бола алады; мысалы, бастапқы фаза 60° 300° бұрышымен көрсетілуі мүмкін.

9.7. 5 мс.

9.8. а) векторлық диаграмма 9.9 а суретінде келтірілген; лездік мәндер теңдігі: $e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + 30^\circ)$, $e_2 = E_{2m} \sin(\omega t - 60^\circ)$;

б) екі жағдай болуы мүмкін: 9.9 б суретінде келтірілген векторлық диаграмма; лездік мәндер теңдігі: $e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + 90^\circ)$, $e_2 = E_{2m} \sin \omega t$;

9.9, в суретінде келтірілген векторлық диаграмма; лездік мәндер теңдігі: $e_1 = E_{1m} \sin(\omega t - 90^\circ)$, $e_2 = E_{2m} \sin(\omega t \pm 180^\circ)$.

9.9. $i_1 = 5 \sin 314t$; $i_2 = 5 \sin(314t + 120^\circ)$; $i_3 = 5 \sin(314t - 120^\circ)$; $i = i_1 + i_2 + i_3 = 0$.

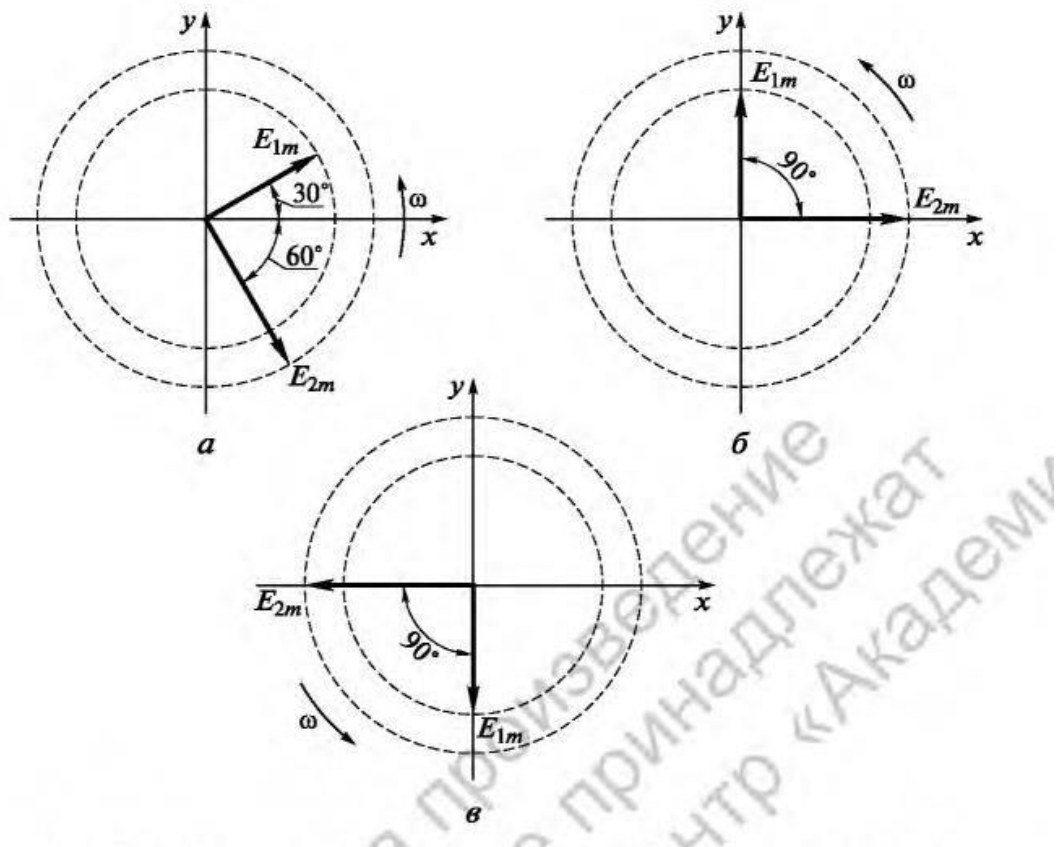
9.10. $u_1 = 30 \sin 314t$; $u_2 = 40 \sin(314t + 90^\circ)$; $u_3 = 50 \sin(314t + 53^\circ)$.

9.11. $i_3 = 4,4 \sin(\omega t + 53^\circ)$; $i_4 = 2,6 \sin(\omega t + 169^\circ)$; $i_5 = 2,6 \sin(\omega t - 11^\circ)$.

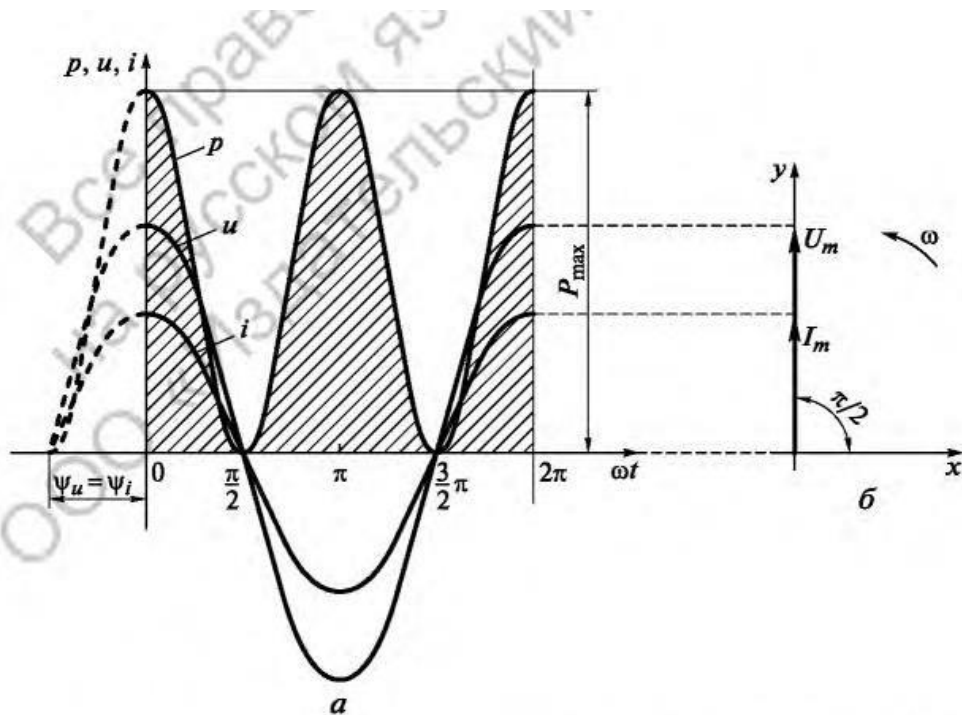
9.12. $i = 2,82 \sin(314t - 60^\circ)$; $u = 282 \sin(314t - 60^\circ)$; 400 Вт;

9.13. $i = 4,55\sqrt{\sin(314t + \pi/2)}$; $R = 48,35 \text{ Ом}$; $4,55 \text{ А}$.

9.14. 9.10 а, б суреті; 2 кВт; 0; 2 кВт; 1 кВт.



Сурет 9.9. 9.8 есебіне келтірілген векторлық диаграммалардың варианттары (а...в)



Сурет 9.10. 9.14 есебіне келтірілген толқындық (а) және векторлық (б) диаграммалар

9.15. Есептеу кестесі:

$f, \text{Гц}$	0	25	50	75
$x_L, \text{Ом}$	0	2,67	5,34	8,00
$I, \text{А}$	∞	8,24	4,12	2,75
$Q_L, \text{вар}$	∞	181,28	90,64	60,50
$W_{L \max}, \text{Дж}$	∞	1,15	0,29	0,13

f жиілігінің өсуімен x_L шамасы жиілікке тура пропорционалды түрде ұлғаяды, ал I , Q_L және $W_{L \max}$ шамалары гиперболалық заңы бойынша төмендейді.

9.16. 190,5 В; 110 В; 38,1 Ом; 70 мГн.

9.17. 3 Ом; 12,75 мГн; 75 Вт; 100 вар; 125 В · А; 0,6.

9.18. $R = 1127 \text{ Ом}$; $R_d = 1306 \text{ Ом}$; $L_d = 2 \text{ Гн}$; $I = 87,5 \text{ мА}$; $U_R = 98,6 \text{ В}$; $U_d = 127 \text{ В}$; $P = 18,6 \text{ Вт}$; $\cos \varphi = 0,97$.

9.19. Жоқ, себебі $f = 0$ кезінде кедергі $x_C = 1/(2\pi fC) = \infty$ (тізбектің үзілуі).

9.20. 11 мкФ; 209 В; 210 Ом.

9.21. Төмендейді; R_2 кедергісі u_1 кернеу жиілігінің өзгеруі кезінде U_2 кернеуін реттеу үшін қолданылады.

9.22. а) ваттметр көрсеткіші нөлге дейін төмендейді; амперметр көрсеткіші артады; б) және в) екі құрал көрсеткіштері артады.

9.23. 9.11 суреті: бұрыш $\psi_U = 90^\circ + \varphi$, мұндағы φ - және векторларының арасындағы фазалардың ығысу бұрышы; $\varphi = \arctg((x_{L1} + x_{L2} - x_{C1} - x_{C2})/(R_1 + R_2 + R_3))$.

9.24. 2,2 А; 220 В; 48,4 В; 46,7 В; 484 Вт; 3,7 вар; 484 В · А; 1.

9.25. 17,5 Ом; 11,4 мкФ; 21 мГн; 6,8 мГн.

9.26. 75 В; 90 Ом; 0,24 Гн; 8,33 мкФ.

9.27. 120 В; $-53^\circ 8'$.

9.28. Резонанс режимін амперметр, вольтметр (максималды көрсеткіштерді) және, сонымен бірге, фазометр (нөлдік көрсеткішті) тіркеп алады.

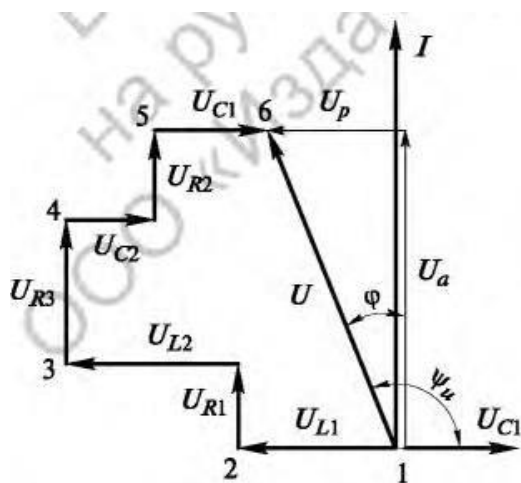
9.29. $R = x_L = x_C$ кезінде тізбек учаскелеріндегі кернеу бірдей болады да, желі кернеуіне тең: $U_2 = U_3 = U_4 = U_1$, яғни $I_p R = I_p x_L = I_p x_C = U_1$, мұндағы I_p - резонанс режиміндегі ток мәні.

9.30. $x_L = x_C = 2R$.

9.31. 1,1 кОм; 2,7 Гн; 3,74 мкФ; 220 В; 44 В; 0.

9.32. 53,1 Ом; 2,54 Гн; 0,188 А; 15.

9.33. 530,5 кГц; 0,53 А; 53 В; 53,3 В; 10.



Сурет 9.11. 9.23 есебіне келтірілген векторлық диаграмма

АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ТАРМАҚТАЛҒАН ТІЗБЕКТЕРІ

10.1. Тармақталған RLC-тізбектің жалпы жағдайы

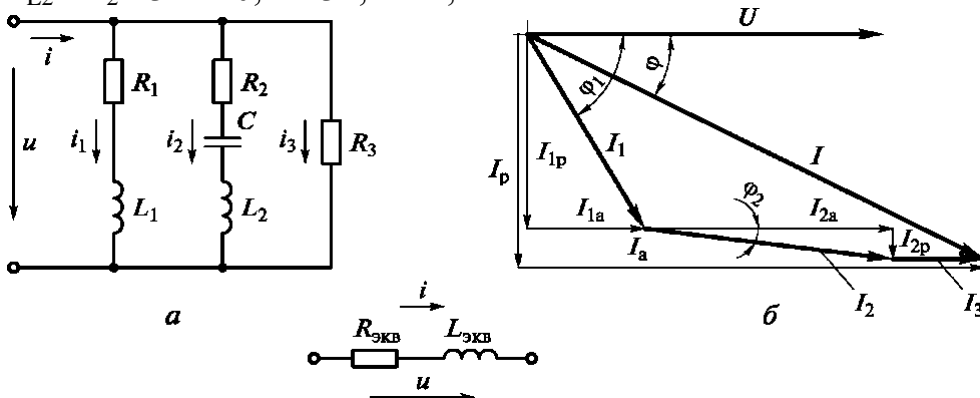
10.1 есеп. 10.1 а суретінде ұсынылған электр тізбегі үшін токтарды, қуаттарды анықтап, және векторлық диаграммасын сызыңыз. Желінің кернеуі $u = 311 \sin 314 t$. Тізбектің параметрлері: $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 170 \text{ Ом}$, $R_3 = 500 \text{ Ом}$, $L_1 = 0,5 \text{ Гн}$, $L_2 = 0,1 \text{ Гн}$, $C = 250 \text{ мкФ}$.

Тізбек токтарының лездік мәндерінің теңдеулерін құрыңыз. Оның толық кедергісін және қуат коэффициентін анықтаңыз. Берілген тізбекті алмастыруға болатын эквивалентті тармақталмаған тізбектің параметрлерін есептеңіз.

Шешімі. 1. Тізбектің тармақтарындағы токтарды анықтау. Тармақтардың реактивті кедергілерін табамыз:

$$x_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 0,5 = 157 \text{ Ом};$$

$$x_{L2} = \omega L_2 = 314 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ Ом};$$



10.1.-сурет. Тармақталған айнымалы тоқтың RLC-тізбегінің электрлік схемасы (а), оның векторлық диаграммасы (б) және тармақталмаған эквивалентті тізбектің схемасы (в)

$$x_C = 1/(\omega C) = 1/314/250 \cdot 10^6 = 12,739 \text{ Ом}.$$

Тармақтардың толық кедергілерін анықтаймыз:

$$z_1 = \sqrt{R_1^2 + x_{L1}^2} = \sqrt{100^2 + 157^2} = 186,142 \text{ Ом};$$

$$z_2 = \sqrt{R_2^2 + (x_{L2} - x_C)^2} = \sqrt{170^2 + (31,4 - 12,739)^2} = 171,021 \text{ Ом}.$$

Кернеудің белсенді мәні

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{311}{\sqrt{2}} = 219,91 \text{ В}.$$

Тізбектің тармақтарындағы токтардың әрекеттік мәндерін Ом заңына сәйкес

анықтаймыз

$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{219,91}{186,142} = 1,181 \text{ A};$$

$$I_2 = \frac{U}{z_2} = \frac{219,91}{171,021} = 1,286 \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{219,91}{500} = 0,44 \text{ A}.$$

Тізбектің жалпы тогын анықтау. Тармақтардың белсенді өткізгіштіктерін табамыз:

$$g_1 = \frac{R_1}{z_1^2} = \frac{100}{186,142^2} = 0,0029 \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{R_2}{z_2^2} = \frac{170}{171,021^2} = 0,0058 \text{ См};$$

$$g_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500} = 0,002 \text{ См}.$$

Тізбектің жалпы белсенді өткізгіштігі

$$g = g_1 + g_2 + g_3 = 0,0029 + 0,0058 + 0,002 = 0,0107 \text{ См}.$$

Тармақтардың реактивті өткізгіштіктерін анықтаймыз:

$$b_{L1} = \frac{x_{L1}}{z_1^2} = \frac{157}{186,142^2} = 0,0045 \text{ См};$$

$$b_{L2} = \frac{x_{L2}}{z_2^2} = \frac{31,4}{171,021^2} = 0,0011 \text{ См};$$

$$b_C = \frac{x_C}{z_2^2} = \frac{12,739}{171,021^2} = 0,0004 \text{ См}.$$

Тізбектің жалпы индуктивтік өткізгіштігі

$$b_L = b_{L1} + b_{L2} = 0,0045 + 0,0011 = 0,0056 \text{ См}.$$

Тізбектің жалпы реактивті өткізгіштігі

$$b = b_L - b_C = 0,0056 - 0,0004 = 0,0052 \text{ См}.$$

Тізбектің толық өткізгіштігі

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0,0107^2 + 0,0052^2} = 0,0119 \text{ См}.$$

Тізбектің тармақталмаған бөлігіндегі ток

$$I = Uy = 219,91 \cdot 0,0119 = 2,613 \text{ А.}$$

3. Тізбектің белсенді (P), реактивті (Q) және толық (S) қуаттары. Есептелген кернеудің U және өткізгіштіктердің мәндері бойынша (g, b, y) қуатты табамыз:

$$P = U^2 g = 219,91^2 \cdot 0,0107 = 517 \text{ Вт};$$

$$Q = U^2 b = 219,91^2 \cdot 0,0052 = 250 \text{ вар};$$

$$S = U^2 y = 219,91^2 \cdot 0,0119 = 575 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

4. Тізбектің векторлық диаграммасын тұрғызу. 10.1 суретінде берілген а тізбегі - барлық тармақтары үшін желінің кернеуіне тең ұштарында жалпы кернеуімен (кірудегі кернеу) бірнеше тармақтардың параллель жалғануы. Осы жалпы шамадан оны негіз деп алып, векторлық диаграммасын сызуды бастаған жөн. (10.1, б-сурет). Есептің шарты бойынша, желінің кернеуінің бастапқы фазасы $\psi_U = 0$ болса, онда кернеу векторын таңдалған масштабтың абсцисса осінің бойымен оң бағытта салынады.

Ток векторы, кернеу векторынан φ_1 -бұрышына қалыс қалады, осылайша сол жақ тармағы белсенді-индуктивтік сипатта болады. Ортаңғы тармағы да сол сипатта, және, демек, векторы кернеуден φ_2 бұрышына қалыс қалады. Оң жақ тармағы белсенді сипатта, және вектор фаза бойымен векторымен сәйкес келеді. Фазалардың ығысу бұрышы $\varphi_3 = 0$. Тізбектің жалпы индуктивтік өткізгіштігі сыйымдылық өткізгіштігінен ($b_L = b_{L1} + b_{L2} > b_C$) көп болғандықтан, бүкіл берілген тізбек те белсенді-индуктивтік сипатында болады, және жалпы токтың векторы векторынан φ -бұрышына қалыс қалады.

Кірудегі кернеудің және тізбектің , , токтары арасындағы фазалардың ығысу бұрыштары тиісінше тең:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{b_{L1}}{g_1} = \arctg \frac{0,0045}{0,0029} = \arctg 1,57 = 57^\circ 30';$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{b_{L2} - b_C}{g_2} = \arctg \frac{0,0011 - 0,0004}{0,0058} = \arctg 0,12 = 6^\circ 18'; \quad \varphi_3 = 0;$$

$$\varphi = \arctg \frac{b}{g} = \arctg \frac{0,0052}{0,0107} = \arctg 0,483 = 25^\circ 48'.$$

Ток бойынша масштаб таңдаймыз және кернеу векторларына қатысты фазалардың ығысу бұрыштарына токтар векторларын саламыз, φ_1, φ_2 және φ бұрыштарды сағат тілінің бағытымен саламыз, себебі I_1 және I_2 векторлары U кернеуі векторынан қалыс қалады.

Таңдалған масштабта сызылған токтар векторларын геометриялық қосып (мысалы, көпбұрыш ережесі бойынша, 10.1, б-суретінде

көрсетілгендей), келесідей векторлық формасында Кирхгофтың бірінші заңының әділдігіне көз жеткізуге болады:

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

Сызылған векторлар жиынтығы тізбектің векторлық диаграммасы болып табылады. Тиісті токтардың құраушылары — белсенді I_a , I_{1a} , I_{2a} (бағыты бойынша кернеу векторымен сәйкес келеді) және реактивті I_p , I_{1p} , I_{2p} (кернеу векторына 90° бұрышта бағытталған), кернеудің U тиісті өткізгіштігімен көбейтіндісі ретінде анықталатын (мысалы, $I_{1a} = U g_1$; $I_{1p} = U b_{L1}$ және т.б.), токтар векторларын сызуға пайдалануға болады.

Токтардың лездік мәндерінің теңдеулерін құру. Синусоидалы шаманың лездік мәнінің теңдеуін құру үшін оның амплитудасын, бұрыштық жиілікті және бастапқы фазасын білу қажет.

Тізбектің токтарының амплитудасын табамыз:

$$I_{1m} = \sqrt{2} I_1 = \sqrt{2} \cdot 1,181 = 1,671 \text{ A};$$

$$I_{2m} = \sqrt{2} I_2 = \sqrt{2} \cdot 1,286 = 1,818 \text{ A};$$

$$I_{3m} = \sqrt{2} I_3 = \sqrt{2} \cdot 0,44 = 0,622 \text{ A};$$

$$I = \sqrt{2} I = \sqrt{2} \cdot 2,613 = 3,7 \text{ A}.$$

Тізбектің бұрыштық жиілігі желі кернеуінің бұрыштық жиілігіне тең: $= 314 \text{ рад/с}$.

Тізбектің токтарының бастапқы фазаларын анықтаймыз:

$$\psi_{I1} = \psi_U - \varphi_1 = 0 - 57,5^\circ = -57^\circ 30';$$

$$\psi_{I2} = \psi_U - \varphi_2 = 0 - 6^\circ 18' = -6^\circ 18';$$

$$\psi_{I3} = \psi_U - \varphi_3 = 0;$$

$$\psi_I = \psi_U - \varphi = 0 - 25^\circ 48' = -25^\circ 48'.$$

Тізбектің токтарының лездік мәндерінің теңдеулерін жазамыз:

$$i_1 = I_{1m} \sin(314t + \psi_{I1}) = 1,67 \sin(314t - 57^\circ 30');$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(314t + \psi_{I2}) = 1,82 \sin(314t - 6^\circ 18');$$

$$i_3 = I_{3m} \sin(314t + \psi_{I3}) = 0,622 \sin 314t;$$

$$i = I_m \sin(314t + \psi_I) = 3,7 \sin(314t - 25^\circ 48').$$

6. Толық кедергісін және тізбектің қуатының коэффициентін анықтау. Көрсетілген шамаларды келесідей табамыз:

$$z = \frac{1}{y} = \frac{1}{0,0119} = 84,2 \text{ Ом};$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{517}{575} = 0,9.$$

Қуат коэффициенті бірге жақын. Демек, тізбектің барлық қуаты энергияның басқа түріне қайтымсыз өзгереді, мысалы, жылуға.

Эквиваленттік тармақталмаған тізбектің параметрлерін анықтау. Берілген тізбек осындай тармақталмаған тізбегіне эквивалентті, яғни, желінің кернеуі бірдей болғанда, тізбектерді тұтынатын қуаттары да бірдей болады. Бұл ретте толық қуаттардың теңділігінен S тізбектердің I жалпы токтарының және олардың толық кедергілерінің Z теңдігі туындайды.

Белсенді қуаттардың теңдігінен $P = U^2 g = I^2 R_{\text{ЭКВ}}$ туындайды, яғни, эквивалентті тармақталмаған тізбектің белсенді кедергісі

$$R_{\text{ЭКВ}} = U^2 g / I^2 = gz^2 = 0,0107 \cdot 84,2^2 = 75,8 \text{ Ом.}$$

Реактивтік қуаттардың теңдігінен $Q = U^2 b = I^2 x_{\text{ЭКВ}}$ туындайды, яғни, эквиваленттік тармақталмаған тізбектің реактивтік кедергісі

$$x_{\text{ЭКВ}} = U^2 b / I^2 = bz^2 = 0,0052 \cdot 84,22 = 36,6 \text{ Ом.}$$

Реактивтік кедергісі индуктивтік сипатта, сондықтан $x_{\text{ЭКВ}} = L_{\text{ЭКВ}}$, сонымен эквиваленттікиндуктивтілігі

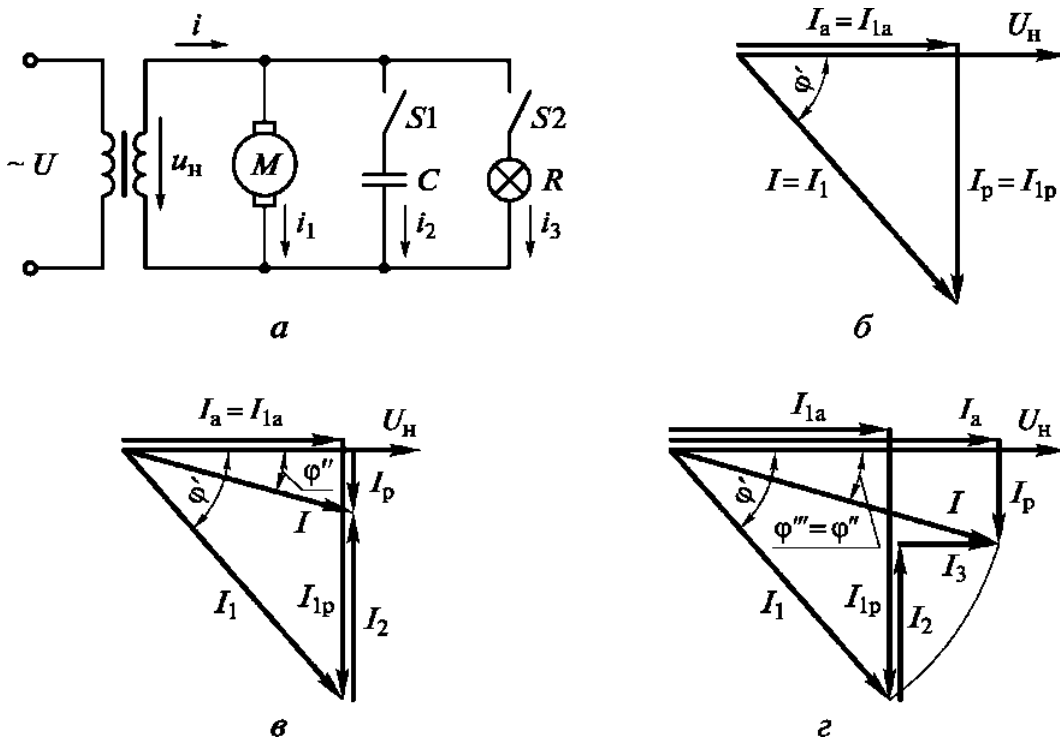
$$L_{\text{ЭКВ}} = \frac{x_{\text{ЭКВ}}}{\omega} = \frac{36,6 \cdot 1000}{314} = 117 \text{ мГн.}$$

Берілген тізбектің белсенді кедергінің және индуктивтіліктің тізбекті жалғануының орын басу схемасы 10.1, в суретінде көрсетілген.

10.2. Қуат коэффициентінің жақсаруы

10.2 есеп. Номиналды қуаты $S_n = 200 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ және номиналды кернеуі $U_n = 220 \text{ В}$ трансформаторға электр қозғалтқыштар тобы қосылған (10.2 а сурет), олардың жалпы белсенді қуаты $P_1 = 140 \text{ кВт}$.

Қоректендіру жиілігі $= 50 \text{ Гц}$ болуымен трансформатордың жүктеу қуатын және жалпы токты (жүктеме) анықтаңыз, егер тізбектің қуат коэффициенті $\cos \varphi' = 0,7$ болатын болса. Жүктеменің белсенді-индуктивтік сипатын сақтауымен тізбектің қуат коэффициенті $\cos \varphi'' = 0,95$ дейін көбеюі үшін трансформаторға қосылуы тиіс конденсаторлардың (өте аз белсенді кедергісі бар) батареясының сыйымдылығын және қуатын табыңыз. Бұл ретте жүктеудің сыйымдығын және трансформатордың жүктемесін анықтаңыз. Тізбектің қуат коэффициентін ($\cos \varphi''' = \cos \varphi'' = 0,95$) сақтауға қажетті конденсатордың сыйымдығын және қуатын және трансформатордың толық жүктелуін қамтамасыз ететін, сондай-ақ, осы қосымша жүктеменің қуатын оған трансформаторды тізбекті жалғау кезіндегі жүктеменің сипатын (мысалы, жарықтандыру) анықтау қажет.



10.2 сурет. 10.2 есебіне электрлік тізбегі:

а — тізбектің схемасы; б — ажыратылған ажыратқыштарының векторлық диаграммасы S1 және S2; в — ажыратылған ажыратқышының векторлық диаграммасы S2; г — ұйықталған ажыратқышының векторлық диаграммасы

Шешімі. 1. Трансформатордың электр қозғалтқыштар тобына жұмысы. 10.2,а-суретіндегі ажыратылған ажыратқыштарындағы S1 және S2 трансформатордың жүктеуінің қуаты

$$S' = \frac{P_1}{\cos \phi'} = \frac{140}{0.7} = 200 \text{ кВ} \cdot \text{А}; \quad S' = S_H.$$

Қарастырылып отырған жағдайда трансформатор орнатылған номиналды қуатына S_H дейін толықтай жүктелген.

Трансформатордың жүктемесінің жалпы тогы трансформатордың I_H номиналды тогына тең:

$$I = I_1 = S_H / U_H = I_H = 200\,000 / 220 = 909,1 \text{ А}.$$

I және I_1 токтарының белсенді және реактивті құраушыларын табамыз

$$I_a = I_{1a} = I_1 \cos \phi' = 909,1 \cdot 0,7 = 636,4 \text{ А};$$

$$\phi' = \arccos 0,7 = 45^\circ 36';$$

$$I_p = I_{1p} = I_1 \sin \phi' = 909,1 \cdot \sin 45^\circ 36' = 649,2 \text{ А}.$$

10.2 б суретінде тізбектің қарастырылып отырған жағдайы үшін векторлық диаграммасы келтірілген. Бұл жерде векторлық диаграммасының негізі ретінде кернеу векторы алынған. Электр қозғалтқыштары белсенді-индуктивтік жүктемесін туындатады, онда ток векторы $\vec{I} = \vec{U}_H$ векторы $\phi' =$

45°36' бұрышына қалыс қалады.

Қарастырылып отырған электр қозғалқыштардың қосу схемасының кемшілігі бар: ол реактивті токтың үлкен мәнімен сипатталады (электр қозғалтқыштардың индуктивтіліктің магнитті өрісімен және желі арасындағы энергия алмасуын жүзеге асырушы) және, демек, сымдардың қызуына кететін энергиялардың үлкен жоғалтуларымен, ал бұл тиімсіз.

2. Қуат коэффициентін конденсаторлардың көмегімен 0,95 дейін көтеруге. Бұл жағдайда 10.2, а суретінде S1 ажыратқышы тұйықталған, ал S2 – ажыратылған. Егер қозғалтқыштар тобына параллельді конденсаторлар батареясы қосылатын болса (тізбектің қуат коэффициенті көтеріледі), трансформатордың жүктеу және жүктеме қуаты (тізбектің жалпы тогы) төмендейтіндігіне көз жеткіземіз.

Қарастырылып отырған жағдайындағы тізбектің белсенді қуаты электр қозғалтқыштардың белсенді қуатына тең ($P = P_1$) болады, онда трансформатордың жүктеу қуаты:

$$S'' = \frac{P}{\cos \varphi''} = \frac{140}{0,95} = 147,368 \text{ кВ} \cdot \text{А}; S'' < S_H = 200 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Әлбетте, трансформатордың номиналды қуаты (анықталған) толықтай пайдаланылмайды, бұл жабдықтың тиімсіз пайдалануын білдіреді.

Трансформатордың жүктемесінің жалпы тогы (жүктемесі)

$$I = S'' / U_H = 147368 / 220 = 669,9 \text{ А}; I < I_H = 909,1 \text{ А}.$$

Тармақтардағы электр қозғалтқыштарымен ток I_1 және тармақтың қуат коэффициенті $\cos \varphi'$, демек, қарастырылып отырған тізбектің белсенді I_{1a} және реактивті I_{1p} ток құраушылары өзгермейді, себебі, тармақтың ұштарындағы кернеулері U_H , сондай-ақ, тармақтың мәні және сипаты өзгеріссіз қалады:

$$I_1 = 909,1 \text{ А}; \cos \varphi' = 0,7; I_{1a} = 636,4 \text{ А}; I_{1p} = 649,2 \text{ А}.$$

Қарастырылып отырған жағдайы үшін тізбектің векторлық диаграммасы 10.2 в суретінде көрсетілген. Векторлық диаграмманың негізі болып осы жерде, алдыңғы жағдайдағы сияқты кернеу векторы қабылданған. Токтың векторы векторынан $\varphi' = \arccos 0,7 = 45^\circ 36'$ бұрышына қалыс қалып қояды. Конденсаторлардың батареясының ток векторы (есептің шарты бойынша іс жүзінде идеалды сыйымдыққа ие) векторын 90° бұрышқа озық және p векторына қарама-қарсы бағытта болады.

Жалпы токтың векторы Кирхгофтың бірінші заңына сай параллель тармақтардың векторларының геометриялық қосындысына тең: $I = I_1 + I_2$. Бұл ретте берілген қуаттың коэффициентін $\cos \varphi'' = 0,95$ екі жағдайда алуға болады, яғни:

а) $I_2 > I_{1p}$. Мұнда тізбек белсенді-ауқымды сипатында болады, ал бұл есептің шартына сәйкес келмейді;

б) $I_2 < I_{1p}$. Мұнда тізбек белсенді-индуктивтік сипатында болады, бұл есептің шартына сәйкес келеді.

$I_2 < I_{1p}$. болғанда жалпы токтың векторы векторынан $\varphi'' = \arccos 0,95 =$

18°12' бұрышына қалыс қалады.

Конденсаторлардың батареяларының белсенді кедергісін елемейтіндіктен, тізбектің белсенді өткізгіштігі g бірінші тармақтың g_1 белсенді өткізгіштігіне тең болып қала береді, демек, тізбектің жалпы тогының белсенді құраушысы:

$$I_a = Ug = Ug_1 = I_{1a} = 636,4 \text{ А.}$$

Тізбектің жалпы тогының реактивті құраушысы

$$I_p = I \sin \varphi'' = 669,9 \sin 18^\circ 12' = 209,2 \text{ А.}$$

Қарастырылып отырған тізбек реактивті токтың азаюымен сипатталады және тиісінше сымдардың қызуына кететін энергия жоғалтулары бірінші тізбекпен салыстырғанда $I_{1p}/I_p = 649,2/209,2 = 3,1$ есе.

10.2 в суреттегі векторлық диаграммасына сай қуаттың коэффициентін 0,95 дейін көтеретін конденсаторлардың батареясының жалпы тогы,

$$I_2 = I_{1p} - I_p = 649,2 - 209,2 = 440 \text{ А.}$$

Конденсаторлардың батареясының сыйымдығы

$$C = \frac{I_2}{2\pi f U_H} = \frac{440}{2\pi \cdot 50 \cdot 220} = 6367 \text{ мкФ.}$$

Конденсаторлардың батареясының қуаты

$$Q_C = U_H I_2 = 220 \cdot 440 \cdot 10^{-3} = 96,81 \text{ квар.}$$

3. Трансформатордың толық жүктелуін қамтамасыз ететін қосымша белсенді жүктемені қосу. Бұл жағдайда 10.2 а суреттегі S1 және S2 ажыратқыштар тұйықталған. Трансформатордың реактивті токтың бөлігінен және тиісінше конденсаторлардың батареясына қосылу есебінен реактивті (айырбас) қуаттың бөлігінен босауы трансформатордың толық жүктелуін (жүктеу қуаты $S''' = S_H$) және оның жұмысының номиналды режимін қамтамасыз еткенге дейін оған қосымша, мысалы, жарықтандырғыш жүктемесін қосуға мүмкіндік береді. Олай болса, тізбектің жалпы тогы $I \cos \varphi''' = \cos \varphi'' = 0,95$ болуымен I_H номиналды тогына тең болуы тиіс:

$$I = S''' / U_H = S_H / U_H = I_H = 200000 / 220 = 909,1 \text{ А.}$$

Қарастырылып отырған жағдайына 10.2 г суретіндегі векторлық диаграммасы сәйкес келеді, бұл арқылы I жалпы токтың белсенді және реактивті құраушыларын жеңіл анықтауға болады:

$$I_a = I \cos \varphi'' = 909,1 \cdot 0,95 = 863,6 \text{ А;}$$

$$I_p = I \sin \varphi'' = 909,1 \sin 18^\circ 12' = 283,9 \text{ А.}$$

Бұл ретте конденсаторлардың батареясының жалпы тогы

$$I_2 = I_{1p} - I_p = 649,2 - 283,9 = 365,3 \text{ А.}$$

Конденсаторлардың батареясының сыйымдығы

$$C = \frac{I_2}{2\pi f U_H} = \frac{365,3 \cdot 10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 220} = 5286 \text{ мкФ.}$$

Конденсаторлардың батареясының қуаты

$$Q_C = U_H I_2 = 220 \cdot 365,3 \cdot 10^{-3} = 80,4 \text{ квар.}$$

Қосымша жарықтандыру жүктемесінің белсенді тогы (10.2, г-суретін қараңыз)

$$I_3 = I_a - I_{1a} = I \cos \varphi'' - I \cos \varphi' = 909,1 (0,95 - 0,7) = 227,3 \text{ А.}$$

Жарықтандыру жүктемесінің қуаты

$$P_3 = U_H I_3 = 220 \cdot 227,3 \cdot 10^{-3} = 50 \text{ кВт.}$$

P3 қуатты басқа тәсілмен де анықтауға болады, яғни:

$$P_3 = S''' \cos \varphi''' - P_1 = 200 \cdot 0,95 - 140 = 50 \text{ кВт.}$$

10.3. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

10.3. Индуктивтік шарғысы (параметрлері: $R_K = 150 \text{ Ом}$ және $L_K = 0,5 \text{ Гн}$) және кедергісі $R = 200 \text{ Ом}$ болатын оған параллель жалғанған резисторы кернеуі $u = 100 \sin 314$ айнымалы токтың көзінен қоректенеді. Тармақтар тогын, көздің тогын, кернеудің және көз тогының арасындағы фазалардың ығысу бұрышын және тізбектің толық кедергісін есептеңіз.

10.4 Жиілігі 50 Гц айнымалы токтың көзіне екі тармақ жалғанған: біріншісінде белсенді кедергісі $R = 70 \text{ Ом}$ және индуктивтілік L бар, ал екіншісінде — тек қана сыйымдық C . Бірінші тармақтың қуат коэффициенті - $0,57$, ал бүкіл тізбектің - $0,92$. L және C анықтаңыз.

10.5 220 В кернеуде және 400 Гц жиілікте жұмыс істейтін қозғалтқыштың белсенді қуаты 150 кВт құрайды. Оның шығуларына сыйымдығы 500 мкФ болатын конденсатор жалғанған. Мұнда тізбектің қуат коэффициенті $0,87$ дейін көтерілген. Қозғалтқыштың оған конденсатор жалғанға дейінгі қуатының коэффициентін анықтаңыз.

10.6 Кернеуі $U = 220 \text{ В}$ және жиілігі $f = 50 \text{ Гц}$ айнымалы токтың тізбегінің учаскесі индуктивтік шарғысының ($R = 10 \text{ Ом}$ және $L = 30 \text{ мГн}$) және сыйымдығы $C = 70 \text{ мкФ}$ идеалды конденсаторының параллельді жалғануы. Жалпы токты, тармақтардағы токты, шарғының, конденсатордың және бүкіл тізбектің белсенді, реактивті және толық қуатын анықтаңыз.

10.7 **10.6**-есемінің шарттарының берілгендері бойынша f_p резонанстық жиілікті анықтаңыз.

10.8 Үш параллель жалғанған тармақтарынан тұратын электр тізбегі $u = 310 \sin 314t$ кернеуге қосылған. Тізбектің бірінші тармағы параметрлері $R_1 = 170 \text{ Ом}$ және $L_1 = 0,5 \text{ Гн}$ индуктивтілік шарғысынан тұрады, екіншісі - индуктивтік шарғының ($R_2 = 130 \text{ Ом}$ және $L_2 = 0,1 \text{ Гн}$) және конденсатордың ($C = 60 \text{ мкФ}$) тізбекті жалғануы, ал үшінші тармақ - кедергісі $R_3 = 200 \text{ Ом}$ резистордан тұрады. I_1, I_2, I_3, I токтарды, олардың белсенді және реактивті құраушыларын $I_{1a}, I_{2a}, I_{3a}, I_a, I_{1p}, I_{2p}, I_{3p}, I_p$ және тізбектің P, Q, S қуаттарын анықтаңыз. Тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

10.9 **10.8** есемінің берілгендері бойынша тармақтардағы токтардың және тізбектің жалпы тогының лездік мәндерінің теңдеулерін құрыңыз. Тізбектің

толық кернеуін, қуат коэффициентін және эквиваленттік тармақталмаған тізбектің параметрлерін анықтаңыз.

10.10 Кернеуі 220 В және жиілігі 50 Гц болатын қоректендіру көзіне екі параллель тармақтан тұратын тізбегі қосылған.

Бірінші тармақ белсенді-индуктивтік сипатында, және қуат коэффициенті 0,7 болуымен 200 Вт қуатты тұтынады. Екінші тармақ белсенді кедергісін елемеуге болатын конденсатордан тұрады. Конденсатордың сыйымдығын анықтаңыз, егер бүкіл тізбектің қуат коэффициенті 0,95 болса.

10.11 Сыйымдығы 25 мкФ болатын идеалды конденсаторды және белсенді кедергісі 200 Ом параллельді жалғануын алмастыруға болатын желі жиілігі = 50 Гц болғанда эквивалентті тізбекті тізбегінің параметрлерін анықтаңыз. Тізбектің қуат коэффициентін табыңыз.

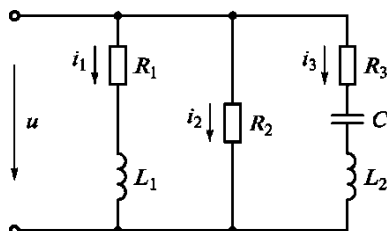
10.12 Анықталған қуаты 200 В · А, кернеуі 220В және жиілігі 50 Гц болатын қоректендіру көзіне қозғалтқыштың қозу орамасы қосылған. Қозу орамасы 100 Вт қуатты тұтынады және қуат коэффициенті 0,7. Қуат коэффициентін көтеру үшін қозғалтқыштың қозу орамасына параллельді сыйымдығы 3 мкФ конденсаторы қосылған. Қуаттың анықталған мәнінен аспайтындай көздің жүктемесіне параллель қосуға болатын максималды кедергісін анықтаңыз. Тізбектің коэффициентін табыңыз.

10.13 10.3 суретінде көрсетілген тізбектің токтарын токтардың белсенді және реактивті құраушыларын азайту арқылы, сонымен қатар, тізбектің белсенді, реактивті және толық қуатын анықтаңыз.

Тізбектің қысқыштарындағы кернеу $u=70\sin 314t$ болғанда, токтардың және кернеулердің векторлық диаграммасын сызыңыз, егер тізбектің параметрлері келесідей болса: $R_1= 30$ Ом; $L_1= 220$ мГн; $R_2= 82,5$ Ом; $L_2= 63$ мГн; $R_3= 22$ Ом; $C = 50$ мкФ.

10.14 10.13 есебін тармақтардың және бүкіл тізбектің өткізгіштіктерін анықтау арқылы шешіңіз. Қуат коэффициентін және қарастырылып отырған параллельді тізбекті алмастыруға болатын эквиваленттік тізбекті тізбегінің параметрлерін табыңыз.

10.15 $R = 100$ Ом, $L = 10$ мГн шарғыдан және $C = 0,5$ мкФ конденсатордан тұратын резонансты жиілікті және параллель контурының төзімділігін анықтаңыз.



10.3.-сурет. Тармақталған RLC-тізбегінің схемасы

10.16 Белсенді кедергісі $R=10$ Ом және индуктивтілігі $L = 15$ мГн шарғысына параллель конденсатор жалғанған. Контурдың ішінде = 100 Гц жиілігінде резонанс пайда болды. Тізбектің жалпы тогын және

конденсатордың резонанстағы сыйымдығын анықтаңыз, егер оның қысуларындағы кернеу $U = 70 \text{ В}$ болса.

10.17 10.10-есептің берілгендері бойынша параллельді ток көзіне қосуға болатын қосымша белсенді жүктеменің қуатын анықтаңыз, егер оның номиналды қуаты $S_n = 300 \text{ В} \cdot \text{А}$ болса. Қосулы тұрған қосымша жүктемедегі тізбектің қуат коэффициентін табыңыз.

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ ЖАУАПТАРЫ

10.3. 0,33 А; 0,35 А; 0,62 А; $22^\circ 6'$; 113,2 Ом.

10.4. 0,32 Гн; 15 мкФ.

10.5. 0,717.

10.6 5,12 А; 2,19 А; 4,84 А; 480 Вт; 45 вар; 482 В · А; 0; 1064 вар; 1064 В · А; 480 Вт; 1019 вар; 1126 В · А.

10.7. 96,2 Гц.

10.8. 0,95 А; 1,66 А; 1,1 А; 3,45 А; 0,7 А; 1,64 А; 1,1 А; 3,43 А; 0,64 А; 0,27 А; 0; 0,37 А; 752 Вт; 81 вар; 757 В · А.

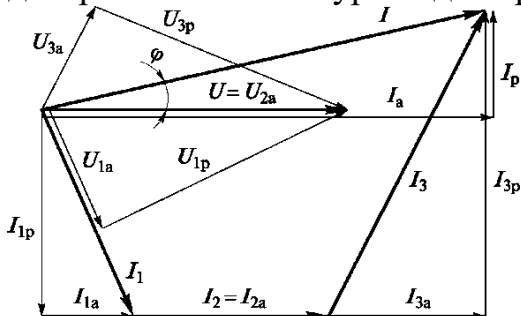
10.9. $i_1 = 1,34 \sin(314t - 42^\circ 42')$; $i_2 = 2,35 \sin(314t + 9^\circ 30')$; $i_3 = 1,55 \sin 314t$; $i = 4,88 \sin(314t - 6^\circ 6')$; 63,5 Ом; 0,994; 63,1 Ом; 21,6 мГн.

10.10. 9,1 мкФ немесе 17,7 мкФ.

10.11. $R_{\text{ЭКВ}} = 57,7 \text{ Ом}$; $C_{\text{ЭКВ}} = 35,1 \text{ мкФ}$; $\cos \varphi = 0,54$.

10.12. 527 Ом; 0,96.

10.13. 0,66 А; 0,6 А; 1,01 А; 1,35 А; 65 Вт; 14,8 вар; 66,7 В · А; векторлық диаграммасы 10.4.-суретінде көрсетілген.



10.4.-сурет. 10.13.-есепіне RLC-тізбегінің векторлық диаграмма к задаче 10.13

10.14. 0,975; 35,8 Ом; 391,3 мкФ.

10.15. 1104 рад/с; 1,41.

10.16. 3,7 А; 79,4 мкФ.

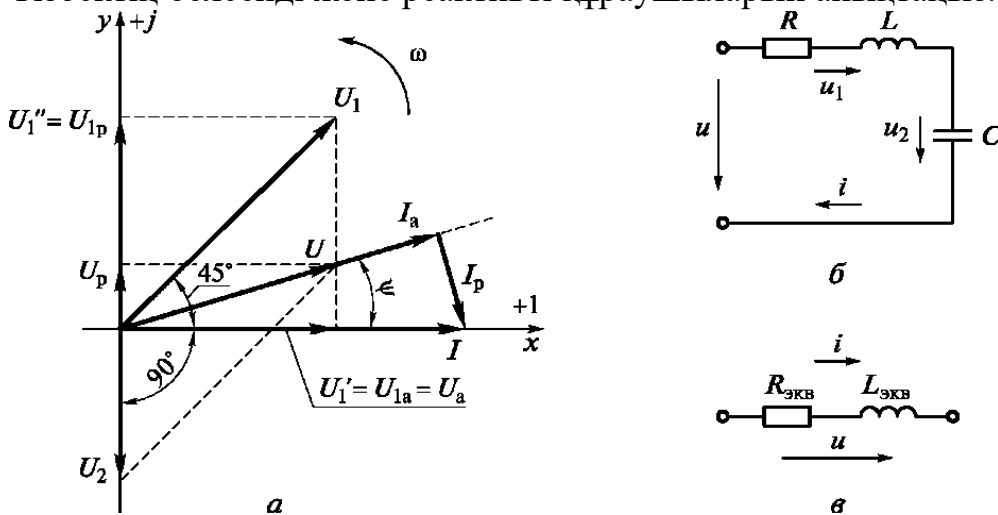
10.17. 92,7 Вт; 0,976.

СИНУСОИДАЛЫ ТОК ТІЗБЕКТЕРІН ЕСЕПТЕУДІҢ КЕШЕНДІ ӘДІСІ

11.1. Синусоидалы токтың тармақталмаған тізбегі

11.1.есеп 11.1 а суретте айнымалы токтың тармақталмаған электр тізбегінің векторлық диаграммасы бейнеленген кешенді жазықтығы көрсетілген.

Кернеуді және тізбектің тогын үш нысандағы (алгебралық, тригонометриялық және көрсеткіштік) кешенді сандарымен өрнектеңіз, егер $U_1 = 100$ В, $U_2 = 50$ В и $I = 0,9$ А. Тізбектің кіруіндегі и кернеуі үшін кешенді өрнек (кешен) құрастырыңыз және оның кешендік мәні бойынша кіру кернеудің лездік мәнін жазыңыз. Тізбектің және оның учаскелерінің кешендерін анықтаңыз. Тізбектің қуатын кешенді нысанында көрсетіңіз. Тізбектің белсенді және реактивті құраушыларын анықтаңыз.



11.1.-сурет. Айнымалы токтың кешенді жазықтағы (а) тармақталмаған электр тізбегінің векторлық диаграммасы, оның схемасы (б) және орын басудың эквиваленттік схемасы (в)

Шешімі. 1. U_1 кернеуді кешенді санмен ұсынудың үш нысаны. Векторлық диаграммасының x және y осьтері кешендік жазықтығының осьтерімен қиыстырылғандықтан (11.1 а суретін қараңыз), онда, кернеу векторының (U_1) модулін және аргументі (45°) біле тұра, ізделіп отырған кешенді көрсеткіш нысанында оңай жазуға болады:

$$\dot{U}_1 = U_1 e^{j45^\circ} = 100 e^{j45^\circ} \text{ В.} \quad (11.1)$$

Көрсеткіш нысаны (11.1) кешендерді қосуға қолайсыз. Эйлер формуласының көмегімен кешеннің көрсеткіш нысанын тригонометриялық нысанына түрлендіруге болады:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= U_1 e^{j45^\circ} = U_1 (\cos 45^\circ + j \sin 45^\circ) = \\ &= 100(\cos 45^\circ + j \sin 45^\circ) \text{ В.}\end{aligned}\quad (11.2)$$

Тригонометриялық нысаны қосуға қолайлы кешендерді көрсеткіш нысанынан алгебралық нысанына аударуға пайдаланылады. Бұл ретте u_1 кернеу векторының шынайы осіне проекциясына тең өрнектің бірінші қосылғышы (11.2) $\text{Re}U_1$ кешенінің шынайы бөлігі болып табылады, ал екінші қосылғыш u_1 кернеу векторының кешенді жазықтың жорамал осіне проекциясына тең Im кешенінің жорамал бөлігін білдіреді:

$$\text{Re} \dot{U}_1 = U'_1 = U_1 \cos 45^\circ = 100 \frac{\sqrt{2}}{2} = 70,7 \text{ В};$$

$$\text{Im} \dot{U}_1 = U''_1 = U_1 \sin 45^\circ = 100 \frac{\sqrt{2}}{2} = 70,7 \text{ В}.$$

u_1 кернеу кешенін в алгебралық нысанында жазамыз:

$$\dot{U}_1 = \text{Re} \dot{U}_1 + j \text{Im} \dot{U}_1 = (70,7 + j70,7) \text{ В.}\quad (11.3)$$

2. u_2 кернеуді және i тоқты кешенді сандарымен ұсынудың үш нысаны. (11.1)... (11.3) өрнектеріне ұқсастықпен u_2 кернеудің және i тогының кешендерінің көрсеткіш, тригонометриялық және алгебралық нысандарын ұсынамыз:

$$\dot{U}_2 = U_2 e^{-j90^\circ} = U_2 (\cos 90^\circ - j \sin 90^\circ) = -jU_2;$$

$$\dot{I} = I e^{j0} = I (\cos 0 - j \sin 0) = I.$$

Кешендер өрнектеріне $\bar{}$ және $\bar{}$ берілген мәндерін U_2 және I қоямыз:

$$\dot{U}_2 = 50 e^{-j90^\circ} = 50 (\cos 90^\circ - j \sin 90^\circ) = -j50 \text{ В};$$

$$\dot{I} = 0,9 e^{j0} = 0,9 (\cos 0 - j \sin 0) = 0,9 \text{ А}.$$

3. Кіру кернеу кешенін құрастыру. Кернеудің кешені бойынша оның лездік мәнін жазу. Қарастырылып отырған тізбек тармақталмаған болғандықтан оның кірісіндегі кернеу жекелеген учаскелеріндегі кернеулердің қосындысына тең. Кіру кернеудің кешенінің алгебралық нысаны келесідей болады

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = (70,7 + j70,7) + (-j50) = (70,7 + j20,7) \text{ В}.$$

Мұнда $\text{Re} \dot{U} = 70,7 \text{ В}$, ал $\text{Im} \dot{U} = 20,7 \text{ В}$.

U кешенінің көрсеткіш нысанын алу үшін кірудегі кернеу векторының U модулін және ψ векторының аргументін анықтау қажет.

Кірудегі кернеу модулі

$$U = \sqrt{\text{Re} \dot{U}^2 + \text{Im} \dot{U}^2} = \sqrt{70,7^2 + 20,7^2} = 73,7 \text{ В}.$$

Кірудегі кернеудің аргументі

$$\psi = \arctg (\text{Im} \dot{U} / \text{Re} \dot{U}) = \arctg (20,7/70,7) 180/\pi = 16,3^\circ. \quad \text{Кірудегі}$$

кернеу кешенінің көрсеткіш нысаны

$$\dot{U} = Ue^{j\psi} = 73,7e^{j16,3^\circ} \text{ В.}$$

Синусоидалы шамасының лездік мәнін жазу үшін кешенің көрсеткіш нысаны бойынша оңай анықталатын оның максималдық мәнін және бастапқы фазасының мәнін білу қажет. Сонымен, кіру кернеудің лездік мәні

$$u = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \psi) = 73,7\sqrt{2} \sin(\omega t + 16,3^\circ).$$

4. Тізбектің кедергілер кешенін анықтау. Тізбектің кедергілер кешенін анықтау үшін кешенді нысанындағы Ом заңын қолдануға болады. Сонымен, U_1 кернеуімен тізбектің учаскесінің кедергі кешенінің көрсеткіш нысанының түрі келесідей:

$$\underline{Z}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}} = \frac{100e^{j45^\circ}}{0,9} = 111,1e^{j45^\circ} \text{ Ом.}$$

Кедергі кешенін көрсеткіш нысанынан (тригонометриялық нысаны арқылы) алгебралық нысанына ауыстыру кернеуі U_1 учаскесін орын басу кедергі схемасының белсенді және реактивтік құраушыларын алуға мүмкіндік береді:

$$\underline{Z}_1 = 111,1e^{j45^\circ} = 111,1(\cos 45^\circ + j \sin 45^\circ) = (78,6 + j78,6) \text{ Ом.}$$

Алынған өрнекке орай аталған учаскесі белсенді-индуктивтік сипатында келесідей параметрлері бар

$$R = \operatorname{Re} \underline{Z}_1 = 78,6 \text{ Ом}; \quad x_L = \operatorname{Im} \underline{Z}_1 = 78,6 \text{ Ом.}$$

Тізбектің учаскесінің толық кедергісі U_1 кернеуімен Z_1 кешенінің модуліне тең:

$$z_1 = \sqrt{\operatorname{Re}^2 \underline{Z}_1 + \operatorname{Im}^2 \underline{Z}_1} = \sqrt{R^2 + x_L^2} = 78,6\sqrt{2} = 111,1 \text{ Ом.}$$

Учаскесінің кедергі кешені U_2 кернеуімен:

$$\underline{Z}_2 = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}} = \frac{-j50}{0,9} = -j55,6 \text{ Ом}$$

Тек қана жорамал бөлігі бар, теріс таңбасымен, демек, кернеуі U_2 тізбектің учаскесін орын басу схемасы — бұл сыйымдықтық кедергі

$$x_C = 55,6 \text{ Ом.}$$

Сонымен, берілген тізбектің схемасы 11.1 б-суретінде көрсетілген бейнеге сәйкес болады.

Осы тізбектің толық кедергі кешенін кірудегі U кернеуімен Ом заңы бойынша кешендік нысанында анықтаймыз:

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{73,7e^{j16^\circ 18'}}{0,9} = 81,9e^{j16^\circ 18'} = \\ &= 81,9(\cos 16^\circ 18' + j \sin 16^\circ 18') = (78,6 + j23) \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (11.4)$$

(11.4) өрнегінен көрініп тұрғандай, бүкіл тізбек U кернеуімен белсенді-индуктивтік сипатында болады және ол келесідей эквиваленттік параметрлерімен 11.1 в суретінде көрсетілгендей, орын басу схемасымен

берілуі мүмкін:

$$R_{\text{ЭКВ}} = \operatorname{Re} \underline{Z} = 78,6 \text{ Ом}; \quad x_{L_{\text{ЭКВ}}} = \operatorname{Im} \underline{Z} = 23 \text{ Ом}.$$

Бұл ретте тізбектің толық кедергісі кірудегі U кернеуімен Z кешенінің модуліне тең:

$$z = \sqrt{R_{\text{ЭКВ}}^2 + x_{L_{\text{ЭКВ}}}^2} = \sqrt{78,6^2 + 23^2} = 81,9 \text{ Ом}.$$

Учаскелердің тізбекті жалғануымен тізбектің толық кедергісін аталмыш учаскелердің кешендер қосындысы ретінде де анықтауға болады:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = (78,6 + j78,6) + (-j55,6) = (78,6 + j23) \text{ Ом}. \quad (11.5)$$

(11.4) және (11.5) өрнектері бір-біріне сәйкес келеді, ал бұл орындалған есептеулердің дұрыстылығын растайды.

5. Тізбектің қуатын кешендік нысанында анықтау. Тізбектің қуат кешенін келесідей түрінде жазамыз

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= \dot{U} \dot{I}^* = 73,7 e^{j16^\circ 18'} \cdot 0,9 = 66,3 e^{j16^\circ 18'} = \\ &= 66,3 (\cos 16^\circ 18' + j \sin 16^\circ 18') = (63,7 + j18,6) \text{ В} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Бұл ретте қуат кешенінің шынайы бөлігі P тізбектің белсенді қуатына тең болады, жорамал бөлігі $-Q_L$, реактивті индуктивтілік қуатына, ал кешен модулі – Столық қуатына тең:

$$P = \operatorname{Re} \tilde{S} = 63,7 \text{ Вт}; \quad Q_L = \operatorname{Im} \tilde{S} = 18,6 \text{ вар}; \quad S = 66,3 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

6. Кернеулердің және токтың белсенді және реактивтік құраушылары. Кернеулердің белсенді құраушылары – кернеулер векторларының ток векторына проекциялары. Қарастырылып отырған есепте ток векторы шынайы осінің бойымен бағытталған болғандықтан, кернеулердің белсенді құраушылары кернеулер векторларының шынайы осіне проекцияларымен сәйкес келеді және тиісті кешендердің шынайы бөліктеріне тең:

$$U_{1a} = U_a = \operatorname{Re} \dot{U}_1 = 70,7 \text{ В}; \quad U_{2a} = \operatorname{Re} \dot{U}_2 = 0.$$

Кернеулердің реактивтік құраушылары— кернеулер векторларының токтың бағытына перпендикуляр түзуіне проекциялары, яғни, жорамал осіне, және сондықтан тиісті кешендердің жорамал бөліктеріне тең:

$$U_{1p} = \operatorname{Im} \dot{U}_1 = 70,7 \text{ В}; \quad U_{2p} = \operatorname{Im} \dot{U}_2 = -50 \text{ В};$$

$$U_p = \operatorname{Im} \dot{U} = 20,7 \text{ В}.$$

Әлбетте, жалпы алғанда вектордың белсенді және реактивтік құраушылары кешендердің шынайы және жорамал бөліктеріне қатысы жоқ, мысалы, берілген тізбектің тогының белсенді және реактивтік құраушылары.

Қайсы бір тізбектің белсенді және реактивтік құраушыларын анықтау үшін осы токтың векторының ұшынан оның кернеу векторының бағытына қарай перпендикуляр түсіру қажет. Сонымен, I_a токтың белсенді құраушысы

— кіру кернеу векторымен сәйкес келетін құраушы, ал I_p реактивтік құраушысы— кіру кернеу векторына перпендикуляр құраушысы.

11.1, а–суреттегі тізбегі үшін тоқтың құраушылары келесідей

$$I_a = I \cos \psi = 0,9 \cos 16^\circ 18' = 0,9 \text{ A};$$

$$I_p = I \sin \psi = 0,9 \sin 16^\circ 18' = 0,3 \text{ A}.$$

11.2. Бір энергия көзі бар синусоидалы тоқтың тармақталған тізбегі

11.2 есеп. Үш параллель қосылған тармақтардан тұратын (10.1 а-суретін қараңыз), 10.1 есебінің берілгендерімен, бір энергия көзі бар синусоидалы кернеу және жүктемесімен тізбегі үшін токтарды, толық қуатты және толық кедергісін кешенді әдісімен анықтаңыз.

Шешімі. 1. Тізбектің тармақтарындағы токтарды анықтау. Тармақтардың толық кедергілер кешендерін табамыз:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jx_{L1} = R_1 + j\omega L_1 = 100 + j314 \cdot 0,5 = (100 + j157) \text{ Ом};$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_2 &= R_2 + j(x_{L2} - x_C) = R_2 + j(\omega L_2 - 1/(\omega C)) = \\ &= 170 + j(314 \cdot 0,1 - 1/314/250 \cdot 10^6) = 170 + j(31,4 - 12,74) = \\ &= (170 + j18,66) \text{ Ом}; \end{aligned}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 = 500 \text{ Ом}.$$

10.1 б суретте көрсетілген векторлық диаграммасының жазығын ойша кешенді жазықпен беттестірейік, мұнда нақты осін векторлық диаграммасының координаттар жүйесінің x осімен беттестіреміз, ал жорамалдысын — y осімен.

Сонда, тізбектің кернеуін келесі түрде анықтаймыз:

$$\dot{U} = U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{311}{\sqrt{2}} = 219,91 \text{ В}.$$

Бірінші тармақтың ток кешенін алгебралық нысанында табамыз:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1} = \frac{219,91}{100 + j157} = \frac{219,91(100 - j157)}{100^2 + 157^2} = \\ &= \frac{21991 - j34526}{34649} = (0,63 - j) \text{ A}. \end{aligned}$$

Бірінші тармақтың ток кешенін көрсеткіш нысанында анықтаймыз:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \sqrt{(\operatorname{Re} \dot{I}_1)^2 + (\operatorname{Im} \dot{I}_1)^2} e^{j \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} \dot{I}_1}{\operatorname{Re} \dot{I}_1} \right) \frac{180}{\pi}} = \\ &= \sqrt{0,63^2 + (-1)^2} e^{j \left(\operatorname{arctg} \frac{-1}{0,63} \right) \frac{180}{\pi}} = 1,18 e^{-j57^\circ 48'} \text{ А.} \end{aligned}$$

\dot{I}_1 кешенінің модулі бірінші тармақтың I_1 қолданыстағы мәніне сәйкес болады, ал аргумент — токпен I_1 және U кернеудің арасындағы ығысу бұрышына φ тең, мұнда \dot{I}_1 ток U кернеуден қалыс қалады (10.1, б-суретін қараңыз). Сонымен,

$$I_1 = 1,18 \text{ А; } \varphi_1 = 57^\circ 48'$$

Екінші тармақтың ток \dot{I}_2 кешенін алгебралық нысанында табамыз:

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{219,91}{170 + j18,7} = \frac{219,91(170 - j18,66)}{170^2 + 18,66^2} = \\ &= \frac{37\,385 - j4\,104}{29\,248} = (1,28 - j0,14) \text{ А.} \end{aligned}$$

Екінші тармақтың ток кешенін \dot{I}_2 көрсеткіштік нысанында анықтаймыз:

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \sqrt{(\operatorname{Re} \dot{I}_2)^2 + (\operatorname{Im} \dot{I}_2)^2} e^{j \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} \dot{I}_2}{\operatorname{Re} \dot{I}_2} \right) \frac{180}{\pi}} = \\ &= \sqrt{1,28^2 + (-0,14)^2} e^{j \left(\operatorname{arctg} \frac{-0,14}{1,28} \right) \frac{180}{\pi}} = 1,29 e^{-j6^\circ 14'} \text{ А.} \end{aligned}$$

I_2 тогының әрекеттік мәні I_2 , кешенінің модуліне тең, яғни, $I_2 = 1,29$ А. Мұнда \dot{I}_2 ток кернеуден $\varphi_2 = 6^\circ 14'$ бұрышына қалыс қалады. Үшінші тармақтың тогының кешенін табамыз:

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_3} = \frac{U}{R_3} = \frac{219,91}{500} = 0,44 \text{ А.}$$

I_3 тогының әрекеттік мәні I_3 кешенінің модуліне тең, яғни, $I_3 = 0,44$ А. Бұл ретте, \dot{I}_3 ток фаза бойынша U кернеумен сәйкес келеді (10.1, б-суретті қараңыз), яғни, $\varphi_3 = 0$.

2. Тізбектің жалпы тогын анықтау. Кирхгофтың бірінші заңына сәйкес тізбектің жалпы тогының кешенді түрінде

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = (0,63 - j) + (1,28 - j0,14) + 0,44 = \\ &= (2,35 - j1,14) \text{ А.} \end{aligned}$$

\dot{I} кешеннің алгебралық нысанын көрсеткіш нысанына түрлендіру оңай:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \sqrt{(\operatorname{Re} \dot{I})^2 + (\operatorname{Im} \dot{I})^2} e^{j \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} \dot{I}}{\operatorname{Re} \dot{I}} \right) \frac{180}{\pi}} = \\ &= \sqrt{2,35^2 + (-1,14)^2} e^{j \left(\operatorname{arctg} \frac{-1,14}{2,35} \right) \frac{180}{\pi}} = 2,61 e^{-j25^\circ 54'} \text{ А.} \end{aligned}$$

I токтың әрекеттік мәні кешенінің модуліне тең, яғни, $I = 2,61$ А. Бұл ретте ток кернеуден $\varphi = 25^\circ 54'$ бұрышына қалыс қалады (10.1, б-суретті қараңыз).

3. Тізбектің толық қуатын анықтау. Тізбектің толық қуатының кешенін алгебралық нысанында табамыз:

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = 219,91 \cdot (2,35 + j1,14) = (516,78 + j250,69) \text{ В} \cdot \text{А};$$

Аталмыш кешенді көрсеткіш нысанында анықтаймыз:

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I} = 219,91 \cdot 2,61 e^{j25^\circ 54'} = 573,97 e^{j25^\circ 54'} \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Тізбектің белсенді қуаты кешеннің S шынайы бөлігіне тең:

$$P = \text{Re} \tilde{S} = 516,78 \text{ Вт.}$$

Тізбектің реактивтік қуаты кешеннің S жорамал бөлігіне тең және индуктивтік сипатында:

$$Q_L = \text{Im} \tilde{S} = 250,69 \text{ вар.}$$

Тізбектің толық қуаты қуат кешенінің S модуліне тең:

$$S = 573,97 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

4. Тізбектің толық кедергісін анықтау. Тізбектің толық кедергісінің кешенін көрсеткіш нысанында табамыз:

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{219,91}{2,61 \cdot e^{-j25^\circ 54'}} = 84,26 e^{j25^\circ 54'} \text{ Ом.}$$

Осы кешеннің алгебралық нысаны:

$$\underline{Z} = 84,26 e^{j25^\circ 54'} = 84,26 (\cos 25^\circ 54' + j \sin 25^\circ 54') = (75,8 + j36,8) \text{ Ом.}$$

Тізбек белсенді-индуктивтік сипатты эквивалентті параметрлерімен:

$$R_{\text{ЭКВ}} = \text{Re} \underline{Z} = 75,8 \text{ Ом}; \quad X_{L\text{ЭКВ}} = \text{Im} \underline{Z} = 36,8 \text{ Ом.}$$

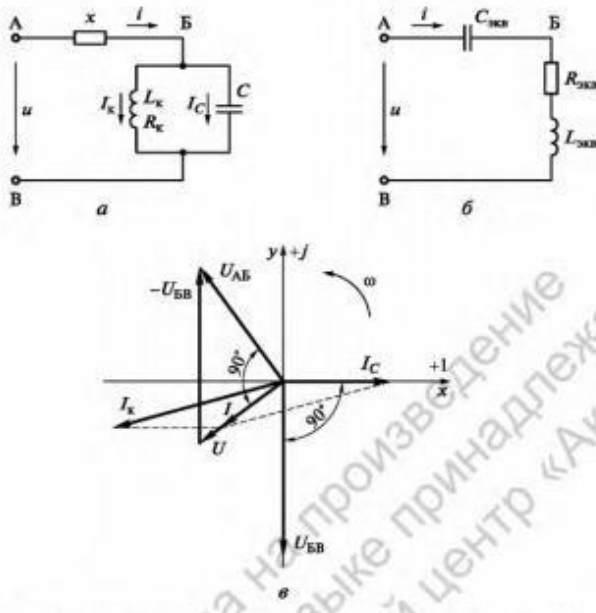
z тізбегінің толық кедергісі \underline{Z} кешенінің модуліне тең:

$$z = 84,26 \text{ Ом.}$$

11.2 және 10.1 есептерін шешу барысында алынған нәтижелері шамалы ауытқиды, бұл есептеулердің дәлдік дәрежесімен түсіндіріледі.

11.3. **есеп.** 11.2 а суретте көрсетілген тізбекте 1000 Гц жиілікте кернеулер резонансы орнатылатын x реактивтік кедергісінің сипатын және мәнін анықтаңыз, егер параллельді контурының параметрлерінің мәндері келесідей, яғни: $R_k = 50$ Ом, $L_k = 30$ мГн, $C = 0,5$ мкФ. Тізбектің тармақталмаған бөлігінің I тогын, шарғыдағы I_k токты, тізбектің шығатын жерлеріндегі және оның учаскелеріндегі кернеуді контурдың сыйымдығындағы ток $I_C = 0,5$ А болса. Жұмыстың берілген режимі үшін векторлық диаграммасын сызыңыз. Шешу үшін кешенді әдісін пайдалану қажет.

Шешімі. 1. Берілген тізбекте кернеудің резонансының режимін қамтамасыз x кедергісін анықтау. Кернеулер резонансы тізбекте индуктивтік және орын басу тізбегінің тізбекті схемасының ауқымдық кедергілер мәндерінің теңдігінде орнатылады: $X_{L\text{ЭКВ}} = X_{C\text{ЭКВ}}$.



11.2.-сурет. 11.3.(а) – Есебіне электр тізбегі, оның эквивалентті схемасы (б) и векторная диаграмма (в)

Құрамында параллельді контуры бар БВ тізбегінің орын басуының тізбекті схемасын құрастыру үшін эквиваленттік тізбекті учаскесімен алмастыру керек. Бұл үшін БВ тізбегінің учаскесінің кедергісінің кешенді мәнін алгебралық нысанында табылуы жеткілікті болады, ал бұл оның реактивтік кедергісінің сипатын және мәнін анықтауға мүмкіндік береді. Шарғының кедергісі кешенді түрінде

$$\underline{Z}_k = R_k + jx_L = R_k + j2\pi fL_k = 50 + j2\pi \cdot 1000 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 50 + j188,5 = 195e^{j75^\circ} \text{ Ом.}$$

Конденсатордың C кедергісі кешенді түрінде

$$\underline{Z}_C = -jx_C = -j \frac{1}{2\pi fC} = -j \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} = -j318,3 = 318,3e^{-j90^\circ} \text{ Ом.}$$

БВ тізбегінің учаскесінің кедергісі кешенді түрінде

$$\underline{Z}_{БВ} = \frac{\underline{Z}_k \underline{Z}_C}{\underline{Z}_k + \underline{Z}_C} = \frac{195e^{j75^\circ} \cdot 318,3e^{-j90^\circ}}{50 + j188,5 - j318,3} = \frac{62068,5e^{-j15^\circ}}{139,1e^{-j68^\circ 54'}} = 446,2e^{j53^\circ 54'} = 446,2(\cos 53^\circ 54' + j \sin 53^\circ 54') = (262,9 + j360,5) \text{ Ом.}$$

Демек, тізбектің БВ учаскесін белсенді кедергісінің $R_{\text{экв}}$ ($Z_{\text{БВ}}$ кешенінің нақты бөлігі) және индуктивтік кедергісінің $x_{L\text{экв}}$ ($Z_{\text{БВ}}$ кешенінің жорамалды бөлігі) тізбекті жалғануы түрінде көрсетуге болады:

$$R_{\text{экв}} = \text{Re} \underline{Z}_{\text{БВ}} = 262,9 \text{ Ом}; \quad x_{L\text{экв}} = \text{Im} \underline{Z}_{\text{БВ}} = 360,5 \text{ Ом.}$$

Олай болса, кернеулер резонансы шарты бойынша БВ учаскесімен бірге тізбекті қосылған x тізбегінің кедергісі мәні $x_{L\text{экв}}$ тең болатын сыйымдықтық болуы тиіс:

$$x = x_{C_{\text{ЭКВ}}} = x_{L_{\text{ЭКВ}}} = 360,5 \text{ Ом.}$$

Орындалған есептеулеріне сәйкес ізбектің 11.2 а суретіндегі орын басудың тізбекті схемасы 11.2 б суретінде көрсетілген.

2. Параллель контурының шарғыдағы токты анықтау. Шарғының ішіндегі токты кернеу және Z_k кедергі бойынша Ом заңына сәйкес анықтаймыз:

$$\dot{I}_k = \dot{U}_{\text{БВ}} / \underline{Z}_k,$$

мұнда $\underline{Z}_k = Z_k$. Есептің шарты бойынша параллель контурдың сыйымдығының бойымен өтетін токтың бағыты берілмегендіктен, (тек қана нақты мәні берілген I_C), оны векторлық диаграммасында еркімен бағыттаймыз, мысалы (қолайлы болуы үшін), мүліктік осінің бойымен. Бұл жағдайда кешеннің аргументі нөлге тең. Онда ток

$$\dot{I}_C = I_C = 0,5 \text{ А.}$$

Тізбектің БВ учаскесіндегі кернеудің кешені

$$\dot{U}_{\text{БВ}} = \dot{I}_C \underline{Z}_C = 0,5 \cdot 318,3e^{-j90^\circ} = 159,2e^{-j90^\circ} = -j159,2 \text{ В.}$$

Параллель контурының шарғыдағы ток кешені

$$\begin{aligned} \dot{I}_k &= \frac{\dot{U}_{\text{БВ}}}{\underline{Z}_k} = \frac{159,2e^{-j90^\circ}}{195e^{j75^\circ}} = 0,8e^{-j165^\circ} = \\ &= 0,8(\cos 165^\circ - j \sin 165^\circ) = (-0,8 - j0,2) \text{ А.} \end{aligned}$$

3. Тізбектің тармақталмаған бөлігіндегі токты анықтау. Кирхгофтың бірінші заңына сәйкес

$$\dot{I} = \dot{I}_k + \dot{I}_C = -0,8 - j0,2 + 0,5 = -0,3 - j0,2 = 0,36e^{-j146^\circ 18'} \text{ А.}$$

4. Тізбектің шығуларындағы кернеуді анықтау. Кернеулер резонанс режимінде берілген $Z_{\text{АВ}}$ тізбектің толық кедергі кешені осы тізбектің орын басу эквиваленттік схемасының белсенді кедергісіне тең, тізбектің шығуларындағы кернеу кешені

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{I} \underline{Z}_{\text{АВ}} = \dot{I} R_{\text{ЭКВ}} = 0,36e^{-j146^\circ 18'} \cdot 262,9 = 94,6e^{-j146^\circ 18'} = \\ &= (-78,7 - j52,5) \text{ В.} \end{aligned}$$

5. Тізбектің АБ учаскесіндегі кернеуді анықтау. Тізбектің АБ учаскесіндегі кернеу кешені

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{АБ}} &= \dot{U} - \dot{U}_{\text{БВ}} = (-78,7 - j52,5) - (-j159,2) = \\ &= -78,7 + j106,7 = 132,6e^{j126^\circ 24'} \text{ В.} \end{aligned}$$

6. Кернеулер және токтардың нақты мәндері. Синусоидалы шаманың нақты мәні (ЭҚК, кернеудің, токтың) тиісті кешеннің модуліне тең болғандықтан, оны келесідей жазуға болады:

$$U = 94,6 \text{ В; } U_{\text{АБ}} = 132,6 \text{ В; } U_{\text{БВ}} = 159,2 \text{ В;}$$

$$I = 0,36 \text{ А; } I_k = 0,8 \text{ А;}$$

$$I_C = 0,5 \text{ А.}$$

Есептеулердің нәтижелері берілген тізбектің ерекшелігін көрсетеді: оның АБ және БВ учаскелеріндегі кернеулердің резонанс режиміндегі кедергілердің реактивтік сипатымен тізбектің шығуларындағы кернеуден асып түседі.

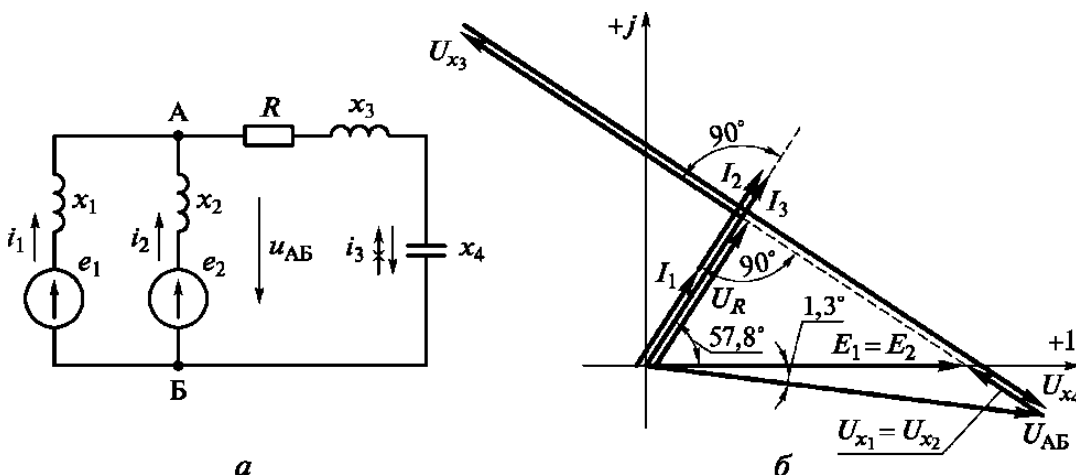
Тізбектің векторлық диаграммасы. Келтірілген есептеулеріне сәйкес сызылған тізбектің векторлық диаграммасы 11.2, в –суретінде келтірілген. Диаграмма кернеулердің резонанс режимінің келесідей ерекшеліктерін көрсетеді: тізбектің таза белсенді сипатын, яғни, жалпы кернеуі фаза бойынша токпен сәйкес келеді; тізбектің учаскелеріндегі кернеулер модульдері (U_{AB} және U_{BB}) U жалпы кернеудің модулінен асып түседі.

Сыйымдық учаскесіндегі кернеу U_{AB} токтан 90° бұрышқа қалыс қалады, ал кернеу U_{BB} токтан 90° -қа қалыс қалады және I токты $|\psi_1 - \psi_{U_{BB}}| = |-146^\circ 18' + 90^\circ| = 56^\circ 18'$ бұрышына озық, мұнда ψ_1 және $\psi_{U_{BB}}$ — токтың бастапқы фазаларының t бұрыштары және кернеу u_{BB} .

11.3. Әр түрлі тармақтарға қосылған бірнеше көздері бар синусоидалы токтың тармақталған тізбегі

11.4 есеп. Екі параллель қосылған генераторы бір жүктемеде жұмыс жасайды (11.3 а сурет). Генераторлар фаза бойынша сәйкес келетін бірдей синусоидалы ЭДС $E_1 = E_2 = 100$ В, және индуктивтік сипатындағы бірдей ішкі кедергілерімен $x_1 = x_2 = 0,5$ Ом сипатталады. Жүктеме — тізбекті жалғанған индуктивтілік шарғысы және кедергілері $R = 3$ Ом, $x_3 = 5$ Ом және $x_4 = 100$ Ом болатын конденсаторлар батареясы.

Тізбектегі токтарды және түйіндер арасындағы және тізбектің элементтеріндегі кернеуді кешенді әдісімен анықтаңыз. .



11.3.-сурет. 11.4-есепіне (а) электрлік тізбегінің схемасы және оның векторлық диаграммасы(б)

Шешімі. 1. ЭҚК және токтардың шартты оң бағыттарын таңдау. Берілген тізбектің екі түйіні бар екенін ескере отырып, есепті шешу үшін екі түйін әдісімен (5.4-тарауын қараңыз) кешенді нысанын қолданған

жөн.

Токтардың бір түйінге (мысалы, А түйініне) қарай бағытын 11.3,а суретінде көрсетілгендей таңдаймыз.

Тармақтардың өткізгіштігін анықтау. Схема тармақтарының өткізгіштіктерін кешенді түрінде табамыз:

$$\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \frac{1}{jx_1} = \frac{1}{j0,5} = -j2 \text{ См};$$

$$\begin{aligned} \underline{Y}_3 &= \frac{1}{R + jx_3 - jx_4} = \frac{1}{3 + j5 - j10} = \\ &= \frac{1}{3 - j5} = \frac{3 + j5}{9 + 25} = (0,09 + j0,15) \text{ См}. \end{aligned}$$

2. Тізбектің түйіндері арасындағы кернеуді анықтау. ЭҚК бірдей бастапқы фазаларын нольге тең деп алып, $\underline{E}_1 = \underline{E}_2 = 100 \text{ В}$ жазамыз.

Түйінді кернеуді кешенді түрінде анықтаймыз – жүктемедегі кернеу

$$\begin{aligned} \underline{U}_{AB} &= \frac{\underline{E}_1 \underline{Y}_1 + \underline{E}_2 \underline{Y}_2}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3} = \frac{100(-j2) + 100(-j2)}{-j2 - j2 + 0,09 + j0,15} = \\ &= \frac{-j400}{0,09 - j3,85} = \frac{-j400(0,09 + j3,85)}{0,09^2 + 3,85^2} = \frac{1540 - j36}{14,83} = \\ &= 103,84 - j2,43 = 103,87 e^{-j1^\circ 20'} \text{ В}. \end{aligned} \quad (11.6)$$

Түйіндер арасындағы кернеудің лездік мәні

$$u_{AB} = 103,87 \sqrt{2} \sin(\omega t - 1^\circ 20').$$

4. Тізбектің тармақтарындағы токтарды есептеу. Тізбектің тармақтарындағы токтарды кешенді түрінде табамыз

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= (\underline{E}_1 - \underline{U}_{AB}) \underline{Y}_1 = (100 - 103,84 + j2,43)(-j2) = \\ &= 4,86 + j7,68 = 9,09 e^{j57^\circ 40'} \text{ А}; \\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_1 = 4,86 + j7,68 = 9,09 e^{j57^\circ 40'} \text{ А}; \\ \underline{I}_3 &= -\underline{U}_{AB} \underline{Y}_3 = (-103,84 + j2,43)(0,09 + j0,15) = \\ &= (-9,35 - 0,36) - j(15,58 - 0,22) = \\ &= -9,71 - j15,36 = 18,17 e^{-j122^\circ 18'} \text{ А}. \end{aligned}$$

Демек, тармақтардың нақты мәндерін келесідей жазуға болады

$$I_1 = I_2 = 9,09 \text{ А}; I_3 = 18,17 \text{ А}.$$

Есептеулердің басында i_3 токтың бағыты дұрыс таңдалмаған. Бұл жағдайға оңай көз жеткізуге болады, яғни, кешендік жазықтығында (11.3,б-сурет) және есептік кешендеріне сәйкес келетін векторларын сызумен. Есептік ток, кернеуден қалыс қалады, ал бұл есептің шартына кереағар болады, себебі, $x_4 > x_3$ кедергісі және токты тармақ сыйымдық сипатында болады. Сонымен қатар, және векторлар арасындағы ығысу бұрышы

90° көп, бұл физикалық мәнісіне кереағар болады.

Схемадағы токтың бағытын және кешенінің таңбаларын алгебралық нысанында қарама-қарсы етіп өзгертеміз (11.3, а-суретті қараңыз):

$$\dot{I}_3 = 9,71 + j15,36 = 18,17e^{j57^\circ 42'} \text{ А.}$$

Тізбектің элементтеріндегі кернеулерді есептеу. Генераторлар идеалды көздердің және x_1 және X_2 индуктивтік жүктемелердің тізбекті жалғануымен орын басу схемалары көрсетілген.

ЭҚК идеалдық көздеріндегі қысуларындағы кернеулер олардың ЭҚК тең болады:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dot{E}_1 = \dot{E}_2 = 100 \text{ В.}$$

Генераторлардың индуктивтік ішкі кедергілерінің кернеулерін табамыз:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{x1} = \dot{U}_{x2} &= \dot{E}_1 - \dot{U}_{\text{АБ}} = 100 - 103,84 + j2,43 = \\ &= -3,84 + j2,43 = 4,54e^{j147^\circ 40'} \text{ В,} \end{aligned}$$

немесе Ом заңы бойынша

$$\dot{U}_{x1} = \dot{U}_{x2} = \dot{I}_1 jx_1 = 9,09e^{j57^\circ 40'} \cdot 0,5e^{j90^\circ} = 4,54e^{j147^\circ 40'} \text{ В.}$$

R кедергі кернеуі

$$\dot{U}_R = \dot{I}_3 R = 18,17e^{j57^\circ 42'} \cdot 3 = 54,51e^{j57^\circ 42'} = (29,13 + j46,08) \text{ В.}$$

Жүктеме индуктивтілігіндегі кернеу

$$\dot{U}_{x3} = \dot{I}_3 jx_3 = 18,17e^{j57^\circ 42'} \cdot 5e^{j90^\circ} = 90,85e^{j147^\circ 42'} = (-76,79 + j48,55) \text{ В.}$$

Жүктеме сыйымдығындағы кернеу

$$\begin{aligned} \dot{U}_{x4} &= \dot{I}_3 (-jx_4) = 18,17e^{j57^\circ 42'} \cdot 10e^{-j90^\circ} = \\ &= 181,7e^{-j32^\circ 18'} = (153,58 - j97,09) \text{ В.} \end{aligned}$$

Есептеулердің дұрыстығын тексеру үшін жүктемедегі кернеуді – түйіндер арасындағы кернеуді есептейміз:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{АБ}} &= \dot{U}_R + \dot{U}_{x3} + \dot{U}_{x4} = 29,13 + j46,08 - 76,79 + j48,55 + \\ &+ 153,58 - j97,09 = (105,92 - j2,46) \text{ В.} \end{aligned} \quad (11.7)$$

(11.6) және (11.7) өрнектерінде таңдалған есептеулердің дәлдігіне байланысты рұқсат етілген үйлеспеушіліктері бар.

Демек, тізбектің учаскелеріндегі кернеулердің нақты мәндерін келесідей жазуға болады:

$$U_{\text{АБ}} = 103,87 \text{ В; } U_{x1} = U_{x2} = 4,54 \text{ В; } U_R = 54,51 \text{ В;}$$

$$U_{x3} = 90,85 \text{ В; } U_{x4} = 181,7 \text{ В.}$$

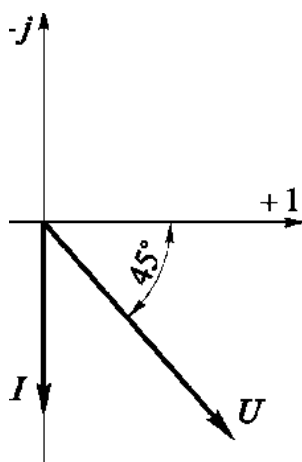
11.3 б суретінде орындалған есептеулеріне сәйкес келетін электрлік тізбектің векторлық диаграммасы көрсетілген.

11.4. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

11.5. Тізбектің толық кедергісі үшін кешенді өрнек құрыңыз және осы

кедергінің модулін және құраушыларын анықтаңыз, егер тізбектің қысқыштарындағы кернеу $U = (110 + j63,4)V$ кешенімен, ал ток $I = 2A$ өрнектелетін болса.

11.6. 11.4 суретте ұсынылған векторлық диаграммасы бойынша ток және кернеу үшін кешенді өрнектерді құрыңыз, егер олардың нақты мәндері $2,5 A$ және $220 V$ тең болса.



11.4 сурет. 11.6 есебіне тізбектің векторлық диаграммасы

11.7. Тізбектің шығуларындағы кернеудің модулі $12V$ және аргументі $(-)$, ал ток $I = -j 50 mA$ кешенімен өрнектеледі. Кернеудің, токтың лездік мәндерін жазыңыз және осы тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

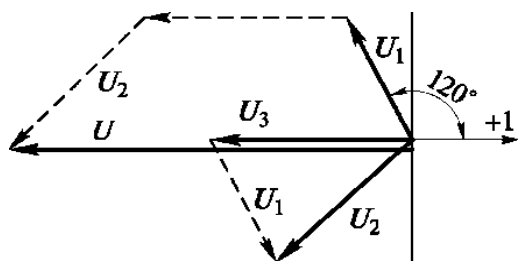
11.8. 11.7 есебінен кернеудің және токтың кешенді мәндерін олардың кешендерін j және $-j$ бұрылмалы көбейткіштеріне көбейткен соң алыңыз.

11.9 Кернеулердің кешенді мәндері алгебралық нысанында берілген: $\bar{U}_1 = (50 + j86,6) V$, $\bar{U}_2 = -100 V$, $\bar{U}_3 = (50 - j86,6) V$. Кернеулер үшін көрсеткіш нысанында кешенді өрнектерін құрыңыз және кернеулер арасындағы фазалардың ығысу бұрыштарын анықтаңыз.

11.10. 11.9-есебінен кернеулердің қосындысын анықтаңыз және векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.11. Тармақталмаған электр тізбегінің учаскелеріндегі кернеулердің лездік мәндері берілген: $u_1 = 120 \sin(t - 60^\circ)$ және $u_2 = 80 \sin(t + 60^\circ)$. Тізбектің жалпы кернеу кешенін үш нысанда (көрсеткіш, тригонометриялық және алгебралық) беріңіз және векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.12. Тармақталмаған тізбек үш учаскеден тұрады. Бұл тізбектің векторлық диаграммасы 11.5.-суретінде келтірілген.



Тізбектің учаскелеріндегі кернеулер және оның шығарылуларындағы жалпы кернеу үшін кешенді өрнектерін құрыңыз, егер $U_1 = 20 V$, $U_3 = 24 V$ және $U_2 = U_3 - U_1$ болса. Тізбектің шығаруларындағы кернеудің лездік мәндерін жазыңыз.

11.5.-сурет. 11.12.-есебіне тізбектің векторлық диаграммасы

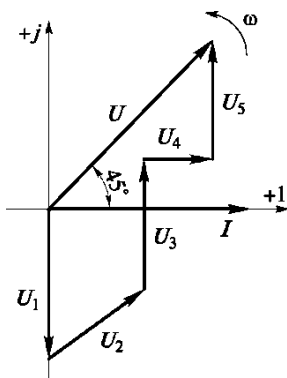
11.13. Тізбектегі токтың кешенді мәні $\bar{I} = 2e^{-j45}$ А. Осы тізбектің шығаруларындағы кернеу фаза бойынша токтан озық, бұл жерде кернеудің белсенді құраушысы U_a реактивтік құраушысына тең болады $U_p = 110\sqrt{3}$ В. Кернеу кешенін және тізбектің тогының және кернеудің теңдеулерін құрыңыз.

11.14. Тізбектегі токтың бастапқы фазасы 60° . Тізбектің шығаруларындағы кернеу фаза бойынша токтан озық және белсенді құраушысы $60\sqrt{3}$ В және реактивтік құраушысы 60 В. Тізбектегі кернеу үшін кешенді өрнек құрыңыз және кернеумен токтың арасындағы фазалардың ығысу бұрышын анықтаңыз.

11.15. Токтың бастапқы фазасының қандай мәнінде 11.14 есебінің шартындағы кернеудің белсенді және реактивтік құраушылары кернеу кешенінің нақты және жорамал бөліктеріне сәйкес болатынын анықтаңыз, және осы жағдайдағы кернеу үшін кешенді өрнек құрыңыз.

11.16 Тізбектегі ток және оның шығаруларындағы кернеу тиісінше $(\sqrt{2}/2 + j0,5)$ А және $(110 + j110\sqrt{2})$ В кешендерімен өрнектеледі. токтың және кернеудің нақты мәндерін анықтаңыз. Тізбектің кедергі кешенін құрыңыз және кедергінің белсенді және реактивтік кедергінің құраушысын анықтаңыз.

11.17 Шарғының белсенді кедергісін және орын басу тізбекті схемасының индуктивтілігін анықтаңыз, егер оның кедергісі $\underline{Z} = 200e^{j50^\circ}$ кешенімен өрнектеліп, ал желінің жиілігі 50 Гц болса.



11.6.-сурет. 11.21.-есебіне тізбектің топографиялық

11.18. Тізбектің кедергі кешені келесідей өрнегімен берілген

$$\underline{Z} = \left(20 + \frac{j200}{3 + j4} \right) \Omega$$

осы тізбектің жиілігі 100 Гц болғандағы орын басу тармақталмаған схемасының параметрлерін анықтаңыз.

11.19. Тізбекті қосылған кедергілерден $R = 100$ Ом, $x_L = 150$ Ом және $x_C = 50$ Ом тұратын тізбегінде кешенді мәні $\bar{I} = -2$ А болатын ток өтеді.

Әр кедергідегі және тізбектің шығуларындағы кернеулер кешендерін анықтаңыз. Тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.20. Екі тізбекті қосылған бірдей шарғыдан және конденсатордан тұратын тізбек $P = 200$ Вт болатын белсенді қуатты тұтынады. Шығуларындағы кернеу $U = 120$ В болғанда тізбектің бойымен $I = 4$ А ток өтеді. Тізбектің кедергілері және оның толық қуаты үшін кешенді өрнектерді құрыңыз, сыйымдық кедергісі бір шарғының индуктивтік кедергісіне тең болу шартымен.

11.21. Тізбектің топографиялық диаграммасы 11.6 суретінде көрсетілген. Осы тізбектің учаскелерінің кедергілері және бүкіл тізбек үшін диаграммаға

сәйкес кешенді өрнектерін құрыңыз, егер $U = 90 \text{ В}$, $U_1 = 60 \text{ В}$, $U_3 = 52 \text{ В}$, $U_4 = 26 \text{ В}$, $U_5 = 45 \text{ В}$ және $I = 1 \text{ А}$ болса.

11.22. 11.21-есепіндегі тізбегінде кернеулердің резонанс режимі орнайтындай тізбекке тізбекті түрінде қосуға қажетті кедергінің кешенді мәнін анықтаңыз.

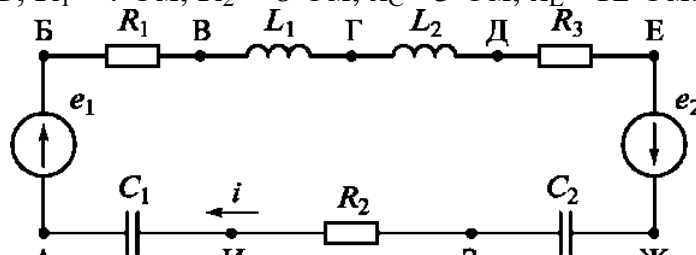
11.23. Электр тізбек кешенді кедергілері келесідей болатын $Z_1 = 50e^{j45^\circ} \text{ Ом}$, $Z_2 = 30e^{-j30^\circ} \text{ Ом}$, $Z_3 = 20e^{j90^\circ} \text{ Ом}$ және $Z_4 = 5 \text{ Ом}$ төрт учаскелерден тұрады. Осы тізбектің жалпы кедергісі келесідей формуласымен өрнектеледі, яғни

$$Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 + Z_4.$$

Тізбектің схемасын белсенді және реактивтік элементтерін белгілеуімен және оның әр учаскесінің параметрлерін анықтаңыз. Берілген тізбектің орын басу эквиваленттік схемасының параметрлерін анықтаңыз.

11.24. Синусоидалы кернеуімен екі көзі бар тармақталмаған тізбек үшін (11.7-сурет) тізбектегі токтың, кернеулердің кешендерін U_{EA} және U_{ID} және олардың нақты мәндерін анықтаңыз, егер $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 9 \text{ Ом}$, $R_3 = 8 \text{ Ом}$, $x_{L1} = 4 \text{ Ом}$, $x_{L2} = 6 \text{ Ом}$, $x_{C1} = 10 \text{ Ом}$, $x_{C2} = 15 \text{ Ом}$ және $e_1 = 169\sin(314t + 30^\circ)$, $e_2 = 226\sin(314t + 120^\circ)$.

11.25. 11.8-суретінде ұсынылған тізбегі үшін токтың кешенді және нақты мәндерін, қуатты кешенді нысанында, толық, белсенді және реактивтік қуаттарын анықтаңыз, егер e_2 фаза бойынша e_1 -ден 90° қалыс қалатын болса, $\bar{U} = 120 \text{ В}$, $\bar{U} = 90 \text{ В}$, $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $R_2 = 8 \text{ Ом}$, $x_C = 3 \text{ Ом}$, $x_L = 12 \text{ Ом}$.



11.7.-сурет. Орай қосылған синусоидалы ЭҚК екі көзі бар тармақталмаған тізбек

11.26. Кешенді әдісін пайдалана отырып, келесі кедергілердің параллельді жалғануының орын басу схемасының эквивалентті (белсенді және реактивтік) кедергілерін есептеңіз, яғни: белсенді $R = 50 \text{ Ом}$, индуктивтік $x_L = 70 \text{ Ом}$ және сыйымдықтық $x_C = 30 \text{ Ом}$.

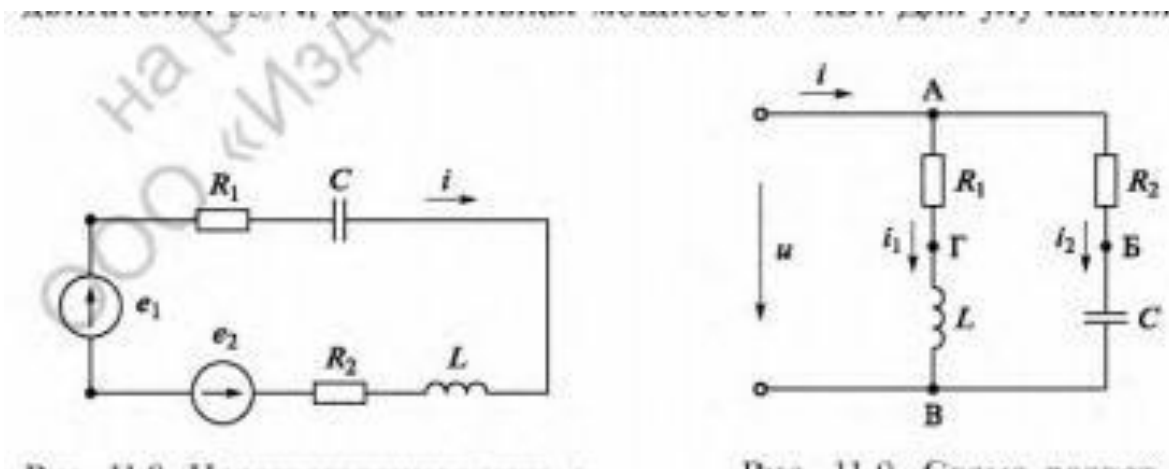
11.27. 11.26 есебіндегі тізбек үшін тармақтардың токтарын және жалпы токты есептеңіз, егер оның шығуларындағы кернеу $U = 220e^{j30}$ осы тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.28. 11.9 суретінде көрсетілген энергия көзінің қысқыштарындағы тізбектегі кернеуді, токтарды және қуатты кешенді әдіспен анықтаңыз, егер $R_1 = 8 \text{ Ом}$, $R_2 = 9 \text{ Ом}$, $x_C = 12 \text{ Ом}$, $x_L = 6 \text{ Ом}$, $I_1 = 9 \text{ А}$.

11.29. 11.9 суретінде көрсетілген тізбегінде тармақтардың токтары белгілі $I_1 = 0,8 \text{ А}$ және $I_2 = 0,6 \text{ А}$. Ток i_1 фаза бойынша i_2 тогынан 50° бұрышқа қалыс қалады. Кешенді әдісті пайдаланы отырып, U кернеуді және $U_{ГБ}$ анықтаңыз, егер $R_1 = 25 \text{ Ом}$ және $x_L = 15 \text{ Ом}$.

11.30. Электр қозғалтқыштар тобы кернеуі $\bar{U} = 220 \text{ В}$ болатын айнымалы

тоқтың желісіне қосылған. Аталмыш электр қозғалтқыштардың жалпы тогы 55 А, ал олардың белсенді қуаты 7 кВт құрайды



11.8.-сурет. Қарсы қосылған синусоидалы ЗҚК екі көзі бар тармақталмаған тізбек

11.9. Айнымалы токтың тармақталмаған тізбегінің схемасы

қуат коэффициентін 0,95 дейін жақсарту үшін электр қозғалтқыштарына параллельді етіп шағын белсенді кедергілерді елеусіз конденсаторлар батареясы қосылған. Конденсаторлар батареясының реактивтік кедергісін анықтаңыз және қозғалтқыштардың тогы, конденсаторлардың батареясының тогы және тұтынушылардың жалпы тогы үшін кешенді өрнектерді құрыңыз.

11.31. Кернеуі $\bar{U} = 220$ В айнымалы токтың желісіне үш параллель жалғанған кедергілерінен тұратын тұтынушы жалғанған. Аталмыш кедергілердің кешенді өрнектері тиісінше келесідей: $Z_1 = (100 + j60)$ Ом, $Z_2 = (40 - j60)$ Ом және $Z_3 = 120$ Ом. Тізбектің тармақтарының токтары, тұтынушының жалпы тогы және тізбектің толық қуаты үшін кешенді өрнектерін құрыңыз. Векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.32. 11.31 есебіндегі тізбекте кернеулер резонансы орнайтындай тізбекке тұтынушымен тізбектеле қосу керек кедергінің мәнін және сипатын анықтаңыз.

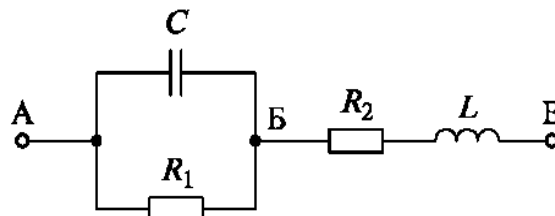
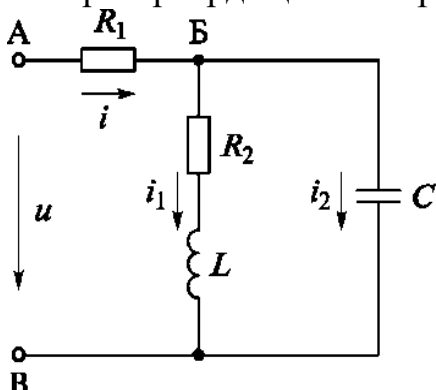
11.33. 11.10 суретінде келтірілген тізбегіндегі барлық токтарды, және АБ және БВ учаскелеріндегі кернеулерді, кешенді әдісін пайдалана отырып, табыңыз, егер $R_1 = 400$ Ом, $R_2 = X_L = 200$ Ом, $X_C = 800$ Ом, $\bar{U} = 220$ В.

11.34. 11.11 суретінде келтірілген АБ, БВ учаскелеріндегі және тізбектің АВ шығуларындағы кешенді кернеулерді анықтаңыз, егер $R_1 = 200$ Ом, $C = 10$ мкФ, $R_2 = 100$ Ом, $L = 0,5$ Гн және кедергісі R_1 тармағындағы жиілік = 400 Гц, ал ток $I_{R1} = 1,5$ А болса. Осы тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.35. 11.11 суретінде көрсетілген тізбектің АВ шығуларындағы кешенді кернеуді және 11.34 есебінің тізбектің параметрлерінің мәндерімен және жалпы ток $I = 2$ А болғанда оның тармақтарындағы токтарды табыңыз.

Тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.36. Ішкі кедергілері $Z_1 = Z_2 = j0,2$ Ом және ЭҚК $\bar{E} = 100$ В және $\bar{E} = 150$ В параллель жалғанған екі генератордың жалпы жүктемесі бар. Генераторлардың және жүктемесінің кешенді токтарын табыңыз,



11.10.-сурет. 11.33.-есеміне тізбектің схемасы 11.11.-сурет. 11.34-есеміне тізбектің схемасы

егер жүктеменің кешенді кедергісі $Z_3 = (2 + j2)$ Ом. Осы тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

11.37. 11.36 есебіндегі тізбектегі кешенді токтарды анықтаңыз $\bar{E} = 100$ В және $\bar{E} = -j$ болғанда. Осы тізбектің векторлық диаграммасын сызыңыз.

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ ЖАУАПТАРЫ

11.5. $Z = (55 + j 31,7) = 63,5e^{j30^\circ}$ Ом; $z = 63,5$ Ом; $R = 55$ Ом; $x_L = 31,7$ Ом.

11.6. $5e^{-j90^\circ}$ А; $220e^{-j45^\circ}$ В.

11.7. $u = 12\sqrt{\sin(t - 180^\circ)}$ В; $i = 50\sqrt{\sin(t - 90^\circ)}$ мА.

11.8. $-j12$ В; 50 мА; $j12$ В; -50 мА.

11.9. $100e^{j60^\circ}$ В; $100e^{j180^\circ}$ В; $100e^{-j60^\circ}$ В; 120° .

11.10. 0.

11.11. $105,8e^{-j19^\circ 6'}$ = $105,8 (\cos 19^\circ 6' - j \sin 19^\circ 6')$ = $(100 - j34,6)$ В.

11.12. $(-10 + j 17,3)$ В; $(-14 - j 17,3)$ В; -24 В; -48 В; $u = 48\sqrt{\sin(t - 180^\circ)}$ В.

11.13. $U = 220$ В; $i = 2\sqrt{\sin(t - 45^\circ)}$ А; $u = 220\sqrt{\sin t}$

11.14. $j120 = 120e^{j90^\circ}$ В; 30° .

11.15. 0; $(60\sqrt{+} + j60) = 120e^{j30^\circ}$ В.

11.16. 1 А; 220 В; $(190,5 + j110) = 220e^{j30^\circ}$ Ом; 190,5 Ом; 110 Ом.

11.17. 128,6 Ом; 487,7 мГн.

11.18. 52 Ом; 38,2 мГн.

11.19. $-200 = 200e^{j180^\circ}$ В; $-j300 = 300e^{-j90^\circ}$ В; $j100 = 100e^{j90^\circ}$ В; $-200 - j200 = 200\sqrt{2}e^{-j135^\circ}$ В.

11.20. $(12,5 + j27,3)$ Ом; $(200 + j436,3)$ В·А.

11.21. $-j60$ Ом; $(37,6 + j 26,6)$ Ом; $j52$ Ом; 26 Ом; $j45$ Ом; $(63,6 + j63,6)$ Ом.

11.22. - $j63,6 \text{ Ом}$.

11.23. Тізбектің схемасы 11.12 а суретінде көрсетілген; $R_1 = x_{L1} = 25\sqrt{\text{—}} \text{ Ом}$; $R_2 = 15\sqrt{\text{—}} \text{ Ом}$; $x_{C1} = 15 \text{ Ом}$; $x_{L2} = 20 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$; $R_{\text{ЭКВ}} = 28,2 \text{ Ом}$; $x_{L\text{ЭКВ}} = 19 \text{ Ом}$; Тізбектің эквивалентті схемасы 11.12, б-суретінде келтірілген.

11.24. $I = 8e^{j120^\circ} = (-4 + j6,94) \text{ А}$; $I = 8 \text{ А}$; $\bar{U} = 220e^{j6^\circ} = (217 + j23,6) \text{ В}$; $\bar{U} = 123e^{-j161^\circ} = (-116 - j40) \text{ В}$; $I = 8 \text{ А}$; $U_{\text{ЕА}} = 220 \text{ В}$; $U_{\text{ИД}} = 123 \text{ В}$.

11.25. $I = 10e^{-j73^\circ} \text{ А}$; $I = 10 \text{ А}$; $\bar{U} = 1500e^{j36^\circ 52'} = (1200 + j900) \text{ В} \cdot \text{А}$; $S = 1500 \text{ В} \cdot \text{А}$; $P = 1200 \text{ Вт}$; $Q_L = 900 \text{ вар}$.

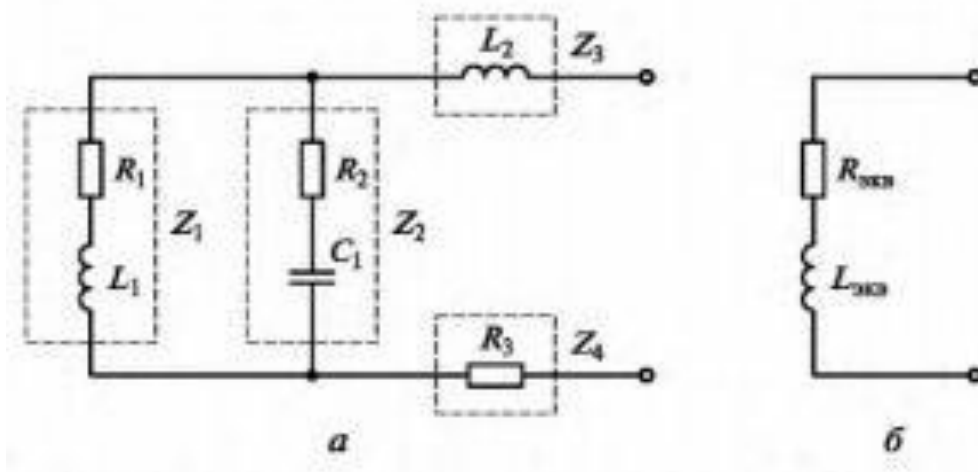
11.26 $R_{\text{ЭКВ}} = 26,2 \text{ Ом}$; $x_{\text{СЭКВ}} = 25 \text{ Ом}$.

11.27 $4,4e^{j30^\circ} \text{ А}$; $3,14e^{-j60^\circ} \text{ А}$; $7,33e^{j120^\circ} \text{ А}$; $6,06e^{j73^\circ 36'} \text{ А}$.

11.28 $\bar{U} = 72 + j54 = 90e^{j37^\circ} \text{ В}$; $U = 90 \text{ В}$; $\bar{I} = I_1 = 9 \text{ А}$; $I_2 = j6 = 6e^{j90^\circ} \text{ А}$; $I_2 = 6 \text{ А}$; $\bar{I} = 9 + j6 = 10,8e^{j34^\circ} \text{ А}$; $I = 10,8 \text{ А}$; $\bar{S} = 972 + j54 = 973,5e^{j3^\circ} \text{ В} \cdot \text{А}$; $S = 973,5 \text{ В} \cdot \text{А}$; $P = 972 \text{ Вт}$; $Q_L = 54 \text{ вар}$.

11.29 $23,3 \text{ В}$; $17,9 \text{ В}$.

11.30. Жауаптың екі нұсқасы: 4 Ом ; $55e^{-j54^\circ 39'}$, А ; $55,3e^{j90^\circ} \text{ А}$; $33,5e^{j18^\circ 12'}$ А немесе $6,4 \text{ Ом}$; $55e^{-j54^\circ 39'}$ А ; $34,4e^{j90^\circ} \text{ А}$; $33,5e^{-j18^\circ 12'}$ А .



11.12.-сурет. 11.23-есбіне сызылған электр тізбектің схемасы (а), және оның орын басу эквивалентті схемасы (б)

11.31. $\bar{U} = 1,61 - j0,97 = 1,88e^{-j31^\circ 4'}$ А ; $\bar{U} = 1,69 + j2,54 = 3,05e^{j56^\circ 22'}$ А ; $\bar{U} = 1,83 \text{ А}$; $I = 5,13 + j1,57 = 5,36e^{j17^\circ} \text{ А}$; $S = 1128,6 - j345,4 = 1180e^{j17^\circ} \text{ В} \cdot \text{А}$.

11.32. Индуктивтік кедергі 12 Ом .

11.33. $I = 0,29 - j0,065 = 0,36e^{-j12^\circ 38'}$ А ; $\bar{U} = 0,325 - j0,195 = 0,379e^{-j31^\circ} \text{ А}$; $\bar{U} = -0,0325 + j0,13 = 0,134e^{j104^\circ 2'}$ А ; $U_{\text{АВ}} = 116 - j26 = 119 e^{j12^\circ 38'}$ В ; $U_{\text{ВВ}} = 104 + j26 = 107e^{j14^\circ 2'}$ В .

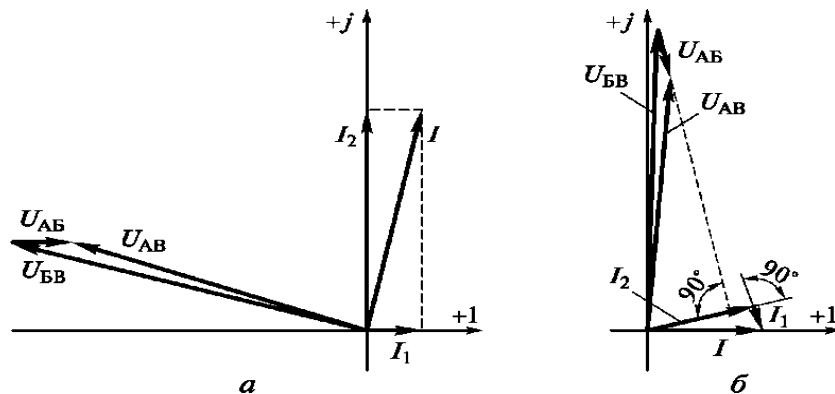
11.34. $\bar{U} = 300 \text{ В}$; $\bar{U} = -9325 + j2639 = 9691e^{j164^\circ 12'}$ В ; $\bar{U} = -9025 + j2639 = 9403e^{j163^\circ 42'}$ В ; Тізбектің векторлық диаграммасы 11.13 а суретінде көрсетілген.

11.35. $215 + j2437 = 2446e^{j85^\circ} \text{ В}$; $0,08 - j0,38 = 0,39e^{-j78^\circ 7'}$ А ; $1,92 + j0,38 = 1,96e^{j11^\circ 12'}$ А ; Тізбектің векторлық диаграммасы 11.13, б-суретінде көрсетілген.

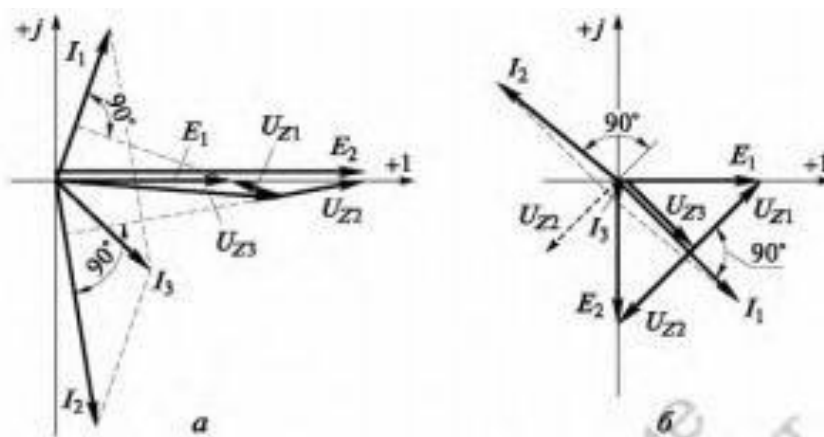
11.36. $\bar{U} = 14,85 + j109,35 = 110e^{j82^\circ 16'}$ А ; $\bar{U} = 14,85 - j140,65 =$

$= 141,43e^{-j84^\circ}$ А; $\bar{I} = 29,73 - j31,21 = 43,1e^{-j46^\circ 23'}$ А; Тізбектің векторлық диаграммасы 11.14, а-суретінде көрсетілген.

11.37. $\bar{I} = 249,7 - j262,2 = 362,08e^{-j46^\circ 24'}$ А; $\bar{I} = -250,3 + j237,8 = 345,25e^{j136^\circ 28'}$ А; $\bar{I} = -0,6 - j24,38 = 24,39e^{-j91^\circ 24'}$ А; тізбектің векторлық диаграммасы 11.14, б-суретінде көрсетілген.



11.13.-сурет.11.34-есбіне (а) және 11.35-есбіне (б) сызылған тізбектің векторлық диаграммалары



11.14.-сурет.11.36 (а) және 11.37(б) есептеріне сызылған векторлық диаграммалары

СИНУСОИДАЛЫ ЕМЕС ПЕРИОДТЫ КЕРНЕУЛЕР МЕН ТОКТАРЫ БАР ЭЛЕКТРЛІК ТІЗБЕКТЕР

12.1. Периодтық қисықтардың гармоникалық құрамдас бөліктері

12.1 есеп. Тригонометриялық қатарға графигі трапеция тәрізді периодтық синусоидалы емес ЭҚК $e(\omega t)$ талдау әдісімен жіктеу.

Шешімі. 1. Синусоидалы емес ток пен кернеуді синусоидалы құраушылардың тригонометриялық қатарына аналитикалық әдісімен жіктеудің жалпы м ә л і м е т . Синусоидалы емес ток және кернеулер сызықтық тізбекте те (тізбектік элементті тізбектерде), сызықтық емес тізбекте де болуы мүмкін. Сызықтық тізбектерде синусоидалы емес ток синусоидалы емес кернеу болғанда пайда болады. Егер тізбекте сызықтық емес вольт-амперлі сипатты элементтер болса, энергия көзінің синусоидалы кернеуі кезінде тізбек аумағында синусоидалы емес ток пен кернеуді алуға болады.

Математикадан білетіміздей, кез келген синусоидалы емес периодтық функцияны Фурье теоремасының көмегімен тригонометриялық қатар түрінде ұсынуға болады, яғни біреуі тұрақты, ал басқалары еселік жиілікті синусоидалы функциялар болып табылатын құраушылар қатарының қосындысы. Периодтық синусоидалы емес шамаларды (ток, кернеу, т.б.) синусоидалы құраушылар жанында ұсыну мүмкіндігі синусоидалы емес тізбектерді есептеу кезінде синусоидалы тізбектерді есептеудің белгілі әдістерін пайдалануға жол береді.

Синусоидалы емес периодтық функцияның аналитикалық өрнегі тригонометриялық қатар болып табылады

$$y(\omega t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \psi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \psi_2) + \\ + A_3 \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots + A_k \sin(k\omega t + \psi_k), \quad (12.1)$$

мұндағы A_0 — тұрақты құраушы; $A_1 \dots A_k$ — синусоида амплитудасы; $\psi_1 \dots \psi_k$ — синусоида бастапқы фазасы.

Синусоидалы құраушылар *гармоникалық* немесе *гармоникалар* деп аталады. Периоды синусоидалы емес қисықтың периодына тең гармоника *бірінші* немесе *негізгі гармоника* деп аталады. Барлық басқа гармоникалар

жогары деп аталады.

Өрнекті (12.1) нөлдік негізгі фазалы синусты және косинусты құрайтын ыңғайлылыққа жазбаға түрлендіруге болады.

Тригонометриядан екі бұрыш қосындысы синусының белгілі формуласын пайдаланып,

$$A_k \sin(k\omega t + \psi_k) = A_k \sin k\omega t \cdot \cos \psi_k + A_k \cos k\omega t \cdot \sin \psi_k$$

және тұрақты шаманы көрсетіп,

$$A_k \cos \psi_k = B_k; \quad A_k \sin \psi_k = C_k, \quad (12.2)$$

құраушы тізбектің кез келген k арналған өрнек алынады

$$A_k \sin(k\omega t + \psi_k) = B_k \sin k\omega t + C_k \cos k\omega t.$$

Осылайша, нөлдік негізгі фазалы синусты және косинусты құрайтын синусоидалы емес функцияның тригонометриялық қатары $y(\omega t)$ көрсетіледі:

$$y(\omega t) = A_0 + B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + B_3 \sin 3\omega t + \dots + B_k \sin k\omega t + C_1 \cos \omega t + C_2 \cos 2\omega t + C_3 \cos 3\omega t + \dots + C_k \cos k\omega t. \quad (12.3)$$

Егер синусоидалы емес қисықтың $y(\omega t)$ өзгеріс заңы аналитикалық өрнек (теңдік) түрінде көрсетілсе, A_0 , B_k және C_k қатардың (12.3) коэффициенттерін аналитикалық әдіспен келесі өрнек арқылы анықтауға болады :

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} y d\omega t; \quad B_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \sin k\omega t d\omega t; \quad C_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \cos k\omega t d\omega t. \quad (12.4)$$

Қатардан (12.3) қатарға (12.1) кері өтуді жүзеге асыру оңай, ол үшін өрнектен алынған (12.2) қатардың (12.1) коэффициенттерін және формула бойынша гармониканың бастапқы фазаларын есептеу :

$$A_k = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}; \quad \operatorname{tg} \psi_k = \frac{C_k}{B_k}.$$

Электротехникалық периодтық өзгермелі шамалар көбінесе симметрияның қандай да бір түріне (абцисса, ордината осьтері мен координата басына қатысты) немесе осы түрлердің комбинациясына ие болып табылады.

Симметрияның әрбір түрінде қатарлардың (12.1,12.3) қандай да бір коэффициенттері нөлге тең және қатарлар ықшамдалатынын көрсетуге болады.

Абцисса осіне қатысты симметрия келесі теңдікпен сипатталады

$$y(\omega t) = -y(\omega t + \pi). \quad (12.5)$$

Абцисса осіне қатысты симметриялы функция тұрақты құраушылар және жұп реттегі гармоникалық құраушылардың тұрмайды.

$y(\omega t)$ және $y(\omega t + \pi)$ функцияларын қатарлар ретінде (12.1) жазамыз

$$y(\omega t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \psi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \psi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots; \\ y(\omega t + \pi) = A_0 - A_1 \sin(\omega t + \psi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \psi_2) - A_3 \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots$$

Өрнекке сәйкес (12.5) $y(\omega t) + y(\omega t + \pi) = 0$.

Сонда $2A_0 + 2A_2 \sin(2\omega t + \psi_2) + 2A_4 \sin(4\omega t + \psi_4) + \dots = 0$.

Бұл теңдіктің орындалуы мүмкін, егер көрсетілуге тиісті $A_0 = 0, A_2 = 0, A_4 = 0$ және т.б.

Координата басына қатысты симметрия теңдікпен сипатталады: $y(\omega t) = y(\omega t)$.

Берілген функция тек синустар қатарынан тұрады:

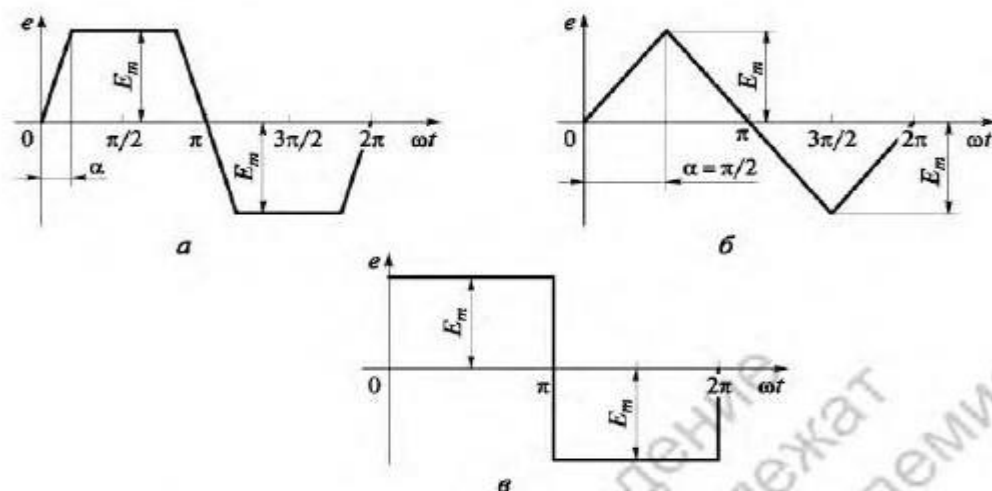
$$y(\omega t) = B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + B_3 \sin 3\omega t + \dots$$

2. Берілген қисықты тригонометриялық қатар түрінде көрсету. 12.1, а суретте көрсетілген қисықтың екі симметриясы бар: абцисса осіне қатысты, өйткені $e(\omega t) = e(\omega t + \pi)$, және координата басына байланысты, өйткені $e(\omega t) = e(\omega t)$.

Абцисса осіне байланысты симметрия кезінде жұп ретті тұрақты құраушы және гармоникалық құраушы болмайды. Координата басына байланысты симметрия кезінде жіктеу тек тақ ретті синустардан тұрады.

Осылайша, берілген қисықтың тригонометриялық қатарының жалпы көрінісі

$$e(\omega t) = B_1 \sin \omega t + B_3 \sin 3\omega t + B_5 \sin 5\omega t \dots \quad (12.6)$$



12.1 сурет. Периодтық синусоидалы емес функциялар:

а — трапеция тәрізді; б — үшбұрыш; в — тіктөртбұрыш

Есепті шешу қатардың (12.6): $B_1, B_3, B_5, \dots, B_k$ белгілі бір коэффициентін (мұндағы $k = 1, 3, 5, \dots$ — бүтін тақ сан) графикте көрсетілген берілген қисықтың параметрлері арқылы анақтаумен байланысты.

3. Трапеция түріндегі (12.1, а сурет) берілген қисықтың қатарындағы (12.6) B_k коэффициентті аналитикалық әдіспен анықтаңыз. Берілген қисық арқылы шектелген фигураны төрт ауданы бірдей бірдей бөліктерге бөлуге болады. Сонда (12.4) өрнекке сәйкес коэффициентті B_k келесі түрде жазуға болады:

$$B_k = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e \sin k\omega t \, d\omega t.$$

Периодтың бірінші ширегінде қисық ωt түрлі мәндерінде түрлі теңдіктермен сипатталады. Берілген қисық үшін ωt интервал мәндерін және сәйкес ЭҚК теңдіктерін жазамыз:

$$0 \dots \alpha, \quad e = \frac{E_m}{\alpha} \omega t; \quad \alpha \dots \pi/2, \quad e = E_m.$$

ωt мәндерін және оларға сәйкес өрнектерді ЭҚК үшін формулаға B_k қойсақ, аламыз:

$$B_k = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e \sin k\omega t \, d\omega t = \frac{4}{\pi} \int_0^{\alpha} \frac{E_m}{\alpha} \omega t \sin k\omega t \, d\omega t + \frac{4}{\pi} \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} E_m \sin k\omega t \, d\omega t.$$

Себебі

$$\int \omega t \sin k\omega t \, d\omega t = \frac{\sin k\omega t}{k^2} - \frac{\omega t \cos k\omega t}{k} = \frac{\sin k\omega t - k\omega t \cos k\omega t}{k^2},$$

аламыз

$$\begin{aligned} B_k &= \frac{4E_m}{\pi\alpha k^2} (\sin k\omega t - k\omega t \cos k\omega t) \Big|_0^{\alpha} - \frac{4E_m}{\pi k} \cos k\omega t \Big|_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} = \\ &= \frac{4E_m}{\pi\alpha k^2} (\sin k\alpha - k\alpha \cos k\alpha) - \frac{4E_m}{\pi k} \left(\cos \frac{k\pi}{2} - \cos k\alpha \right) = \\ &= \frac{4E_m}{\pi k} \left(\frac{\sin k\alpha}{\alpha k} - \cos k\alpha - \cos \frac{k\pi}{2} + \cos k\alpha \right). \end{aligned}$$

Бұл өрнекте $\cos(k\pi/2) = 0$, өйткені берілген қисықтың симметрия түріне сәйкес k — бүтін тақ сан. Сонда

$$B_k = \frac{4E_m}{\pi\alpha k^2} \sin k\alpha. \quad (12.7)$$

Осылайша, өрнектерге (12.6 және 12.7) сәйкес берілген қисықтың (трапеция) тригонометриялық қатарының түрі

$$e = \frac{4E_m}{\pi\alpha} \left(\sin \alpha \cdot \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \cdot \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \cdot \sin 5\omega t + \dots \right) \quad (12.8)$$

12.2 есеп. Тригонометриялық қатарға графигі үшбұрыш (12.1 б сурет) периодтық синусоидалы емес ЭҚК $e(\omega t)$ аналитикалық әдіспен жіктеу.

Шешімі. Берілген қисық түрі $\alpha = \pi/2$ жағдайында 12.1 тапсырманың жеке жағдайы болып табылады. Мұндай жағдайда тригонометриялық қатар $\alpha = \pi/2$ мәнді формулаға (12.8) қойылғанда алына алады:

$$e = \frac{8E_m}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \frac{1}{49} \sin 7\omega t + \dots \right)$$

12.3 есеп. Тригонометриялық қатарға графигі тіктөртбұрыш (12.1, в сурет) периодтық синусоидалы емес ЭҚК $e(\omega t)$ аналитикалық әдіспен жіктеу.

Шешімі. Берілген қисық түрі $\alpha = 0$ жағдайында 12.1 тапсырманың жеке жағдайы болып табылады. Мұндай жағдайда оларға сәйкес ЭҚК мен интервал мәндерін қарастырамыз:

$$0 \dots \pi, e = E_m; \pi \dots 2\pi, e = -E_m.$$

Бұл ретте, өрнекке (12.4) сәйкес және симметрия түріне сәйкес k тақ сан екенін ескере отырып, коэффициент

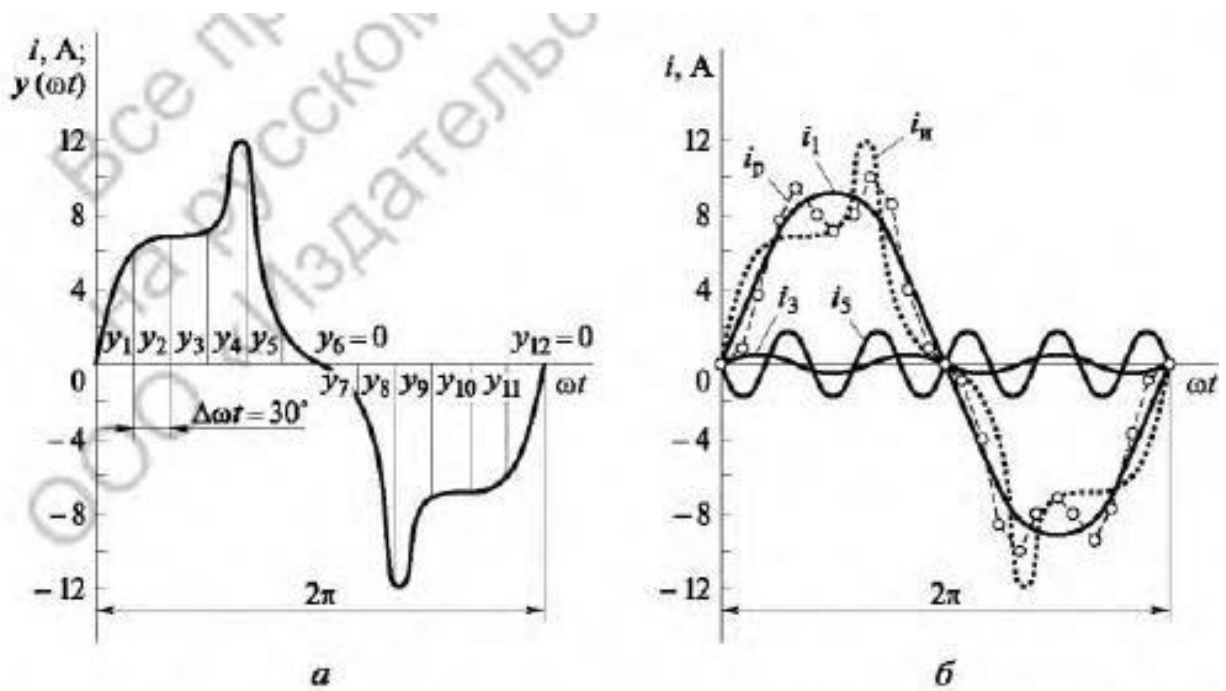
$$\begin{aligned} B_k &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_m \sin k\omega t \, d\omega t - \frac{1}{\pi} \int_{\pi}^{2\pi} E_m \sin k\omega t \, d\omega t = \\ &= \frac{E_m}{k\pi} \left(-\cos k\omega t \Big|_0^{\pi} + \cos k\omega t \Big|_{\pi}^{2\pi} \right) = \frac{4E_m}{k\pi}. \end{aligned}$$

Бұл жағдайда өрнекке сәйкес (12.6) берілген ЭҚК тригонометриялық қатарын аламыз:

$$e = \frac{4E_m}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right)$$

12.4 есеп. 12.2, а суретіндегі графикпен берілген периодтық токты тригонометриялық қатарға графаналитикалық әдіспен жіктеу.

Шешімі. 1. Тригонометриялық қатардың коэффициенттерін анықтаудың графаналитикалық әдісі туралы негізгі мәліметтер. Бұл әдіс аналитикалық әдіске қарағанда айтарлықтай танымал, өйткені функция қатарларына



12.2 сурет. Синусодалы емес периодтық қисықтың гарфигі $y(\omega t)$ (а) және оның гармоникалық құраушыларының графигі (б)

жіктелетін математикалық көрсетілімін талап етпейді және коэффициенттердің жуық, бірақ толықтай қабылданатын мәндерін алуды қамтамасыз етеді. Әдістің орындалуы келесідегідей:

- берілген қисықтың графигінде $y(\omega t)$, мысалы 12.2, а суретінде көрсетілгендей, периодқа сәйкес кесінді бөледі, m бөліктерінде $\Delta\omega t = 2\pi/m$ және бөлінген соңынан қисықтың $y(\omega t)$ ординатасын y_n (мұндағы $n = 1, 2, 3, \dots$) жүргізеді;
- берілген масштабта ордината y_n мәнін анықтайды. Тұрақты құраушы және қатар коэффициенті (12.3) өрнектерден (12.3) алынған жуық формулалар бойынша анықталады:

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} y d\omega t \approx \frac{1}{2\pi} \sum_1^m y \Delta\omega t = \frac{\Delta\omega t \sum_1^m y}{2\pi} = \frac{2\pi \sum_1^m y}{m \cdot 2\pi} = \frac{\sum_1^m y}{m}; \quad (12.9)$$

$$B_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \sin k\omega t d\omega t \approx \frac{2}{\pi} \sum_1^m y \sin k\omega t; \quad (12.10)$$

$$C_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \cos k\omega t d\omega t \approx \frac{2}{\pi} \sum_1^m y \cos k\omega t. \quad (12.11)$$

Коэффициентті анықтау нәтижелері нақты болған сайын, ордината арасындағы интервал $\Delta\omega t$ соншылықты аз алынады.

2. Берілген токтың тригонометриялық қатарының коэффициенттерін графанадикалық әдіспен анықтаңыз. Периодқа сәйкес (12.2, а суретіне назар ауд.) кесіндіні бөлеміз, $m = 12$ тең

бөліктерге $\Delta\omega t = 2\pi/m = 30^\circ$ және осы бөліктердің соңынан ординаталар жүргіземіз.

Бірінші гармониканың (12.1 кесте) тұрақты құраушылары A_0 және B_1 және C_1 коэффициенттерін анықтау үшін мәліметтер кестесін құрамыз.

Әрбір бөліктің соңында берілген қисықтың ординатасын өлшейміз және 12.2, а суретінде көрсетілген ток масштабын ($m_i = 4 \text{ А/см}$) ескере отырып, токтың мәнін сәйкес ординаталармен табымыз. Өлшеу нәтижелерін 12.1 кестеге енгізіземіз. Кестенің басқа бөліктерін қажетті есептеулерді жүргізу арқылы толтырамыз.

Бірінші гармониканың тұрақты құраушысын A_0 және B_1 , C_1 коэффициенттерін формулаларға сәйкес (12.9)...(12.11) анықтаймыз:

$$A_0 = \frac{\sum_1^m i}{m} = \frac{\sum_1^{12} i}{12} = 0;$$

$$B_1 = \frac{2}{m} \sum_1^m i \sin \omega t = \frac{2}{12} \sum_1^{12} i \sin \omega t = \frac{53,8}{6} = 9 \text{ А};$$

12.1 кесте

A_0 , B_1 және C_1 коэффициенттерін анықтауға арналған мәліметтер

Ордината нөмірі	t, град	i, А	sin t	cos t	i sin t	i cos t
1	30	5,8	0,50	0,86	2,9	5,0
2	60	6,8	0,86	0,50	5,8	3,4
3	90	7,0	1,00	0	7,0	0
4	120	11,8	0,86	-0,50	10,1	-5,9
5	150	2,2	0,50	-0,86	1,1	-1,9
6	180	0	0	-1,00	0	0
7	210	-2,2	-0,50	-0,86	1,1	1,9
8	240	-11,8	-0,86	-0,50	10,1	5,9
9	270	-7,0	-1,00	0	7,0	0
10	300	-6,8	-0,86	0,50	5,8	-3,4
11	330	-5,8	-0,50	0,86	2,9	-5,0
12	360	0	0	1,00	0	0
Қосындысы	—	0	—	—	53,8	0

$$C_1 = \frac{2}{m} \sum_1^m i \cos \omega t = \frac{2}{12} \cdot 0 = 0.$$

Тұрақты құраушының A_0 және C_1 коэффициентінің нөлге теңдігін күтуге болады, өйткені берілген қисық симметрияның екі түрін қамтиды: абцисса осыне және координата басына қатысты. Бұл жағдайда қисық B_1, B_3, B_5 және т.б. амплитудалық тақ қатарлы синусоидалы гармоникалардан тұрып жанында көрсетілуі мүмкін.

B_3 және B_5 коэффициенттерін анықтау үшін 12.2 кестесін құрамыз. B_3 және B_5 коэффициенттерін формулаға (12.10) сәйкес анықтаймыз:

$$B_3 = \frac{2}{12} \sum_1^{12} i \sin 3\omega t = \frac{2}{6} = 0,33 \text{ A};$$

$$B_5 = \frac{2}{12} \sum_1^{12} i \sin 5\omega t = \frac{-9,8}{6} = -1,63 \text{ A}.$$

12.2 кесте

B_3 және B_5 коэффициенттерін анықтауға арналған мәліметтер

Ордината нөмірі	t , град	i , А	$3 t$, град	$\sin 3 t$	$i \sin 3 t$	$5 t$, град	$\sin 5 t$	$i \sin 5 t$
1	30	5,8	90	1	5,8	150	0,50	2,9
2	60	7,0	180	0	0	300	-0,86	-5,8
3	90	7,1	270	-1	-7,0	450	1,00	7,0
4	120	11,8	360	0	0	600	-0,86	-10,1
5	150	2,0	450	1	2,2	750	0,50	1,1
6	180	0	540	0	0	900	0	0
7	210	-2,0	630	-1	2,2	1050	-0,50	1,1
8	240	-11,8	720	0	0	1200	0,86	-10,1
9	270	-7,1	810	1	-7,0	1350	-1,00	7,0
10	300	-7,0	900	0	0	1500	0,86	-5,8
11	330	-5,8	990	-1	5,8	1650	-0,50	2,9
12	360	0	1080	0	0	1800	0	0
Қосындысы	—	0	—	—	2,0	—	—	-9,8

Өз бетімізше ұқсас есептеулер жүргізе отырып, коэффициент $B_7 = 1,63$ А аламыз.

3. Тригонметриялық қатар түрінде периодтық токтың

берілген графигімен теңдік құру. Берілген токтың (амперде) шұғыл мәні өрнекке (12.3) сәйкес келесі түрде болады

$$i(\omega t) = B_1 \sin \omega t + B_3 \sin 3\omega t + B_5 \sin 5\omega t + B_7 \sin 7\omega t + \dots = \\ = 9 \sin \omega t + 0,33 \sin 3\omega t - 1,63 \sin 5\omega t + 1,63 \sin 7\omega t - \dots \quad (12.12)$$

12.5 есеп. 12.4 тапсырманың мәліметтері бойынша бірнеше алғашқы гармоникалар және токтың жалпы қисығын құру.

Шешімі. 1. Гармоника құрудың ерекшеліктері. Гармониканы құруда келесі ерекшеліктерді ескеру қажет:

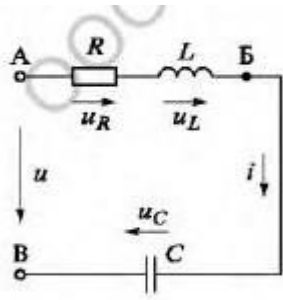
- абцисса осінің өлшемдеуі бірінші гармоника масштабында жүргізілетін себептен, кесіндіде $\omega t = 2\pi k$ -гармоникасының k толық цикліне жатады;
- абцисса осы бойынша k -гармоникасының бастапқы фазасын кейінге қалдыра отырып, негізгі гармоника масштабында қайтадан санау қажет, яғни ψ_k орнына ψ_k/k кейінге қалдыру қажет.

2. Токтың гармоникасын құру. 12.2 б суретінде токтың тригонометриялық қатарында (12.12) құрудың берілген ерекшеліктерін ескере отырып алғашқы үш гармоника i_1, i_3, i_5 құралған. Сонымен қатар, кері қисық i_u және үш гармоника құрылуының (алғашқы қисықпен салыстыру үшін) нәтижелік қисығы i_p келтірілген. ωt мәнінің қатарына арналған i_p қисығын құру үшін гармоника ординаталарын қосып, қисықты алынған нүктелермен жүргізу қажет.

12.2. Кіру бөлігінде синусоидалы емес периодты кернеуі бар электр тізбегі

12.6 есеп. Электр тізбегі (12.3 сурет) индуктивтік шарғыдан құралған, белсенді кедергісі $R = 20$ Ом және индуктивтілігі $L = 0,05$ Гнбар және онымен сыйымдылығы $C = 15$ мкФ конденсатор жалғасқан, синусоидалы емес көзден $u = 150 + 200 \sin(\omega t + 30^\circ) + 100 \sin(3\omega t - 45^\circ)$ кернеумен (вольт) қоректенеді. Бірінші гармониканың циклдік жиілігі $f = 50$ Гц.

Тізбекте токтың және оның аумағындағы кернеудің (шарғы мен конденсатор) шұғыл мәндерінің теңдігін құрау. Тізбек қысқышындағы ток пен кернеудің, бұрмалау коэффициенттерінің i және u және i синусоидалы емес кернеу мен токтың және тізбектің белсенді қуатына сәйкес әсерлік мәнін анықтау.



12.3 сурет. RLC электр тізбегінің схемасы

Шешімі. 1. Синусоидалы емес кернеулі электр тізбектерін есептеу әдістемесі. Синусоидалы емес кернеуді тұрақты және синусоидалы құрамалар қосындысымен өрнектеу мүмкіндігі синусоидалы емес кернеуді тұрақты кернеу мен синусоидалы кернеу көздерінің кезекті байланысуының жалпы кернеуі ретінде көрсетуге жағдай жасайды:

$$u = U_0 + u_1 + u_2 + \dots + u_k.$$

Тізбектегі ортақ токты әрбір бөлек көзден жартылай токты берілу нәтижесі деп анықтауға болады. Демек, тізбектің кез келген аумағындағы ортақ токтың шұғыл мәні әрбір көздегі токтың шұғыл мәнінің алгебралық қосындысына тең:

$$i = I_0 + i_1 + i_2 + \dots + i_k.$$

Осылайша, синусоидалы емес ЭҚК сызықтық тізбектің есебі қабаттасу принциптері негізінде орындалады және тұрақты құраушының және әрбір құраушы кернеудің синусоидалы токтарының анықталуына келеді.

Есепті орындау кезінде реактивті кедергінің жиілікке тәуелділігін есепке алу қажет.

Қарастырылатын тапсырма үшін берілген синусоидалы емес қоректену көзінің кернеу келесі түрде болады:

$$u = U_0 + u_1 + u_3.$$

Мұнда

$$U_0 = 150 \text{ В}; u_1 = U_{1m} \sin(\omega t + \psi_{U1}) = 200 \sin(\omega t + 30) \text{ В};$$

$$u_3 = U_{3m} \sin(\omega t + \psi_{U3}) = 100 \sin(3\omega t - 45^\circ) \text{ В}.$$

Демек, тізбектегі ток тұрақты құраушыны, бірінші және үшінші гармониканы ұстауы қажет:

$$i = I_0 + i_1 + i_3.$$

2. Тұрақты құраушыны және тізбек тогының бірінші гармоникасын есептеу. Қарастырылатын тізбектің кедергісі токтың тұрақты құраушы үшін шексіздікке тең, өйткені бұл тізбекте конденсатор бар. Демек, токтың тұрақты құраушысы нөлге тең: $I_0 = 0$.

$$R = 20 \text{ Ом}; x_{L1} = \omega L = 2\pi f L = 314 \cdot 0,05 = 15,7 \text{ Ом};$$

$$x_{C1} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{10^6}{314 \cdot 15} = 212,3 \text{ Ом};$$

$$z_1 = \sqrt{R^2 + (x_{L1} - x_{C1})^2} = \sqrt{20^2 + (15,7 - 212,3)^2} = 197,6 \text{ Ом}.$$

Токтың бірінші гармоника амплитудасы

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{z_1} = \frac{200}{197,6} = 1,012 \text{ А}.$$

Токтың бірінші гармоникасы үшін тізбектің жалпы реактивтік кедергісінің сыйымдылық сипаттамасы бар, өйткені $x_{C1} > x_{L1}$, олай болса, токтың бірінші гармоникасы кернеудің бірінші гармоникасынан келесі бұрышқа озық болады:

$$\varphi_1 = \arccos \frac{R}{z_1} = \arccos \frac{20}{197,6} = 84^\circ 11'.$$

Токтың бірінші гармоникасының негізгі фазасы

$$\psi_{I1} = \psi_{U1} + \varphi_1 = 30 + 84^\circ 11' = 114^\circ 11'.$$

Токтың бірінші гармоникасының шұғыл мәні

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_{I1}) = 1,012 \sin(\omega t + 114^\circ 11') \text{ А}.$$

3. Тізбектегі токтың үшінші гармоникасын есептеу. Токтың үшінші гармоникасы үшін тізбек кернеуін анықтаймыз:

$$R = 20 \text{ Ом}; x_{L3} = 3\omega L = 3x_{L1} = 3 \cdot 15,7 = 47,1 \text{ Ом};$$

$$x_{C3} = \frac{1}{3\omega C} = \frac{x_{C1}}{3} = \frac{212,3}{3} = 70,8 \text{ Ом};$$

$$z_3 = \sqrt{R^2 + (x_{L3} - x_{C3})^2} = \sqrt{20^2 + (47,1 - 70,8)^2} = 31 \text{ Ом}.$$

Токтың үшінші гармоникасының амплитудасы

$$I_{3m} = \frac{U_{3m}}{z_3} = \frac{100}{31} = 3,225 \text{ А}.$$

Токтың үшінші гармоникасы үшін тізбектің жалпы реактивтік кедергісі бірінші гармоника секілді сыйымдылық сипатқа ие, өйткені $x_{C3} > x_{L3}$. Олай болса, токтың үшінші гармоникасы кернеудің үшінші гармоникасынан келесі бұрышқа артық болады:

$$\varphi_3 = \arccos \frac{R}{z_3} = \arccos \frac{20}{31} = 49^\circ 49'.$$

Токтың үшінші гармоникасының негізгі фазасы

$$\psi_{I3} = \psi_{U3} + \varphi_3 = -45 + 49^\circ 49' = 4^\circ 49'.$$

Токтың үшінші гармоникасының шұғыл мәні

$$i_3 = I_{3m} \sin(3\omega t + \psi_{I3}) = 3,225 \sin(3\omega t + 4^\circ 49') \text{ A.}$$

4. Тізбекте ортақ токтың шұғыл мәнінің теңдігін құру. Ток қабаттасуының (ампер) принциптеріне сәйкес

$$i = I_0 + i_1 + i_3 = 1,012 \sin(\omega t + 114^\circ 11') + 3,225 \sin(3\omega t + 4^\circ 49').$$

5. Шарғыдағы кернеудің шұғыл мәнінің теңдігін құру. Токтың әрбір гармоникасы үшін шарғының кедергісін z_K анықтаймыз:

$$z_{K1} = \sqrt{R^2 + x_{L1}^2} = \sqrt{20^2 + 15,7^2} = 25,4 \text{ Ом};$$

$$z_{K3} = \sqrt{R^2 + x_{L3}^2} = \sqrt{20^2 + 47,1^2} = 51,2 \text{ Ом}.$$

Шарғыдағы кернеудің гармоникасының амплитудалық мәні құрайды:

$$U_{AB1m} = I_{1m} z_{K1} = 1,012 \cdot 25,4 = 0,3 \text{ В};$$

$$U_{AB3m} = I_{3m} z_{K3} = 3,225 \cdot 51,2 = 165,1 \text{ В}.$$

Сәйкес шарғы тогы мен кернеу гармоникасының арасындағы фаза жылжуының бұрыштарын табамыз:

$$\varphi_{K1} = \arccos \frac{R}{z_{K1}} = \arccos \frac{20}{25,4} = 38^\circ 4';$$

$$\varphi_{K3} = \arccos \frac{R}{z_{K3}} = \arccos \frac{20}{51,2} = 67^\circ.$$

Шарғыдағы кернеу u_{AB} гармоникасындағы негізгі фазаларды индуктивті шарғыдағы кернеудің гармоникалық құраушылары токтың сәйкес гармоникалырын φ_{K1} және φ_{K3} бұрышқа асатынын есепке ала отырып анықтаймыз:

$$\psi_{U_{AB1}} = \psi_{I1} + \varphi_{K1} = 114^\circ 11' + 38^\circ 4' = 152^\circ 15';$$

$$\psi_{U_{AB3}} = \psi_{I3} + \varphi_{K3} = 4^\circ 49' + 67^\circ = 71^\circ 49'.$$

Шарғыдағы кернеуді табамыз, В,

$$u_{AB} = U_{AB1m} \sin(\omega t + \psi_{U_{AB1}}) + U_{AB3m} \sin(3\omega t + \psi_{U_{AB3}}) = \\ = 0,3 \sin(\omega t + 152^\circ 15') + 165,1 \sin(3\omega t + 71^\circ 49').$$

6. Конденсатордағы кернеудің шұғыл мәнінің теңдігін құру. Конденсатордағы кернеу u_C тұрақты құраушыны $U_0 = 150 \text{ В}$ қамтиды, желіге қосылған кезде конденсатор кернеудің тұрақты құраушылары есебінен осы құраушының мәніне дейін қуатталады. Сонымен қатар, кернеу u_C ток тізбегінен өтетін бірінші және үшінші гармоникадан құралады.

Конденсатордағы кернеу үшін гармоникалардың u_C сәйкес токтың гармоникаларынан 90° артта қалатынын ескере отырып өрнекті жазамыз:

$$\begin{aligned} u_C &= U_0 + I_{1m} x_{C1} \sin(\omega t + \psi_{I1} - 90^\circ) + I_{3m} x_{C3} \sin(3\omega t + \psi_{I3} - 90^\circ) = \\ &= 150 + 1,012 \cdot 212,3 \sin(\omega t + 114^\circ 11' - 90^\circ) + 3,225 \cdot 70,8 \sin(3\omega t + \\ &+ 4^\circ 49' - 90^\circ) = 150 + 214,8 \sin(\omega t + 24^\circ 11') + 228,3 \sin(3\omega t - 85^\circ 11') \text{ В.} \end{aligned}$$

7. Тізбектің тогы мен кернеуінің әсерлік мәндерін анықтау. Синусоидалы емес ауыспалы токтың әсерлік мәні синусоидалы ауыспалы токтың әсерлік мәні анықталатын жағдайларға ұқсас анықталады: *синусоидалы емес ауыспалы токтың әсерлік мәні сандық жағынан тұрақты токтың осындай мәніне тең, бір уақытта бірдей кернеудегі, бір периодқа T тең ауыспалы ток кезінде қандай мөлшерде жылу бөлінсе, мұнда дәл сол мөлшердегі жылу бөлінеді.*

Синусоидалы емес ток кезінде жылудың жалпы мөлшері оның барлық құраушыларының жылу мөлшерінің қосындысына тең екендігін ескерсек, синусоидалы емес токтың әсерлік мәні қарастырылатын токтың синусоидалы құраушыларының әсерлік мәні мен тұрақты құраушыларынан орташа квадраттық болып табылады. Осылайша, жалпы

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2I_0^2 + I_{1m}^2 + I_{2m}^2 + \dots + I_{km}^2} \quad (12.13)$$

Синусоидалы емес кернеудің әсерлік мәні де бірдей анықталады:

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2U_0^2 + U_{1m}^2 + U_{2m}^2 + \dots + U_{km}^2} \quad (12.14) \end{aligned}$$

Қарастырылып жатқан тапсырма үшін формулаларға сәйкес (12.13 және 12.14) аламыз:

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{I_{1m}^2 + I_{3m}^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1,012^2 + 3,225^2} = 2,4 \text{ А;} \\ U &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2U_0^2 + U_{1m}^2 + U_{3m}^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2 \cdot 150^2 + 200^2 + 100^2} = 217,9 \text{ В.} \end{aligned}$$

8. Синусоидалы емес ток және кернеудің бұрмалану коэффициенттерін анықтау. Синусоидалы емес периодтық қисықтар бұрмалану коэффициентімен k_n сипатталады, ол негізгі гармоника мен барлық функцияның әсерлік мәнінің қатынасына тең:

$$k_{uu} = \frac{U_1}{U} = \frac{U_{1m}}{\sqrt{2}U} = \frac{200}{\sqrt{2} \cdot 217,9} = 0,65;$$

$$k_{ii} = \frac{I_1}{I} = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}I} = \frac{1,012}{\sqrt{2} \cdot 2,4} = 0,3.$$

9. Тізбектің белсенді қуатын анықтау. Синусоидалы емес кернеуді тұрақты кернеу көздері мен синусоидалы кернеу көздерінің жүйелі байланысының қосынды кернеуі түрінде көрсету мүмкіндігі келесі қорытындығы келуге жағдай жасайды: синусоидалы емес токтың тізбектегі белсенді қуаты тұрақты құраушылар мен бөлек гармоникаларға сәйкес келетін белсенді қуаттардың қосындысына тең:

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k, \quad (12.15)$$

мұндағы $P_0 = I_0^2 R$; $P_1 = I_1^2 R$; $P_2 = I_2^2 R$; ...; $P_k = I_k^2 R$.

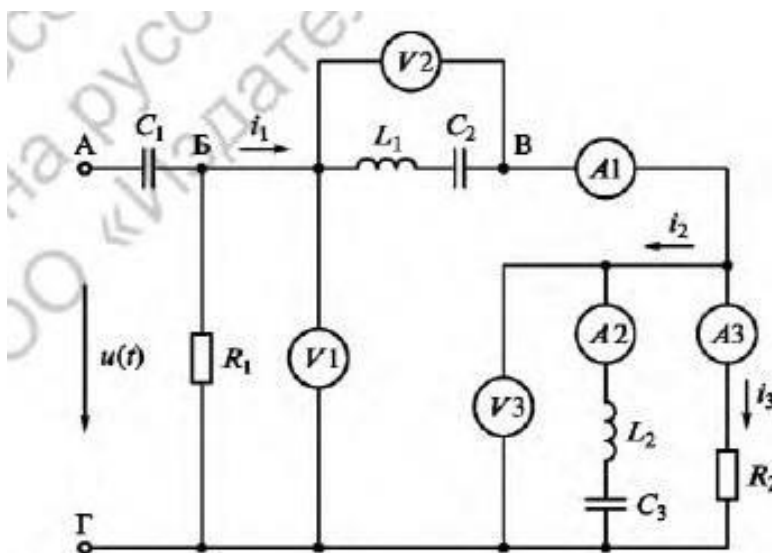
Қарастырылған тапсырма үшін өрнекті (12.15) пайдалана отырып, алатынымыз

$$\begin{aligned} P &= P_0 + P_1 + P_3 = I_0^2 R + I_1^2 R + I_3^2 R = \frac{R}{2} (2I_0^2 + I_{1m}^2 + I_{3m}^2) = \\ &= \frac{20}{2} (1,012^2 + 3,225^2) = 114,2 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

12.3. Резонанстық контурлы электр тізбегі.

Гармоникалардың фильтрациясы

12.7 есеп. Электр фильтрлері ретінде пайдаланылатын екі жүйелі резонанстық контурлы (12.4 сурет) электр тізбегі синусоидалы емес кернеу желісіне қосылған, В, $u(t) = 30 + 50\sqrt{} \sin \omega t + 80\sqrt{} \sin 3\omega t$. Тізбектегі кедергілер: $\omega L_1 = 1/(\omega C_2) = 100 \text{ Ом}$; $\omega L_2 = 1/(3\omega C_3) = 180 \text{ Ом}$; $R_2 = 200 \text{ Ом}$;



12.4 сурет. Екі жүйелі резонанстық контурлы тізбек

$1/(\omega C_1) \ll B_{Г(1)}$ және $1/(3\omega C_1) \ll B_{Г(3)}$ мұндағы $B_{Г(1)}$ және $B_{Г(3)}$ — бірінші және үшінші гармониканың жиілігіндегі БГ аумағының кедергісі.

Барлық құрылғылардың көрсеткіштерін олар әсерлік мәнді өлшейтін, ал олардың энергия тұтынуын ескермеуге болатын жағдайларда анықтау.

Шешімі. 1. Электр фильтрлерінің тағайындалуы. Тізбектің (индуктивті және сыйымдылықты) реактивті кедергісінің жиілікке тәуелділігі іс жүзінде әр түрлі мақсатта пайдаланылатын электр фильтрлерінің құрылғысына қолданылады. Фильтрлерді көздің бейсинуоидалы кернеуі кезінде қабылдауыштағы токтың қажетті қисық формасын алу мақсатында қолданылады. Реактивті элементтің түріне (индуктивтілік, сыйымдылық) және оларды қисық токта және қабылдауыш кернеуде қосу схемасына (дәйекті, қабылдауышпен параллель) байланысты шығыс кернеуінің жоғары жиілікті немесе төмен жиілікті гармоникалар деп көрсетуге болады. Фильтрлердің де атауы осыдан шығады: *жоғарыжиілікті* және *төменжиілікті*. Мысалы, ауыспалы токтың оның ауыспалы құрамаларының қабылдауышта азаюы үшін түзелуі кезінде *бәсеңдеткіш* деп аталатын төменжиілікті фильтрлер қолданылады.

Бөлек шарғылар немесе конденсаторлардың орнына резонанста гармониканың k жиілігінде орнатылған, өте оңды түрдегі (тербелмелі контур элементтерінің белсенді кедергілері нөлге тең кезінде) тербелмелі контурларды (шарғы мен конденсатордың дәйекті немесе параллель байланысуы) қолдана отырып тұтынудағы резонанстық жиілік гармоникасын не белгілеуге, не басуға болады. Соңғы жағдайда фильтр *бөгеуші* деп аталады. Резонанстық жиілікті қабылдауышпен дәйекті түрде белгілеу үшін жүелік контурды немесе қабылдауышпен параллель —

параллель контурды қосу қажет. Резонанстық жиілікті басу үшін контурларды кері ретте қосады: жүйелік контурды қабылдауышқа қарама қарсы, ал параллель контурды қабылдауышқа жүйелі.

Нәтижені арттыру үшін тізбекке бір бағытта әрекет ететін жүйелік, параллель контурларды да қосады.

Назар аударатын жағдай, тербелмелі контурлардың шынайы элементтерінің белсенді кедергілері нөлге тең болмайды, сондықтан шынайы резонанстық фильтрлер бір k гармоникасын ғана емес, *өткізу жолағы* деп аталатын белгілі бір жиілік жиынтығын өткізеді немесе басады. Жиілік өткізу жолағының ені контурдың сапалылығына Q тәуелді (оның белсенді кедергісіне кері пропорционал): Q көп болған сайын, резонанстық қисық үшкірлене береді және жиілік өткізу жолағы жіңішке береді. Бұл факт электронды және радиотехникалық құралдардың жұмыс сапасын анықтайды.

2. Синусоидалы емес токтың берілген тізбегіне анализ. Берілген тізбекте үш фильтр бар: тізбектің басқа бөлігімен жүйелі түрде қосылған сыйымдылық C_1 ; жүйелі резонанстық контур L_1-C_2 және жүйелі резонанстық контур L_2-C_3 . Осы фильтрлердің көмегімен берілген тізбекте барлық синусоидалы емес кернеудің бөлінуі жүзеге асырылады.

3. Тұрақты құраушылардан синусоидалы емес кернеудің (токтың) ауыспалы құраушыларының бөлінуі. Іс жүзінде (электронды, радиотехникалық және басқа құрылғыларда) тұрақты құраушыларды ($\omega = 0$) энергия қабылдауышқа өткізбеу қажеттілігі туындайды. Қарастырылатын тізбекте бұл үшін *бөлгіш тізбек* деп аталатын $C_1 - R_1$ аумағы қарастырылған. Өйткені, сыйымдылық тұрақты ток үшін (тізбектің үзілуі) шексіз үлкен кедергіні білдіреді, яғни

$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{0 \cdot C} = \infty,$$

не токтың тұрақты құраушысы орнатылған режимде нөлге тең ($I_0 = 0$), ал сыйымдылық тұрақты құраушының кернеуіне дейін зарядталады $U_0 = 30$ В. Тапсырма шарты бойынша $1/(\omega C_1) \ll BГ$ және $1/(3\omega C_1) \ll BГ(3)$ болғандықтан, кернеудің сыйымдылыққа C_1 бірінші және үшінші гармоника тогынан төмендеуін ескермеуге болады. Осылайша, кедергіге R_1 және оған параллель тізбектің аумағында берілген кернеудің $u(t)$ (вольт) бірінші және үшінші гармоникасы толық кернеу қамтамасыз етіледі

$$u_1(t) = u_{1(1)} + u_{1(3)} = 50\sqrt{2} \sin \omega t + 80\sqrt{2} \sin 3\omega t.$$

4. Берілген кернеудің құраушыларын бөлу. Жүйелі резонанстық контурдың L_1-C_2 кедергісі $z_{1(1)}$ бірінші және үшінші гармоника жиілігінде тапсырма шарты бойынша нөлге тең:

$$z_{1(1)} = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_2} = 100 - 100 = 0.$$

Сондықтан Ом заңына сәйкес резонанстық контурда L_1 - C_2 кернеудің $u_{2(1)}$ бірінші гармоникасы жоқ: $u_{2(1)} = i_{2(1)} z_{2(1)} = 0$.

Өйткені $u_1(t) = u_2(t) + u_3(t)$, онда кернеудің $u_1(t)$ бірінші гармоникасы тізбектің ВГ алаңында белгіленеді:

$$u_{3(1)} = u_{1(1)} - u_{2(1)} = u_{1(1)} = 50\sqrt{2} \sin \omega t \text{ В.}$$

Жүйелі резонанстық контурдың L_2 - C_3 кедергісі $z_{2(3)}$ үшінші гармоника жиілігінде тапсырма шартына сәйкес нөлге тең:

$$z_{2(3)} = 3\omega L_2 - \frac{1}{3\omega C_3} = 180 - 180 = 0.$$

Сондықтан резонанстық контурда L_2 - C_3 кернеудің үшінші гармоникасы жоқ: $u_{3(3)} = i_{2(3)} z_{2(3)} = 0$.

Өйткені $u_1(t) = u_2(t) + u_3(t)$, онда кернеудің үшінші гармоникасы $u_1(t)$ тізбектің БВ аумағында белгіленеді:

$$u_{2(3)} = u_{1(3)} = 80\sqrt{2} \sin 3\omega t \text{ В.}$$

Осылайша, тұтынушыда (берілген жағдайда кедергіде R_2) тек берілген кернеудің бірінші гармоникасы белгіленеді, ал бірінші резонанстық контурда (тізбектің БВ аумағында) берілген кернеудің тек үшінші гармоникасы толықтай болады, яғни $u_2(t) = 80\sqrt{2} \sin 3\omega t \text{ В}$, ал $u_3(t) = 50\sqrt{2} \sin \omega t \text{ В}$.

5. Кернеу және тоқты бірінші гармоника ω жиілігінде анықтау. 4 т. тапсырманы шешуден берілген кернеудің $u(t)$ бірінші гармоникасы тізбектің тек ВГ аумағында болатыны, ал кернеу

$$u_{3(1)} = 50\sqrt{2} \sin \omega t \text{ В.}$$

Бұл аумақ резонанстық контурдың L_2 - C_3 параллель жалғасуын және тұтынушының белсенді кедергісін R_2 көрсетеді. Бірінші гармоника жиілігіндегі контурдың L_2 - C_3 кедергісі

$$\begin{aligned} z_{2(1)} = x_{L2(1)} - x_{C3(1)} &= \left| \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_3} \right| = \left| \frac{3\omega L_2}{3} - \frac{3}{3\omega C_3} \right| = \\ &= \left| \frac{180}{3} - 3 \cdot 180 \right| = |60 - 540| = 480 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Токтың бірінші гармоникасының $i_{2(1)}$ әсерлік мәні резонанстық контурда L_2 - C_3

$$I_{2(1)} = \frac{U_{3(1)}}{z_{2(1)}} = \frac{50}{480} = 0,104 \text{ А.}$$

Контурдың L_2 - C_3 кедергісі бірінші гармоника жиілігінде сыйымдылық сипатта болатындықтан x ($x_{C3(1)} = 540 \text{ Ом}$; $x_{L2(1)} = 60 \text{ Ом}$, яғни. $x_{C3(1)} > x_{L2(1)}$), ток $I_{2(1)}$ кернеуден $u_{3(1)}$ 90° озады:

$$i_{3(1)} = 0,104\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ) \text{ A.}$$

Кедергідегі R_2 токтың $i_{3(1)}$ әсерлік мәні

$$I_{3(1)} = \frac{U_{3(1)}}{R_2} = \frac{50}{200} = 0,25 \text{ A.}$$

Белсенді кедергіде ток фаза бойынша кернеумен сәйкес келгендіктен, ток $i_{3(1)}$ фаза бойынша кернеумен $u_{3(1)}$ сәйкес болады:

$$i_{3(1)} = 0,25\sqrt{2} \sin \omega t \text{ A.}$$

Кирхгофтың бірінші заңына сәйкес контурдағы L_1 - C_2 токтың бірінші гармоникасы токтардың $i_{2(1)}$ және $i_{3(1)}$ бірінші гармоникаларының қосындысына тең (ампер):

$$i_{1(1)} = i_{2(1)} + i_{3(1)} = 0,104\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ) + 0,25\sqrt{2} \sin \omega t.$$

Токтар $i_{2(1)}$ және $i_{3(1)}$ бір-біріне қарай 90° жылжытылғандықтан, токтың $i_{1(1)}$ әсерлік мәні

$$I_{1(1)} = \sqrt{I_{2(1)}^2 + I_{3(1)}^2} = \sqrt{0,104^2 + 0,25^2} = 0,271 \text{ A.}$$

Бұр ретте токтың $i_{1(1)}$ шұғыл мәнінің теңдігі келесі түрде болады

$$\begin{aligned} i_{1(1)} &= 0,271\sqrt{2} \sin \left[\omega t + \left(\arctg \frac{I_{2(1)}}{I_{3(1)}} \right) \frac{180}{\pi} \right] = \\ &= 0,271\sqrt{2} \sin \left[\omega t + \left(\arctg \frac{0,104}{0,25} \right) \frac{180}{\pi} \right] = \\ &= 0,271\sqrt{2} \sin(\omega t + 22^\circ 36') \text{ A.} \end{aligned}$$

6. Кернеу мен токты үшінші гармоника жиілігінде анықтаңыз (3ω). Берілген кернеудің үшінші гармоникасы тізбектің тек БВ аумағында бар, кернеу

$$u_{2(3)} = 80\sqrt{2} \sin 3\omega t \text{ B.}$$

БВ аумағының (контур L_1 - C_2) үшінші гармоника жиілігіндегі кедергісі

$$z_{1(3)} = |x_{L1(3)} - x_{C2(3)}| = \left| 3\omega L_1 - \frac{1}{3\omega C_2} \right| = \left| 3 \cdot 100 - \frac{100}{3} \right| = 267 \text{ Ом.}$$

Резонанстық контурдағы L_1 - C_2 токтың $i_{1(3)}$ үшінші гармоникасының әсерлік мәні

$$I_{1(3)} = \frac{U_{2(3)}}{z_{1(3)}} = \frac{80}{267} = 0,3 \text{ A.}$$

Үшінші гармоника жиілігіндегі контурдың L_1-C_2 кедергісінің индуктивті сипаты болғандықтан ($x_{L1(3)} > x_{C2(3)}$), ток $i_{1(3)}$ кедергіден $u_{2(3)}$ 90° артта қалады, ал токтың шұғыл мәнінің теңдігі келесі түрде болады

$$i_{1(3)} = 0,3\sqrt{2} \sin(3\omega t - 90^\circ) \text{ A.}$$

Үшінші гармоника жиілігінде контур L_2-C_3 қысқатұйықталған аумақты көрсететіндіктен, ток $i_{1(3)}$ сол арқылы тұйықталады, бірақ тұтынушы R_2 кедергісі арқылы өтпейді. Осылайша, токтың i_2 және i_3 үшінші гармоникаларының түрлері

$$i_{2(3)} = i_{1(3)} = 0,3\sqrt{2} \sin(3\omega t - 90^\circ) \text{ A}; i_{3(3)} = 0.$$

Токтың үшінші гармоникасының әсерлік мәні келесіде:

$$I_{2(3)} = I_{1(3)} = 0,3 \text{ A}; I_{3(3)} = 0.$$

7. Құралдардың көрсеткіштерін анықтаңыз. Бізді қызықтыратын барлық кернеулер мен токтардың гармоникалық құрамалырының әсерлік мәндерін біліп, құралдарың көрсеткіштерін формулаларды (12.13 және 12.14) қолданып анықтаймыз:

$$U_1 = \sqrt{U_{1(1)}^2 + U_{1(3)}^2} = \sqrt{50^2 + 80^2} = 94,3 \text{ В};$$

$$U_2 = U_{2(3)} = 80 \text{ В};$$

$$U_3 = U_{3(1)} = 50 \text{ В};$$

$$I_1 = \sqrt{I_{1(1)}^2 + I_{1(3)}^2} = \sqrt{0,271^2 + 0,3^2} = 0,4 \text{ A};$$

$$I_2 = \sqrt{I_{2(1)}^2 + I_{2(3)}^2} = \sqrt{0,104^2 + 0,3^2} = 0,318 \text{ A};$$

$$I_3 = I_{3(1)} = 0,25 \text{ A.}$$

Тізбектегі ток пен кернеулердің әсерлік мәнін анықтау нәтижелерін 12.3 кестеге енгіземіз.

12.3 кесте

Құралдардың көрсеткіштерін есептеу нәтижелері

Шамалар	Ток пен кернеулердің әсерлік мәндері
---------	--------------------------------------

	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I_3, \text{А}$
Тұрақты құраушы $C_{(0)}, I_{(0)}$	0	0	0	0	0	0
Бірінші гармоника U_1, I_1	50	0	50	0,271	0,104	0,25
Үшінші гармоника $U_{(3)}, I_{(3)}$	80	80	0	0,3	0,3	0
Құралдардың көрсеткіші	94,3	80	50	0,4	0,318	0,25

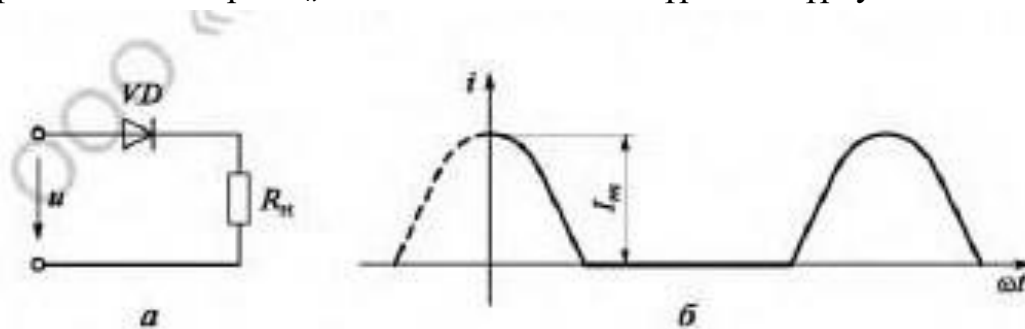
12.4. Өз бетімен шешуге арналған тапсырмалар

12.8. Бір жартылай периодтық түзелу нәтижесінде, тригонометриялық қатарға 12.5 а суретінде көрсетілген тізбекте алынатын периодтық токты графанаалитикалық әдіспен жіктеу. Токтың графигі 12.5 б суретте көрсетілген. Токтың ампитудасы $I_m = 10 \text{ А}$

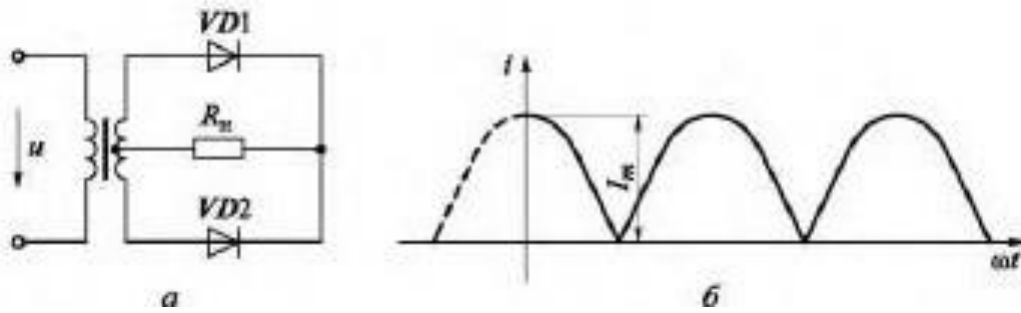
12.9. 12.8 тапсырманың мәліметтері бойынша түзелген токтың аналитикалық әдіспен шұғыл мәнінің теңдігін құру. Құрылған теңдіктерді 12.8 тапсырманың теңдігімен салыстыру.

12.10. 12.8 тапсырманы шешу кезінде алынған тригонометриялық қатарды пайдалана отырып, синусоидалы емес токтың әсерлік мәнін анықтау.

12.11. 12.6 а суретінде көрсетілгендей, екі жартылай периодтық түзелуінің жүктемелік кедергі R_n тізбегіндегі токтың тұрақты құраушысын



12.5 сурет. Бір жартылай периодтық түзелу тізбегінің схемасы (а) және токтың түзелу графигі (б)



12.6 сурет. Екі жартылай периодтық түзелу тізбегінің схемасы (а) және токтың түзелу графигі (б)

және әсерлік мәнін анықтау. $I_m = 10$ А кезінде түзелген токтың уақытқа тәуелділігі 12.6, б суретте көрсетілгендей, келесі теңдікпен беріледі

$$i = \frac{4I_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right) \text{ А.}$$

12.12. Тізбек индуктивтілігі $L = 0,0318$ Гн, сыйымдылық $C = 31,8$ мкФ, бұрыштық жиілігі $\omega = 314$ рад/сек. Тізбектің индуктивті және сыйымдылық кедергісін бірінші және үшінші гармоника үшін анықтау.

12.13. Тізбекте синусоидалы емес токтың бірінші және үшінші гармоникасы бар, олардың әсерлік мәні $I_{(1)} = 2$ А және $I_{(3)} = 1,5$ А. Тізбектің белсенді кедергісі $R = 10$ Ом. Осы тізбектің белсенді қуатын анықтау.

12.14. Ток және кернеудің әсерлік мәнін және тізбектің белсенді қуатын келесі оның қысқышындағы кернеудің шұғыл мәндерін және ондағы токты (ампермен) анықтаңыз:

$$u = 150 + 200 \sin(\omega t + 10^\circ) + 400 \sin(3\omega t - 15^\circ);$$

$$i = 9 \sin(\omega t + 63^\circ) + 7 \sin(3\omega t + 68^\circ).$$

12.15. Индуктивтілік шарғыдағы кернеудің шұғыл мәні (вольтпен) $u = 30 + 60 \sin(t + 45^\circ) + 15 \sin(3t - 15^\circ)$. Токтың әсерлік мәнін және тізбектің белсенді қуатын шарғы ауысуының жүйелі схемасының келесі параметрлері бойынша анықтау: шарғының белсенді кедергісі 8 Ом, негізгі гармониканың жиілігіндегі индуктивті кедергі 5 Ом.

12.16. Егер негізгі гармониканың жиілігіндегі сыйымдылық кедергісі 25 Ом тең болса, ал конденсатордағы ток (ампермен) төмендегі заңдықпен орындалса, конденсатордағы кернеудің әсерлік мәнін анықтау.

$$i = 2 \sin(\omega t + 30^\circ) + 2,5 \sin(3\omega t + 45^\circ) + 1,2 \sin(5\omega t - 45^\circ).$$

12.17. Белсенді кедергілі $R = 20$ Ом және индуктивтілігі $L = 0,05$ Гн шарғы $C = 50$ мкФ конденсатормен (12.3 суретке қараңыз) жүйелі түрде байланысқан.

Тізбек қысқыштарында ЭҚК әрекет етеді, оның графигі үшбұрышты (12.1 б суретке қараңыз) және келесі теңдікпен беріледі

$$e = \frac{8E_m}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \frac{1}{49} \sin 7\omega t + \dots \right)$$

Егер энергия көзінің ішкі кедергісі аз және оларды ескермеуге болса, $E_m = 220$ В және $\omega = 314$ рад/с, токтың әсерлік мәнін және тізбектегі белсенді қуатты анықтаңыз.

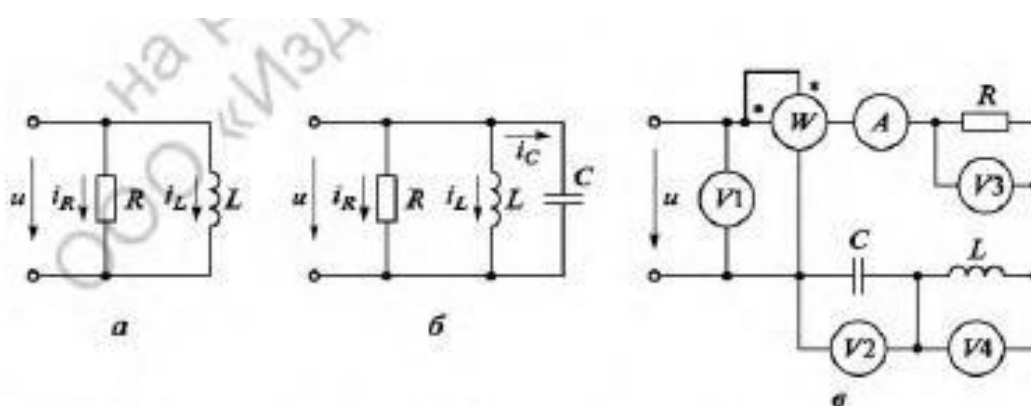
12.18. 12.3 суретте көрсетілген тізбек кернеуі (вольтпен) $u = 150\sqrt{} \sin + 70\sqrt{} \sin(3 - 20^\circ)$ заңымен өзгереді, ал кедергі $R = 50$ Ом. Егер үшінші гармониканың жиілігі $x_L(3) = x_C(3) = 30$ Ом болса токтың әсерлік мәнін және тізбектегі белсенді қуатты анықтаңыз.

12.19. Егер $R = \omega L = 30$ Ом, ал шарғы тогы (амперде) төмендегі заңдылық бойынша өзгереді болса, 12.7, а суретте көрсетілген тізбектің белсенді қуатын анықтау.

$$i_L = 15 \sin(\omega t + 10^\circ) + 3 \sin(3\omega t + 20^\circ).$$

12.20. 12.7, б суретінде көрсетілген тізбектегі конденсатор тогы (ампермен) $i_C = 5 \sin(\omega t + 60^\circ) + 2 \sin 3\omega t$ заң бойынша өзгереді. Егер $R = \omega L = 1/(\omega C) = 10$ Ом болса, токтардың i_R және i_L өзгеру заңдарын анықтау.

12.21. Егер тізбекке кірерде кернеу (вольтпен) $u = 100\sqrt{} \sin(\omega t - 30^\circ) + 50\sqrt{} \sin 3\omega t$, мұндағы $\omega = 314$ рад/с, ал тізбек параметрлері $R = 20$ Ом, $L = 25$ мГн, $C = 50$ мкФ болса, 12.7, в суреттегі схемада көрсетілген құралдар көрсеткіштерін анықтау.



12.7 сурет. Параллель RL-тізбегінің (а), параллель RLC-тізбегінің (б) және жүйелі RLC-тізбегінің(в) схемалары

**ӨЗ БЕТІМЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ
ЖАУАБЫ**

12.8. $i = 3,1 + 4,96 \cos \omega t + 2,26 \cos 2\omega t - 0,6 \cos 4\omega t + 0,46 \cos 6\omega t + \dots$, А.

12.9.

$$i = \frac{2I_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right) =$$
$$= 3,3 + 5 \cos \omega t + 2,12 \cos 2\omega t - 0,42 \cos 4\omega t + \dots, \text{ А.}$$

12.10. 5 А

12.11. 7,1 А; 6,4 А.

12.12. 10 Ом; 100 Ом; 30 Ом; 33,3 Ом.

12.13. 62,5 Вт.

12.14. 350 В; 8,1 А; 1384,2 Вт.

12.15. 5,9 А; 277,4 Вт.

12.16. 38,5 В.

12.17. 2,46 А; 125, 2 Вт.

12.18. 2,1 А; 224,4 Вт.

12.19. 4,59 кВт.

12.20. $i_R = 5 \sin(t - 30^\circ) + 0,67 \sin(3t - 90^\circ)$ А; $i_L = 5 \sin(t - 120^\circ) + 0,22 \sin(3t - 180^\circ)$ А.

12.21. $I = 3$ А; $U_1 = 112$ В; $U_2 = 120$ В; $U_3 = 60$ В; $U_4 = 60$ В; $P = 180$ Вт.

ҮШФАЗАЛЫҚ ТІЗБЕКТЕР

13.1. Симметриялы үшфазалы тізбек

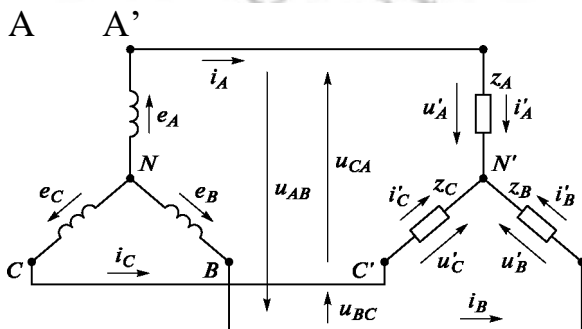
13.1 есеп. Фазалары жұлдызбен байланысқан симметриялық үшфазалық қабылдағыш 380 В желілік кернеуі бар үшфазалы көзден жұмыс істейді. Шамасы 50 А болатын желілік сымдарда қабылдағыш 25 кВт белсенді қуат жұмсайды.

Қабылдағыш фазасының және оның белсенді және реактивті компоненттерінің толық кедергісін анықтаңыз. Ақаулардың салдарын (желілік сымның сынуы, қабылдағыш фазасының қысқа тұйықталуы) тізбектің жұмыс режимінде талдау.

Шешімі. 1. Тізбек схемасын тандауындағы негіздеу. тапсырма шарты бойынша қабылдағыш симметриялы, сондықтан нөлдік өткізгішсіз оның қоректендіруінің үш сымды схемасын пайдалану ұсынылады (13.1-сурет).

2. Қабылдағыштың фазалық кедергісін анықтау. Қабылдағыш жұлдызбен байланысқан кезде симметриялық үшфазалық тізбектегі кернеулер, токтар мен қарсылық комплекстерінің тиімді мәндерін жазайық:

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В}; U'_A = U'_B = U'_C = U_{\Phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 220 \text{ В}.$$



13.1 -сурет. Қабылдағыш фазасының жұлдызша қосылысы кезіндегі үшсымды үшфазалы тізбектің схемасы

$$I_A = I_B = I_C = I_{\text{л}} = I'_A = I'_B = I'_C = I_{\Phi} = 50 \text{ А};$$

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z} = z e^{\pm j\varphi},$$

Мұндағы, — қабылдағыштың кернеуімен ток фазасы арасындағы ығысу бұрышы, оның белгісі жүктеме сипаттамасына байланысты; $Z = Z_A = Z_B = Z_C$ — қабылдағыш фазасының толық кедергісі.

Ом заңымен тапсырма шарттарына байланысты қабылдағыш фазасының толық кедергісі

$$z = \frac{U_{\phi}}{I_{\phi}} = \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3}I_{\pi}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 50} = 4,39 \text{ Ом.}$$

Үшфазалы генератордан үшфазалы теңдестірілген қабылдағышпен алынған жалпы белсенді қуат,

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3}U_{\pi}I_{\pi} \cos \varphi.$$

сәйкесінше, қабылдағыш фазасының қуат коэффициенті

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U_{\pi}I_{\pi}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 50} = 0,76.$$

Фазалық ығысу бұрышының абсолютті мәні (жүктеме сипатын нақтылауынсыз, белсенді индуктивтілі немесе белсенді-сыйымды)

$$|\varphi| = \arccos 0,76 = 40^{\circ}30'.$$

Фазаның белсенді кедергісі

$$R = z \cos \varphi = 4,39 \cdot 0,76 = 3,34 \text{ Ом.}$$

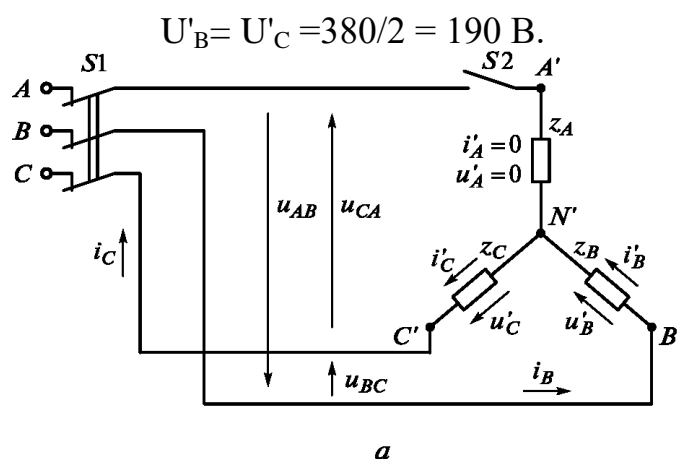
Фазаның реактивті кедергісі

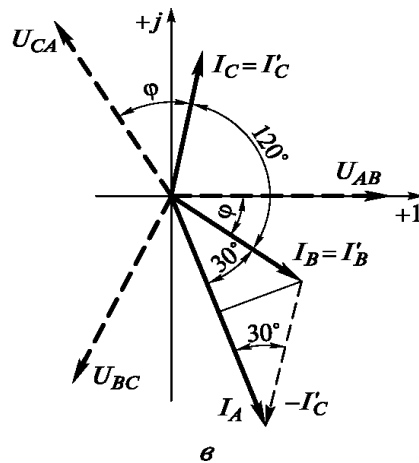
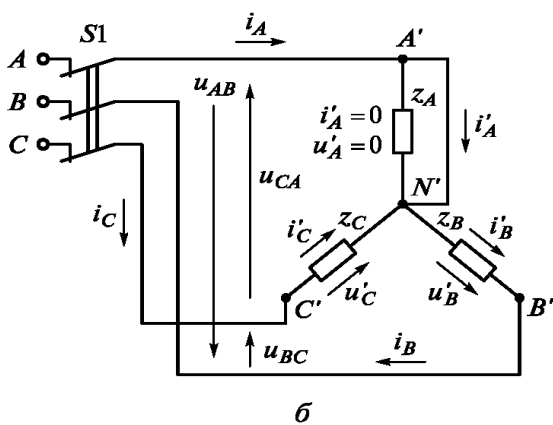
$$x = z \sin |\varphi| = 4,39 \sin 40^{\circ}30' = 4,39 \cdot 0,65 = 2,85 \text{ Ом.}$$

3. Желілік сымның қабылдағыштың жұмыс режиміне ауысу әсері. Тізбектегі үзілу анық ақауларға байланысты болады, мысалы, энергия қабылдағышында сақтандырғыштың жануы. Сол кезде тізбектің симметриясы бұзылады.

Мысал үшін 13.2 а суретінде шартты түрде ашық кілт түрінде ұсынылатын А фазасындағы желілік сымның үзілуін қарастырайық.

Бұл жағдайда А' фазасына қоректендіру және $I_{A'} = 0$ тогы жеткізілмейді. Кернеу - $U_{A'} = I_{A'} z_{A'} = 0$. Қабылдағыштың В', С' фазалары тізбекті қосылып және $U_{BC} = 380 \text{ В}$ сызықты кернеуіне қосылған болады. Себебі фазалардың кедергісі бірдей, қабылдағыштың В', С' фазаларындағы сол кернеу де бірдей болады:





13.2-сурет. Фазаларды жұлдызшамен байланыстыру кезіндегі үшфазалы қабылдағыш:

а — А фазасындағы үзілу кезіндегі тізбек схемасы; б — А фазасындағы қысқа тұйықталу кезіндегі тізбек схемасы; в — А фазасындағы қысқа тұйықталу кезіндегі тізбектің векторлық диаграммасы

В', С' фазаларындағы токтар да бірдей:

$$I'_B = I'_C = U'_B / z = U'_C / z = 190 / 4,39 = 43,3 \text{ А.}$$

Осылайша, АА' желілік сымның үзілісі кезінде А фазасының кернеуі мен тогы нөлге дейін азаяды. В', С' фазаларында кернеу 220-дан 190 В дейін төмендейді, ал токтар 50-ден 43,3-ке дейін төмендейді.

4. Фазаның қысқа тұйықталуының қабылдағыштың жұмыс режиміне әсері. 13.2, б суретінде қабылдағыштың А' фазасының қысқа тұйықталуы көрсетілген. Сонымен N' нүктесі А нүктесімен қосылады. Қабылдағыштың А фазасының кернеуі мен ток фазасы нөлге дейін төмендейді:

$$I'_A = 0; U'_A = 0.$$

В' және С' қабылдағышының фазалары U_B және U_C , фаза кернеулеріне емес, U_{AB} және U_{CA} сызықтық кернеулерге қосылған болады. Сонымен U_B және U_C кернеулері В' және С' қабылдағыш фазаларында $\sqrt{3}$ есе артады. Бұл I_B және I_C токтарының В' және С' қабылдағыш фазаларында және түзетілетін тізбекпен салыстырғанда I_B және I_C тең сызықтық токтарда $\sqrt{3}$ есе ұлғаюына себеп болады. Осы берілгендерді есепке ала отырып тапсырмалар

$$U'_B = U'_C = U_{AB} = U_{CA} = 380 \text{ В;}$$

$$I_B = I_C = I'_B = I'_C = 50\sqrt{3} = 86,6 \text{ А.}$$

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша $i_A = i_B - i_C$ сызықтықток (13.2 б суретін қараңыз), яғни \vec{i}_A векторы модуль бойынша тең геометриялық сомаға тең болады, бірақ бір біріне қатысты 120° векторларына \vec{i}_B және \vec{i}_C ығысқан. Қарастырылатын жағдайдың векторлық диаграммасы 13.2, в суретінде көрсетілген, одан

$$I_A = 2I'_B \cos 30^\circ = 2I'_B \frac{\sqrt{3}}{2} = I'_B \sqrt{3} = 50\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 150 \text{ А.}$$

I'_B тогының $\sqrt{3}$ есе артуы түзетілетін тізбек пен салыстырғанда I_A сызықтық тогының артуын анықтайды, соның салдарынан А фазасының тұйықталуы 3 есе ұлғаяды, яғни берілген тапсырмаларды есепке ала отырып 50-ден 150 А дейін.

13.2 есеп. 13.1 тапсырмасынан фазалық, желілік токтармен тұтынылатын қабылдағыштың белсенді қуаты, егер оның фазаларын үшбұрыш (13.3-сурет) схемасы бойынша сол қоректендіру кернеуімен қосылған болса қалай өзгертетінін анықтаңыз.

Үшбұрыш схемасымен қосылған қабылдағыштың бір фазасында үзіліс кезінде және сызықтық сымда сақтандырғыштың жанып кетуі жағдайында фазалы және сызықтық токтардың өзгерісін талдау.

Шешімі. 1. Үшфазалық тізбекте ток және қолданылатын қуатта қабылдағыш фазасы схемасының әсері. Қабылдағыш фазасының үшбұрышпен қосылған кезде фазалық кернеу сызықтыққа тең: $U_\phi = U_L = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$; $U_\phi = U'_{AB} = U'_{BC} = U'_{CA}$, мұнда фазаны жұлдызшамен байланыстырған кезде $U_\phi = U_L / \sqrt{3}$. Сәйкесінше, үшбұрыш пен қосылған қабылдағыш фазаларындағы U_ϕ кернеу олардың жұлдызшамен байланысқанымен салыстырғанда $\sqrt{3}$ есе жоғары болады. Себебі қабылдағыштың z фаза толық кедергілері екі жағдайда да бірдей, ал фазалық токтар $I_L = U_\phi / z$, қабылдағышты үшбұрышпен қосқан кезде фазалық токтар $\sqrt{3}$ есе үлкен болады.

Фазалары үшбұрышпен байланыстырылған симметриялық қабылдағыш үшін сызықтық токтар фазалық токтардан $\sqrt{3}$ есе көп ($I_L = \sqrt{3} I_\phi$) болғандықтан және жұлдызшамен байланысқан кезде фазалық токтарға ($I_L = I_\phi$) тең, сәйкесінше фазалары кезде симметриялық қабылдағышты ауыстырғанда фазаны үшбұрышпен байланыстыратын сызықтық токтар 3 есе артады.

Үшфазалы қабылдағышпен алынатын жалпы белсенді қуатта осы жағдайда да солай 3 есе артады, себебі екі схема үшін де қуат $P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$ болады, бірақ қабылдағышты үшбұрышпен қосылатын фазаны ауыстыру кезінде U_ϕ , және $I_\phi \sqrt{3}$ есе артады, ал I_L — 3 есе.

Қабылдағыштың фазалары үшбұрышпен қосылған кездегі тізбектің фазалық, сызықтық токтары және пайдаланылатын қуатын табайық:

$$I_\phi = \frac{U_a}{z} = \frac{380}{4,39} = 86,6 \text{ А}; \quad I_L = \sqrt{3} I_\phi = \sqrt{3} \cdot 86,6 = 150 \text{ А};$$

$$P = 3P_\phi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 150 \cdot 0,76 = 75 \text{ кВт.}$$

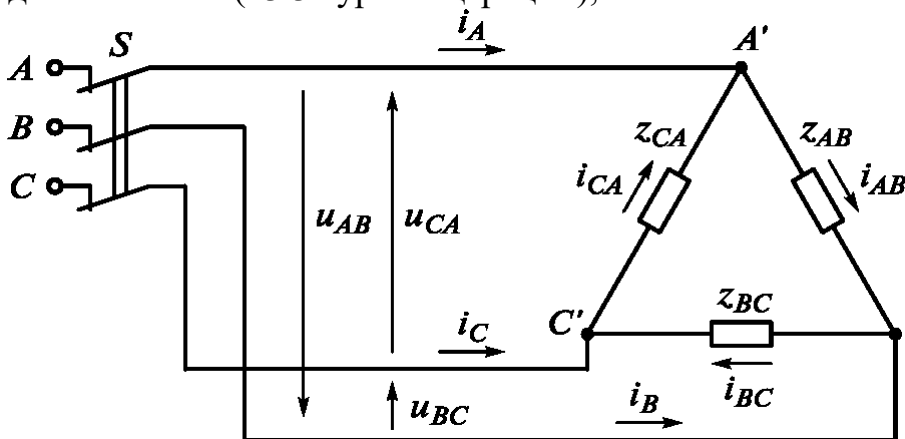
2. Үшбұрышты қосылған қабылдағыштың фазаларының біреуіндегі үзілу. Үзілу $A'B'$ (13.3 суретін қараңыз) фазасында орын алды делік, сонымен қатар ондағы ток $I_{AB} = 0$ тең. Сонымен $B'C'$ және $C'A'$ бұзылмаған фазаларда ток шамалары бұрынғыдай қалады, себебі фазалардың

кернеуі мен кедергілері өзгертілген жоқ: $I_{BC} = I_{CA} = 86,6$ А. Сызықтық токтар да өзгермейді $I_C = 150$ А, себебі $I_C = I_{CA} - I_{BC}$.

А'В' фазасындағы үзілу себебімен I_A және I_B сызықтық токтары фазалық токтарға тең болады: $I_A = I_{CA}$, $I_B = I_{BC}$, сәйкесінше, олардың модульдері тең, әрекет етуші шамаларға тең: $I_A = I_{CA} = I_B = I_{BC} = 86,6$ А.

Осылайша, үзілу кезінде А'В' фазасында I_A және I_B сызықтық токтар $\sqrt{2}$ есе азаяды.

3. Сызықтық сымдағы үзілу. Үзілу АА' сызықтық сымда орын алды деп есептейік (13.3 суретін қараңыз), мысалы



13.3-сурет. Қабылдағыш фазалары үшбұрышты қосылған кездегі үш өткізгішті үшфазалық тізбектің схемасы

АА' жүйелік сымы сақтандырғыштың жанып кетуі себебінен қоректендіру қайнар көзінен А ажыратылды.

Бұл жағдайда сызықтық ток $I_A = 0$, ал фазалар С 'А' және А'В' бір-бірімен тізбекті және В 'С' фазаларына параллельді қосылады және қайнар көздің U_{BC} кернеуіне қосылған. Сол арқылы В 'С' фазасында ток өзгермейді: $I_{BC} = I_\phi = 86,6$ А, ал С 'А' және А'В' фазаларында сол бір I_ϕ жартысына тең ток $I_{CA} = I_{AB}$, өтеді, яғни С 'А' және А'В' фааларының әрқайсысында 2 есеге кемиді:

$$I_{AB} = I_{CA} = \frac{U_{BC}}{2z} = \frac{I_\phi}{2} = 86,6/2 = 43,3 \text{ А.}$$

Сызықтық $I_B = I_C$ ток I_{AB} және I_{BC} токтарының сома модуліне тең болады, бұл токтар фаза бойынша бір-біріне сәйкес болғандықтан, онда

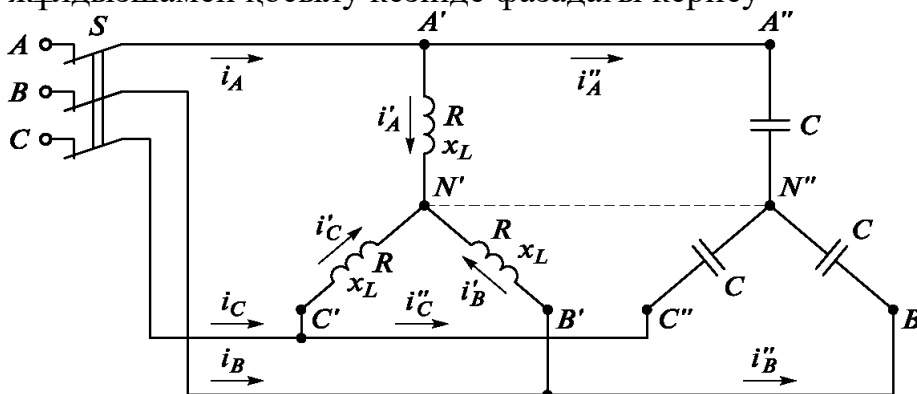
$$I_B = I_C = I_{AB} + I_{BC} = I_\phi/2 + I_\phi = 1,5I_\phi = 1,5 \cdot 86,6 = 130 \text{ А.}$$

Осылайша, I_B және I_C сызықтық токтар 150-ден 130 А дейін кішірейді.

13.3-есеп. Үшфазалы электр қозғалтқыш токтан 380 В сызықтық кернеуімен қоректенеді (13.4-сурет). Бұл электр қозғалтқышының әр бір фазасы $R = 1,2$ Ом және индуктивті $x_L = 1,6$ Ом белсенді кедергілері бар тізбекті қосылумен алмасу схемасымен көрсетілген. Әр бір фазаның қуат коэффициентін 0,95 к дейін жетілдіру үшін электр қозғалтқышқа конденсатор жалғанған.

Электр қозғалтқышының фазаларында токтар мен электр желілеріндегі токтардың санын анықтаңыз. Тізбектің белсенді және толық қуатын есептеп, оның векторлық схемасын құрыңыз.

Шешімі. 1. Қозғалтқыштың фазаларында токтарды анықтау. Үш фазалы қозғалтқыштар симметриялық қабылдағыштарға тиесілі, сондықтан жұлдызшамен қосылу кезінде фазадағы кернеу



13.4-сурет. Қуат коэффициентін жақсартатын конденсаторлармен үшфазалы электр қозғалтқышының орамаларын қосу схемасы.

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

Қозғалтқыш фазасының толық кедергісі

$$z = \sqrt{R^2 + x_L^2} = \sqrt{1,2^2 + 1,6^2} = 2 \text{ Ом.}$$

Қозғалтқыш орамаларында токтарды табайық двигателя:

$$I'_A = I'_B = I'_C = I'_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{z} = \frac{220}{2} = 110 \text{ А.}$$

Қозғалтқыш фазасындағы токтар бұрыштағы сәйкес фазалық кернеулерден артта қалады

$$\varphi_{\text{д}} = \arccos R/z = \arccos 1,2/2 = \arccos 0,6 = 53^{\circ}.$$

2. С ы з ы қ т ы қ т о к т а р д ы ң а н ы қ т а л у ы . Қабылдағыш, әдетте қоса берілген конденсаторлармен қосылған қозғалтқыш орамаларынан тұратын болғандықтан, I_A, I_B, I_C желілік токтар қозғалтқыштың тиісті фазалы тоқтары мен жұлдызды конденсаторлардың ортақ тоқтары болып табылады. Конденсаторлар бірдей сыйымдылыққа ие, сондықтан конденсатордың жұлдызы да симметриялық болып табылады. Бұл жағдайда N' және N'' нүктелерінің конденсаторы бірдей болғандықтан, конденсаторлар жұлдызының фазалары қозғалтқыш орамалары жұлдызының фәйкес фазасына параллельді қосылған деп санауға болады (N' және N'' нүктелерін қосылған өткізгіш ретінде көруге болады).

Қабылдағыш фазасының белсенді өткізгіштігі тұтастай алғанда қозғалтқыштың орамасының фазасының белсенді өткізгіштігіне тең:

$$g = \frac{R}{z^2} = \frac{1,2}{R^2 + x_L^2} = \frac{1,2}{4} = 0,3 \text{ CM.}$$

Қабылдағыш фазасының толық өткізгіштігін берілген қуат коэффициенті $\cos \varphi = 0.95$ кезінде қабылдағыштың осы фазасының үшбұрышынан анықталуы мүмкін:

$$y = g / \cos \varphi = 0,3 / 0,95 = 0,32 \text{ См.}$$

Сызықтық токтар тұтастай қабылдағыштың фазалық токтарына және Ом заңына сәйкес

$$I_A = I_B = I_C = I_\Phi = U_\Phi y = 220 \cdot 0,32 = 70,4 \text{ А.}$$



Сызықтық токтар сәйкес фазалық кернеулерден артта қалып келеді немесе оларды сыйымдылығын анықтайтын конденсатордың сыйымдылық мәндеріне байланысты және сәйкесінше қабылдағыштың фазалық жалпы реактивті өткізгіштігінен төмендегі бұрышта асып түседі

13.5-сурет. Конденсаторы бар үшфазалы электр қозғалтқыш тізбегінің векторлық

3. Векторлық диаграмма. 13.5 суретінде егер қабылдағыштың фазалары тұтастай алғанда белсенді индуктивті сипатқа ие болса, онда реактивтік фазалық өткізгіштігінің келесі байланыстарымен мүмкін болатын жағдайда векторлық диаграмма салынады: $b_L > b_C$. Бұл жағдайда сызықтық токтар тиісті фазалық кернеулерден артта қалады және қозғалтқыш фазасындағы токтардың геометриялық сомасына және конденсаторлар жұлдызының фазаларына тең болады. Конденсаторлар жұлдыздарының фазасындағы токтар тиісті фазалық кернеулерден 90° жоғары. Диаграмма бір-біріне 120° ауысқан векторлардың төрт жұлдызын көрсетеді.

Қуаттарды анықтау. Барлық тізбектің белсенді қуаты

$$P = 3P_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi_\Phi = 3 \cdot 220 \cdot 70,4 \cdot 0,95 = 44 \text{ кВт,}$$

немесе

$$P = 3P_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi_\Phi = 3 \cdot 220 \cdot 70,4 \cdot 0,95 = 44 \text{ кВт,}$$

Барлық тізбектің толық қуаты

$$S = 3S_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi = 3 \cdot 220 \cdot 70,4 = 46,5 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

13.2. Симметриялы емес үшфазалық тізбек

13.4-есеп. 380 В желілік кернеуі бар үшфазалы айнымалы ток желісі бақша

қауымдастығын электр қуатымен қамтамасыз етеді. Жазғы секциялар (энергия қабылдағышы) төрт сымды схемаға жұлдызбен қосылған үш топқа бөлінеді (қабылдағыштың А, В, С фазалары).

А Қабылдағыш фазасы 5 кВт, В фазасы - 3 кВт, С фазасы - 4 кВт болған жағдайда, желілік сымдардағы, қабылдауыштағы фазаларда, бейтарап сым, жалпы қабылдағыштың қуаты мен фазалық кедергіде токтарды анықтаңыз. Тізбектің векторлық диаграммасын құрыңыз.

Шешімі. 1. Тізбектің электрлісхемасын ұсыну. 13,6 суретте берілген тізбектің принциптік электр схемасы берілген. Бұл схемада қуат көзі (қосалқы станция) төрт сымды жүйесі үшін қажетті шарт болып табылатын жұлдызбен қосылған үшфазалы А, В, С орамалардың үшфазалы генераторы түрінде, сондай-ақ қабылдағыш кедергісі ретінде көрсетіледі. Қабылдағыш фазалары R_A, R_B, R_C эквивалентті белсенді едергі болып көрсетілген, себебі тұрмыстық электр техникаларының көбісі (қыздыру элементтері – плиткалар, батареялар, қазандықтар, жарықтандыру шамдары, электр құралдар) белсенді жүктеме болып табылады. Қабылдағыш генератормен (қосалқы станциясы) төрт сымды схема бойынша қосылған, яғни үш сызықтық өткізгіштермен (AA', BB', CC') және бейтарап NN сымдармен қосылған.

2. Тізбектегі кернеу мен токтардың таралуы. Сызықтық кернеулердің тиімді берілген мәндері үшін энергия көзінің фазалық кернеулерінің тиімді мәндерін анықтаймыз ($U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$):

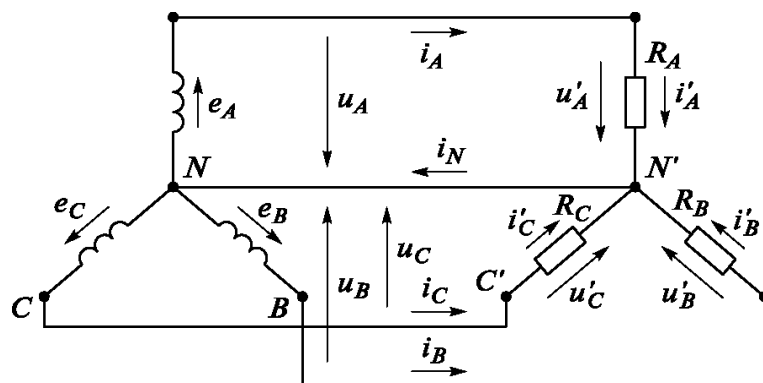
$$U_A = U_B = U_C = U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ В.}$$

Қабылдағыштың фазалық кернеулері энергия көзінің фазалық кернеулеріне теңестірілуі мүмкін, егер AA', BB', CC және NN сымдарындағы салыстырмалы түрде төмен кернеудің төмендеуін елемесек:

$$U'_A = U'_B = U'_C = U_{\phi} = 220 \text{ В.}$$

Сызықтық сымдар арқылы өтетін токтар қабылдағыштың фазалық кедергісі арқылы өтеді, яғни олар бір уақытта сызықтық және фазалық болып табылады.

i_N тогы бейтарап өткізгіште фазалық токтардың сомасына тең:
 $i_N = i_A + i_B + i_C$.



13.6-сурет. Симметриялы емес төрт өткізгішті үшфазалық тізбектің схемасы

3. Сызықтық және фазалық токтардың анықталуы. Тапсырма шартының белгілі жағдайынан фазаның ($P_A = 5$ кВт; $P_B = 3$ кВт және $P_C = 4$ кВт) белсенді күштеріне сәйкес желілік және фазалық токтар анықталады.

$$I_A = I'_A = P_A / U_\Phi = 5000 / 220 = 22,7 \text{ А};$$

$$I_B = I'_B = P_B / U_\Phi = 3000 / 220 = 13,6 \text{ А};$$

$$I_C = I'_C = P_C / U_\Phi = 4000 / 220 = 18,2 \text{ А}.$$

4. Қабылдағыш фазасының жылпы қуаты мен кедергісіна нықтау. Қабылдағыштың жалпы қуаты

$$P = P_A + P_B + P_C = 5 + 3 + 4 = 12 \text{ кВт}.$$

Қабылдағыш фазаларының кедергісін Ом заңы бойынша табамыз:

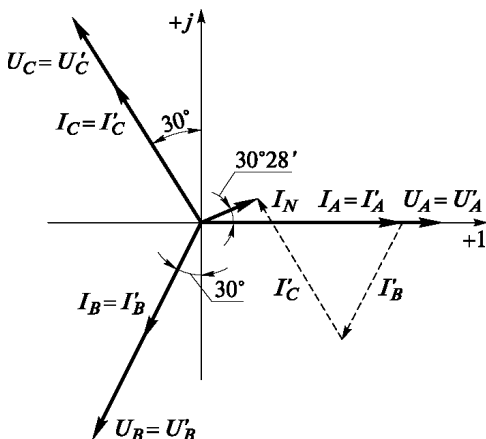
$$R_A = U_\Phi / I'_A = U_\Phi^2 / P_A = 220^2 / 5000 = 9,7 \text{ Ом};$$

$$R_B = U_\Phi^2 / P_B = 220^2 / 3000 = 16,1 \text{ Ом};$$

$$R_C = U_\Phi^2 / P_C = 220^2 / 4000 = 12,1 \text{ Ом}.$$

5. Тізбектің векторлық диаграммасын құру. 13.7 суретінде көрсетілген төрт өткізгішті үшфазалы тізбектің қабылдағыш фазаларындағы кернеулері энергия көзінің фазаларындағы кернеуге тең және бір біріне 120° шамасына ығысқан векторлар жұлдызын құрады.

Сызықтық токтар бар фаза токтарына тең және фаза бойынша сәйкес кернеуге дәл келеді, бірақ олардың



13.7 -сурет. Симметриялы емес белсенді қабылдағышпен бірге төрт өткізгішті үшфазалы тізбектің векторлық диаграммасы

модульдері (әрекет етуші шамаларға тең) қабылдағыш фазаларының кедергілерінің әр түрлілігі себебінен бір-бірімен тең емес. Демек, нөлдік өткізгіште ток өтеді, ол нөлден жақсы. Нөлдік өткізгіштегі ток векторы фазалық токтардың векторларының геометриялық құрылысы жолымен алынады.

6. Бейтарап өткізгіштегі токтың анықталуы. Кирхгофтың бірінші заңына сәйкес бейтарап өткізгіштегі ток

$$\begin{aligned} \dot{I}_N &= \dot{I}'_A + \dot{I}'_B + \dot{I}'_C = 22,7 + 13,6e^{-j120^\circ} + 18,2e^{j120^\circ} = \\ &= 22,7 - 13,6 \sin 30^\circ - j13,6 \cos 30^\circ - 18,2 \sin 30^\circ + j18,2 \cos 30^\circ = \\ &= 6,8 + j4 = 7,9e^{j30^\circ 28'} \text{ А}. \end{aligned}$$

Сәйкесінше, бейтарап өткізгіштегі токтың әрекет етуші шамасы $I_N = 7,9$ А, және ол А фазасындағы кернеуді $30^\circ 28'$ бұрышына асып түседі.

13.5 есеп. 13.4 тапсырмасынан қабылдағыш фазаларындағы кернеулердің және 13.6 суретінде келтірілген тізбектегі токтардан қалай өзгередінін, қоректендірудің сол кернеуіндегі бейтарап өткізгіштің үзілу жағдайы орын алған кезде анықтаңыз.

Шешімі. Қарастырылатын тізбек әр түрлі тармақтарға қосылған бірнеше синусоидалды қайнар көздері бар тармақталған тізбекті көрсететіндіктен, онда оның есебіне кешенді әдістерімен тұтастығы түйінді кернеу әдісі ыңғайлырақ болады.

Қабылдағыш фазасының өткізгіштігін (Y_A, Y_B, Y_C) және нөлдік сымды (Y_N) табайық:

$$\begin{aligned} Y_A &= 1/Z_A = 1/R_A = 1/9,7 = 0,103 \text{ См}; \\ Y_B &= 1/Z_B = 1/R_B = 1/16,1 = 0,062 \text{ См}; \\ Y_C &= 1/Z_C = 1/R_C = 1/12,1 = 0,083 \text{ См}; \\ Y_N &= 1/R_N = 1/\infty = 0. \end{aligned}$$

Үш фазалы көздің ЭҚК-н кешенді түрде \vec{E}_A векторы кешенді жазықтың негізгі осімен сәйкес болуы шартымен анықтайық:

$$\vec{E}_A = 220 \text{ В};$$

$$\vec{E}_B = 220e^{-j120^\circ} = -220 \sin 30^\circ - j220 \cos 30^\circ = (-110 - j190,5) \text{ В};$$

$$\vec{E}_C = 220e^{j120^\circ} = -220 \sin 30^\circ + j220 \cos 30^\circ = (-110 + j190,5) \text{ В}.$$

Түйіндік кернеу

$$\begin{aligned} \vec{U}_N &= \frac{\vec{E}_A Y_A + \vec{E}_B Y_B + \vec{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N} = \\ &= \frac{220 \cdot 0,103 + (-110 - j190,5)0,062 + (-110 + j190,5)0,083}{0,103 + 0,062 + 0,083 + 0} = \\ &= \frac{6,7 + j4}{0,248} = 27 + j16,1 = 31,4e^{j30^\circ 48'} \text{ В}; \\ U_N &= 31,4 \text{ В}. \end{aligned}$$

Қабылдағыш фазаларында кернеуді табайық:

$$\begin{aligned} \vec{U}'_A &= \vec{E}_A - \vec{U}_N = 220 - 27 - j16,1 = 193 - j16,1 = 193,7e^{-j4^\circ 28'} \text{ В}; \\ \vec{U}'_B &= \vec{E}_B - \vec{U}_N = -110 - j190,5 - 27 - j16,1 = \\ &= -137 - j206,6 = 248e^{-j123^\circ 33'} \text{ В}; \\ \vec{U}'_C &= \vec{E}_C - \vec{U}_N = -110 + j190,5 - 27 - j16,1 = \\ &= -137 + j174,4 = 221,8e^{j128^\circ 9'} \text{ В}. \end{aligned}$$

Фазаларда токтарды анықтайық (және сызықтық сымдарда):

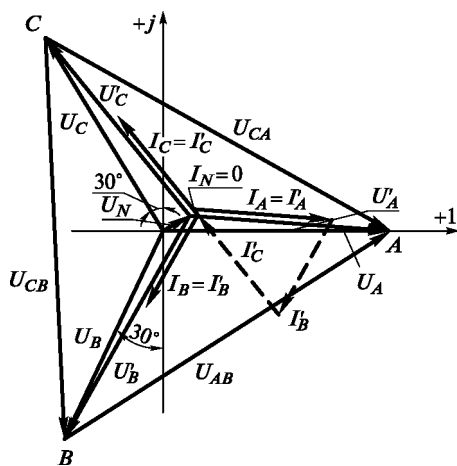
$$\begin{aligned} I'_A = I_A &= \frac{\vec{U}'_A}{Z_A} = \vec{U}'_A Y_A = (193 - j16,1) \cdot 0,103 = 19,9 - j1,7 = 20e^{-j4^\circ 28'} \text{ А}; \\ I'_B = I_B &= \frac{\vec{U}'_B}{Z_B} = \vec{U}'_B Y_B = (-137 - j206,6) \cdot 0,062 = \\ &= -8,5 - j12,8 = 15,4e^{-j123^\circ 33'} \text{ А}; \\ I'_C = I_C &= \frac{\vec{U}'_C}{Z_C} = \vec{U}'_C Y_C = (-137 + j174,4) \cdot 0,083 = \end{aligned}$$

Нөлдік сымдағы ток

$$\dot{I}_N = -\frac{\dot{U}_N}{Z_N} = -\dot{U}_N Y_{\underline{C}} = -31,4e^{j30^\circ 48'} \cdot 0 = 0,$$

немесе Кирхгоф бірінші заңына сәйкес (есептердің дұрыстығын тексеріс үшін анықтайық)

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 19,9 - j1,7 - 8,5 - j12,8 - 11,4 + j14,5 = 0.$$



13.8 -сурет. Нөлдік сымның ұзылуы кезіндегі симметриялы емес белсенді қабылдағыштың үшфазалы тізбекпен векторлық диаграммасы

Бейтарап сым үзілген кезде қабылдағыш фазалары мен тізбектегі токтардың кернеулерінің әрекет етуші шамаларсы төмендегідей күйге өзгерді:

U'_A шамасы 26,3 В (220 бастап 193,7 В дейін) дейін азайды;

U'_B шамасы 28 В (10 %-дан жоғары, яғни 220 бастап 248 В дейін) ұлғайды;

U'_C шамасы 1,8 В (221,8 В дейін) өсті;

$I'_A = I_A = 20$ А, яғни 2,7 А дейін азайды;

$I'_B = I_B = 15,4$ А, яғни 1,8 А дейін ұлғайды;

$I'_C = I_C = 18,4$ А, яғни 0,2 А дейін ұлғайды.

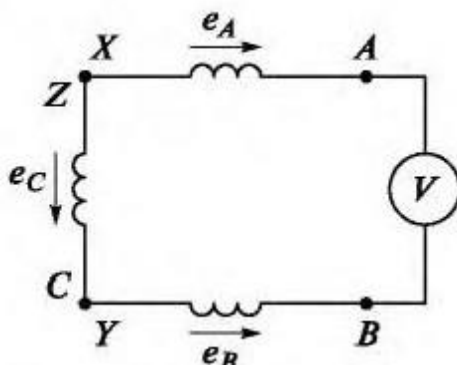
Нөлдік сымның үзілуі кезінде тізбектегі кернеу мен токтардың тағайындалуын көрсететін векторлық диаграмма 13.8 суретінде көрсетілген.

13.3. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар

13.6. Симметриялы үшфазалы генератордың орамдары 13.9 суретінде көрсетілген схема бойынша қосылған. Фазалық ЭҚК 220 В тең болған кезде вольтметр көрсеткішін анықтаңыз. Схемаға сәйкес векторлық диаграмманы

құру.

13.7. $Z_A=Z_B=Z_C=(45+j35)$ Ом кернеулі симметриялы үшфазалы электр қозғалтқышының фазалары жұлдызбен қосылып және 220 В фаза кернеуімен үшфазалы ток жүйесіне қосылған. Тізбектің сызықтық токтарын және электр қозғалтқышының белсенді қуатын анықтау. Векторлық диаграмманы құру.



13.9-сурет. Үшфазалы генератор орамдарының қосылу схемасы

138. Фазада үзілу орын алған жағдайда 13.7 тапсырмасында берілген электр қозғалтқыш фазаларындағы кернеуді және тізбектің сызықтық тогын анықтау. тізбектің топографиялық диаграммасын құру.

139. Электр қозғалтқыштың фазасындағы кернеуді және 13.7-тапсырмада көрсетілген А фазасының қысқа тұйықталуымен схеманың желілік токтарын анықтаңыз. Схеманың векторлық диаграммасын құрыңыз.

1310. Қозғалтқыш фазалары үшбұрыш түрінде қосылған жағдайда, 13.7 тапсырма анықталған тізбектің желілік токтарының және жалпы белсенді қуаттың қалай өзгертінін анықтаңыз.

1311. Фазалары жұлдызмен байланысқан үшфазалы электр қозғалтқышы 220 В фазалық кернеуі бар үшфазалы желі арқылы қуатталады. Қозғалтқыш 0,85 пайдалы әрекет коэффициенті кезінде 10 кВт механикалық қуатты дамытады. Қозғалтқыштың фазасындағы қуат коэффициенті 0,83 құрайды. Тізбекті ауыстыру схемасын және сызық токтарын есептеу үшін схема жасаңыз. Қозғалтқышты ауыстыру тізбегінің параметрлерін анықтаңыз. Тізбектің векторлық диаграммасын құрыңыз.

13.12.85 Ом үш белсенді кедергі үшбұрышпен қосылған және 380 В кернеулі үшфазалы айнымалы ток желісіне қосылған. Фазалық және сызықтық токтар, әрбір фазаның қуаты мен бүкіл тізбекті анықтаңыз. Векторлық диаграмманы құрыңыз.

13.13. Үш фазалы симметриялық тұтынушы үшбұрышты байланысып, 380 В кернеулі үшфазалы желімен қуаттанады және 15 кВт қуатты тұтынады. Әр фазаның кедергісі - 25 ом. Тізбектің фазалық және сызықты тогын, фазалық кедергісінің белсенді және реактивті компоненттерін, қуат коэффициентін, кернеу мен фазалық ток арасындағы фазалық бұрышты, тұтынушының жалпы қуатын анықтаңыз. Векторлық диаграмманы құрыңыз.

13.14. Симметриялы үшфазалы электр қабылдағыш $Z_A = Z_B = Z_C = R$ белсенді кедергісімен симметриялы үшфазалы генератордан қуаттанады (13.1 суретін қараңыз). Сызықтық кернеу $U_{\text{л}} = 380$ В. Төмендегі жағдайларда N және N'

нүктелерінің арасында қосылған вольтметрдің көрсеткіштерін анықтаңыз.

- а) қабылдағыш толық қосылған;
- б) В' фазасының қысқа тұйықталуы;
- в) А' фазасындағы үзілу.

13.15 13.1 суретте берілген тізбектегі сызықты токтарды өлшейтін амперметрлерінің көрсеткіштерін анықтаңыз, 13.14 тапсырмада көрсетілген жағдайларда, егер $R = 110 \text{ Ом}$ болса

13.16 13.14 тапсырмасы бойынша келесі жағдайларда 13.1 суретінде тізбектегі токтардың қалай анықталатынын анықтаңыз: а) қабылдағыш толығымен қосылған; б) бейтарап сымның қатысуымен А' фазасындағы үзілу (13.6 суретті қараңыз). Бұл жағдайларда нөлдік сымның ағымдағы мәні қандай екенін анықтаңыз.

13.17 Жалпы қуаты 1,8 кВт болатын қыздыру шамдары үш топқа бөлініп, жұлдызбен қосылады. $I_A : I_B : I_C = 1 : 2 : 3$, осылайша алынған үшфазалы қабылдағыш 380 В сызықты кернеуімен үшфазалы айнымалы токтың төрт өткізгішті желісіне қосылған. Қабылдағыштың фазасына токтардың қатынасы $I_A : I_B : I_C = 1 : 2 : 3$. Желілік сымдардағы және бейтарап сымның токтарын анықтаңыз. Векторлық диаграмманы құрыңыз.

13.18 Жұлдызбен қосылған үшфазалық қабылдағыш фазалық кернеуі 220 В болатын төрт сымды желіге қосылады. А фаза бойынша тұтынылатын қуат $\cos \varphi_A = 0.87$ кезінде 3 кВт құрайды; В фазасы бойынша тұтынылатын қуат 2 кВт $\cos \varphi_B = 0.8$; С фазасы бойынша тұтынылатын қуат 1,5 кВт-қа тең, $\cos \varphi_C = 0.9$. Барлық сымдарда токтарды анықтаңыз және тізбектің векторлық диаграммасын құрыңыз, φ_A , φ_B және φ_C оң бұрышы екенін ескере отырыңыз.

13.19 3.18 тапсырмасында тізбекті сызықты сымдардың бірінің ауыспалы үзілуі кезінде бейтарап сымның ағымын анықтау үшін: а) фазалық А; б) В фазасы; в) С фазасы.

13.20 13.18 тапсырмасында нөлдік сым болмаған кезде және сызықты сымдардың бірі кезекпен үзілген кезде желілік токтарды анықтаңыз: а) фазалық А; б) В фазасы; в) С фазасы.

13.21 Жалпы қуаты 4 кВт электрлік қыздыру шамдары үш топқа (фазаға) бөлінген және үшбұрышпен 220 В кернеуі бар үшфазалы желіге қосылған (13.3 суретті қараңыз). Лампа қуатын фазада бөлу мынадай: А фазасы - 500 Вт; В фазасы - 1500 Вт; С фазасы - 2 000 Вт. Фазалық және желілік токтарды анықтаңыз. Векторлық диаграмманы құрыңыз.

ӨЗДІГІНЕН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ ЖАУАПТАРЫ

13.6. 440 В; векторлық диаграмма 13.10 суретінде көрсетілген.

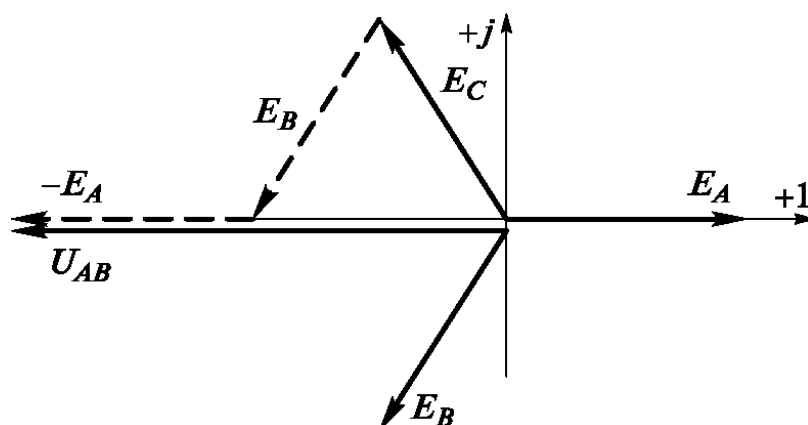
13.7. 3,85 А; 2 кВт.

13.8. $U'_A = 330 \text{ В}$; $U'_B = U'_C = 190 \text{ В}$; $I_A = 0$; $I_B = I_C = 3,33 \text{ А}$.

13.9. $U'_A = 0$; $U'_B = U'_C = U'_{\text{л}} = 380 \text{ В}$; $I_A = 11,54 \text{ А}$; $I_B = I_C = 6,67 \text{ А}$.

13.10. 3 есе ұлғаяды (3,85 бастап 11,55 А дейін және 2 бастап 6 кВт дейін).

13.10 $I_A = I_B = I_C = 21,5$ А; әр бір фазаның белсенді кедергісі 8,5 Ом, фазаның индуктивті кедергісі 5,7 Ом.



13.10 сурет. 13.6 тапсырмасына арналған тізбектің векторлық диаграммасы

13.12 4,5 А; 7,8 А; 1,7 кВт; 5,1 кВт.

13.13 15,2 А; 26,3 А; 21,6 Ом; 12,5 Ом; 0,87; 30°; 17,3 В · А.

13.14 а) 0; б) 220 В; в) 110 В.

13.15 а) 2А бойынша үш ток; б) $I_A = 6$ А; $I_B = I_C = 3,46$ А; в) $I_A = 0$; $I_B = I_C = 1,73$ А.

13.16 а) сызықтық токтар өзгермейді; $I_N = 0$; б) $I_A = 0$; $I_B = I_C = I_N = 2$ А.

13.17 1,36 А; 2,72 А; 4,08 А; 2,36 А.

13.18 15,67 А; 11,36 А; 7,58 А; 5,33 А.

13.19 а) 11,43 А; б) 13,11 А; в) 12,62 А.

13.20 а) $I_A = 0$, $I_B = I_C = 7,89$ А; б) $I_B = 0$, $I_A = I_C = 8,84$ А; в) $I_C = 0$, $I_A = I_B = 11,41$ А.

13.21 $I_{AB} = 2,27$ А; $I_{BC} = 6,82$ А; $I_{CA} = 9,09$ А; $I_A = 10,4$ А; $I_B = 8,19$ А; $I_C = 13,81$ А.

СЫЗЫҚТЫҚ ЭЛЕКТРЛІК ТІЗБЕКТЕРДЕГІ ӨТПЕЛІ ПРОЦЕСТЕР

14.1. Тізбектің коммутациясынан кейін кернеулер мен токтарды анықтау

14.1 есеп. 14.1 суретінде көрсетілген тізбектер $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 70 \text{ Ом}$, $R_3 = 300 \text{ Ом}$, $L = 0,2 \text{ Гн}$, $C = 3 \text{ мкФ}$ параметрлерімен S ажыратқышымен $U = 63 \text{ В}$ тұрақты кернеулі ток көзіне қосылған.

Екі жағдайда индуктивтілікке, сыйымдылыққа және белсенді кедергілерге арналған ток ағымдарының беріктігін, жалпы ток пен кернеуді анықтаңыз:

- а) ажыратқыштың ($t = 0$) тұйықталуынан кейін бірден;
- б) ажыратқыштың тұйықталуынан кейін, орнатылған уақыттағы салыстырмалы уақыттан ($t = \dots$) кейін.

Шешімі.1. Ауыспалы режимдегі берілген тізбектің жұмыс ерекшеліктері. Белгіленген тізбек электрмен жабдықталса және ток және кернеулердің белгіленген мәндерінен кейін зерттеледі.

Теориядан белгілі болғандай, электр тізбегіндегі кез-келген коммутация (қуат көздерін, тізбектің немесе оның элементтерінің R , L немесе C элементтерін қосуға немесе өшіруге байланысты жұмыс режимінің бірден-бір өзгеруі) ішіндегі өтпелі процесс пайда болуының шарты болып табылады. Өтпелі процесс - бұл коммутациядан кейінгі ұзақ уақытқа созылатын және шексіз ұзаққа созылатын басқа тұрақты күйге дейін бір тұрақты күйден өту процесі, яғни уақыт t 0 -ден ∞ дейін.

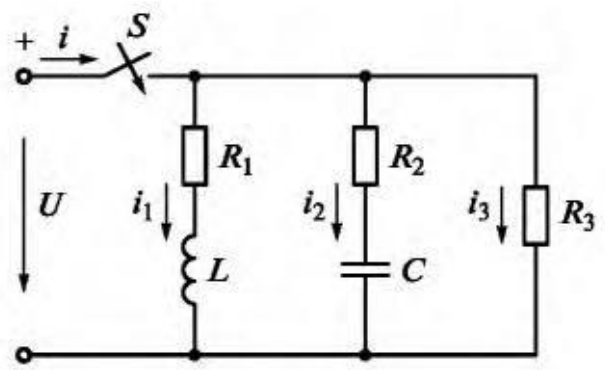
Түрлі сипаттамалары бар (белсенді индуктивті немесе белсенді-сыйымды) тізбектердегі өтпелі процестер әртүрлі физикалық себептермен туындағандықтан, өз ерекшеліктеріне ие болады. Дегенмен, екі жағдайда да электрлік шамалардың тұрақты күйдегі мәндеріне жетуге жол бермейді.

Берілген тізбек үш параллельді тармақтардан тұрады. Бұл жағдайда тармақтың токтары бір-біріне тәуелді емес болады, бұл әрбір тармақты электрмен жабдықтауға қосылу процестерін бөлек қарастыру үшін мүмкіндік береді.

2. Индуктивтілігі бар тармақта ток күші мен кернеуді анықтау. Ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден R_1 - L тармақтарында ток пен кернеуді анықтаймыз ($t = 0$). Коммутация уақыты нөлге тең болады.

Ыңғайлылық үшін коммутация алдындағы сәтті $t = (0-)$ және

14.1 -сурет. Сызықтық электр тізбегін тұрақты кернеуі бар қоректендіру көзіне қосу



коммутацияның аяқталу сәтін $t = (0+)$ ретінде белгілейміз.

Индуктивтілік тізбегі үшін бірінші коммутация туралы заң жарамды, оған сәйкес индуктордағы ток бірден өзгерте алмайды.

R_1 -L тармағындағы ашық S ажыратқышында ток жоқ, яғни $t = (0-)$ үшін ток күші $i_1(0-)=0$ болады. Бірінші коммутация заңынан ажыратқыштың тұйықталғаннан кейінгі бірінші сәтте ($t = (0+)$) ток күші i_1 де ағымдағы нөлге тең, яғни

$$i_1(0+) = i_1(0-) = 0. \quad (14.1)$$

R_1 кедергісіндегі кернеуді Ом заңына сәйкес және (14.1) өрнегіне сәйкес ескере отырып, S ажыратқышының тұйықталмас бұрын жазайық:

$$u_{R_1}(0-) = i_1(0-)R_1 = 0.$$

Ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден кернеу R_1 кедергісі бойынша Осылайша,

$$u_{R_1}(0+) = u_{R_1}(0-) = 0.$$

$u_L(0-)=0$ ауыстырып қосар алдында индуктивтілік бойынша L кернеуі, өйткені тармақ электрмен жабдықтауға қосылмаған.

$$u_{R_1}(0+) = i_1(0+)R_1 = 0.$$

Коммутатордан кейін L индукторындағы кернеу R_1 -L тармағының жалпы кернеуіндегі (R_1 кедергісінің сериясы және индуктивтілік L) және R_1 кедергісі бойынша кернеудегі айырмашылық ретінде анықталады.

Ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден R_1 -L тармағының кернеуі электр қуатының кернеуіне сол сәтті тең болады

($u(0+) = U$), өйткені коммутациялық ұзақтығы нөлге тең болады, формуланы еске ала отырып аламыз (14.2)

$$u_L(0+) = U - u_{R_1}(0+) = U. \quad (14.3)$$

Осылайша, коммутациядан кейін R_1 кедергісі бойынша кернеу өзгерген жоқ, яғни ол нөлге тең болып қалады ((14.1) формуланы қараңыз) және индуктивтілікте ол нөлден бастап U көзінің кернеуінің мәніне ауысады (14.3 формуласын қараңыз).

Коммутациядан кейін тапсырманы ескере отырып төмендегіге қол жеткіземіз

$$i_1(0+) = 0; u_{R_1}(0+) = 0; u_L(0+) = U = 63 \text{ В.}$$

R_1 -L тармақтарында тұрақты күйде ток пен кернеуді анықтаймыз ($t = \infty$). Тұрақты ток ($i = I$) $x_L = L = 0 \cdot L = 0$ индуктивті кедергісі болғандықтан, тұрақты ток кернеуіне қосылған кезде R_1 -L тармағы тек белсенді қарсылық R_1 -ге тең болады, осылайша R_1 -L тармағында тұрақты ток Ом заңына сәйкес

$$I_{\text{уст}} = U/R_1. \quad (14.4)$$

Ом заңына сәйкес $t = \infty$ да болған жағдайда индуктивтіліктің кернеуі

$$U_{L_{\text{уст}}} = I_{\text{уст}} \cdot x_L = I_{\text{уст}} \cdot 0 = 0. \quad (14.5)$$

R_1 -L тармағының R_1 кедергісі бойымен кернеу тұрақты жағдайда, теңдікті

ескере отырып (14.5)

$$U_{K_{\text{уст}}} = U - U_{L_{\text{уст}}} = U - 0 = U. \quad (14.6)$$

Осылайша, $t = 0$ үшін бастапқы кернеу R_1 -L тармағының R_1 кедергісіне толығымен қолданылады.

Берілген тапсырма деректерін ескере отырып (14.4)... (14.6) формулаларына сәйкес төмендегіні аламыз

$$I_{1_{\text{уст}}} = U/R_1 = 63/100 = 0,63 \text{ A}; U_{L_{\text{уст}}} = 0; U_{R_1_{\text{уст}}} = U = 63 \text{ B}.$$

3. Сыйымдылығы бар тармақтағы ток күшімен кернеулерді анықтау. Ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден R_2 -C тармақтарында токпен кернеуді анықтаймыз ($t = 0$). Коммутацияға дейін R_2 және C тізбекті қосылымы бар тармақ қуат көзінен ажыратылады, сондықтан осы тармақтағы ток және коммутация алдында оның бөлімдеріндегі кернеу нөлге тең болды:

$$i_2(0-) = 0; u_{R_2}(0-) = i_2(0-)R_2 = 0; u_C(0-) = 0. \quad (14.7)$$

Теориядан белгілі болғандай, коммутациядан кейін бірден сыйымдылығы бар тармақта сыйымдылықты зарядтайтын ток $i_2(0+) > 0$ бар. Екінші коммутация туралы заң жарамды болады: конденсатордағы кернеу күрт өзгере алмайды. Коммутациядан кейін бірден лезде конденсатордағы кернеу коммутация алдында тұрған сәтте бірдей мәнге ие болады.

Коммутацияның екінші заңынан коммутациядан кейін бірден сыйымдылықтағы кернеу бұрынғыдай қала береді. $u_C(0-) = 0$ ((14.7) өрнегін қараңыз) болуын ескере отырып алатынымыз

$$u_C(0+) = u_C(0-) = 0. \quad (14.8)$$

R_2 кедергісіндегі кернеу R_2 -C тармағының (R_2 кедергісінің тізбекті қосылуы және C сыйымдылығы) және C сыйымдылығындағы кернеуде R_2 -C тармағының жалпы кернеуіндегі айырмашылығы ретінде анықтаймыз. Себебі ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден R_2 тармағының кернеуі қуат көзінің кернеуіне тең болады ($U(0+) = U$), (14.8) формуланы ескере отырып алатынымыз

$$u_{R_2}(0+) = U - u_C(0+) = U. \quad (14.9)$$

Осылайша, коммутациядан кейін R_2 тізбегіндегі кернеу C сыйымдылығының кернеуі өзгерген жоқ, яғни нөлге тең болып қалды ((14.8) формуланы қараңыз), ал R_2 кедергісі нөлден U көзінің кернеу шамасына дейін ауысқан ((14.9) формуланы қараңыз).

R_2 -C тармағындағы ағым Ом заңымен анықталған мәнге нөлден кейін ((14.7) формуланы қараңыз) кейін дереу өзгереді:

$$i_2(0+) = u_{R_2}(0+)/R_2 = U/R_2. \quad (14.10)$$

Тапсырманы ескере отырып коммутациядан кейін алатынымыз

$$u_{R_2}(0+) = U = 63 \text{ B}; i_2(0+) = U/R_2 = 63/70 = 0,9 \text{ A}; u_C(0+) = 0.$$

R_2 тармағының бөлімшелеріндегі ток және кернеуді тұрақты күйде анықтаймыз ($t = \infty$). Тұрақты кернеумен ($U = 63 \text{ B}$) қосылыс R_2 фазасы сыйымдылықтың кедергісімен анықталатын шексіз үлкен кедергіге ие

(қарсылық кедергісі сыйымдылығымен салыстырғанда R_2 кедергіге байланысты ескерілмеуі мүмкін:

$$x_C = 1/(\omega C) = 1/(0 \cdot C) = \infty.$$

Осылайша, R_2 тармағындағы ток күші Ом заңына сәйкес тұрақты режимдегі ағымы

$$I_{2\text{уст}} = U/x_C = U/\infty = 0. \quad (14.11)$$

R_2 кедергісі бойынша кернеу $t =$ кезінде Ом заңына сәйкес

$$U_{R_2\text{уст}} = I_{2\text{уст}} R_2 = I_{2\text{уст}} R_2 = 0 \cdot R_2 = 0. \quad (14.12)$$

Тұрақты күйдегі C сыйымдылығының кернеуі R_2 және C байланысының реттілігіне байланысты

$$U_{C\text{уст}} = U - U_{R_2\text{уст}} = U - 0 = U. \quad (14.13)$$

Осылайша, $t =$ кезінде бастапқы кернеу толығымен C сыйымдылығына қолданылады.

(14.11)... (14.13) формулаларына сәйкес берілгендерде ескере отырып алатынымыз

$$I_{2\text{уст}} = 0; U_{R_2\text{уст}} = I_{2\text{уст}} R_2 = 0 \cdot 70 = 0; U_{C\text{уст}} = U = 63 \text{ В}.$$

4. R_3 кедергісі бар тармақтағы ток күші мен кернеуін анықтау. R_3 кедергісі бар тармақтағы ток пен кернеуді анықтау. R_3 кедергісінде ток күші мен кернеуді ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден табайық ($t = 0$). Коммутацияға дейін R_3 кедергісі бар тармақ барлық тізбек секілді қуат көзінен ажыратылды, сондықтан $t = (0-)$ кезінде R_3 тармағындағы кернеу мен ток күші нөлге тең болды:

$$u_{R_3}(0-) = 0; i_3(0-) = u_{R_3}(0-)/R_3 = 0/R_3 = 0. \quad (14.14)$$

R_3 тармағы реактивтік элементтерді (индукторлар мен сыйымдылықтарды) қамтымайды, онда физикалық процестер тізбектегі кернеулер мен токтардың лезде өзгеруіне жол бермейді, сондықтан R_3 кедергісіндегі кернеу іс жүзінде U қоректендірудің кернеуіне бірден тең болады:

$$u_{R_3}(0+) = U. \quad (14.15)$$

Ом заңына сәйкес, R_3 кедергісіндегі ток күші ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден

$$i_3(0+) = u_{R_3}(0+)/R_3 = U/R_3. \quad (14.16)$$

Осылайша, ажыратқыш тұйықталғаннан кейін R_3 кедергісіндегі кернеу нөлдік мәннен (14.14 формуланы қараңыз) U шамасына дейін өзгереді (14.15 формуланы қараңыз) және ток күші нөлдік мәннен (14.14- формуланы қараңыз) U/R_3 мәніне (14.16 формуласын қараңыз) күрт өзгереді.

Берілген тапсырманы ескере отырып коммутациядан кейін алатынымыз

$$u_{R_3}(0+) = U = 63 \text{ В}; i_3(0+) = U/R_3 = 63/300 = 0,21 \text{ А.}$$

R_3 тармағындағы ток пен кернеуді тұрақты орнатылған күйде анықтайық ($t =$). R_3 кедергісі бар тармақтағы коммутациядан кейін кернеу мен ток шамалары дереу белгіленеді (14.15 формуланы қараңыз), олар тізбектің келесі коммутациясына дейін сақталады. Осылайша, тұрақты күйде, R_3 кедергісі бойынша кернеу

$$U_{R_3 \text{ уст}} = u_{R_3}(0+) = U. \quad (14.17)$$

R_3 кедергісіндегі ток орнатылған тұрақты күйде Ом заңына сәйкес келеді

$$I_{3 \text{ уст}} = U_{R_3 \text{ уст}}/R_3 = U/R_3. \quad (14.18)$$

(14.17), (14.18) формулаларына сәйкес тапсырманы ескере отырып алатынымыз

$$U_{R_3 \text{ уст}} = U = 63 \text{ В}; I_{3 \text{ уст}} = U/R_3 = 63/300 = 0,21 \text{ А.}$$

5. Тізбектегі жалпы ток күшін анықтау. Ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден ($t =$) электр тізбегіндегі және кернеудегі ток тізбегіндегі барлық тоқты табамыз. Коммутаторға дейін электр тізбегі тоқтан ажыратылған болған. Демек, тізбек қысқышындағы кернеу және жалпы ток күші нөлге тең болды:

$$u(0-) = 0; i(0-) = 0. \quad (14.19)$$

Тізбек қысқыштарында ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірден $u(0+) = U$ кернеуі орнатылды, Кирхгофтың бірінші заңына сәйкес жалпы ток күшін және (14.1), (14.10), (14.16) формулаларын ескере отырып төмендегідей жазамыз

$$\begin{aligned} i(0+) &= i_1(0+) + i_2(0+) + i_3(0+) = 0 + U/R_2 + U/R_3 = \\ &= U(1/R_2 + 1/R_3). \end{aligned} \quad (14.20)$$

Осылайша, ажыратқыш тұйықталғаннан кейін тізбек қысқыштарындағы кернеу нөлден U қорек кернеуіне ауысып, ал жалпы ток күші нөлден $U(1/R_2 + 1/R_3)$ мәніне тең шамаға өзгерді.

Берілгенді ескере отырып жалпы ток күші коммутациядан кейін

$$i(0+) = 0 + 0,9 + 0,21 = 1,11 \text{ А.}$$

Тұрақты күйде тізбектегі жалпы ток күшін анықтаймыз ($t =$). Кирхгофтың бірінші заңына сәйкес және формулаларды (14.4), (14.11), (14.18) ескере отырып, жалпы токтың тұрақты күй

$$\begin{aligned} I_{\text{уст}} &= I_{1 \text{ уст}} + I_{2 \text{ уст}} + I_{3 \text{ уст}} = U/R_1 + 0 + U/R_3 = \\ &= U(1/R_1 + 1/R_3). \end{aligned} \quad (14.21)$$

(14.21) формуласына сәйкес тапсырма берілгенін ескере отырып

$$I_{\text{уст}} = 0,63 + 0 + 0,21 = 0,84 \text{ А.}$$

14.2 Тізбектегі өтпелі процестердің графиктерін құру және теңдеулерін құрастыру

14.2 есеп. 14.1 суретте көрсетілген тізбектер $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 500 \text{ Ом}$, $R_3 = 400 \text{ Ом}$, $L = 0,4 \text{ Гн}$, $C = 5 \text{ мкФ}$ параметрлерімен $U = 100 \text{ В}$ тұрақты кернеуімен қорек көзіне S ажыратқышымен қосылады.

Берілген тізбекте теңдеулерді құрып, өтпелі процестің графиктерін құрастырыңыз.

Шешімі. 1. Өтпелі процесте берілген тізбектің жұмыс сәттеу ерекшеліктері. Бұл берілген тізбек $t = 0(+)$ -ден $-$ ке дейінгі уақыт коммутациядан кейін, яғни ауыспалы процесс режимінде зерттеледі.

Кернеулер мен токтардың лезде өзгеруіне жол бермейтін реактивті элементтердегі физикалық процестерге (индуктивтілік пен сыйымдылықтарға) байланысты электрлік тізбектердегі өтпелі процестердің теориясы белгілі. Осылайша, 14.1 суреттегі тізбектегі өтпелі процестің режимі R_1 - L (белсенді индуктивті сипаттағы) және R_2 - C (белсенді-сыйымдылық сипаты бар) тармақтарында кездесетін өтпелі процестер жиынтығымен сипатталады. R_3 тармағындағы ауысу процесі (таза белсенді сипатта) жоқ.

3. Тармақтардың уақытша тұрақтылығын және тізбектегі өтпелі процестердің ұзақтығын анықтау. Іс жүзінде тізбектердегі өтпелі процестердің ұзақтығы (4 ... 6) деп санауға болады, мұнда - тізбектің параметрлерімен анықталатын уақытша тұрақтышама.

Тапсырманың берілгенін ескере отырып R_1 - L тармағының уақытша тұрақты шамасы

$$\tau_1 = \frac{L}{R_1} = \frac{0,4}{200} = 2 \text{ мс.}$$

R_1 - L тармағындағы өтпелі процестің ұзақтығы

$$I_{\text{уст}} = 0,63 + 0 + 0,21 = 0,84 \text{ А.}$$

R_2 - C тармағының тұрақты уақыты

$$\tau_2 = R_2 C = 500 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 2,5 \text{ мс.}$$

R_2 - C тармағындағы өтпелі процестің ұзақтығы

$$t_2 = 5 \tau_2 = 5 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ мс.}$$

Берілген тізбектің параметрлері бойынша, конденсаторы бар тармақтағы өтпелі процесс шарғы тармақтарына қарағанда 1,25 есе ұзағырақ болады.

3. R_1 - L тармағындағы өтпелі процестің теңдеуі мен сызба құрылысын жасау. R_1 - L тармағындағы ток өзгерісін қарастырайық. R_1 - L (индуктивтілік тізбегі) тармағын тұрақты кернеумен, тармақтағы ағымды қосудан кейін өтпелі кезең теориясына сәйкес

$$i_1 = I_{1\text{уст}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right), \quad (14.22)$$

мұнда $I_{\text{уст}} = U/R_1$ — токтың орнатылған мәні t_1 ; t — ағымдағы уақыт; — R_1 -

L тармағының тұрақты уақыты, $= L/R_1$

Тапсырманың берілгенін ескере отырып R_1 -L тармақтағы өзгеріс заңы келесідей түрде болады

$$i_1 = \frac{U}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1 t}{L}} \right) = \frac{100}{200} \left(1 - e^{-\frac{200t}{0,4}} \right) = 0,5(1 - e^{-500t}) \text{ А.} \quad (14.23)$$

R_1 -L тармағының индуктивтілігіне кернеудің өзгеруін қарастырайық. Өтпелі процестер теориясына сәйкес, R_1 -L тармағында тұрақты кернеуге ауысқан соң индуктордағы кернеу заңға сәйкес өзгереді

$$u_L = U e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ В,}$$

яғни берілген тапсырманы ескере отырып

$$u_L = 100 e^{-500t} \text{ В.} \quad (14.24)$$

Ом заңына сәйкес және өрнекті (14.22) ескере отырып, тармақты тұрақты кернеуге қосқаннан кейін R_1 кедергісінде кернеудің өзгеру теңдеуін аламыз:

$$u_{R_1} = i_1 R_1 = \frac{U R_1}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right).$$

яғни берілген тапсырманы ескере отырып

$$u_{R_1} = 100(1 - e^{-500t}) \text{ В.} \quad (14.25)$$

R_1 -L тармағындағы өтпелі қисық сызықты құрастыру үшін біз тармақтағы ток күшінің мәндерін және оның бөліктеріндегі кернеулерін есептеп аламыз ((14.23) ... (14.25)) теңдеулеріндегі (14.25) уақыт аралығы, тармақтың уақытша тұрақты мәніне тең, уақыт $t = 6$, яғни, R_2 -C тармағындағы өтпелі процестің іс жүзінде өтуі бұрыннан ұзағырақ және, демек, бүкіл тізбекте солай болады.

Осы есептеудің нәтижелері 14.1 кестеде келтірілген, ал есептеу нәтижелері бойынша құрастырылған графиктер 14.2 суретте келтірілген.

Өтпелі процесс кезіндегі және u_{R1} және u_L шамаларының өзгеруі

t, мс	0	2	4	6	8	10	112	14	16
i_1 , А	0	0,316	0,432	0,475	0,491	0,497	0,499	0,5	0,5
u_{R1} , В	0	63	86	95	98	99	100	100	100
u_L , В	100	37	14	5	2	1	0	0	0

4. R_2 -C сыйымдылығы бар тармақтағы өтпелі процестің теңдеуін және графигін құрастыру. R_2 -C тармағында зарядтау тогының өзгеруін қарастырыңыз. Өтпелі процестер теориясына сәйкес, R_2 -C (сыйымдылығы бар тізбек) тармағына тұрақты кернеуге ауысқаннан кейін, тармақтағы ағым заңға сәйкес өзгереді:

$$i_2 = \frac{U}{R_2} e^{-\frac{t}{\tau_2}}. \quad (14.26)$$

Тапсырманың берілгенін ескере отырып

$$i_2 = \frac{100}{500} e^{-\frac{10^6 t}{500 \cdot 5}} = 0,2 e^{-400t} \text{ А.} \quad (14.27)$$

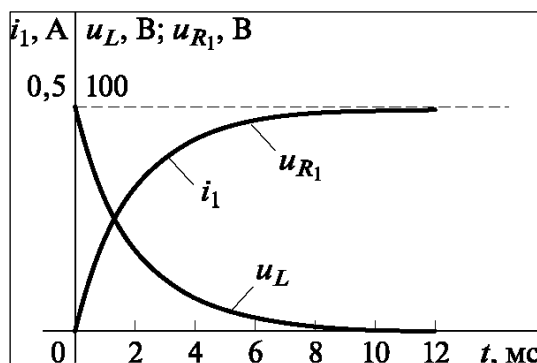
Өтпелі кезең теориясына сәйкес, R_2 -C тармағында тұрақты кернеуге ауысқаннан кейін конденсатордағы кернеу заңға сәйкес өзгереді

$$u_C = U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right)$$

Тапсырманың берілгенін ескере отырып

$$u_C = 100 \left(1 - e^{-\frac{1000t}{2,5}} \right) = 100(1 - e^{-400t}) \text{ В.} \quad (14.28)$$

Ом заңына сәйкес және өрнекті (14.26) ескере отырып, тұрақты



14.2-сурет. $R1$ -L тармағын тұрақты кернеуге қосу кезінде өтпелі процестің графигі.

кернеуге сыйымдылығы бар тармақты қосқаннан кейін R_2 кедергісінде кернеудің өзгеру теңдеуін аламыз:

$$u_{R_2} = i_2 R_2 = \frac{UR}{R_2} e^{-\frac{t}{\tau_2}} = U e^{-\frac{t}{\tau_2}}.$$

Тапсырманың берілгенін ескере отырып

$$u_{R_2} = 100e^{-400t} \text{ В.} \quad (14.29)$$

R_2 -С тармағындағы өтпелі қисық сызықты құру үшін, тармақтағы ағымның мәндерін және оның бөлімдеріндегі кернеулерді есептеңіз (14.27 теңдеуін қараңыз (14.29)) $t = 6$ уақыт кезеңі үшін, яғни, 2 мс интервалына тең (графиктерді кейіннен пайдалану ыңғайлылығы үшін R_1 -L тармағы үшін бірдей масштабтағы координат осі бойынша) өтпелі практикалық аяқталғанға дейін.

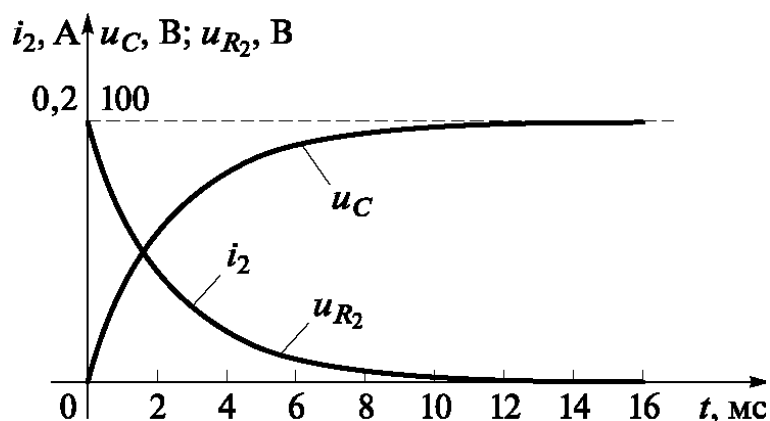
Осы есептеудің нәтижелері 14.2 кестесінде келтірілген, ал есептеу нәтижелері бойынша құрастырылған графиктер 14.3 суретінде келтірілген.

14.2 -кесте

Өтпелі процесскезінде i_2 , u_R және u_C шамаларын өзгерту

t, мс	0	2	4	6	8	10	12	14	16
i_2 , А	0,2	0,09	0,04	0,018	0,008	0,004	0,002	0,001	0
U_{R_2} , В	100	44,9	20,9	9,1	4,1	1,8	0,8	0,4	0,2
U_C , В	0	55,1	79,8	90,9	95,9	98,2	99,2	99,6	99,8

5. Өтпелі процесте теңдеуді құру және тізбектегі жалпы ток графын құрастыру. Белсенді кедергісі бар тізбектің өтпелі процесі жоқ болғандықтан, тізбек қосылғаннан кейін R_3 тармағында ток ағымы i_3 болып табылады, яғни $i_3 = I_{3уст}$.



14.3 -сурет. R_2 -L тармағын тұрақты кернеуге қосу кезінде өтпелі процестің графигі.

Бірінші Кирхгоф заңына сәйкес және (14.22), (14.26) және (14.18) формулаларды ескере отырып, тізбек тармақтарының параллель қосылысының жалпы ағымы тұрақты кернеуге ауысқаннан кейін (14.1-суретті қараңыз)

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{U}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1 t}{L}} \right) + \frac{U}{R_2} e^{-\frac{t}{R_2 C}} + \frac{U}{R_3}. \quad (14.30)$$

Берілген тапсырма және (14.23), (14.27) формулаларына сәйкес жалпы ток (14.30) өрнегі келесідей болады

$$i = 0,5(1 - e^{-500t}) + 0,2e^{-400t} + 100/400 = (0,75 - 0,5e^{-500t} + 0,2e^{-400t}) \text{ A.} \quad (14.31)$$

Өтпелі процесс кезінде тізбектегі жалпы ток графигін құру үшін, i ток мәндерін уақытты $t = 6 = 16$ мс үшін $= 2$ м/сек тең уақыт интервалындағы ағымда ((14.31) теңдеуді қараңыз) есептеуге болады. Алайда i_1 және i_2 токтарының мәндері көрсетілген уақыт интервалдары арқылы мәселені шешу барысында анықталғандықтан (14.1 және 14.2 кестелерін қараңыз), сол кезде белгілі бір уақыт аралығындағы ток мәндерін i_1 , i_2 және $i_3 = 25$ А шамаларының белгілі сомасы ретінде оңай алынуы мүмкін.

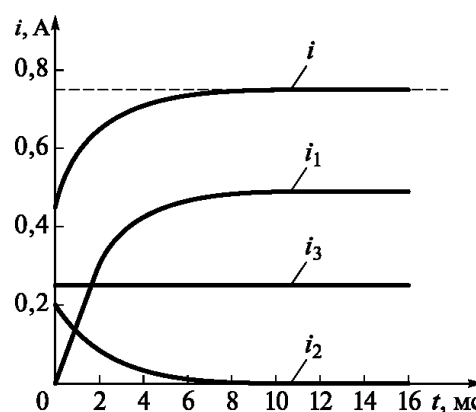
14.4 суретінде тармақтардағы i_1 , i_2 токтарының графиктері, $i_3 = 25$ А тогы және тізбектегі жалпы ток i көрсетіледі.

Жалпы ток i есептеуінің нәтижелері 14.3 кестеде келтірілген.

14.3 -кесте.

Өтпелі процесс кезінде i жалпы токтың өзгеруі

t, мс	0	2	4	6	8	10	12	14	16
i, А	0,45	0,656	0,722	0,743	0,749	0,751	0,751	0,751	0,75



14.4 сурет. 14.1 суретте келтірілген, тұрақты кернеуге қосылған кездегі тізбектің ауысуы кезіндегі, тізбектегі ток графигі

260

14.3. Өзіндік шешуге арналған тапсырмалар

14.3.14.1-суретте көрсетілген электр тізбегін ауыстыру схемасында, R_1 , R_2 , R_3 кедергілері H_1 , H_2 , H_3 нақты жарықтандыру шамдарын ауыстырады. Лампалардың қызу процесін S ажыратқыштың тұйықталуы сәтінен сипаттаңыз.

14.4.14.1 тапсырмасының бастапқы деректерінен 14.1 суретінде көрсетілген тізбек тармақтарының уақытша тұрақтыларын анықтаңыз. Әрбір тармақтардағы өтпелі процестің ұзақтығын табыңыз.

14.5.14.1 тапсырмасындағы берілгендерді қолдана отырып, 14.1 суретіндегі көрсетілген тізбектің тармақтарындағы токтарға және жалпы ток күшінің уақытша ауытқу теңдеуін жазыңыз.

14.6. Егер 14.1 тапсырмаларының бастапқы деректер кезінде ажыратқыш S ашылғанда оның жұмысының орнатылған режимінде 14.1 суретіндегі i_1 және u_C кернеудің тізбектегі бастапқы және түпкілікті мәндерін анықтаңыз.

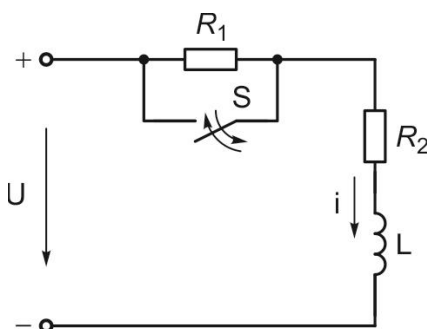
14.7. Белсенді кедергісі мен индуктивтілігі бар тізбекті тұрақты U кернеуге қосады. Ажыратқыш іске қосылған кезде индуктивті кернеудің қалай әсер ететінін анықтаңыз және тұрақты жағдайда тізбектің белсенді кедергісін арттырыңыз.

14.8.14.5 суретінде көрсетілген электр тізбегіндегі ток күшін оның кедергісі азайған кезде түрлендіру заңын шығарыңыз, мысалы, резистор R_1 қысқа тұйықталу салдарынан S ажыратқышының ашылу нәтижесі. Өтпелі үдеріс кезінде ток күшінің өзгеріс графигін құрыңыз.

14.9.14.5 суретінде көрсетілген электр тізбегіндегі ток күшін оның кедергісі артқан кезде түрлендіру заңын шығарыңыз, мысалы, S ажыратқышының ашылу нәтижесінде. Өтпелі үдеріс кезінде ток күшінің өзгеріс графигін құрыңыз.

14.10. $R = 5$ Ом кедергісі бар индуктивтілік шарғысы және $L = 0,2$ Гн индуктивтілігі $U = 12$ В тұрақты кернеу көзіне қосылған. Айқындаңыз: шарғыдағы токтың ең жоғары мәні; ағымның максималды мәніне жеткен уақыт; тізбекті қосқаннан кейін 120 мс кейінгі ток күші.

14.11. Активті кедергісі 50 Ом болатын индуктивтілік шарғысын 10 В кернеуінен қоректенуден ажыратылды. Электр



14.5-сурет. RL тізбегіндегі белсенді кедергінің шұғыл өзгерісі

қуатының тоқтауынан кейінгі кернеудегі шарғының ток күшін анықтаңыз.

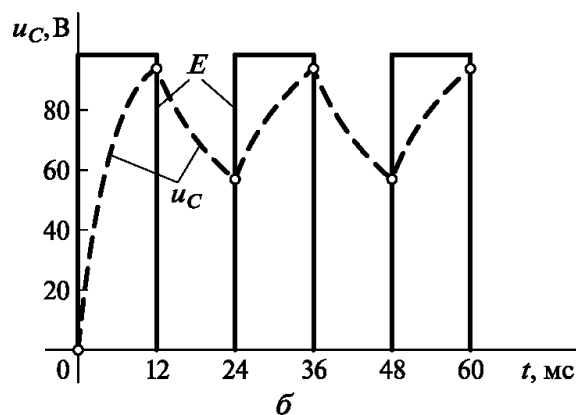
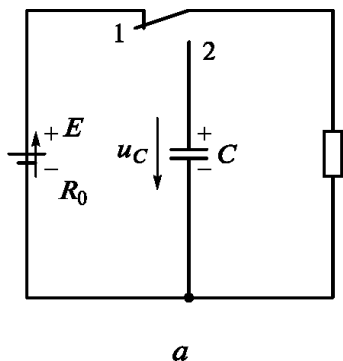
14.12. Белсенді $R = 100$ Ом кедергісі бар және $C = 5$ мкФ сыйымдылықтың тізбекті қосылысы тізбегін 10 В тұрақты кернеуге қосылды. Кедергідегі кернеуді және тізбектегі ток күшін олардың қосылғаннан кейін бірден және тұрақты күйде анықтаңыз. Конденсатордағы кернеуді 3 мс кейін табыңыз.

14.13. 14.5 суретте көрсетілген параметрлері $R_1 = 70$ Ом, $R_2 = 30$ Ом және $L = 0,25$ Гн болатын тізбекте ажыратқыш ашылғанға дейін тұрақты ток $I = 4,5$ А өтеді. Ажыратқыш ашылған сәтінен бастап ток тізбегіндегі ток өзгерісінің заңын алыңыз және өтпелі процесс кезінде $i = (t)$ графикті құрыңыз.

14.14. $u = 60\sin(314t + \pi/2)$ синусоидалді кернеу көзіне $L = 0,4$ ГГ индуктивтілігі бар шарғы және 5 ом белсенді кедергісі қосылады. Өтпелі процестің ағымдағы күшінің өзгеру заңдылығын алыңыз және ол қосылған сәттен бастап үш кезеңде ағымдағы күшті анықтаңыз.

14.15. Белсенді кедергісі бар $R = 200$ Ом тізбекті қосылысы бар тізбек және $L = 2$ Гн индуктивтілік 220 В 50 Гц жиіліктегі кернеу синусоидалды желісінің тізбегіне қосылады. Өтпелі процестің өзгеру заңын алу және кернеудің бастапқы фазасы $\psi = 0$ болған кезде, қуат көзі қосылған кезде тиісті графикті құрыңыз.

14.16. 14.6, а суретінде негізгі ажыратқышты S ауыстырған кезде, 1 күйінде сыйымдылығы 10 мкФ болатын конденсатор энергия көзінен қуаттанады, оның ЭҚК $E = 100$ В, ал ішкі кедергісі $R_0 = 400$ Ом. Негізгі ажыратқышты 2 күйіне ауыстырғанда, конденсатор 2400 Ом кедергісі R арқылы шығады.



14.6. RL-тізбегінде ара тәріздес кернеуді алу:

а — конденсатордың энергия көзіне және (S ажыратқышының 1 жағдайы) және тұтынушыға (S ажыратқышының 2 жағдайы) қосу схемасы; б — уақыттағы конденсаторда кернеудің өзгеру графигы

Ажыратқыш 12 мс интервалымен бір позициядан екіншісіне ауысады. 60 мс көзінен ($t = 0$) бірінші қосылуы басынан бастап уақыт ішінде электрмен жабдықтау және өшіру сәттерді мерзімді коммутациясы кезінде конденсатор кернеуін анықтаңыз және осы уақыт ішіндегі конденсатор кернеуінің өзгеріс графигін құрыңыз.

ӨЗІНДІК ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ ЖАУАПТАРЫ

14.3. Н1 шамы ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірінші сәтте жанбайды. Уақыттың өтуімен шамның люминесценциясы артып, (4: 6) м (мұндағы - тұрақты уақыт) тең уақыттан кейін іс жүзінде ең жоғарғы жарықтық шегіне жетеді. Ажыратқыш тұйықталғаннан кейін бірінші сәтте Н2 шамы ең жоғары жарыққа ие болады, содан кейін оның люминесценциясы бірте-бірте әлсірейді және (4 ... 6) тең уақыттан кейін ол толығымен сөнеді. Н3 шамы ажыратқыштың тұйықталуынан кейін бірден дерлік жоғары люминесценция жарықтығына ие болады және ол ашылмайынша өзгермейді.

14.4.2 мс; 0,21 мс; 8... 12 мс; 0,84.1,26 мс.

14.5. $i_1 = 0,63(1 - e^{-500t})$ А; $i_2 = 0,9e^{-4762t}$ А; $i_3 = 0,21$ А; $i = (0,84 - 0,63e^{-500t} + 0,9e^{-4762t})$ А.

14.6. $i_1(0+) = 0,63$ А, ажыратқыш контактілері арасында электрлі доға пайда болады; $i_{уст} = 0$; $u_C(0+) = 63$ В; $u_{C\ уст} = 0$.

14.7. Индуктордағы кернеу ажыратқыштың қосылу кезінде емес немесе тұрақты күйде қосылып тұрған кезінде де емес, тізбектің белсенді кедергісіне байланысты болмайды, сондықтан ол өзгерген кезде өзгермейді.

14.8 . $i = i_{уст} + i_{св} = I_2 - (I_2 - I_1)e^{-t/\tau}$, мұндағы, $i_{уст} = I_2 = U/R_2$ — S ажыратқышы тұйықталғаннан кейін ток күшінің орнатылған шамасы; $i_{св} = -(I_2 - I_1) e^{-t/\tau}$ — токтың кең құрамдас күші; $I_1 = i(0) = U/(R_1 + R_2)$ — S ажыратқыш тұйықталғаннанға дейін ток күшінің орнатылған шамасы; $\tau = L/R_2$ — тұрақты уақыт. Графигі 14.7 а суретінде көрсетілген.

14.9 . $i = i_{уст} + i_{св} = I_1 + (I_2 - I_1)e^{-t/\tau}$, мұндағы, $i_{уст} = I_1 = U/(R_1 + R_2)$ — S ажыратқышы тұйықталғаннан кейін ток күшінің орнатылған шамасы; $i_{св} = (I_2 - I_1) e^{-t/\tau}$ — токтың кең құрамдас күші; $I_2 = i(0) = U/R_2$ — S ажыратқыш тұйықталғаннанға дейін ток күшінің орнатылған шамасы; $\tau = L/(R_1 + R_2)$ — тұрақты уақыт. Графигі 14.7, б суретінде көрсетілген.

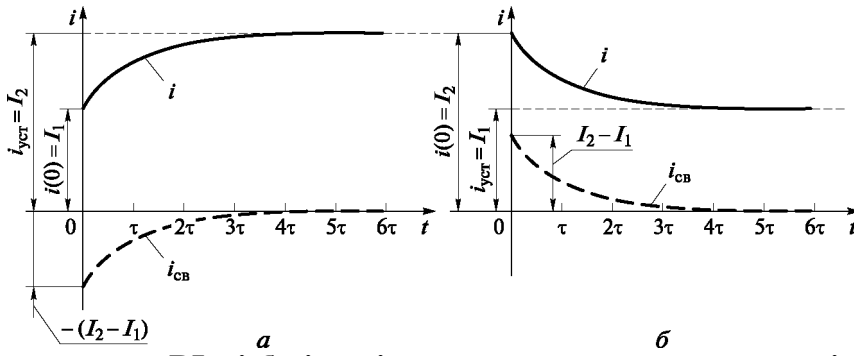
14.10 2,4 А; 160...240 мс; 2,28 А.

14.11 0,2 А; 10 В.

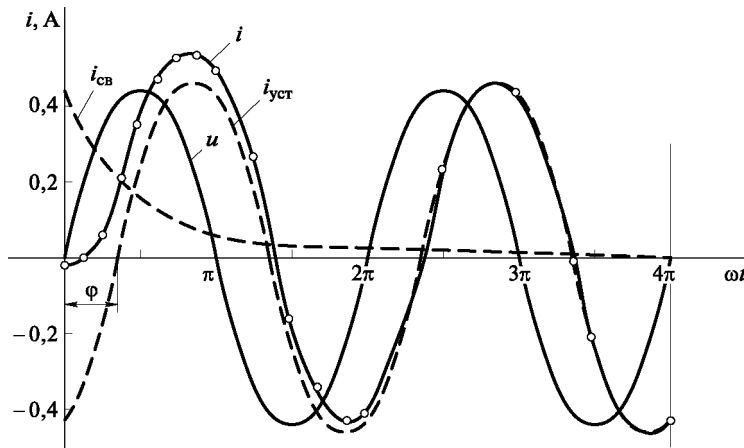
14.12 10 В; 0,1 А; 0; 0; 10 В.

14.13 $(1,5 + 3,0e^{-400t})$ А.

14.14 $(0,477\sin(314t + 2^\circ 17') - 0,019e^{-12 \cdot 5t})$ А; 10 мА.



14.7-сурет. RL тізбегіндегі токтардың кенеттен төмендеуі (а) және оның (б) қарсыласуының ұлғаю графигі



14.8-сурет. Өтпелі процесс тогының өзгеруі және RL-тізбегіндегі сол токтың құрамдастарын синусоидалды кернеуімен қосылған кездегі графигі

14.15. $(0,47\sin(314t - 72^\circ 20') + 0,45e^{-100t})$ А. график 14.8 суретінде.

14.16.

t, мс	0	12	24	36	48	60
u _C , В	0	95	57,62	97,88	59,37	97,97

Уақыттағы u_C кернеуінің өзгерісі 14.6, б суретінде көрсетілген.

ҚОСЫМШАЛАР

1-қосымша. Электр және магнитті шамалардың бірліктері

Шамасы	Бірлік		
	Атауы	Сипаттамасы	
		халықаралық	қазақша
СИ негізгі өлшемдері			
Ұзындығы	метр	m	м
Салмақ	килограмм	kg	кг
Уақыт	секунд	S	с
Электр тогының күші	ампер	A	А
Термодинамикалық температура	кельвин	K	К
Заттың мөлшері	моль	mol	моль
Жарық күші	кандела	cd	кд
СИ қосымша өлшемдері			
Жазық бұрыш	радиан	rad	рад
Денелік бұрыш	стерадиан	sr	ср

Арнайы атауы бар СИ туынды бірліктері

Шамасы	Бірлік			СИ негізгі және қосымша бірліктері арқылы өрнектер
	Атауы	Сипаттамасы		
		Халықаралық	Қазақша	
Жиілік	герц	Hz	Гц	c^{-1}
Күш	ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot c^{-2}$

Шамасы	Бірлік			СИ негізгі және қосымша бірліктері арқылы өрнектер
	Атауы	Сипаттамасы		
		Халықаралық	Қазақша	
Қысым	паскаль	Pa	Па	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Қуаттылық	ватт	W	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Электр энергиясының көлемі	кулон	C	Кл	$\text{с} \cdot \text{А}$
Электрлік кернеу	вольт	V	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электрлік сыйымдылық	фарад	F	Ф	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрлік кедергі	ом	Q	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрлік өткізгіш	сименс	S	См	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Магнитті индукцияның ағыны	вебер	Wb	Вб	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитті индукция	тесла	T	Тл	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивтілік	генри	H	Гн	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Жарық ағыны	люмен	lm	лм	кд · ср
Жарықталу	люкс	lx	лк	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$
Радионуклид белсенділігі	беккерель	Bq	Бк	с^{-1}
Иондаушы сәулеленудің дозасы	грэй	Gy	Гр	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Баламалы радиация дозасы	зиверт	Sv	Зв	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$

2. Қосымша. Изоляциялық материалдың негізгі параметрлері

Материал	Қатысты диэлектрлік өткізгіштік s	Электрлік төзімділік $\xi_{\text{сп}} \cdot 10^6, \text{В/м}$	20 °С, Ом · м кезіндегі меншікті электрлік кедергі
Асбест қағазы және мата Бакелит (гетинакс):	2...4	1,5...3,0	$2 \cdot 10^6$
цилиндрлік	3,8...5,0	10...15	$10^{11} \dots 10^{15}$
қағаз Қағаз:			$10^{11} \dots 10^{14}$
кабельді құрғақ	2,3...3,5	6...9	$10^{13} \dots 10^{14}$
Май сіңірілген	3,5...3,7	10..25	10^{15}
Парафинделген	4,3	10...25	$10^{14} \dots 10^{15}$
Дистилденген су	80	1,5...3	10^5
Ауа Электрлі оқшауланған картон:	1,0	3	$10^3 \dots 10^5$
құрғақ	2,5...4	8..10	$10^9 \dots 10^{13}$
Май сіңірілген	4...5	12...17	$10^{12} \dots 10^{13}$
Мрамор	8...10	3,5...5,5	$10^9 \dots 10^{10}$
Парафин	2,0...2,2	15...30	$10^{15} \dots 10^{16}$
Резеңке Слюдадар:	3...6	15...20	$10^{15} \dots 10^{16}$
мусковит	6,0...7,5	120...200	$10^{14} \dots 10^{15}$
флогопит	4...6	80..150	$10^{12} \dots 10^{14}$
Шыны	5,5...10	10...40	$10^{11} \dots 10^{15}$
Лакталған мата	3,5..5,0	32...45	$10^{12} \dots 10^{13}$

3-қосымша. Өткізгіш материалдардың үлестік кедергісі және КТК

Магниттік индукция В, Тл	Әр түрлі болат маркалары үшін магнитті өріс кернеулігі, Н,А/м			
	1211	1511		

Материал	20 °С, Ом· м·10 ⁻⁶ немесе Ом · мм ² /м кезіндегі үлестік р кедергі		Кедергінің температуралық коэффициенті , 1/°С		
Алюминий	0,028		0,00500		
Вольфрам	0,055		0,00450		
Константан	0,40...0,51		±0,00001		
Жез	0,025...0,06		0,002...0,007		
Мыс	0,0175		0,00400		
Манганин	0,42		0,00003		
Никелин	0,42		0,00030		
Никель	0,10		0,00500		
Нихром	1,10		0,00030		
Реотан	0,47		0,00040		
Қорғасын	0,221		0,00400		
Күміс	0,016		0,00400		
Болат	0,1...0,2		0,00500		
Көмір	0,33...1,85		±0,00060		
Фехраль	1,18		0,00008		
Материал	Қатысты диэлектрлік өткізгіштік s		Электрлік төзімділік ξпр · 10 ⁶ , В/м		20 °С, Ом · м кезіндегі меншікті электрлік кедергі
Талшық	3.	5	4.	11	
Фарфор	5,0.	..7,5	6.	10	10 ¹⁴ ..10 ¹⁵
Шифер	4.	.16	1,5.	3,0	10 ⁷ ..10 ¹⁰

4.		1212 1311	1512	Балқытылған болат	Пермендюр
	0,10	—	40	80	57
	0,20	—	50	160	70
	0,30	—	60	240	73
	0,40	140	70	320	76
	0,45	152	75	360	79
	0,50	171	85	400	82
	0,55	191	94	443	—
	0,60	211	110	448	85
	0,65	236	127	535	—
	0,70	261	145	584	88
	0,75	287	165	632	—
	0,80	318	185	682	91
	0,85	352	210	745	—
	0,95	447	270	850	—
	1,00	502	300	920	97
	1,05	570	340	1004	100
	1,10	647	395	1090	105
	1,15	739	460	1187	110
	1,20	840	540	1290	115
	1,25	976	640	1430	120
	1,30	1140	770	1590	125
	1,35	1340	970	1810	132

Қосымша. Болатты магниттеудің сипаттамасы

Магниттік индукция В, Тл	Әр түрлі болат маркалар үшін Н, А/м магнитті өрістің кедергілері			
	1211 1212 1311	1511 1512	Балқытылған болат	Пермендюр
1,40	1580	1 300	2 090	140
1,45	1950	1 830	2 440	150
1,50	2 500	2 750	2 890	162
1,55	3 280	3 850	3 430	180
1,60	4 370	5150	4 100	200
1,65	5 880	6 950	4 870	225
1,70	7780	8 900	5 750	260

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Евдокимов Ф. Е. Электротехниканың теориялық негіздері : техникумдардың энергетикалық және электротехникалық мамандықтарына арналған оқулық / Ф. Е. Евдокимов. — 9-басылым — М. : «Академия» баспа орталығы, 2004. — 560 б.
2. Бірыңғай жобалық құжаттама жүйесі. Схемалардағы шартты графикалық белгілер. — М. : стандарттар баспасы, 1983. — 496 б.
3. Зайчик М.Ю. Теориялық электротехника бойынша тапсырмалар мен жаттығулардың жинағы: техникумдарға арналған оқу әдістемелігі / М.Ю.Зайчик. — 6-басылым, қайта өңделіп және толықтырылған — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 496 б.
4. Полещук В И. Электротехника және электроника бойынша тапсырмалар жинағы: кәсіби білім беру орталығына арналған оқу әдістемелігі / В.И.Полещук. — 3- басылым, стереотип. — М.: «Академия» баспа орт-ғы, 2007. — 224 б.
5. Фуфаева Л.И. Электротехника: орта кәсіби білім беру орталығына арналған оқу әдістемелігі / Л.И.Фуфаева. — М. : «Академия» баспа орт-ғы, 2009. — 384 б.
6. Электротехникалық көрсеткіш / В. Г. Герасимова және басқалардың жалпы редакциясы. — 9-басылым. — М. : МЭИ баспасы, 2003. — 440 б.
7. МЕМСТ Р 52002—2003. Электротехника. Негізгі түсініктердің терминдері мен анықтамалары. — М.: Ресей мемстандарты, 2003 ж.
8. МЕМСТ 2.710—81 (ӨЭКЖК СТ: 2182—80, 6306—88). Бірыңғай жобалық құжаттама жүйесі. Электрлік тізбектерде қолданылатын шартты әріптік-сандық белгілер. — М. : КСРО Министрлер Кеңесінің Стандарттар жөніндегі Мемлекеттік Комитеті. — 1981.
9. МЕМСТ Р 1494—77 (СТ СЭВ 3231—81). Электротехника. Негізгі шамалардың әріптік көрсеткіштері. — М. : КСРО Министрлер Кеңесінің Стандарттар жөніндегі Мемлекеттік Комитеті, 1977 г. Қайта басылым 1983 ж. № 2174 (ИУС № 8—1983 ж.).

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	3
1-тарау. ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ ӨРІС	5
1.1. Нүктелік зарядтың электр өрісі.....	5
1.2. Бірнеше нүктелік зарядтардың электр өрісі	10
1.3. Біртекті электр өрісі.....	13
1.4. Жазық конденсатор	19
1.5. Цилиндрлік конденсатор	22
1.6. Өткізгіштердің сыйымдылығын есептеу.....	23
1.7. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.....	25
2-тарау. ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІНІҢ НЕГІЗГІ ҰҒЫМДАРЫ.....	29
2.1. Электр тогы. Кедергі. Тізбек бөлігі үшін Ом заңы. Токтың жұмысы мен жылулық әсері.....	29
2.2. Электр тізбектерінің схемалары мен түрлері.....	33
2.3. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.....	36
3-тарау. ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ ТАРМАҚТАЛМАҒАН ТІЗБЕКТЕРІ	40
3.1. Бір энергия көзі бар тармақталмаған тізбек.	40
3.2. Айнымалы жүктемеде ЭҚК көзі. Электр тізбегінің жұмыс режимі.....	45
3.3. Айнымалы жүктемеде ток көзі.	51
3.4. Бірнеше энергия көзі бар тармақталмаған тізбек. Генератор және тұтынушы режимдерінде ЭҚК көздері.....	54
3.5. Электр тізбегі нүктелерінің потенциалдары. Потенциалды диаграмма.....	59
3.6. Тізбек элементтерін таңдау және тізбек жұмысының сенімділігі.....	70
3.7. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.	73
4-тарау. ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ БІР ЭНЕРГИЯ КӨЗІ БАР ТАРМАҚТАЛҒАН ТІЗБЕКТЕРІ. ҮЙІРТКІ ӘДІСІ	83
4.1. Бір энергия көзі және екі түйіні бар тізбек.....	83

4.2. Бір энергия көзі және екі түйіні бар тізбектердің электрлік өлшемдерде қолданылуы.....	86
4.3. Бір энергия көзі және бірнеше түйіндері бар тізбектер	94
4.4. Бір энергия көзі бар тізбектер тұтынушыларды жұлдызша және үшбұрыш схемасымен жалғағанда. Түрлендіру әдісі.....	97
4.5. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.	102
5-тарау. ӘР ТҮРЛІ ТАРМАҚТАРҒА ҚОСЫЛҒАН ТІЗБЕКТЕРІ	106
5.1. Түйіндік және контурлық теңдеулер әдісі (Кирхгоф теңдеулері әдісі).....	106
5.2. Токтардың қабаттасу әдісі.....	109
5.3. Контурлық токтар әдісі.....	114
5.4. Екі түйіндер әдісі.....	116
5.5. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.....	121
6-тарау. ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ ТІЗБЕКТЕР	125
6.1. Конденсаторлардың қосылуының жалпы сыйымдылығын есептеу.....	125
6.2. Конденсаторлар тізбегінде кернеулер мен зарядтардың таралуы.....	126
6.3. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.	129
7-тарау. ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ТІЗБЕКТЕРІ	131
7.1. Сызықтық емес элементтердің тізбектей қосылуы.....	131
7.2. Сызықтық және сызықтық емес элементтердің тізбектей қосылуы. Қиылысулар әдісі.	135
7.3. Сызықтық және сызықтық емес элементтердің параллель қосылуы.....	141
7.4. Сызықтық және сызықтық емес элементтердің аралас қосылуы.....	143
7.5. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.	145
8-тарау. МАГНИТТІК ТІЗБЕКТЕР.....	149
8.1. Берілген магнит ағынында тармақталмаған біртекті емес магниттік тізбек.....	149
8.2. Берілген магниттеуші күште тармақталмаған біртекті емес магниттік тізбек.....	153
8.3. Симметриялы емес тармақталған магниттік тізбек.....	155
8.4. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.	158
9-тарау. АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ТАРМАҚТАЛМАҒАН ТІЗБЕКТЕРІ	163
9.1. Синусоидалды өлшемдердің кескіні. Толқындық және векторлық диаграммалар.	163

9.2. Белсенді кедергісі мен индуктивтігі бар тізбек.....	170
9.3. Тармақталмаған RLC-тізбектің жалпы жағдайы.	174
9.4. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.	178
10-тарау. АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ТАРМАҚТАЛҒАН ТІЗБЕКТЕРІ	185
10.1. Тармақталған RLC-тізбектің жалпы жағдайы.....	185
10.2. Қуат коэффициентінің жақсаруы.	190
10.3. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.....	194
11-тарау. СИНУСОИДАЛЫ ТОК ТІЗБЕКТЕРІН ЕСЕПТЕУДІҢ КЕШЕНДІ ӘДІСІ	197
11.1. Синусоидалы токтың тармақталмаған тізбегі.	197
11.2. Бір энергия көзі бар синусоидалы токтың тармақталған тізбегі.	202
11.3. Әр түрлі тармақтарға қосылған бірнеше көздері бар синусоидалы токтың тармақталған тізбегі.	208
11.4. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.....	211
12-тарау. СИНУСОИДАЛЫ ЕМЕС ПЕРИОДТЫ КЕРНЕУЛЕР МЕН ТОКТАРЫ БАР ЭЛЕКТРЛІК ТІЗБЕКТЕР	219
12.1. Периодты қисықтардың гармоникалық құрамдас бөліктері	219
12.2. Кіру бөлігінде синусоидалы емес периодты кернеуі бар электр тізбегі.	228
12.3. Резонанстық контурлы бар электр тізбегі. Гармоникалардың фильтрациясы.	233
12.4. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.....	239
13-тарау. ҮШФАЗАЛЫ ТІЗБЕКТЕР	243
13.1. Симметриялы үшфазалы тізбек.	243
13.2. Симметриялы емес үшфазалы тізбек.	250
13.3. Өздігінен шешуге арналған тапсырмалар.....	255
14-тарау. СЫЗЫҚТЫҚ ЭЛЕКТРЛІК ТІЗБЕКТЕРДЕГІ ӨТПЕЛІ ПРОЦЕСТЕР	259
14.1. Тізбектің коммутациясынан кейін кернеулер мен токтарды анықтау.	259
14.2. Тізбектегі өтпелі процестердің графиктерін құру және теңдеулерін құрастыру.	265
Қосымшалар.....	274
Әдебиеттер тізімі.....	280

Оқу басылымы

Фуфаева Лидия Ивановна

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКАДАН
ТӘЖІРИБЕЛІК ЕСЕПТЕР ЖИНАҒЫ**

Оқу құралы

5-басылым, стереотипті

Редакторы В. Н. Махова

техникалық редакторы Е. Ф. Коржуева

Компьютерлік беттеуі: Г. Ю. Никитина

Түзетушілер А.П. Сизова, Г. А. Форысенкова

Баспа № 105113501. Баспаға қол қойылған күні 29.02.2016. Форматы 60 x 90/16.

«Ньютон» гарнитурасы. Офсеттік қағаз № 1. Офсеттік баспа. Шартты баспа беттері 18,0.

Тиражы 500 дана. Тапсырыс №

«Академия» баспа орталығы» ЖШС. www.academia-moscow.ru 129085,

Мәскеу, Бейбітшілік даңғылы, 101В, б. 1.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлық-эпидемиологиялық қорытындысы № РОСС RU. АЕ51. Н 16679
25.05.2015.

«Бірінші үлгілік баспахана» ААҚ баспа үйімен ұсынылған электронды баспадан басылған.