Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі

«Торайғыров университет» коммерциялық емес акционерлік қоғам

А. К. Каирбаева, Г. О. Мусекенова, Р. М. Мустафина,
О. М. Талипов, А. Д. Тастенов

СЫЗЫҚТЫ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІНІҢ ТЕОРИЯСЫ БОЙЫНША ЕСЕПТЕР ЖИНАҒЫ

PROBLEM BOOK OF THE THEORY OF LINEAR ELECTRICAL CIRCUITS

Оқу құралы
Study Guide

Павлодар
Toraiyghyrov University
2026

Кіріспе / Introduction

Оқу бағдарламасымен (Syllabus) анықталған пәннің міндеті – студентті әртүрлі электр тізбектері мен электр құрылғыларында болатын процестердің сапалық және сандық жақтарын білу негізінде арнайы пәндерді қоятын мәселелерді сәтті және сауатты шешуге дайындау.

Ол үшін студент оқу процесінде келесі құзыреттерді қалыптастыруы керек:

- есептеу мақсатында тізбектердің электрлік күйін анықтайтын математикалық модельдерді (теңдеулерді) құрастыра білу;
- әр түрлі қуат көздерінде электр тізбектерінің әртүрлі режимдерін есептеу әдістерін қолдана білу;
- инженерлік және ғылыми тәжірибеде желілік электр тізбектерінде қалыптасқан режимдерді (процестерді) талдау және есептеу әдістерін қолдана білу.

Жоғарыда аталған құзыреттерді қалыптастыру сызықтық электр тізбектеріндегі мәселелерді шешудің практикалық дағдыларын игерусіз мүмкін емес. Оқу құралында типтік міндеттерді шешу түсіндірмелерімен, сондай-ақ болашақ маманның өзін-өзі тәрбиелеу дағдыларын қалыптастыруға ықпал ететін жауаптары бар студенттердің өзіндік жұмысына арналған тапсырмалар берілген.

The task of the discipline, defined by the curriculum (Syllabus), is to prepare the student for the successful and competent solution of problems posed by special disciplines, based on knowledge of the qualitative and quantitative aspects of the processes occurring in various electrical circuits and electrical devices.

The following competences should be developed in the study process:

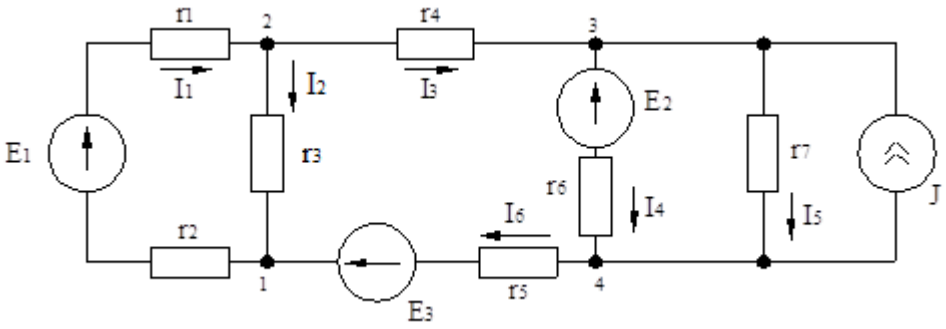
- be able to compose mathematical models (equations) that determine the electrical state of circuits in order to calculate them;
- be able to apply calculation methods for various modes of electrical circuits with different power sources;
- be able to apply in engineering and scientific practice the methods of analysis and calculation of steady-state modes (processes) in linear electrical circuits.

The formation of the competencies listed above is impossible without the acquisition of practical skills for solving problems in linear electrical circuits. The manual provides explanations for solving standard problems, as well as tasks for students to work independently with answers, which contribute to the formation of self-education skills in the future specialist.

1 Сызықты тұрақты токтың электр тізбектері
Linear Direct Current circuits

1.1 Ом және Кирхгоф заңдары
Ohm's and Kirchhoff's Laws

Есеп / Task 1.1.1



1.1-сурет / Figure 1.1

1.1-сурет схемасында токтарды есептеу үшін Кирхгоф заңдарына сәйкес теңдеулер құрыңыз.

Шешімі

1.1-сурет схемасында түйіндердің саны 4, тармақтардың саны 7, яғни Кирхгофтың бірінші заңы бойынша 3 теңдеу, екінші заңы бойынша 3 теңдеу J тармағы барды ескере келей құрылады

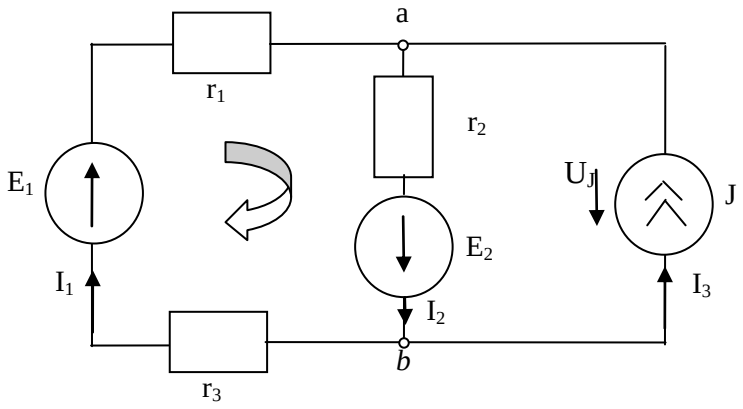
Compose equations according to Kirchhoff's laws for calculating currents in the circuit in Figure 1.1

Solution

In the diagram of Figure 1.1, the number of nodes is 4, the number of branches is 7, that is, according to the first Kirchhoff law, 3 equations are compiled. According to the second law, there are also 3 equations, taking into account the branch with J

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0; \\ J + I_3 - I_4 - I_5 = 0; \\ I_4 + I_5 - J - I_6 = 0; \\ (r_1 + r_2)I_1 + r_3 I_2 = E; \\ r_4 I_3 + r_6 I_4 + r_5 I_6 - r_3 I_2 = E_3 - E_2; \\ r_7 I_5 - r_6 I_4 = E_2. \end{cases}$$

Есеп / Task 1.1.2



1.2-сурет / Figure 1.2

Берілген: ЭҚҚ көздері | Given: EMF sources

$E_1 = 25$ В / V, $E_2 = 50$ В / V,

ток көзі | current source

$J = 2$ А

резисторлардың кедергісі | resistors resistance

$r_1 = 5$ Ом / Ohm, $r_2 = 20$ Ом / Ohm, $r_3 = 10$ Ом / Ohm

Кирхгоф заңдарын қолдана отырып, I_1, I_2 тармақтарындағы токтарды анықтаңыз. U_{ab} кернеуін Ом заңы бойынша анықтаңыз. Телледжен теоремасы бойынша қуат балансын құрыңыз.

Find branch currents I_1, I_2 using Kirchhoff's laws. Find the voltage U_{ab} using Ohm's law. Draw up a power balance using the Tellegen theorem.

Шешімі

Схемада 2 түйін (a және b), тармақтар – 3, ток көзі бар тармақтар – 1. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша бір теңдеу құрылады; Кирхгофтың екінші заңы бойынша – 1 теңдеу

Solution

In the circuit, there are 2 nodes (a and b), branches – 3, branches with a current source – 1. According to I ZK, one equation is compiled; according to II ZK – 1 equation

$$m = b - n - b_i = 3 - 1 - 1 = 1.$$

Тармақ токтарының бағыттары мен контурдың айналу бағыты ерікті түрде таңдалады, ал Кирхгофтың екінші заңы бойынша теңдеу құру үшін контур J ток көзі бар тармақ контурға енбейтін болып таңдалады (идеалды ток көзінің ішкі кедергісі шексіздікке тең).

The directions of the currents of the branches and bypass the circuit are chosen arbitrarily, while for compiling equations according to II ZK, the circuit is selected in such a way that the branch with the current source J does not enter the circuit (the internal resistance of an ideal current source is infinity).

«а» түйініне қатысты I_1 және I_3 токтарының түйінге бағытталғанын, I_2 тогы «а» түйінінен бағытталғанын ескере отырып, Кирхгофтың I заңының негізіде теңдеу құрамыз. Кирхгоф II заңы бойынша құрылған екінші теңдеуінде қосындылар оң, өйткені I_1 және I_2 тармақтарының токтарының бағыттары және E_1 және E_2 ЭҚК контурдың айналу бағытына сәйкес келеді (контурдың айналу бағыты сағат тілімен).

We compose the equation for I ZK for node «a», taking into account the fact that currents I_1 and I_3 are directed to the node, current I_2 is directed from node «a». The terms in the second equation for II ZK are positive, since the directions of the currents of the branches I_1 and I_2 and the EMF E_1 and E_2 coincide with the direction of the loop bypass (the loop is bypassed clockwise).

Кирхгоф заңдары бойынша теңдеулер жүйесі

System of equations according to Kirchhoff's laws

$$\begin{cases} I_1 - I_2 + I_3 = 0; \\ (r_1 + r_3)I_1 + r_2 I_2 = E_1 + E_2. \end{cases}$$

Деректерді ауыстырғаннан кейін аламыз, тек I_3=J ескере кете

After substituting the data, taking into account that I_3=J, we obtain

$$\begin{cases} I_1 - I_2 = -2; \\ 15I_1 + 20\ I_2 = 75. \end{cases}$$

жүйесінен аламыз

From the system we get

$$I_1 = 1 \text{ A}; I_2 = 3 \text{ A}.$$

ЭҚҚ бар тізбек бөлігі үшін Ом заңы бойынша «а» және «b»

Let's determine the voltage between the nodes "a" and "b"

түйіндері арасындағы кернеуді анықтаймыз:

- бірінші тармақ бойынша $U_{ab} = U_J$, кернеу («a» түйінінен «b» түйініне бағытталған), яғни I_1 тогы U_{ab} кернеуіне қарама-қарсы бағытталған, бірақ ЭҚК E_1 бағытына сәйкес келеді, сондықтан U_{ab} кернеуі формула бойынша есептеледі

according to Ohm's law for the section of the circuit with EMF:

- along the first branch $U_{ab} = U_J$, while the voltage is directed from the node «a» to the node «b», that is, the current I_1 is opposite to the voltage U_{ab}, but coincides in direction with the EMF E_1, so the voltage U_{ab} is calculated by the formula

$$U_{ab} = E_1 – (r_1 + r_3)\, I_1 = 25 – 15 = 10 \text{ В / V};$$

- екінші тармақта I_2 тогы ЭҚК E_2 және U_{ab} кернеуімен сәйкес келеді, жалпыланған Ом заңы келесідей түрде келтіріледі

- in the second branch, the current I_2 coincides in direction with the EMF E_2 and voltage U_{ab}, the generalized Ohm's law has the form

$$I_2 = \frac{E_2 + U_{ab}}{r_2},$$

шеше отырып, аламыз

solving which we get that

$$U_{ab} = - E_2 + r_2 I_2 = - 50 + 20 \cdot 3 = 10 \text{ В / V}.$$

Қуаттар балансы – бұл $P_{қор}$ қорек көздері мен $P_{қаб}$ қабылдағыштар қуатының теңдігі.

Қорек көздерінің қуаты

The power balance is the equality of the powers of the sources R_{ist} and receivers $R_{pr.}$

Power of sources

$$P_{қор} = E_1 I_1 + E_2 I_2 + U_J J = 25 \cdot 1 + 50 \cdot 3 + 10 \cdot 2 = 195 \text{ Вт}, \quad (1)$$

$$P_{ist} = E_1 I_1 + E_2 I_2 + U_J J = 25 \cdot 1 + 50 \cdot 3 + 10 \cdot 2 = 195 \text{ Вт / Vt}, \quad (1)$$

мұндағы ток көзіндегі U_J кернеуі J тогына қарсы бағытталған.

where U_J is the voltage at the current source directed against the current J.

(1) теңдеуде барлық қосындылар $(E_1 I_1)$; $(E_2 I_2)$ оң, сондықтан ЭҚК бағыттары мен тиісті тармақтардың токтары сәйкес келеді

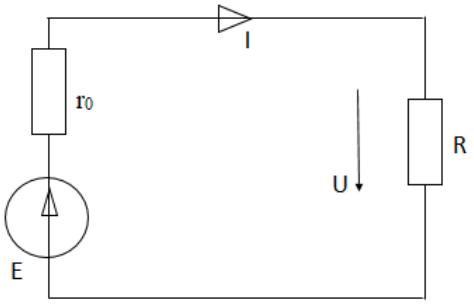
In equation (1), all terms $(E_1 I_1)$; $(E_2 I_2)$ are positive, so the directions of the EMF and currents of the corresponding branches coincide.

Қабылдағыштардың қуаты (резисторлардағы жылу шығыны) Джоуль-Ленц заңы бойынша анықталады

The power of receivers (heat losses in resistors) is determined by the Joule-Lenz law

$$P_{pr} = (r_1 + r_3) I_1^2 + r_2 I_2^2 = 15 \cdot 1 + 20 \cdot 3^2 = 15 + 180 = 195 \text{ Вт / Vt.}$$

Есеп / Task 1.1.3



1.3-сурет / Figure 1.3

R резистордағы кернеуді табыңыз, егер ЭҚҚ

Find the voltage across the resistor R if the source EMF is

$$E = 50 \text{ В / V.}$$

резисторлар

resistors

$$r_0 = 5 \text{ Ом / Ohm; } R = 45 \text{ Ом / Ohm.}$$

Шешімі

Тізбек бірізді, сондықтан тізбек тогы Ом заңына сәйкес есептеледі

Solution

The circuit is serial, so the circuit current is calculated according to Ohm's law

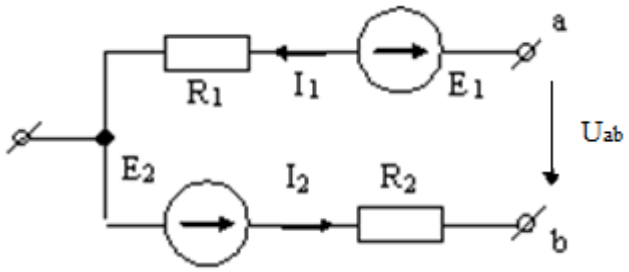
$$I = \frac{E}{r_0 + R} = \frac{50}{5 + 45} = 1\ A.$$

R резисторындағы кернеу

Voltage across resistor R

$$U = R \cdot I = 45 \cdot 1 = 45 \text{ В / V.}$$

Есеп / Task 1.1.4



1.4-сурет / Figure 1.4

Берілгені:	Given:

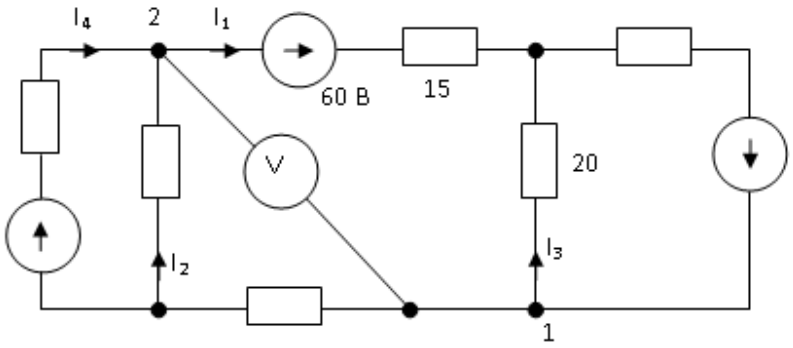
$E_1 = 20$ В / V; $E_2 = 50$ В / V; $r_1 = r_2 = 10$ Ом / Ohm; $I_1 = 2$ А; $I_2 = 3$ А.

ab нүктелері арасындағы U_{ab} кернеуін табыңыз.	Find Uab - voltage between points *ab*.
Шешімі	**Solution**
Біз U_{ab} кернеуінің бағытына сәйкес келетін тізбектің айналуын таңдаймыз және КІІЗ негізінде теңдеуді жасаймыз (Кирхгофтың екінші заңы)	We choose the bypass of the circuit, coinciding with the direction of the voltage U_{ab}, and draw up an equation according to IIZK (Kirchhoff's second law)

$$U_{ab} – r_1I_1 - r_2I_2 = E_1 - E_2;$$

$$U_{ab}= -E_2 + E_1 + r_2I_2 + r_1I_1 = 20 \text{ В /V}.$$

Есеп / Task 1.1.5



1.5-сурет / Figure 1.5

Кедергілер Оммен, ЭҚК көздері Вольтте келтірілген. Вольтметрдің көрсеткішін анықтаңыз.

Resistances are given in Ohms, EMF of sources in Volts. Find the voltmeter reading if

$I_1 = 2$ A; $I_3 = 3$ A.

Шешімі

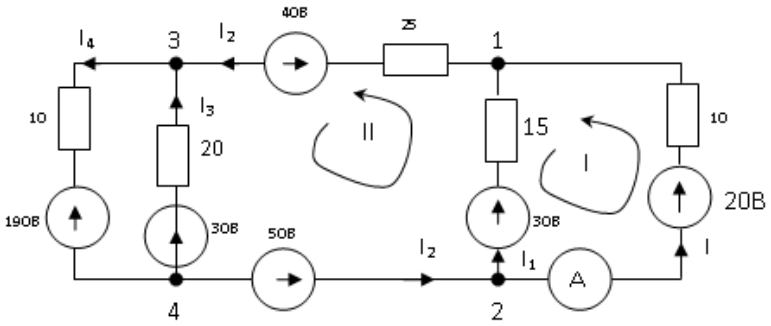
Вольтметр 1 және 2 нүктелер арасындағы кернеуді өлшейді

Solution

Voltmeter measures voltage between points 1 and 2

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = U_{12} = 60 - 15\, I_1 + 20\, I_3 = 90 \text{ В / V}.$$

Есеп / Task 1.1.6



1.6-сурет / Figure 1.6

Егер амперметрдің көрсеткіші 2А болса, Кирхгоф заңдарын қолдана отырып, барлық токтарды табыңыз. Кедергілер Оммен, ЭҚҚ Вольтпен берілген.

Find all currents if the ammeter reading is 2A using Kirchhoff's laws. Resistances are given in Ohms, EMF in Volts.

Шешімі

I контур үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша теңдеу

Solution

Equation according to the second Kirchhoff law for contour I

$$10\, I - 15\, I_1 = 20 - 30,$$

ток $I_1 = 2$ A the current.

1 түйін үшін Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеу:

Equation according to the first Kirchhoff law for node 1:

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

ток $I_2 = I_1 + I = 4$ А.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша II контур үшін теңдеу:

According to the second Kirchhoff law, the equation for circuit II:

$$15\ I_1 + 25\ I_2 - 20 I_3 = 50 + 30 - 40 - 30,$$

ток $I_3 = 6$ А the current.

3-түйін үшін Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеу:

The equation according to the first Kirchhoff law for node 3:

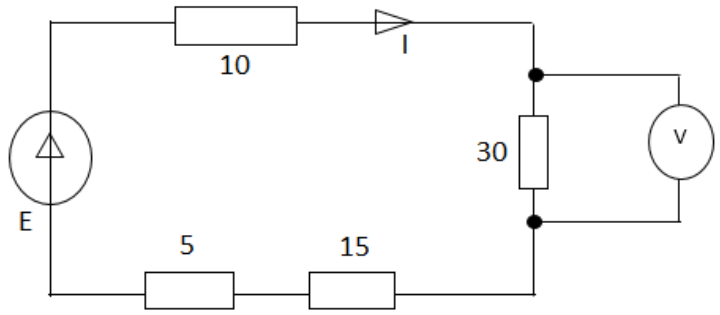
$$I_2 + I_3 - I_4 = 0,$$

ток $I_4 = I_2 + I_3 = 10$ А.

1.2 Элементтердің тізбектеліп, параллель және аралас қосылуы

Serial, parallel and mixed connection of elements

Есеп / Task 1.2.1



1.7-сурет / Figure 1.7

Егер вольтметрдің көрсеткіші 60 В болса, көздің ЭҚК-ін табыңыз. Резисторлардың кедергісі Ом-мен берілген.

Find the EMF E of the source if the voltmeter reading is 60 V. The resistances of the resistors are given in Ohms.

Шешімі

Тізбектей жалғанған тізбектің тогы Ом заңымен анықталады (вольтметр 30 Ом кедергісінде кернеуді өлшейді)

Solution

The current of the serial circuit is determined by the Ohm's law (the voltmeter measures the voltage at a resistance of 30 Ohms)

$$I = \frac{U_V}{30} = \frac{60}{30} = 2A.$$

Тізбектің тізбектей жалғанған кедергілері, барлық кедергілердің қосындысы ретінде алынады

The resistance of a serial circuit as the sum of the resistances of all resistors

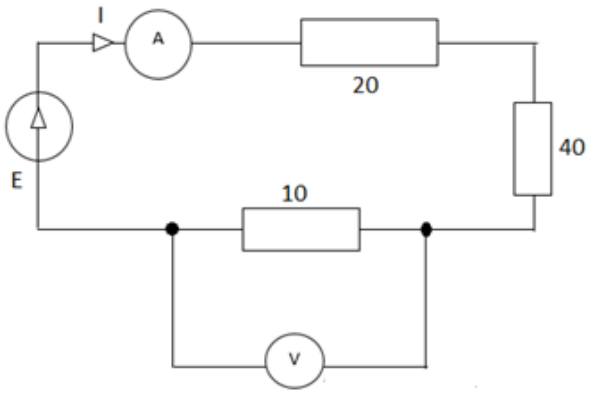
$$R = 10 + 30 + 15 + 5 = 60 \text{ Ом / Ohm.}$$

Ом заңы бойынша қорек көзінің ЭҚК-ін Е анықтаймыз

We determine the EMF of the source according to Ohm's law

$$E = R \cdot I = 60 \cdot 2 = 120 \text{ В / V.}$$

Есеп / Task 1.2.2



1.8-сурет / Figure 1.8

Тізбектің кедергісін, амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін табыңыз. Көздің ЭҚК E = 100 В. резисторлардың кедергісі Ом-мен берілген.

Find the resistance of the circuit, the readings of the ammeter and voltmeter. The source has an EMF E = 100 V. The resistors' resistances are set in ohms.

Шешімі	**Solution**
Кедергілердің тізбектей жалғануы	Resistance of the serial circuit

$$R = R_Ц = 20 + 40 + 10 = 70 \text{ Ом / Ohm.}$$

Тізбектің тогын Ом заңы бойынша анықтаймыз	The current of the serial circuit is found by Ohm's law

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100}{70} = 1{,}43\ A.$$

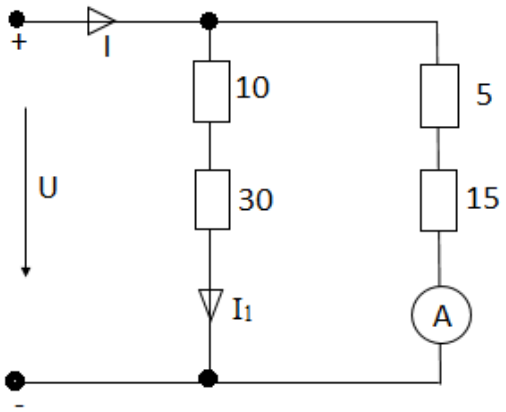
амперметрдің көрсеткіші.	ammeter reading.

$$I = I_A = 1{,}43 \text{ A}$$

10 Ом резистордағы кернеуді өлшейтін вольтметрдің көрсеткіші	The reading of a voltmeter measuring the voltage on a 10 ohm resistor

$$U_V = 10 \cdot I = 10 \cdot 1{,}43 = 14{,}3 \text{ В / V}$$

Есеп / Task 1.2.3



1.9-сурет / Figure 1.9

Егер амперметрдің көрсеткіші 3 А болса, қорек көздің кернеуін, тізбектің жалпы тогын табыңыз (резисторлардың кедергісі Ом-да берілген).	Find the voltage of the source, the total current of the circuit I, if the ammeter reading is 3 A, (the resistance of the resistors are given in Ohms).

Шешімі

Элементтер параллель қосылған кезде параллель тармақтардағы кернеу бірдей және қорек көздің U кернеуіне тең болады.

Қорек көзінің кернеуін екінші тармақтың параметрлері арқылы Ом заңы бойынша табамыз (бұл тармақта ток 3 А келтірілген және 5 Ом және 15 Ом тізбектей жалғанған резисторлардың кедергілері берілген)

Solution

When the elements are connected in parallel, the voltage on the parallel branches is the same and equal to the voltage U of the source.

The voltage of the source is found through the parameters of the second branch according to Ohm's law (in this branch the current of 3 A and the resistance of series-connected resistors in 5 Ohms and 15 Ohms are set)

$$U = (5 + 15)\, I_A = 20 \cdot 3 = 60 \text{ В}.$$

Бірінші тармақтың тогын есептейміз

We calculate the current of the first branch

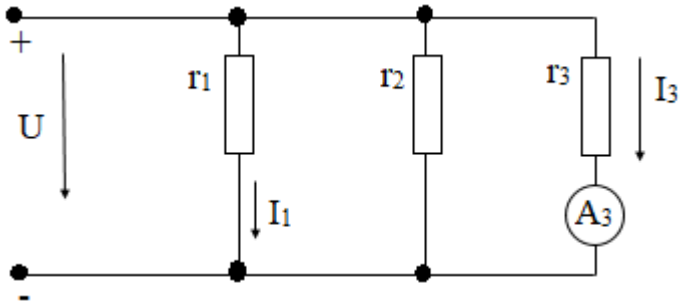
$$I_1 = \frac{U}{10 + 30} = \frac{60}{40} = 1{,}5\ A.$$

Параллель тармақтардың токтарының қосындысы ретінде жалпы тармақтың тогы

The current of the common branch as the sum of the currents of parallel branches

$$I = I_1 + I_A = 3 + 1{,}5 = 4{,}5 \text{ А}.$$

Есеп / Task 1.2.4



1.10-сурет / Figure 1.10

Ұсынылған схемада үшінші амперметрдің көрсеткішін анықтаңыз, егер бірінші тармақтың тогы

In the presented diagram, determine the reading of the third ammeter if the current of the first branch is equal to

$$I_1=0{,}4\ A$$

болса, резисторлардың кедергісі

Resistors resistance

$$r_1 = 100\ Ом\ /\ /\ Ohm;\ r_2 = 200\ Ом\ /\ /\ Ohm;\ r_3 = 400\ Ом\ /\ Ohm.$$

Шешімі

Қорек көзінің кернеуі бірінші тармақтың параметрлері бойынша есептеледі

Solution

The source voltage is calculated according to the parameters of the first branch

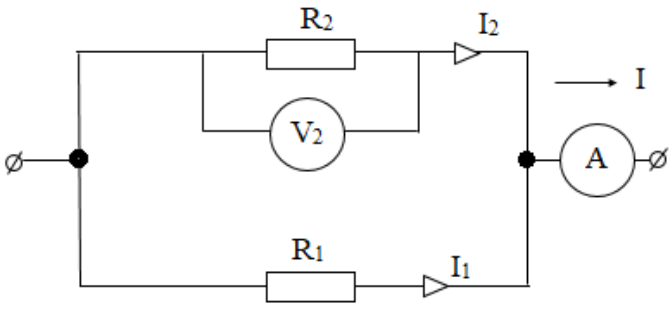
$$U = r_1 I_1 = 100 \cdot 0{,}4 = 40\ В\ /\ V.$$

Үшінші тармақтың тогы (үшінші амперметрдің көрсеткіші) параллель қосылған кезде барлық параллель тармақтардағы кернеулер U бірдей және қуат көзінің кернеуіне тең болатындығын ескере отырып есептеледі

The current of the third branch (the reading of the third ammeter) is calculated taking into account that when connected in parallel, the voltages on all parallel branches are the same and equal to the voltage of the power supply U

$$I_3 = \frac{U}{r_3} = \frac{40}{400} = 0{,}1\ A.$$

Есеп / Task 1.2.5



1.12-сурет / Figure 1.12

Амперметрдің оқылуын анықтаңыз, егер:

Determine the ammeter reading if:

U_2=100 В / V, R_1=10 Ом / Ohm; R_2=5 Ом / Ohm.

Шешімі

R_1 және R_2 кедергілері параллель қосылған, сондықтан олардағы кернеу бірдей және тең;

Solution

The resistances R_1 and R_2 are connected in parallel, so the voltage is the same on them and is equal to

U_2=100 В / V

Бірінші және екінші тармақтардың токтары

Currents of the first and second branches

$$I_1 = \frac{U_2}{R_1} = \frac{100}{10} = 10\ A,$$

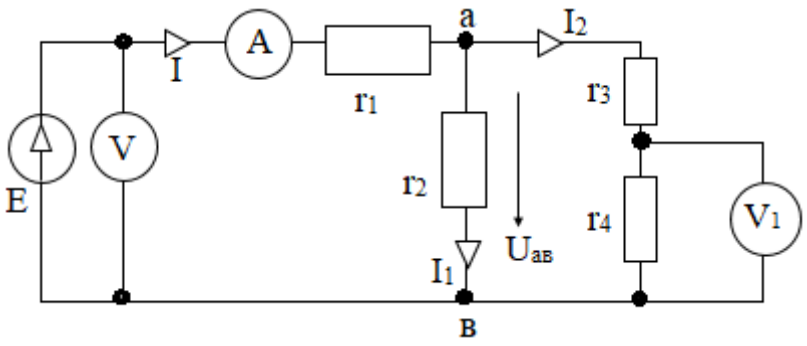
$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{100}{5} = 20\ A.$$

Параллель тармақтардың токтарының қосындысы ретінде жалпы тармақтағы ток (амперметрдің көрсеткіші)

The current of the common branch as the sum of the currents of parallel branches (ammeter reading)

$I = I_A = I_1 + I_2 = 30$ A.

Есеп / Task 1.2.6



1.13-сурет / Figure 1.13

Резисторлардың кедергісі	The resistors' resistances are set

$r_1 = 16$ Ом / Ohm; $r_2 = 6$ Ом / Ohm; $r_3 = 8$ Ом / Ohm;
$r_4 = 4$ Ом / Ohm; $V_1 = 20$ В / V

Амперметр мен V вольтметрдің ЭҚК көзін өлшейтін көрсеткіштерін табыңыз.	Find the readings of the ammeter and voltmeter V, measuring the EMF of the source.
Шешімі	**Solution**
Екінші тармақтың тогы (V_1 вольтметрі r_4 резисторына параллель қосылады және осы элементтегі кернеуді өлшейді)	The current of the second branch (voltmeter V_1 is connected in parallel to resistor r_4 and measures the voltage on this element)

$$I_2 = \frac{U_{V1}}{r_4} = \frac{20}{4} = 5\ A.$$

Параллель бөлігіндегі $U_{ав}$ кернеуі	Voltage $U_{ав}$ on the parallel section

$U_{ав} = (r_3 + r_4)\ I_2 = 12 \cdot 5 = 60$ В.

Бірінші тармақтағы тоқ	Current of the first branch

$$I_1 = \frac{U_{ав}}{r_2} = \frac{60}{6} = 10\ A.$$

Жалпы тармақ тогы	Current of the common branch

$I = I_1 + I_2 = 5 + 10 = 15$ А.

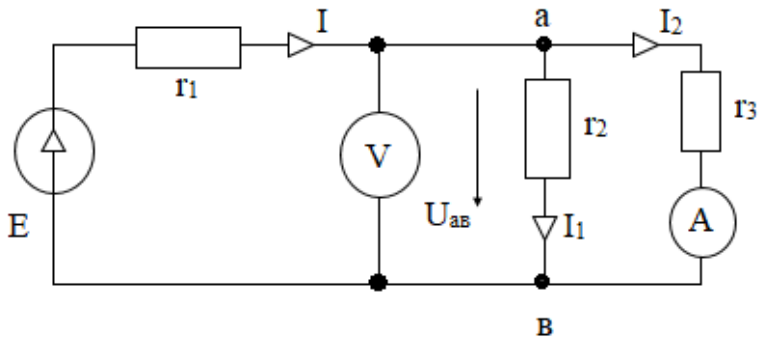
Аралас қосылыстағы тізбектің кедергісі	Circuit resistance at mixed connection

$$R = r_1 + \frac{r_2(r_3 + r_4)}{r_2 + r_3 + r_4} = 16 + \frac{6 \cdot 12}{6 + 12} = 20\ Ом$$

V вольтметрдің (ЭҚК көзінің) көрсеткіші | Voltmeter reading V (EMF E of the source)

$$E = R \cdot I = 20 \cdot 15 = 300\ В\ /\ V.$$

Есеп / Task 1.2.7



1.14-сурет / Figure 1.14

Аспаптардың көрсеткіштерін табыңыз. Егер ЭҚҚ | Find instrument readings if the EMF of the source

$$E=50\ В\ /\ V;\ r_1 = 10\ Ом\ /\ Ohm;\ r_2 = r_3 = 20\ Ом\ /\ Ohm$$

Шешімі | **Solution**

Резисторлардың аралас қосылысы кезіндегі тізбектің кедергісі | Circuit resistance with mixed connection of resistors

$$R = r_1 + \frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3} = 10 + \frac{20}{2} = 20\ Ом.$$

Ом заңы бойынша тізбектің жалпы тогы | The total current of the circuit according to Ohm's law

$$I = \frac{E}{R} = \frac{50}{20} = 2{,}5\ A.$$

Тізбектің параллель бөлігіндегі $U_{ав}$ кернеуі | Voltage $U_{ав}$ on the parallel section

$$U_{ав} = E - r \cdot I = 50 - 10 \cdot 2{,}5 = 25 \text{ В / V.}$$

Вольтметрді көрсетілімі	Voltmeter reading

$$U_v = U_{ав} = 25 \text{ В / V.}$$

Екінші тармақтың амперметр – ток көрсеткіші	The ammeter reading - the current of the second branch

$$I_A = I_2 = \frac{U_{ав}}{r_3} = \frac{25}{20} = 1{,}25\ A,$$

немесе параллель тармақтардың токтары	Or currents of parallel branches

$$I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = \frac{2{,}5}{2} = 1{,}25\ A,$$

параллель тармақтардың кедергілері бір-біріне тең болғандықтан	since the resistances of the parallel branches are equal to each other

$$r_2 = r_3 = 20 \text{ Ом/Ohm.}$$

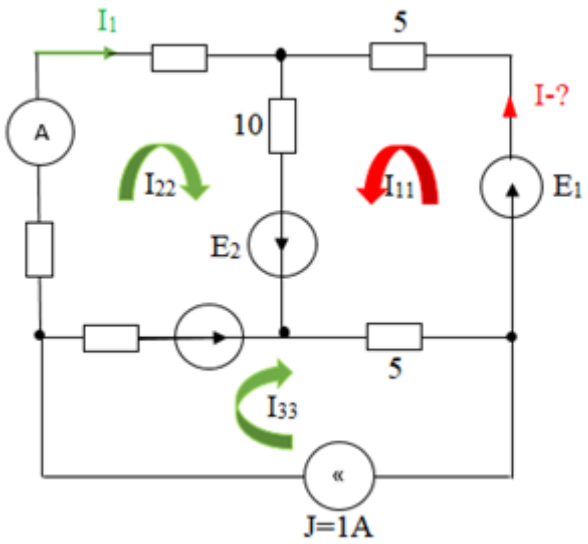
1.3 Контурлық ток әдісі (КТӘ)
The method of contour currents (MCC)

Есеп / Task 1.3.1

Егер амперметрдің көрсеткіші болса, I ток күшін табыңыз	Find the current I if the ammeter reading

$$I_1 = 1\text{A};\ E_1 = 20\text{B};\ E_2 = 30\text{B};\ J = 1\text{A.}$$

Резистордың кедергісі Ом-да көрсетілген.	The resistance of the resistors are indicated in Ohms.



1.15-сурет / Figure 1.15

Шешімі

КТӘ сәйкес бізде I_{11} = I бастапқы тізбектің тогы белгісіз.

I_{22} екінші тізбектің тогы I_1=1A токқа тең қабылданады және онымен бағыт бойынша сәйкес келеді. I_{33}=J - үшінші тізбектің тогы.

Бірінші контурға арналған КТӘ теңдеуі

Solution

According to MCC, the primary circuit current of I_{11}= I is unknown.

We take second circuit current I_{22} equal to the current I_1=1A and coinciding with it in the direction. I_{33} = J – the current of the third circuit.

The MCC equation for the first circuit

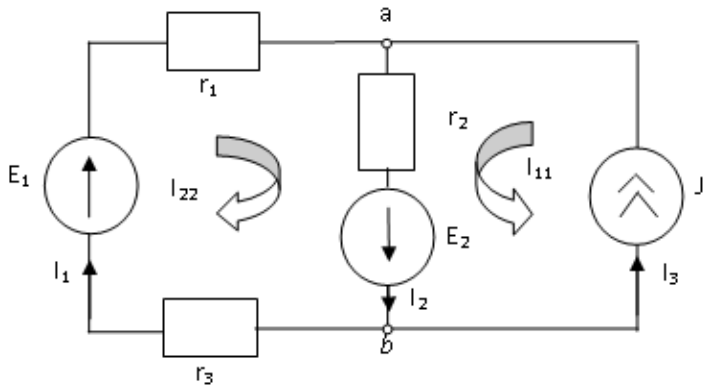
$$(5+10+5)I_{11}+10\cdot I_{22}+5\cdot I_{33}= E_{1+}E_{2.}$$

Қажетті ток

The desired current

$$I = I_{11} = \frac{20+30-10\cdot1-5\cdot1}{20} = \frac{35}{20} = 1{,}75A.$$

Есеп / Task 1.3.2



1.16-сурет / Figure 1.16

ЭҚК көздері	Sources of EMF

$$E_1 = 20 \text{ В / V}, E_2 = 30 \text{ В /V},$$

резисторлардың кедергісі	resistors resistance

$$r_1 = 5 \text{ Ом / Ohm}, r_2 = 10 \text{ Ом / Ohm}, r_3 = 15 \text{ Ом / Ohm},$$

ток көзінің тогы	current source current

$$J = 2 \text{ А}.$$

Контурлы токтар әдісіне сәйкес I_1, I_2 тармақтағы токтарын табыңыз.

Шешімі

Схемада 2 түйін (a және b; y = 2), 3 тармақ бар, олардың бір тармағында J ток көзі бар (b = 3, b_i = 1). Кирхгофтың бірінші заңы бойынша – бір теңдеу (n = y -1);

Кирхгофтың екінші заңы бойынша – бір теңдеу (m = b - n-bi = 1).

Using the method of contour currents to find the currents of branches I_1, I_2.

Solution

There are 2 nodes in the scheme (a and b; y = 2), 3 branches, of which one branch contains a current source J (b = 3, b_i = 1).

According to Kirchhoff 's first law , there is one equation (n = y - 1); according to Kirchhoff 's second law , there is one equation (m = b – n - b_i = 1).

Сондықтан, контурлық токтар әдісіне сәйкес бір теңдеу жасалады, өйткені $I_{11} = J = 2$ А (бірінші тізбектің тогы J ток көзінің тогына тең және оған сәйкес келетін бағытта алынады):

Therefore , according to the method of contour currents , one equation is compiled, as $I_{11} = J = 2$ A (the current of the primary circuit is taken equal to the current of the current source J and coinciding with it in the direction):

$$(r_1 + r_2 + r_3)I_{22} + r_2 I_{11} = E_1 + E_2;$$

$$I_{22} = \frac{E_1 + E_2 - r_2 I_{11}}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{20 + 30 - 10 \cdot 2}{5 + 10 + 15} = 1 \text{ A}.$$

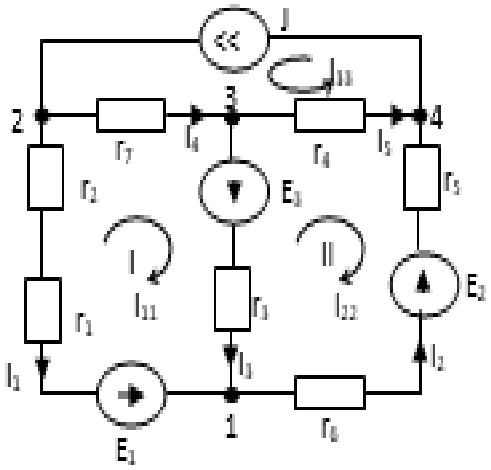
Тармақтағы токтар

Branch currents

$$I_1 = I_{22} = 1 \text{ A};$$

$$I_2 = I_{11} + I_{22} = 2 + 1 = 3 \text{ A}.$$

Есеп / Task 1.3.3



1.17-сурет / Figure 1.17

Берілген: ЭҚК көздері $E_1 = 100$ В / V; $E_2 = 60$ В / V; $E_3 = 30$ В / V; $r_1 = r_3 = r_5 = 10$ Ом; $r_2 = r_4 = 15$ Ом; $r_6 = r_7 = 25$ Ом; ток көзі $J = 2$ А.

Given: EMF sources $E_1 = 100$ В; $E_2 = 60$ В; $E_3 = 30$ В; $r_1 = r_3 = r_5 = 10$ Ohm; $r_2 = r_4 = 15$ Ohm; $r_6 = r_7 = 25$ Ohm; источник тока $J = 2$ А.

Контурлық токтар әдісін

Find the branch currents using

қолдана отырып, тармақтық токтарды табыңыз.

the contour currents method.

Шешімі

Тізбекте 4 түйін (у = 4), тармақтар - 6, оның ішінде ток көзі J (b = 6, b_i = 1) бар бір тармақ бар. Бірінші Кирхгоф заңы бойынша 3 теңдеу, екінші Кирхгоф заңы бойынша 2 теңдеу құрылады

Сондықтан контурлық токтар әдісі бойынша 2 теңдеу құру керек, ал белгісіз контурлық токтарға арналған ілмектер I_{11}; I_{22}-ді J ток көзі бар тармақ бұл тізбектерге енбейтін етіп таңдаймыз (идеал ток көзінің ішкі кедергісі шексіздікке тең).

Контурлық токтар әдісі бойынша теңдеу

Solution

There are 4 nodes in the circuit (y = 4), 6 branches, including one branch with a current source J (b = 6, bi = 1). According to the first Kirchhoff law, 3 equations are drawn up, according to the second Kirchhoff law – 2 equations.

Therefore, according to the method of contour currents, it is necessary to make 2 equations, while the contours for unknown contour currents I_{11}; I_{22} are chosen in such a way that the branch with the current source J does not enter these contours (the internal resistance of an ideal current source is infinity).

Equations by the method of contour currents

$$\begin{cases} (r_1+r_2+r_3+r_7)I_{11}-r_3I_{22}+r_7I_{33}=E_3-E_1; \\ -r_3I_{11}+(r_3+r_4+r_5+r_6)I_{22}+r_4I_{33}=-E_2-E_3; \end{cases}$$

мұнда I_{11}; I_{22} - белгісіз цикл токтары;

where I_{11}; I_{22} – unknown contour currents;

$$I_{33} = J = 2 \text{ A}$$

- үшінші тізбектің тогы ток көзіне тең таңдалады және онымен бағыт бойынша сәйкес келеді.

- we choose the current of the third circuit equal to the current of the current source and coinciding with it in the direction.

1.4 Түйіндік потенциалдар әдісі (ТПӘ)
Nodal Potential Method (NPM)

Қажетті контурлық токтар | The required cotour currents

$$I_{11} = -2{,}4 \text{ A}; \; I_{22} = -2{,}4 \text{ A}.$$

Тармақ тоғы | Branch currents

$$I_1 = -I_{11} = -2{,}4 \text{ A}^*;$$

$$I_2 = -I_{22} = 2{,}4 \text{ A};$$

$$I_3 = I_{11} - I_{22} = -2{,}4 - (-2{,}4) = 0^{**};$$

$$I_4 = I_{11} + I_{33} = -2{,}4 + 2 = -0{,}4 \text{ A};$$

$$I_5 = I_{22} + I_{33} = -0{,}4 \text{ A}.$$

Ескертулер:

* - I_1 тогы бар №1 тармақ тек бірінші контурға кіреді, ал оның бағыты I_{11} контур тогына қарама-қарсы;

** - №3 тармақ №1 және №2 тізбектер арасында іргелес, бұл кезде I_3 ток бағыты I_{11} цикл тогының бағытымен сәйкес келеді, бірақ I_{22} циклінің бағытына қарама-қарсы.

Notes:

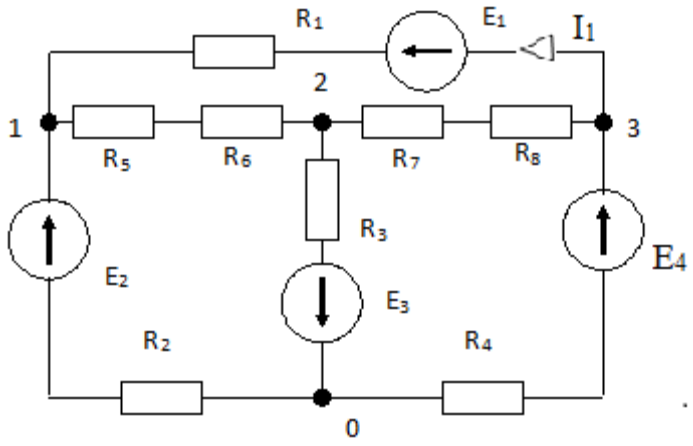
* – branch No. 1 with current I_1 enters only the first circuit, its direction is opposite to the contour current $I_{11;}$

** – branch No. 3 is adjacent between circuits No. 1 and No. 2, while the direction of thee current I_3 coincides with the direction of the contour current I_{11}, but opposite to the direction of the contour current I_{22}.

Есеп / Task 1.4.1

0-ді базистік түйін ретінде қабылдай отырып, 2 түйіннің потенциалын анықтаңыз. I_1 токты табыңыз. Егер түйіндердің ЭҚК-і

Determine the potential of node 2, taking as the base node 0, if the EMF of the sources



1.18-сурет / Figure 1.18

E_1= 30 В / V, E_2= 10 В / V, E_3 = 20 В /V, φ_1 = 20 В / V, φ_3= 5 В / V

болса, барлық резисторлардың кедергісі	resistances of all resistors

$R_1 ... R_8$= 1 Ом / Ohm

I_1 тогын анықтау. **Шешімі**	Find the current I_1. **Solution**

φ_0 = 0

базалық түйінінің потенциалы 0-ге тең. Түйін потенциалдары әдісін қолдана отырып, 2 түйіннің белгісіз потенциалы үшін теңдеу құрылады.	the potential of the base node is 0. According to the method of nodal potentials, one equation is compiled for the unknown potential of node 2.

$$\varphi_2\left(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_5+R_6}+\frac{1}{R_7+R_8}\right)-\varphi_1\frac{1}{R_5+R_8}-\varphi_3\frac{1}{R_7+R_8}=-E_3\frac{1}{R_3}$$

Деректерді енгізгеннен кейін	After substituting the data, we have

$$\varphi_2 (1+0{,}5+0{,}5) - 20\cdot 0{,}5 - 5\cdot 0{,}5 = -20\cdot 1;$$

- 2 түйіннің потенциалы. | - potential of node 2

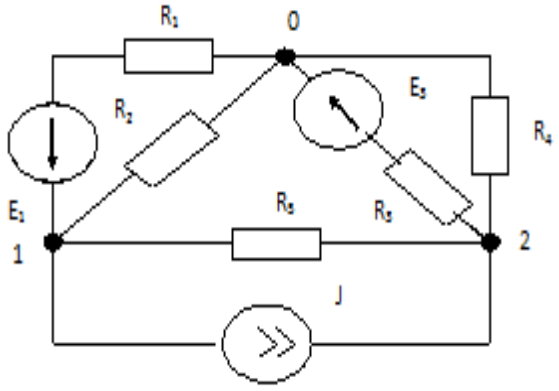
$$\varphi_2 = \frac{-20+10+2,5}{2} = \frac{-7,5}{2} = -3,75\ \text{В/ V}$$

Ом заңы бойынша | According to Ohm's law

$$I_1 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1 + E_1}{R_1} = \frac{5-20+30}{1} = \frac{15}{1} = 15\ A.$$

I_1 ток 3 түйіннен 1 түйінге бағытталады және E_1 ЭҚК-мен сәйкес келеді. | Current I_1 it is directed from node 3 to node 1 and in the direction coincides with the EMF E_1.

Есеп / Task 1.4.2



1.19-сурет / Figure 1.19

Түйіннің потенциалы $2\varphi_2$ =30 В болса, ток көзі J = 2 А, ЭҚК көзі E_1 = 50 В, барлық резисторлардың кедергісі R_1...R_5= 2 Ом болса, 0-ді негізгі түйін ретінде қабылдай отырып, 1 түйіннің потенциалын анықтаңыз. | Determine the potential of node 1 by taking 0 as the base node if the potential of node $2\varphi_2$ =30 B, current source J = 2 A, EMF source E1 = 50 B, resistances of all resistors R1 ...R5 = 2 Ohms.

Шешімі	Solution

$$\varphi_0=0$$

– базалық түйінінің потенциалы 1 түйіннің белгісіз потенциалын анықтау үшін бір теңдеу құрылады, өйткені 0 және 2 түйіндерінің потенциалы белгілі	– the potential of the base node. To determine the unknown potential of node 1, one equation is compiled, because the potential of nodes 0 and 2 are known

$$\varphi_1\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_5}\right)-\varphi_2\cdot\frac{1}{R_5}=E_1\frac{1}{R_1}-J.$$

Деректерді ауыстырғаннан кейін аламыз	After substituting the data , we get

$$\varphi_1\cdot 1.5-30\frac{1}{2}=50\cdot\frac{1}{2}-2,$$

$$\varphi_1=\frac{23+15}{1,5}=\frac{38}{1,5}=25{,}33\ \text{В / V}$$

Тармақтың ток көзімен өткізгіштігі	Branch conductivity with current source

$$g_J=0$$

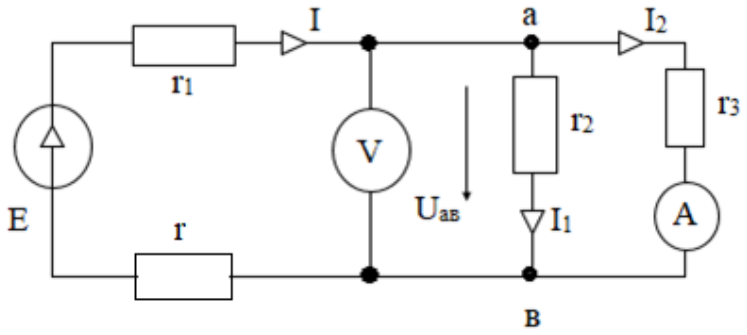
(J идеал ток көзінің ішкі кедергісі ∞).	(Internal resistance of an ideal current source *J* is equal to ∞).

1.5 Екі түйін әдісі
Two Node Method

Есеп / Task 1.5.1

Құрылғылардың көрсеткіштерін табыңыз, егер көздің ЭҚК-і E = 50 В болса,	Find the readings of the instruments if the EMF of the source is E = 50 V,

r_1 = 10 Ом / Ohm; r_2 = r_3 = 20 Ом / Ohm; r =15Ом / Ohm.



1.20-сурет / Figure 1.20

Шешімі

Вольтметрмен өлшенетін «а» және «в» $U_{ав}$ түйіндерінің арасындағы кернеуді екі түйін әдісі арқылы табамыз

Solution

Find the voltage between nodes "a" and "b" $U_{ав}$, measured by a voltmeter, by the method of two knots

$$U_{ав} = \frac{Eg_1}{g_1+g_2+g_3};$$

мұнда, 1-тармақтың өткізгіштігі

Where conductivity of the branches of the 1st branch

$$g_1 = \frac{1}{r_1+r} = \frac{1}{10+15} = 0{,}04\ См / Sm;$$

2-тармақтың өткізгіштігі

conductivity of the branches of the 2nd branch

$$g_2 = \frac{1}{r_2} = \frac{1}{20} = 0{,}05\ См / Sm;$$

3-тармақтың өткізгіштігі

conductivity of the branches of the 3d branch

$$g_3 = \frac{1}{r_3} = \frac{1}{20} = 0{,}05\ См / Sm.$$

Деректерді ауыстырғаннан кейін аламыз

After substituting the data, we get

$$U_{ав} = \frac{50 \cdot 0{,}04}{0{,}04 + 0{,}05 + 0{,}05} = \frac{2}{0{,}14} = 14{,}3 \text{ В.}$$

Вольтметрдің көрсеткіші	Voltmeter reading

$U_V = 14{,}3$ В.

Амперметрдің көрсеткіші Ом заңы бойынша екінші тармақтың ток күші.	The ammeter reading is the current of the second branch according to Ohm's law.

$$I_2 = I_A = \frac{U_{ав}}{r_3} = \frac{14{,}3}{20} = 0{,}715\ A.$$

Бірінші (жалпы) тармақтың тогы	Current of the first (common) branch

$$I = \frac{E - U_{ав}}{r_1 + r} = \frac{35{,}7}{25} = 1{,}43\ A$$

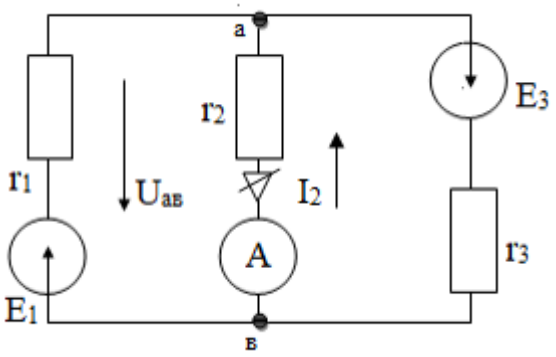
r_2 резисторы бар тармақ тогы	Branch current with resistor r2

$$I_1 = \frac{U_{ав}}{r_2} = \frac{14{,}3}{20} = 0{,}715\ A.$$

Есеп / Task 1.5.2

Амперметрдің көрсеткішін анықтаңыз, егер	Determine the reading of the ammeter if

$E_1 = 30$ В / V, $r_1 = 10$ Ом / Ohm, $r_2 = 5$ Ом / Ohm,
$r_3 = 2$ Ом / Ohm; $E_3 = 20$ Ом / Ohm.



1.21-сурет / Figure 1.21

Амперметрдің көрсеткішін анықтаңыз, егер

Determine the reading of the ammeter if

E_1 = 30 В, r_1 = 10 Ом/Ohm, r_2 = 5 Ом/Ohm, r_3 = 2 Ом/Ohm; E_3 = 20 Ом/Ohm.

Шешімі

Екі түйін әдісі бойынша Uав кернеуі формула бойынша есептеледі.

Solution

According to the two- node method, the voltage $U_{ав}$ calculated by the formula.

$$U_{ав} = \frac{E_1 g_1 - E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{\frac{30}{10} - \frac{20}{2}}{0{,}1 + 0{,}2 + 0{,}5} = \frac{-7}{0{,}8} = -8{,}75\ B\ /\ V.$$

Ом заңы қолданыстағы I_2

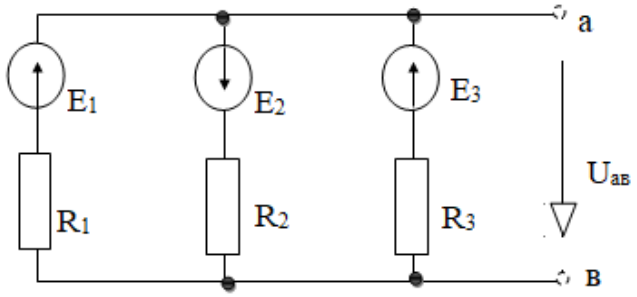
Current I_2 according to Ohm's law

$$I_2 = \frac{U_{ав}}{r_2} = \frac{-8{,}75}{5} = -1{,}75\ A.$$

I_2 токтың нақты бағыты таңдалған тоққа қарама-қарсы.

Actual current direction I_2 opposite to the selected one.

Есеп / Task 1.5.3



1.22-сурет / Figure 1.22

Егер ЭҚК көзі болса, $U_{ав}$ кернеуін екі түйін әдісімен анықтаңыз

Determine the voltage $U_{ав}$ by the two-node method, if the EMF sources

E_1=30 В / V; E_2= 20 В / V; E_3 = 10 В / V; R_1=R_2=R_3=10 Ом / Ohm.

Шешімі
Тоқтың өткізгіштігі

Solution
Branch conductivities

$$g_1 = g_2 = g_3 = \frac{1}{R_1} = 0{,}1 \text{ См.}$$

Екі «а» және «в» түйіндерінің арасындағы кернеу

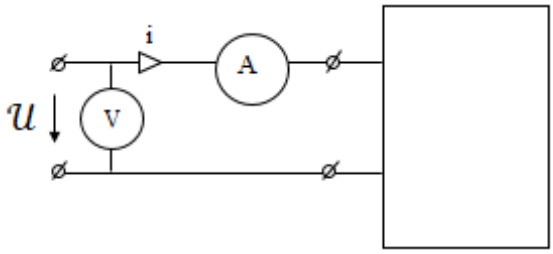
Voltage between two nodes "a" and "b"

$$U_{ав} = \frac{g_1 E_1 - E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{3 - 2 + 1}{0{,}3} = \frac{2}{0{,}3} = 6{,}67\ B.$$

2 Бірфазалы синусоидалы токтың сызықтық электр тізбектері
Linear electric circuits of single-phase sinusoidal current

2.1 Негізгі түсініктер
Basic concepts

Есеп / Task 2.1.1



2.1-сурет / Figure 2.1

Екі терминалды желі кірісіндегі лездік кернеулер мен токтар

Instantaneous voltage and current at the input of the bipolar

$$u = 200\sin(628t + 30^{\circ});$$

$$i = 10\sin(628t + 60^{\circ}).$$

Табыңыз: 1) жылу жүйесі құрылғыларының көрсеткіштерін; 2) бұрыштық жиілік ω; 3) f жиілігі; 4) T периоды; 5) кернеу және ток фазасы; 6) кернеу мен токтың бастапқы фазасы.

Find: 1) indications of devices of the thermal system; 2) angular frequency ω; 3) frequency f; 4) T period; 5) voltage and current phase; 6) the initial phase of voltage and current.

Шешімі

1) Аспап оқулары - нақты мәндер:

- кернеу

Solution

1) Instrument readings – current values:

- voltage

$$U_v = U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{200}{1{,}41} = 141{,}8\ B/V;$$

- токтың

- current

$$I_A = I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7{,}1\ A:$$

2) бұрыш жиілігі	2) angular frequency

$$\omega = 2\pi f = 628 c^{-1}/s^{-1};$$

3) жиілік	3) frequency

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 100\ \text{Гц}/Gs;$$

4) период	4) period

$$\text{T} = \frac{1}{f} = 0{,}01\ c/s;$$

5) фазасы:	5) phase:
- кернеу	- voltage

$$(\omega t+30^0);$$

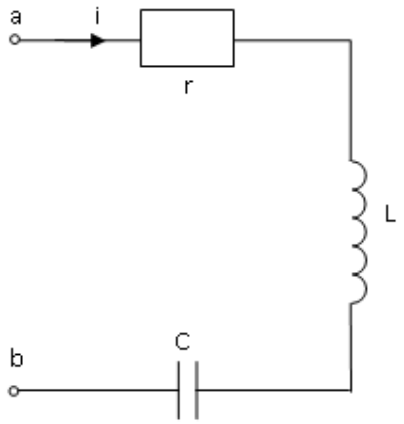
- ток	- current

$$(628t+60^0);$$

6) бастапқы фаза: - кернеу 30^0; - ток 60^0.	6) initial phase: - of voltage 30^0; - of current 60^0.

Есеп / Task 2.1.2

i = 6sin (ωt + 20^0) тізбегінің тогы, u_r элементтеріндегі кернеудің лездік мәндерін табыңыз; u_L; u_C, егер r = x_L = x_C = 10 Ом болса.	Circuit current i = 6sin (ωt + 200), find the instantaneous voltage values on the elements u_r; u_L; u_C if r = x_L = x_C = 10 Ohms.



2.2-сурет / Figure 2.1

Шешімі

Лездік кернеулер тиісінше, резисторда, индуктивтілікте, сыйымдылықтарда формулалар анықталады

Solution

Instantaneous voltages, respectively, on the resistor, inductance, capacitance are determined by the formulas

$$u_r = 60 \sin (\omega t+20^0);$$

$$u_L = 60 \sin (\omega t+20^0+90^0) = 60\sin (\omega t+110^0);$$

$$u_C = 60\sin (\omega t+20^0-90^0) = 60\sin (\omega t-70^0).$$

Резистордағы кернеу (белсенді кедергі) r фазада токпен сәйкес келеді. Кернеу индуктивтілік L токтан 90^0 алда. C конденсаторындағы кернеу токтан 90^0 артта қалады.

The voltage on the resistor (active resistance) r coincides in phase with the current. The voltage on the inductance L is ahead of the current by 90^0. The voltage on the capacitor C lags behind the current by 90^0.

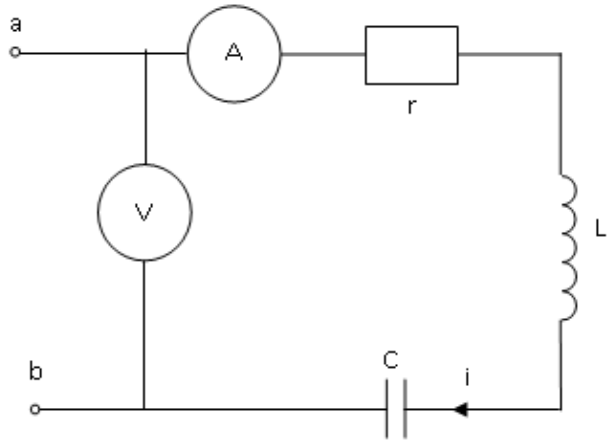
2.2 Тізбекті кешенді есептеу
Complex calculation of the serial circuit

Есеп / Task 2.2.1

Көздің кернеудің лездік мәні

Instantaneous value of the source voltage

$$u=100\sin(\omega t+30^0).$$



2.3-сурет / Figure 2.3

Электр тізбегінің лездік тогын, егер болса, электромагниттік жүйе құрылғыларының көрсеткіштерін табыңыз.

Find the instantaneous current of the circuit, the readings of the devices of the electromagnetic system, if

$$R = 12 \text{ Ом}; x_L = 10 \text{ Ом}; x_C = 26 \text{ Ом/Ohm}$$

Шешімі

Кешенді тізбек кедергісі

Solution

Complex circuit resistance

$$\underline{Z} = r + j(X_L - X_C) = 12 - j16 = 20\angle -53^\circ \text{ Ом / Ohm.}$$

Кешенді түрдегі көздің қолданыстағы кернеуі

The current voltage of the source in a complex form

$$\underline{U} = \frac{100}{\sqrt{2}} e^{j30^\circ} = 70{,}9\angle 30^\circ \text{ В / V.}$$

Ом заңы бойынша тізбек тогының кешенді әрекет етуші мәні	The complex effective value of the circuit current according to Ohm's law

$$\underline{I}=\frac{\underline{U}}{\underline{Z}}=\frac{70.9e^{j30^\circ}}{20e^{-j53^\circ}}=3.55e^{j83^\circ}\ \text{A}.$$

Электр тізбегінің лездік мәні	Instantaneous value of the circuit current

$$i=\sqrt{2}\cdot 3.55\sin(\omega t+83^0)=5\sin(\omega t+83^0).$$

Құрылғы көрсеткіштері	Instrument readings

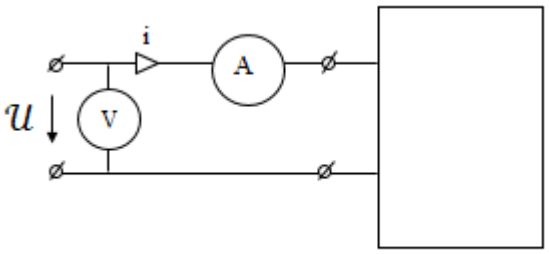
U = 71 В / V; I = 3,55 А.

Кернеу мен тізбек тогы арасындағы фазалық ығысу бұрышы	Phase shift angle between voltage and circuit current

$$\varphi=\psi_u-\psi_i=30^0-83^0=-53^0<0.$$

Сондықтан тізбек белсенді сыйымдылықты сипатқа ие.	Consequently, the circuit has an active-capacitive characteristic.

Есеп / Task 2.2.2



2.4-сурет / Figure 2.4

Қос полюстің кірісіндегі лездік кернеулер мен ток	Instantaneous voltage and current at the input of a two-pole

$$u = 200\sin(628t + 30^{\circ});$$

$$i = 10\sin(628t + 60^{\circ}).$$

Табу: 1) $\underline{U}_m$ кернеуінің, $\underline{I}_m$ тогының комплексті амплитудалық мәндері; 2) $\underline{U}$, $\underline{I}$ кешенді әсер етуші мәндері; 3) электродинамикалық жүйе аспаптарының көрсеткіштері.

To find: 1) complex voltage amplitude values $\underline{U}_m$, of $\underline{I}_m$ current; 2) complex operating values $\underline{U}$, $\underline{I}$; 3) readings of electrodynamic system devices.

Шешімі

Solution

1) комплексті амплитудалық мәндері

1) complex amplitude values:

- кернеудің

- of voltage

$$\underline{U}_m = 200\, e^{j30^0}\ B/V;$$

- токтың

- of current

$$I_m = 10\, e^{j60^0}\ A.$$

2) Кешенді қолданыстағы мәндер:

2) complex operating values:

- кернеу

- of voltage

$$\underline{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}\, e^{j30^0} = 141{,}8\angle 30^0 \text{В}/V;$$

- ток

- of current

$$\underline{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}\, e^{j60^0} = 7{,}1\angle 60^0 \text{А}.$$

Құрылғы көрсеткіштері

Instrument readings

U = 141,8 В / V; I = 7,1А.

Есеп / Task 2.2.3



2.5-сурет / Figure 2.5

Егер тізбектің лездік кернеуі $u = 141\sin(\omega t + 30^0)$, ал X_L = 25 Ом, X_C = 35 Ом тізбек элементтерінің кедергісіне тең болса, тізбектің күрделі белсенді тогын табыңыз.

Find the complex acting current of the circuit if the instantaneous voltage of the circuit is $u = 141\sin(\omega t + 30^0)$, resistances of circuit elements X_L = 25 Ohm, X_C = 35 Ohm.

Шешімі

Кешенді жұмыс істейтін тізбек кернеуі

Solution

Complex operating voltage of the circuit

$$\underline{U} = 100e^{j30^\circ}\text{В / V.}$$

Кешенді тізбек кедергісі

Complex circuit resistance

$$\underline{Z} = jX_L - jX_C = -j10\ \text{Ом/Ohm.}$$

Ом заңы бойынша кешенді әрекет ететін ток

Complex operating current according to Ohm's law

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{z}} = \frac{100e^{j30^\circ}}{10e^{-j90^\circ}} = 10e^{j120^\circ}\ A.$$

Лездік ток

Instantaneous current

$$i = \sqrt{2}\,10\sin(\omega t + 120^0) = 14{,}1\sin(\omega t + 120^0)$$

Есеп / Task 2.2.4



2.6-сурет / Figure 2.6

Егер тізбек элементтерінің кедергісі

If the resistance of the circuit elements

$$X_L = 8\,\text{Ом}, X_C = 12\,\text{Ом}, r = 3\,\text{Ом. /Ohm.}$$

Тізбектің $\underline{Z}$ комплекстік кедергісін табыңыз

Алгебралық және көрстекіштік формаларда Z жазыңыз.

Write $\underline{Z}$ in algebraic and exponential forms.

Find the complex resistance of the circuit $\underline{Z}$

Шешімі

Кешенді тізбек кедергісі

Solution

Complex circuit resistance

$$\underline{Z} = r + jX_L - jX_C = r + j\,(X_L - X_C) = 3 + j\,(8 - 12) = 3 - j4 = 5e^{-j53^\circ}\,\text{Ом/Ohm.}$$

$$\underline{Z} = 3 - j4, \text{ Ом/Ohm}$$

– кешендік мәнін жазудың алгебралық формасы

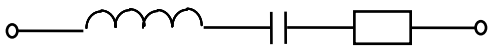
– algebraic form of writing a complex number

$$\underline{Z} = 5e^{-j53^\circ}\text{Ом/Ohm}$$

– кешендік мәнін жазудың көрсеткіштік формасы.

– the exponential form of writing a complex number.

Есеп / Task 2.2.5



2.2.5-сурет / Figure 2.2.5

Егер тізбектің лездік тогы $i = \sin(\omega t + 60^0)$, болса, ал r = 4 Ом, X_L = 10 Ом, X_C = 6 Ом тізбек элементтерінің кедергісінің мәндері болғанда, тізбектің кернеуінің белсенді мәнінің кешенін анықтаңыз.

Determine the complex of the current value of the circuit voltage if the instantaneous current of the circuit is equal to $i = 4\,\sin(\omega t + 60^0)$, resistances of circuit elements r = 4 Ом / Ohm, X_L = 10 Ом / Ohm, X_C = 6 Ом / Ohm.

Шешімі	**Solution**
Токтың қолданыстағы кешенді мәні	Effective complex current value

$$\underline{I} = 2{,}83e^{j60^\circ}\text{A}.$$

Кешенді тізбек кедергісі	Complex circuit resistance

$$\underline{Z} = r + j(X_L - jX_C) = 4 + j4 = 4\sqrt{2}e^{j45^\circ} = 5{,}64e^{j45^\circ} Ом \text{ / Ohm}$$

Ом заңы бойынша тізбектің қолданыстағы кешенді кернеуі	The effective complex voltage of the circuit according to Ohm's law

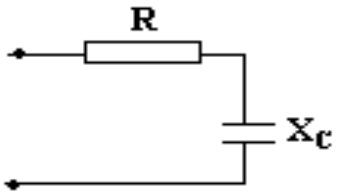
$$\underline{U} = \underline{ZI} = 16e^{j105^\circ} B/V.$$

Тізбектің кернеу мен ток арасындағы ығысу бұрышы	Phase shift angle between voltage and circuit current

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 105^0 - 60^0 = 45^0 > 0.$$

Сондықтан тізбек активті-индуктивті сипатқа ие.	Consequently, the circuit has an active-inductive character.

Есеп / Task 2.2.6



2.7-сурет / Figure 2.7

Егер тізбектің лездік кернеуі тең болса мәні белгіліде, тізбектің ағымдағы мәнінің кешенді түрін табыңыз	Find the complex of the effective value of the circuit current if the instantaneous voltage of the circuit is

$$u = 50\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^0),$$

Кедергілер	Resistances of elements

$$R = 30 \text{ Ом}, X_C = 40 \text{ Ом / Ohm.}$$

Шешімі Тізбектің кернеуінің белсенді кешенді мәні	**Solution** The complex of the current value of the circuit voltage

$$\underline{U} = 50e^{j30^\circ}\ B \text{ / V.}$$

Кешенді тізбек кедергісі	Complex circuit resistance

$$\underline{Z} = r - jX_c = 30 - j40 = 50e^{-j53^\circ}\ \text{Ом / Ohm.}$$

Ом заңына сәйкес қолданыстағы ток тізбегі кешені	The complex of the operating current of the circuit according to Ohm's law

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{50e^{j30^\circ}}{50e^{-j53^\circ}} = 1e^{j83^\circ}A.$$

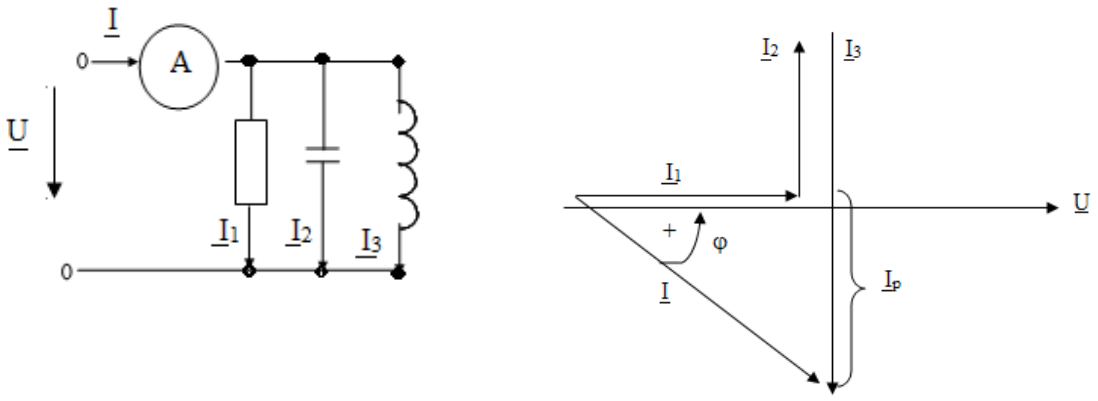
Кернеу мен ток арасындағы фазалық ығысу бұрышы	Phase shift angle between voltage and current

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 30^0 - 83^0 = -53^0.$$

Тізбек активті-сыйымдылық сипатына ие	The circuit is active-capacitive in nature

2.3 Параллельді тізбекте кешенді түрін есептеу
Complex parallel circuit calculation

Есеп / Task 2.3.1



2.8-сурет / Figure 2.8

Берілген:

Given:

$I_1 = 10$ A; $I_2 = 15$A; $I_3 = 20$ A.

Амперметрдің көрсеткішін табыңыз.

Find the ammeter reading.

Шешімі

Тармақ токтарының нақты мәндері берілген, сондықтан мәселе күрделі болғандықтан кернеу векторына қатысты және формула бойынша токтардың векторлық диаграммасын (ВД) құру арқылы шешіледі

Solution

The effective values of the branch currents are given, so the problem is solved by constructing a vector diagram (VD) of currents relative to the complex voltage vector and using the formula

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3.$$

Кешенді реактивті ток

Complex reactive current

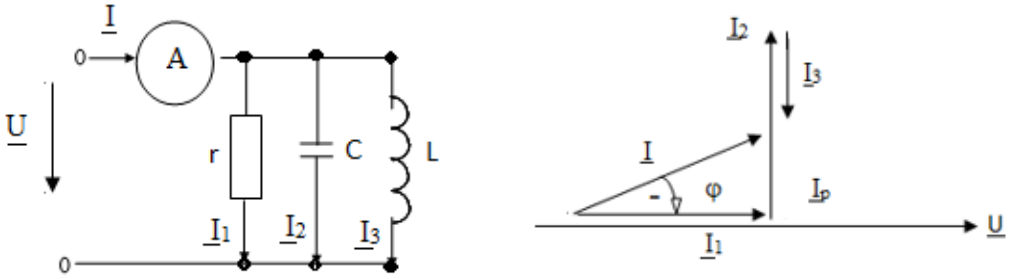
$$\underline{I}_р = \underline{I}_2 + \underline{I}_3$$

Осы векторлық диаграммадан түйінделеді

From the VD follows

$$I = I_A = \sqrt{I_1^2 + (I_3 - I_2)^2} = \sqrt{10^2 + (20 - 15)^2} = \sqrt{125} = 11{,}2\ A$$

Есеп / Task 2.3.2



2.9-сурет / Figure 2.9

Берілгені:	Given:

$$I_1 = 15A;\ I_2 = 25A; I_3 = 10A.$$

Амперметрдің көрсеткішін табыңыз.	Find the ammeter reading.
Шешімі ВД-дан амперметрдің көрсеткіші мынадай формула бойынша есептеледі	**Solution** It follows from the VD that the ammeter reading is calculated by the formula

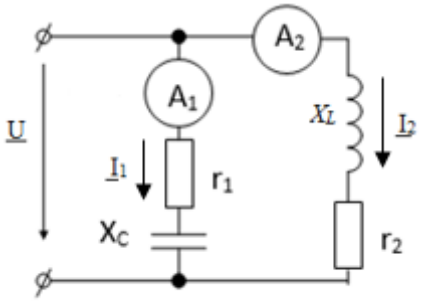
$$I = I_A = \sqrt{I_1^2 + I_p^2} = \sqrt{I_1^2 + (I_2 - I_3)^2} = \sqrt{15^2 + 15^2} = 21{,}2\ A,$$

мұнда	where

$$I_p = I_2 - I_3 = 15\ A$$

реактивті токтың нақты мәні.	is the effective value of the reactive current.

Есеп / Task 2.3.3



2.10-сурет / Figure 2.10

Егер тізбектің белсенді кернеуінің кешені белгілі болса, Амперметрлердің көрсеткіштерін табыңыз	Find the ammeter readings if the current voltage complex of the circuit

$\underline{U}$= 100 e $^{j47°}$ В / V, r_1=r_2=X_C = 10 Ом / Ohm, X_L= 20 Ом / Ohm.

Шешімі Екі тармақтың параллель қосылуымен кернеу осы тармақтарда бірдей болады. Ом заңы бойынша біз филиалдардың күрделі токтарын кешенді түрде анықтаймыз	**Solution** When two branches are connected in parallel, the voltage is the same on these branches. According to Ohm 's law , we define complex currents of branches in a complex form

$$\underline{I_1} = \frac{\underline{U}}{Z_1} = \frac{U}{r_1 - jx_C} = \frac{100e^{j47°}}{10-j10} = \frac{100e^{j47°}}{14{,}1e^{-j45°}} = 7{,}1e^{j92°}A.,$$

$$\underline{I_2} = \frac{\underline{U}}{Z_2} = \frac{U}{r_2 + jx_{l2}} = \frac{100e^{j47°}}{10+j20} = \frac{100e^{j47°}}{22{,}36e^{j63°}} = 4{,}5e^{-j16°}A.$$

Амперметр көрсеткіші	Ammeter readings

I_1= 7,1 А; I_2 = 4,5 А.

Амперметрлердің көрсеткіштерін тармақтардың толық кедергісін қолдана отырып есептеуге болады

It is possible to calculate the ammeter readings using the total resistances of the branches.

$$Z_1 = \sqrt{r_1^2 + X_c^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14{,}1 \text{ Ом / Ohm},$$

$$Z_2 = \sqrt{r_2^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 20^2} = 22{,}36 \text{ Ом / Ohm}$$

Ом заңы бойынша тармақтардың токтары (амперметрлер көрсеткіштері)

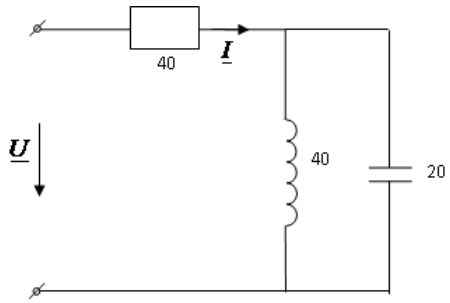
Branch currents (ammeter readings) according to Ohm's law

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{100}{14{,}1} = 7{,}1\ A;$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{100}{22{,}36} = 4{,}5\ A.$$

2.4 Аралас тізбекті кешенді есептеу
Complex calculation of the mixed chain

Есеп / Task 2.4.1



2.11-сурет / Figure 2.11

Егер кернеу көзінің кешенді күрделі мәні

If the complex effective value of the source voltage is

$\underline{U} = 100\angle 60^\circ$ В / V.

болса жалпы тармақтың ток кешенін анықтау.

Find the current complex of the common branch.

Шешімі

Solution

Аралас қосылыстағы тізбектің күрделі кедергісі

Complex resistance of the circuit with mixed connection

$$\underline{Z} = r + \frac{jx_L(-jx_C)}{jx_L - x_C} = 40 + \frac{j40(-j20)}{j40 - j20} = 40 + \frac{800}{j20} = 40 - j40 =$$

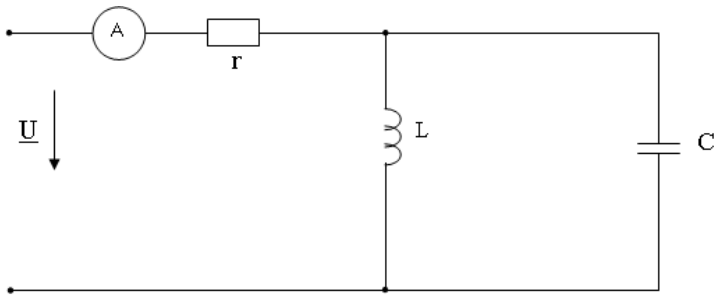
$$= 40\sqrt{2}e^{-j45^\circ}\ Ом = 56{,}4\angle -45^\circ\ Ом.$$

Ом заңы бойынша ток кешенді түрде

According to Ohm 's law in the complex form of current

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{100e^{j60^\circ}}{56{,}4e^{-j45^\circ}} = 1{,}77\angle 105^\circ \text{ A}.$$

Есеп / Task 2.4.2



2.12-сурет / Figure 2.12

Амперметр көрсеткішін табу. Берілгені:

Find the ammeter reading. Given:

$$\underline{U} = 10\ \text{В / V}$$

$$r = X_C = 10\ \text{Ом/Ohm};$$

$$X_L = 20\ \text{Ом / Ohm}$$

Шешімі

Solution

Элементтердің аралас қосылуындағы тізбектің күрделі кедергісі:

Complex resistance of the circuit with a mixed connection of elements:

$$\underline{Z} = r + \frac{jX_L(-jX_C)}{jX_L - jX_C} = 10 + \frac{20 \cdot 10}{j(20-10)} = 10 - j20 = 22{,}4e^{-j63^\circ}\ \text{Ом} =$$
$$= 22{,}4\angle -63^\circ\ \text{Ом}$$

Жалпы тармақтың тогын өлшейтін амперметрдің көрсеткіші қолданыстағы мәндер үшін Ом заңымен анықталады:

The reading of the ammeter measuring the current of the common branch is determined by Ohm's law for the current values:

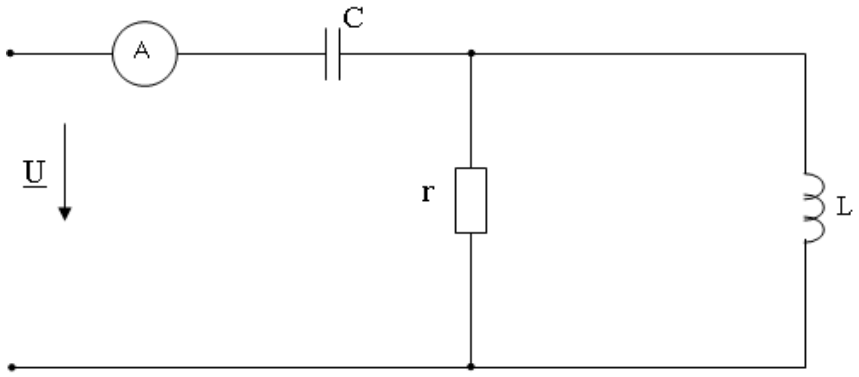
$$I = I_A = \frac{U}{Z} = \frac{10}{22{,}4} = 0{,}45\ \text{А}$$

Ескерту:

Reminder:

$$j = \sqrt{-1}; j^2 = -1$$

Есеп / Task 2.4.3



2.13-сурет / Figure 2.13

Амперметр көрсеткішін табу.

Find the ammeter reading.

Берілгені:

Given:

$$\underline{U} = 40\ \text{В}/V;$$

$$r = X_C = X_L = 10\ \text{Ом}/\text{Ohm}.$$

$$\underline{Z} = -jX_C + \frac{r(jX_L)}{r + jX_L} = -j10 + \frac{10 \cdot 10e^{j90^\circ}}{10 + j10} = -j10 + \frac{100e^{j90^\circ}}{10\sqrt{2}e^{j45^\circ}} =$$
$$= -j10 + 7{,}1e^{j45^\circ} = -j10 + 5 + j5 = 5 - j5$$
$$= 7{,}1\angle -45^\circ \text{ Ом} / Ohm$$

Ом заңы бойынша қолданыстағы мәндерге арналған жалпы тармақ тогы (амперметр көрсеткіші):

The current of the common branch according to Ohm's law for the current values (ammeter reading):

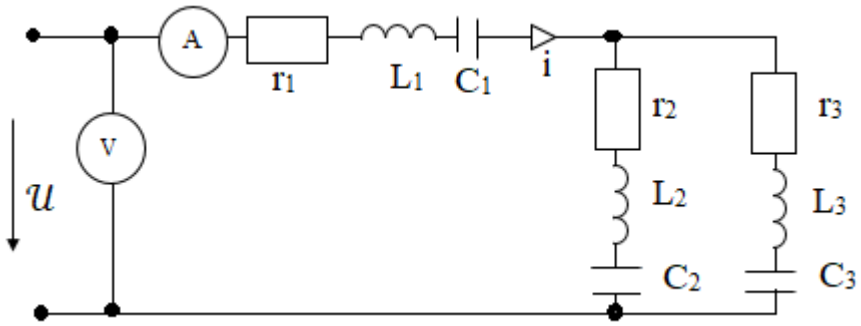
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{40}{7{,}1} = 5{,}63 \text{ A}$$

Ескерту:

Reminder:

$$j = e^{j90^\circ};\ -j = e^{-j90^\circ}$$

Есеп / Task 2.4.4



2.14-сурет / Figure 2.14

Кернеу көзі

Source voltage

$$u = 100\sin(\omega t + 45^0);$$

схема элементтерінің параметрлері

parameters of the schema elements

r_1 = 5 Ом / Ohm; r_2 =10 Ом / Ohm; r_3=15 Ом / Ohm; X_{L1}=X_{C3}=20 Ом / Ohm; X_{L2}=X_{C1}=15 Ом / Ohm; X_{L3}=X_{C2}=25 Ом / Ohm.

Жылу жүйесі құрылғыларының көрсеткіштерін және I тізбектің лездік тогын табыңыз

Find the readings of the thermal system devices and the instantaneous current of the I circuit

Шешімі

Көздің қолданыстағы кернеу кешені

Solution

The complex of the current voltage of the source

$$\underline{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_u} = \frac{100}{1,41} e^{j45^\circ} = 71e^{j45^\circ} B \text{ / V}$$

Кешенді тізбек кедергісі

Complex circuit resistance

$$\underline{Z} = r_1 + j(x_{L1} - x_{C1}) + \frac{[r_2 + j(x_{L2} - x_{C2})][r_3 + j(x_{L3} - x_{C3})]}{r_2 + r_3 + j(x_{L2} + x_{L3} - x_{C2} - x_{C3})} = 5 + j5 +$$

$$\frac{(10 - j10)(15 + j5)}{25 - j5} = 5 + j5 + \frac{14,14e^{-j45^\circ} \cdot 15,81e^{j18^\circ}}{25,495e^{-j11^\circ}} = 5 + j5 + \frac{223,55e^{-j27^\circ}}{25,495e^{-j11^\circ}} +$$

$$5 + j5 + 8,77e^{-j16^\circ} = 5 + j5 + 8,43 - j2,42 = 13,43 + j2,58 =$$

$$13,68e^{j11^\circ} Ом /$$

Электр тізбегінің ағымдағы кешенді мәні

Complex effective value of the circuit current

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{71e^{j45^\circ}}{13,68e^{j11^\circ}} = 5,19e^{j34^\circ} A.$$

Лездік ток

Instantaneous current

$$i = \sqrt{2} \cdot 5,19 \sin(\omega t + 34^\circ) = 7,32 \sin(\omega t + 34^\circ).$$

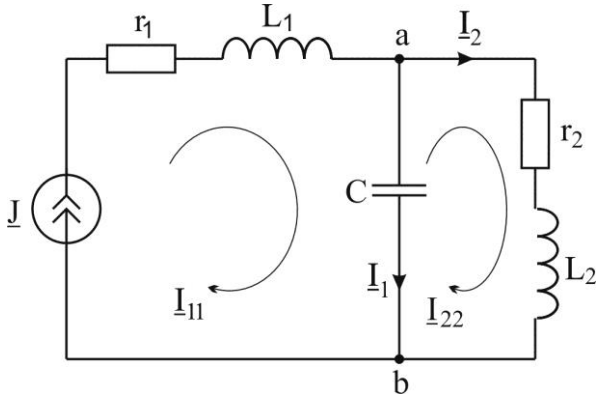
Құрылғы көрсеткіштері

Instrument readings

$$U_V = U = 71\ B/V;\ I_A = I = 5,2\ A.$$

2.5 Кешендік түрдегі контурлы токтар әдісі
The method of contour currents in a complex form

Есеп / Task 2.5.1



2.15-сурет / Figure 2.15

Берілгені: | Given:

$\underline{J}$ = 10 А; r_1 = 2 Ом / Ohm; r_2 = 10 Ом / Ohm; x_{L1} = 26 Ом / Ohm; x_{L2} = 10 Ом / Ohm; x_C = 10 Ом / Ohm.

КТӘ тармақтағы токтарды анықтау | Find currents in the branches of the MKT

Шешімі | **Solution**

Контурларды таңдап, контурлық токтардың бағытын көрсетіңіз. Бір тізбек тогы белгілі және ток көзінің тогына тең | We select the contours and indicate the direction of the contour currents. One circuit current is known and is equal to the current of the current source

$$\underline{I}_{11} = \underline{J} = 10\,\text{A}$$

Екінші тізбек үшін теңдеуді құрамыз | For the second circuit , we make up the equation

$$(r_2 + jx_{l2} - jx_c)\cdot \underline{I}_{22} - (-jx_c)\cdot \underline{I}_{11} = 0$$

Деректерді орнына қойғаннан кейін біз аламыз: | After substituting the data , we get:

$$(10 + j10 - j10)\cdot \underline{I}_{22} - (-j10)\cdot 10 = 0;$$

$$10 \cdot \underline{I}_{22} = j100;$$

$$\underline{I}_{22} = -\frac{j100}{10} = -j10 = 10e^{-j90^\circ} \text{ A}.$$

Бірінші тармақтағы кешендік токтың нақты мәні	The complex of the effective value of the current of the first branch

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{22} = 10 + j10 = 10\sqrt{2}e^{j45^\circ} = 14{,}14e^{j45^\circ} A.$$

$$I_1 = 14{,}14 \text{ A}$$

– токтың әсер етуші мәні (амперметр көрсеткіші).	– current value of the current (ammeter reading).

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{22} = 10e^{-j90^\circ} \text{ A}$$

- екінші тармақтағы кешендік токтың нақты мәні.	– complex of the effective value of the current of the second branch.

$$I_2 = 10 \text{ A}$$

– токтың әсер етуші мәні (амперметр көрсеткіші).	– current value of the current (ammeter reading).

2.6 Бір фазалы синусоидалы ток тізбегінің қуаты
Single-phase sinusoidal current circuit power

Есеп / Task 2.6.1

2.4.4 есебінің шешіміне сәйкес тізбектің күрделі, толық, белсенді және реактивті қуатын есептеңіз.	Calculate the complex, full, active and reactive power of the circuit according to the solution of the problem 2.4.4.

Шешімі

Қолданыстағы мәндер кешені: - тізбектің кернеуі

Solution

Complexes of effective values: - circuit voltage

$$\underline{U} = 71e^{j45^\circ}\, B/V;$$

- ток тізбегі

-circuit current

$$I = 5{,}19e^{j34^\circ}\, A.$$

Кешенді қуат – ол күрделі жұмыс кернеуінің (ЭҚҚ) токтың біріктірілген кешеніне көбейтіндісі ретінде есептеледі

Complex power is calculated as the product of the complex effective voltage (EMF) by the conjugate current complex

$$\tilde{S} = \underline{U}\,\overset{*}{I} = 71e^{j45^0} \cdot 5{,}19e^{-j34^0} = 368{,}5e^{j11^0}\, BA./\text{VA}$$

Толық қуат-бұл күрделі қуат модулі (ағымдағы және кернеу мәндерінің көбейтіндісі)

The total power is the module of the complex power (the product of the effective values of current and voltage)

$$S = UI = 71 \cdot 5{,}19 = 368{,}5BA./\ \text{VA}$$

Белсенді қуат формула бойынша анықталады

The active power is determined by the formula

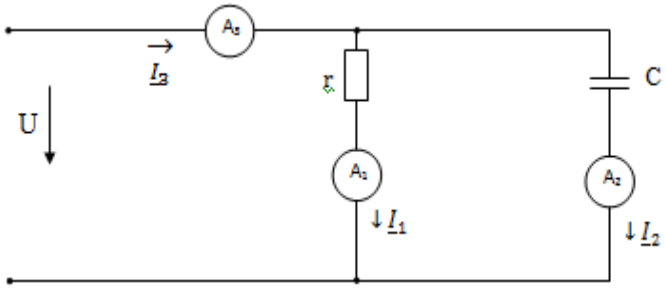
$$P = UI\cos\varphi = 71 \cdot 5.19\cos(45^0 - 34^0) = 361.7Bm./\ \text{Vt}$$

Реактивті қуат формула бойынша есептеледі

The reactive power is calculated by the formula

$$Q = UI\sin\varphi = 71 \cdot 5{,}19\sin(45^0 - 34^0) = 70{,}3вар./\ \text{VAR}$$

Есеп / Task 2.6.2



2.16-сурет / Figure 2.16

Амперметрлердің көрсеткіштерін және қабылдағыштардың толық қуатын табыңыз. Берілгені:

Find the ammeter readings and the full power of the receivers. Given:

$$U = 20\ \text{В};\ r = 10\ \text{Ом};\ X_C = 20\ \text{Ом/Ohm}.$$

Шешімі

Параллель тармақтардың токтары Ом заңына сәйкес есептеледі

Solution

The currents of parallel branches are calculated according to Ohm's law

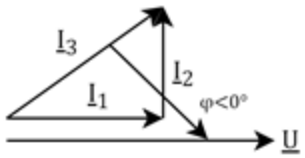
$$I_1 = \frac{U}{r} = \frac{20}{10} = 2\ \text{А};$$

$$I_2 = \frac{U}{X_C} = \frac{20}{20} = 1\ \text{А}$$

Жалпы тармақ тогы I_3 формула бойынша векторлық диаграмма арқылы анықталады:

Current of the common branch I_3 we define it by a vector diagram using the formula:

$$\underline{I_3} = \underline{I_1} + \underline{I_2}$$



2.17-сурет / Figure 2.17

$$I_3 = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{5} = 2{,}24\ \text{А}$$

Қабылдағыштардың қуаты:
- белсенді

Receiver capacities:
- active

$$P_{\text{пр}} = rI_1^2 = 10 \cdot 2^2 = 40\ \text{Вт}/Vt;$$

- сыйымдылықты

– capacitive

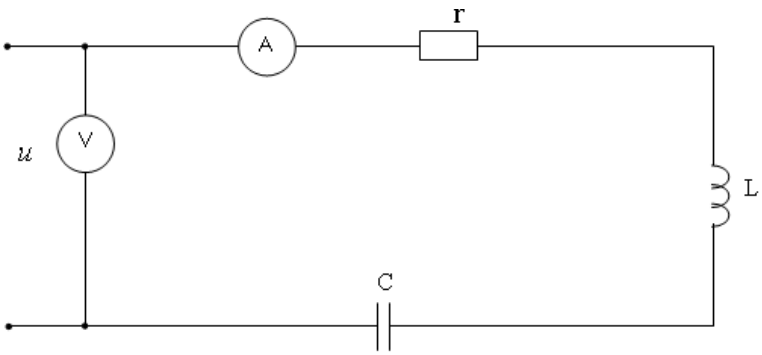
$$Q_{\text{пр}} = Q_C = -X_C I_2^2 = -20 \cdot 1^2 = -20\ \text{вар / var}$$

- толық

– complete

$$S = \sqrt{P_{\text{пр}}^2 + Q_{\text{пр}}^2} = \sqrt{40^2 + 20^2} = 44{,}7\ \text{ВА /VA}$$

Есеп / Task 2.6.3



2.18-сурет / Figure 2.18

Құрылғылардың көрсеткіштерін табыңыз және қабылдағыштар мен $\tilde{S}$ көзінің күрделі қуатының балансын есептеңіз .

Берілгені:

Find the readings of the instruments and calculate the balance of the complex power of the receivers and the source $\tilde{S}$.

Given:

$$u = 100\sin(500t - 60°);$$

$r = 20$ Ом; L = 50 мГн; C = 40 мкФ.

Шешімі

Кешенді белсенді кернеу көзі:

Solution

Complex operating voltage of the source:

$$\underline{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_u} = \frac{100}{1{,}41} e^{-j60°} = 71\angle -60° \text{ В}/V.$$

Реактивті кедергілер:
- индуктивті
-сыйымдылық

Reactive resistances:
– inductive
– capacitive

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{500 \cdot 40 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^3}{20} = 50 \text{ Ом}/Ohm.$$

Кешенді тізбек кедергісі:

Complex circuit resistance:

$$\underline{Z} = r + jX_L - jX_C = 20 + j25 - j50 = 20 - j25 = 32\angle -51° \text{ Ом / Ohm}$$

Ом заңына сәйкес қолданыстағы ток тізбегі кешені:

The complex of the current current of the circuit according to Ohm's law:

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{71e^{-j60°}}{31e^{-j51°}} = 2{,}22\angle -9° \text{ А}.$$

Кешенді қуат көзі:

Complex power of the source:

$$\tilde{S}_{\text{коз}} = \underline{U}\dot{\text{I}} = 71e^{-j60°} \cdot 2{,}22e^{j9°} = 157{,}62e^{-j51°} = 99{,}2 - j122{,}5 = P_{\text{коз}} - jQ_{\text{коз}}$$

Қабылдағыштың қуаты:
- белсенді

Receiver power:
- active

$$P_{\text{каб}} = rI^2 = 20 \cdot 2{,}22^2 = 98{,}6 \text{ Вт / } Vt$$

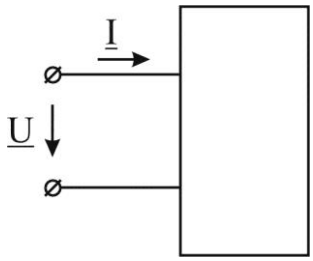
- реактивті | - reactive

$$Q_{\text{каб}} = Q_L - Q_C = X_L I^2 - X_C I^2 = (X_L - X_c) I^2 = -25 \cdot 2{,}22^2 = \\ = -123{,}2 \text{ вар /var}$$

Құрылғы көрсеткіштері: | Instrument readings:

$$U = U_V = 71 \text{ В}; I = I_A = 2{,}22 \text{ А}.$$

Есеп / Task 2.6.4



2.19-сурет / Figure 2.19

Кернеудің күрделі белсенді мәндері берілген; | Complex operating voltage values are set

$$\underline{U} = 100 + j70 \text{ В / V}$$

тогі | of current

$$\underline{I} = 1 + j1 \text{ А}$$

Қос полюстің кірісінде. Күрделі қарсылық пен тізбектің қуатын табыңыз.

Шешімі

Ом заңы бойынша пассивті биполярдың кешені түрдегі кіріс кедергісі

at the entrance of the two-pole. Find the complex resistance and power of the circuit.

Solution

The input complex resistance of a passive two-pole according to Ohm's law in a complex form

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{100 + j70}{1 + j1} = \frac{122{,}07e^{j35^\circ}}{1{,}41e^{j45^\circ}} = 86{,}57e^{-j10^\circ}\ \text{Ом / Ohm.}$$

Кешенді тізбек қуаты	Integrated circuit power

$$\tilde{S} = \underline{U} \cdot \overset{*}{I} = 122{,}07e^{j35^\circ} \cdot 1{,}41e^{-j45^\circ} = 172{,}12e^{-j10^\circ} = 169{,}51 - j29{,}89\ \text{ВА / VA.}$$

$$\underline{U} = 100 + j70 = 122{,}07e^{j35^\circ}\ \text{В / V}$$

- кернеу көзі кешені;	- source voltage complex;

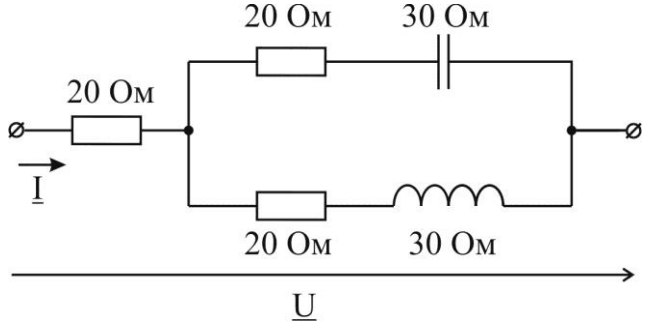
$$\underline{I} = 1 + j1 = 1{,}41e^{j45^\circ}\ \text{A}$$

- ток көзінің кешені;	- source current complex;

$$\overset{*}{I} = 1{,}41e^{-j45^\circ}\ \text{A}$$

- ток көзінің байланысқан кешені.	- conjugate complex of the source current.

Есеп / Task 2.6.5



2.20-сурет / Figure 2.20

Берілгені:	Given:

$\underline{U} = 100e^{j30^0}$ В / V; $r_1 = r_2 = r_3 = 20$ Ом / Ohm; $x_L = 30$ Ом / Ohm; $x_C = 30$ Ом / Ohm.

Активті, реактивті, күрделі және толық электр тізбегін табыңыз.

Шешімі

Ом заңы бойынша тізбектің күрделі тогын кешенді түрде анықтаймыз

Find active, reactive, complex and full power circuits.

Solution

According to Ohm 's law , we determine the complex circuit current in a complex form

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{вх}} = \frac{100e^{j30^0}}{20 + \frac{(20 - j30)(20 + j30)}{20 + 20 + j30 - j30}} = \frac{100e^{j30^0}}{20 + \frac{1300}{40}} = 1.9e^{j30^0} A.$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 30^0 - 30^0 = 0^0$$

- кернеу мен ток арасындағы фазалық ығысу бұрышы.

Активті тізбек қуаты

- the phase shift angle between voltage and current.

Active circuit power

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 100*1,9 = 190 \text{ Вт/Wt.}$$

Реактивті электр тізбегі

Reactive power of the circuit

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = 0.$$

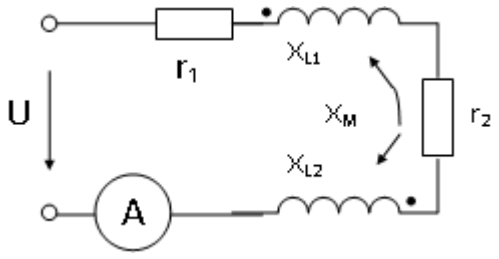
Толық және күрделі қуат белсенді қуатқа тең

Full and complex power are equal to active power

$$\tilde{S} = S = P = 190 BA.$$

2.7 Өзара индукция болған кездегі тізбектер
Circuits in the presence of mutual induction

Есеп / Task 2.7.1



2.21-сурет / Figure 2.21

Берілгені:	Given:

$\underline{U}= 75\,e^{j45^0}$ В; r_1= 25 Ом / Ohm; r_2=5 Ом / Ohm; X_{L1}=10 Ом / Ohm; X_{L2}= 15 Ом / Ohm;

индуктивті байланыс коэффициенті	inductive coupling coefficient

k = 0,65.

Амперметр көрсеткішін табыңыз.	Find the ammeter reading.
Шешімі	**Solution**
Өзара индукцияның кедергісін табыңыз	Find the resistance of mutual induction

$$X_M = k\sqrt{X_{L1}X_{L2}} = 0.65\sqrt{150} \approx 8Ом. / \text{ Ohm}$$

Индуктивті байланысқан катушкалардың дауыссыз қосылуымен тізбекті тізбек берілген, сондықтан тізбектің күрделі кедергісі формула бойынша есептеледі	A sequential circuit is given with the consonant inclusion of inductively coupled coils, so the complex resistance of the circuit is calculated by the formula

$\underline{Z} = r_1 + r_2 + jX_{L1} + j\,X_{L2} + j2X_M = 25 + 5 + j(10 + 15 + 16) = 50{,}8\,e^{j54^0}$ Ом / Ohm.

Кешенді түрдегі Ом заңына	Complex circuit current

сәйкес тізбектің күрделі тогы

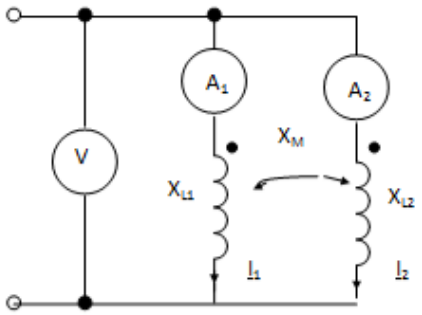
according to Ohm's law in complex form

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{75e^{j45^0}}{50.8e^{j54^0}} = 1.48e^{-j9^\circ}\ A.$$

Амперметрдің көрсеткіші 1,5 А -ға тең.

The ammeter reading is 1.5 A.

Есеп / Task 2.7.2



2.22-сурет / Figure 2.22

Егер амперметрлердің көрсеткіштері берілсе, вольтметрдің оқылуын анықтаңыз: бірінші - 10 А, екінші - 5 А,

Determine the reading of the voltmeter, if the ammeter readings are given: the first is 10 A, the second is 5 A,

X_{L1} = 20 Ом, X_M = 10 Ом / Ohm.

Шешімі

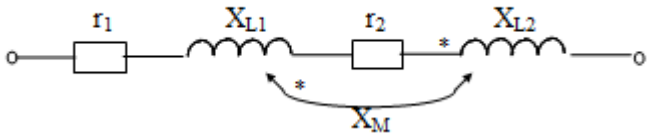
Индукторлардың қосылуын ескере отырып вольтметрдің көрсеткіші мына формула бойынша

Solution

Taking into account the fact that the inductors are switched on according to the voltmeter reading is according to the formula

$$U = X_{L1} I_1 + X_M I_2 = 200 + 50 = 250\ В / V.$$

Есеп / Task 2.7.3



2.23-сурет / Figure 2.23

Берілгені: | Given:

$\underline{U}= 100\,e^{-j60^0}$ В / V; $r_1 = 20$ Ом / Ohm; $r_2 = 15$ Ом / Ohm;

X_{L1}=30 Ом / Ohm; X_{L2}= 25 Ом / Ohm; X_M = 20 Ом / Ohm.

і тізбектің лездік тогын табыңыз. | Find the instantaneous current of the circuit i.

Шешімі | **Solution**

Индуктивті байланысқан катушкалардың қарама - қарсы қосылуын ескере отырып, тізбектің күрделі кедергісі | Complex resistance of the circuit taking into account the counter-inclusion of inductively coupled coils

$$\underline{Z} = r_1 + r_2 + jX_{L1} + j\,X_{L2} - 2jX_M = 35 + j\,35 = 49.35\angle 45^0 \text{ Ом / Ohm.}$$

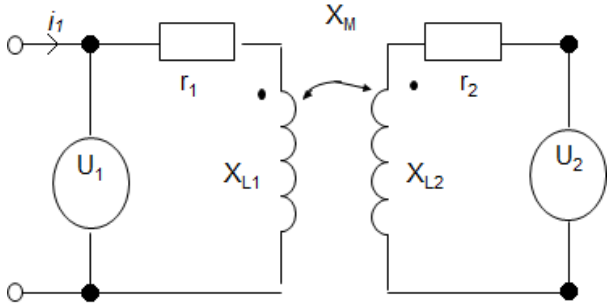
Кешенді түрдегі Ом заңына сәйкес тізбектің күрделі тогы | Complex circuit current according to Ohm's law in complex form

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{100e^{-j60^0}}{49{,}35e^{j45^0}} = 2{,}03^{-j105^\circ}\,A.$$

Лездік ток тізбегі | Instantaneous circuit current

$$i = \sqrt{2}\cdot 2.03\sin(\omega t - 105^0) = 2.86\sin(\omega t - 105^0).$$

Есеп / Task 2.7.4



2.24-сурет / Figure 2.24

Оқылымды анықтау әуе трансформаторының шығысындағы V_2 вольтметр, егер бастапқы ораманың қысқыштарындағы кернеу (көздің кернеуі)	Determine the voltmeter reading V_2 at the output of the air transformer, if the voltage at the terminals of the primary winding (source voltage)

$$U_{V1} = U_1 = 10 \text{ В / V};$$

бастапқы ораманың параметрлері	parameters of the primary winding

$$r_1 = 3 \text{ Ом / Ohm}, X_{L1} = 4 \text{ Ом / Ohm};$$

өзара кедергі трансформатордың бастапқы және қайталама орамалар арасындағы индукция	mutual induction resistance between the primary and secondary windings of the transformer

$$X_M = 2 \text{ Ом / Ohm}.$$

Шешімі

Ауа трансформаторы бос жұмыс режимінде жұмыс істейді, өйткені вольтметрдің кедергісі үлкен, пассивті тізбек элементтерінің кедергісі бірнеше тапсырыс бойынша көп. Сондықтан қайталама ораманың тогы нөлге тең; V_2 вольтметрі i_1 бастапқы орамасының айнымалы токымен екінші орамада индукцияланған $E_{2м}$ өзара индукциясының ЭҚК өлшейді.

Ом заңына сәйкес бастапқы ораманың ағымдағы мәні

Solution

The air transformer operates in idle mode, since the resistance of the voltmeter is large, several orders of magnitude greater than the resistances of the passive elements of the circuit. Therefore, the secondary winding current is zero; voltmeter V_2 measures the EMF of mutual induction $E_{2м}$, induced in the secondary winding by alternating current of the primary winding i_1.

The effective value of the primary winding current according to Ohm's law

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{r_1^2 + X_{L1}^2}} = \frac{10}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = \frac{10}{5} = 2\ A.$$

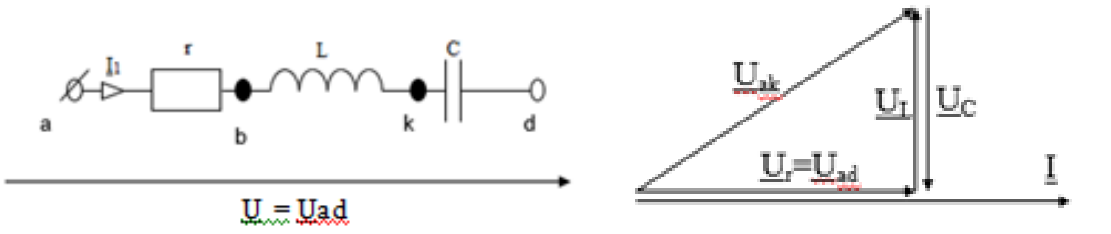
V_2 вольтметрімен өлшенетін $E_{2м}$ өзара индукциясының ЭҚК мынадай формула бойынша есептеледі:

Mutual induction EMF $E_{2м}$, measured by a voltmeter V_2, calculated by the formula

$$U_2 = E_{2м} = X_M I_1 = 2 \cdot 2 = 4\ B/V.$$

2.8 Резонанс режимдері
Resonance modes

Есеп/Task 2.8.1



2.25-сурет / Figure 2.25

Кернеудің резонанстық режиміндегі U_{ad} кернеуін табыңыз (КРР).

Find the voltage U_{ad} in the voltage resonance mode (RRN).

Берілген:

Given:

$U_{ak} = 20$ В / V, $U_{kd} = 12$ В / V.

Шешімі

Мәселе КРР -де тізбектегі токтың күрделі векторына қатысты кернеулердің векторлық диаграммасын (ВД) құру арқылы шешіледі. КРР шарттарына сүйене отырып

Solution

The problem is solved by constructing a vector diagram (VD) of voltages relative to the complex vector of the circuit current in the RRN. Based on the RRN condition

$$X_L = X_C$$

L және C кернеулерінің белсенді мәндері бір-біріне тең екенін аламыз

we obtain that the effective values of the stresses on L and C are equal to each other

$U_L = U_C$ (схемада $U_{bk} = U_{kd}$).

Бірақ $\underline{U}_L$ индуктивтілігінің және $\underline{U}_C$ сыйымдылығының күрделі векторлары антифазада (ВД қараңыз) және КРР -де бір-бірін өзара өтейді. Нәтижесінде тізбектің жалпы кернеуі резистордағы кернеуге тең r (КРР -де тізбек таза белсенді)

But complex vectors of inductance voltages $\underline{U}_L$ and capacities $\underline{U}_C$ are in the opposite phase (see VD) and in the RNR they mutually compensate each other. As a result, the total voltage of the circuit is equal to the voltage on the resistor r (in the RNR, the circuit is purely active)

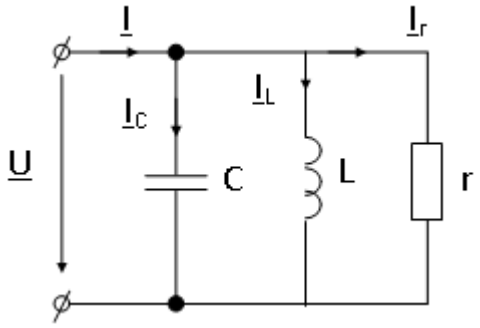
$$\underline{U} = \underline{U}ad = \underline{U}_r = \underline{U}_{ab.}$$

ВД-дан КРР -дегі тізбектің жалпы кернеуі мынадай формула бойынша анықталады

Based on the VD , the total voltage of the circuit in PH is determined by the formula

$$U = U_{ad} = U_r = \sqrt{U_{ak}^2 - U_L^2} = \sqrt{U_{ak}^2 - U_{kd}^2} = 16B./\text{V}$$

Есеп / Task 2.8.2



2.26-сурет / Figure 2.26

Егер тармақтағы ток	Determine the current total current I, if the current in the branch with the capacity

$$I_c = 2 \text{ A / V}$$

элементтердің кедергісі	resistances of elements

$$r = 2 \text{ Ом / Ohm}, X_C = X_L = 5 \text{ Ом / Ohm}.$$

болса, жалпы I токты анықтаңыз.	
Шешімі	**Solution**
Индуктивтілік пен конденсатордың кедергісі сәйкесінше олардың өткізгіштігіне тең	The inductance and capacitor resistances are equal, respectively, and their conductivities are equal

$$b_L = b_C = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C} = 0.2 См. / \text{Sm}$$

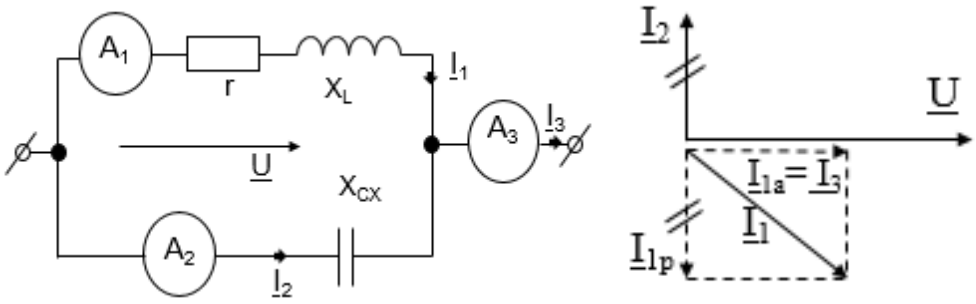
Тізбекте токтың резонанстық режимі (РРТ) бар, сондықтан жалпы тармақтың тогы R резисторы бар тармақтың тогына тең	The circuit has a current resonance mode (PPT), so the current of the common branch is equal to the current of the branch with the resistor r

$$I = I_r = \frac{U}{r} = \frac{10}{2} = 5A,$$

көздің кернеуі мұнда | where is the source voltage

$$U = X_C * I_C = 5*2 = 10 \text{ В / V}.$$

Есеп / Task 2.8.3



2.27-сурет / Figure 2.27

Егер РРТ схемасында болса, үшінші амперметрдің оқылуын табыңыз; бірінші амперметрдің оқылуы 10 А, екіншісі – 8А.

Шешімі

РРТ-да индуктивтілік пен конденсатордағы токтардың белсенді мәндері тең. Сондықтан шартты түрде $\underline{I}_1$ бірінші тармағының күрделі тогын белсенді $\underline{I}_{1a}$ және реактивті $\underline{I}_{1p} = \underline{I}_L$ екі есептеу компоненттерінің күрделі (векторлық) қосындысы түрінде ұсынамыз (ВД қараңыз)

Find the reading of the third ammeter, if in the PPT scheme; the reading of the first ammeter is 10 A, the second is 8A.

Solution

In PPT, the effective values of the currents in the inductance and the capacitor are equal to each other. Therefore, we conditionally represent the complex current of the first branch I_1 as a complex (vector) sum of two calculated components active I_{1a} and reactive $I_{1p} = I_L$ (see VD)

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{1a} + \underline{I}_{1p}.$$

РРТ-да $I_{1р}$ бірінші тогының реактивті компонентінің және $I_C = I_2$ екінші тармағының сыйымдылық тогының белсенді мәндері тең. Бірақ күрделі векторлар $\underline{I}_{1р}$, $\underline{I}_C = \underline{I}_2$ антифазада болады және бір-бірін өзара өтейді (ВД қараңыз). Сондықтан I_3 жалпы тармағының тогы $I_{1а}$ бірінші тогының белсенді компонентіне тең (РРТ таза активті тізбек болып саналады)

In PPT, the effective values of the reactive component of the first current I_{1p} and the capacitive current of the second branch $I_C = I_2$ are equal. But the complex vectors $\underline{I}_{1р}$, $\underline{I}_C = \underline{I}_2$ are in antiphase and mutually compensate each other (see VD). Therefore, the current of the common branch I_3 is equal to the active component of the first current I_{1a} (the circuit in the PPT is purely active)

$$I_3 = I_{1a} = \sqrt{I_1^2 - I_2^2} = \sqrt{10^2 - 8^2} = 6A.$$

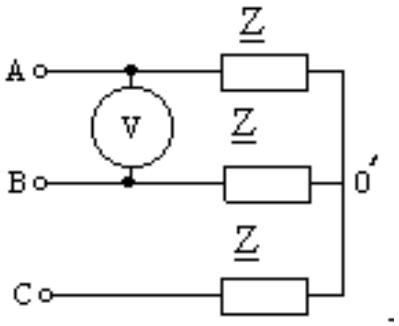
3 Үш фазалы синусоидалы токтың сызықты электр тізбектері

Linear electric circuits of three-phase sinusoidal current

3.1 Жұлдызша қосылған кезде симметриялы үш фазалы тізбек

Symmetrical three-phase circuit with star connection

Есеп / Task 3.1.1



3.1-сурет / Figure 3.1

Сызықтық токты анықтаңыз, егер

Determine the linear current if

$$U_V = 220 \text{ В / V},\ \underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = 10 \text{ Ом / Ohm}.$$

Бір фазаның және үш фазалы симметриялы тізбектің толық қуатын табыңыз.

Find the total power of a single phase and a three-phase symmetric circuit.

Шешімі

Вольтметр сызықтық кернеуді өлшейді (вольтметр тармақтар (фазалар) арасында қосылады).

Сондықтан біз фазалық кернеуді табамыз (қабылдағыштың фазаларына кедергілер кіреді)

Solution

The voltmeter measures the line voltage (the voltmeter is switched on between the lines (phases).

Therefore, we find the phase voltage (resistances are included in the receiver phases)

$$U_Ф = \frac{U_Л}{\sqrt{3}} = \frac{220}{1{,}73} = 127B.$$

Жұлдызша қосылған кезде сызықтық ток фазалыққа тең болады (тармақ пен фаза тізбектей жалғанған)	When connecting a star, the linear current is equal to the phase current (the line and phase are connected in series)

$$I_{Ф} = I_{Л} = \frac{U_{ф}}{Z} = \frac{127}{10} = 12.7A.$$

Бір фазаның толық қуаты	Full power of one phase

$$S = U_{ф}I_{ф} = 127 \cdot 12,7 = 1612,9 \text{ ВА / VA.}$$

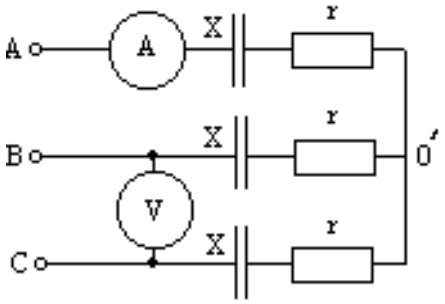
Үш фазалы тізбектің жалпы қуаты	Full power of the three-phase circuit

$$S_{3ф} = 3U_{ф}I_{ф} = 3*1612,9 = 4,84 \text{ КВА / KVA.}$$

Симметриялы үшфазалы тізбектің толық қуаты	Full power of a symmetrical three-phase circuit

$$S_{3Ф} = \sqrt{3}U_{л}I_{л} = 1,73 \bullet 220 \bullet 12,7 = 4.83KBA./ \text{ KVA}$$

Есеп / Task 3.1.2



3.2-сурет / Figure 3.2

Вольтметрдің оқылуын табыңыз. Егер амперметрдің көрстекіші,	Find the voltmeter reading if the ammeter reading is

$$I_A = 2 \text{ А, r =60 Ом / Ohm, } X_C = 80 \text{ Ом / Ohm}$$

Шешімі

Амперметр фазалық токты өлшейді (тізбек фазасындағы ток), ол жұлдызша қосылған кезде сызықтыққа тең болады.

Ом заңы бойынша фазалық кернеудің (фазалық кернеудің) ағымдағы мәнін есептейміз)

Solution

The ammeter measures the phase current (the current in the phase of the circuit), which is equal to the linear one when the star is connected.

According to Ohm's law, we calculate the effective value of the phase voltage (phase voltage)

$$U_{\phi} = IZ = 2*100 = 200B, / \text{ V}$$

мұнда z – фазаның толық кедергісі.

where z is the total phase resistance

$$\text{Z} = \sqrt{r^2 + X_C^2} = \sqrt{60^2 + 80^2} = 100 \text{ Ом /Ohm}$$

Вольтметр сызықтық кернеуді өлшейді

The voltmeter measures the line voltage

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{\phi} = 1{,}73*200 = 346B./\text{V}$$

Есеп / Task 3.1.3

Симметриялы үш фазалы тізбекте жұлдыз қосылған кезде С фазаның күрделі тогы

In a symmetrical three-phase circuit , when a star is connected , the complex current of phase C is equal to

$$\underline{\text{I}}_{\text{C}} = 2 \angle \text{-}30^0 \ A$$

тең болады. А және В фазаларының күрделі токтарын табыңыз.

Find the complex currents of phases A and B.

Шешімі

Симметриялы жұлдызшада үш фазалы токтардың симметриялы жүйесі пайда болады (фазалық токтар бірдей, бірақ фазада бір – біріне

Solution

In a symmetrical star, a symmetrical system of three-phase currents is formed (the phase currents are the same in magnitude,

қатысты $+120^o$ немесе -120^o ауысады).

but shifted in phase relative to each other by $+120^o$ or -120^o).

С фазасының тогы а фазасының тогынан $+120^0$ асып түседі, осыны ескере отырып, А фазасының кешенді тогы С фазасының тогынан 120^0 -ға артта қалады

The current of phase C is ahead of the current of phase A by $+120^0$, with this in mind, the complex current of phase A lags behind the current of phase C on 120^0

$$\underline{I}_A = 2\angle\text{-}150^0\ A.$$

В фазасының күрделі тогы А фазасының тогынан артта қалады -120^0, яғни В фазасының тогы болады

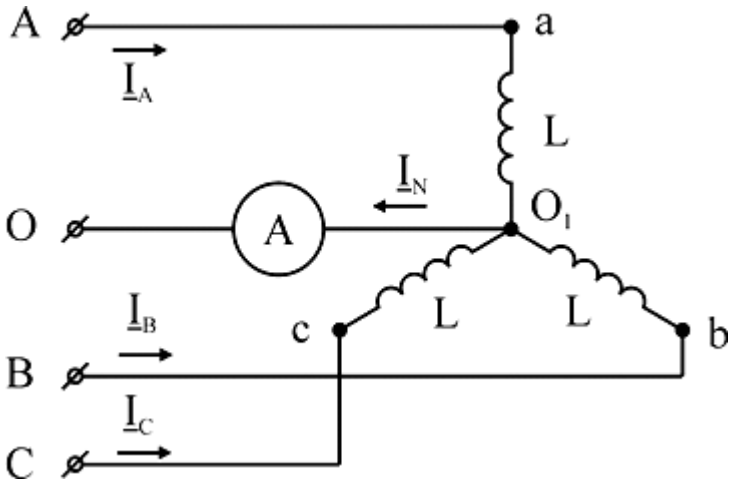
The complex current of phase B lags behind the current of phase A by -120^0, that is, the current of phase B is equal to

$$\underline{I}_B = 2\angle\text{-}270^0\ A = 2\angle 90^0\ A.$$

3.2 Жұлдызша қосылған кезде симметриялық емес үш фазалы тізбек

An asymmetric three-phase circuit with a star connection

Есеп / Task 3.2.1



3.3-сурет / Figure 3.3

Берілген: $U_л$=380 В-симметриялы үш фазалы көздің сызықтық кернеуі. Асимметриялық жүктеме фазаларының күрделі кедергісі.

Given: $U_л$=380 В – the linear voltage of a symmetrical three-phase source. Complex phase resistances of an asymmetric load.

$$\underline{z}_A = j20\,Ом;\ \underline{z}_B = j10\,Ом;\ \underline{z}_C = j10\,Ом\,/Ohm$$

Жүктеме фазаларында токтарды табыңыз. Бейтарап сымға қосылған амперметрдің көрсеткіштерін анықтаңыз.

Find the currents in the load phases. Determine the reading of the ammeter connected to the neutral wire.

Шешімі

Симметриялы көздің әр фазасының кернеуі

Solution

Voltage of each phase of the symmetrical source

$$\underline{U}_A = U_Ф = 220\,B;$$

$$\underline{U}_B = U_Ф \cdot e^{-j120^0} = 220e^{-j120^0}\,B;$$

$$\underline{U}_C = U_Ф \cdot e^{j120^0} = 220e^{j120^0}\,B,$$

$$U_Ф = \frac{U_л}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\,B$$

.

Біз жүктеме фазаларындағы токтарды Ом заңы бойынша күрделі түрде анықтаймыз, өйткені $U_{0^1 0}$ бейтарап ығысу нөлге тең $(\underline{Z}_N = 0)$, онда

We define the currents in the load phases according to Ohm's law in a complex form, since the neutral offset $U_{0^1 0}$ is equal to $(\underline{Z}_N = 0)$, then

$$\underline{I}_A = \frac{U_A}{\underline{Z}_A} = \frac{220}{j20} = 11e^{-j90^0}\,A;$$

$$\underline{I}_B = \frac{U_B}{\underline{Z}_B} = \frac{220e^{-j120^0}}{j10} = 22e^{-j210^0}\,A;$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C} = \frac{220e^{120^0}}{j10} = 22e^{j30^0} A.$$

Амперметрдің көрсеткішін анықтау үшін нөлдік сымнан ток табу керек. I Заңға сәйкес, Кирхгоф кешенді түрде

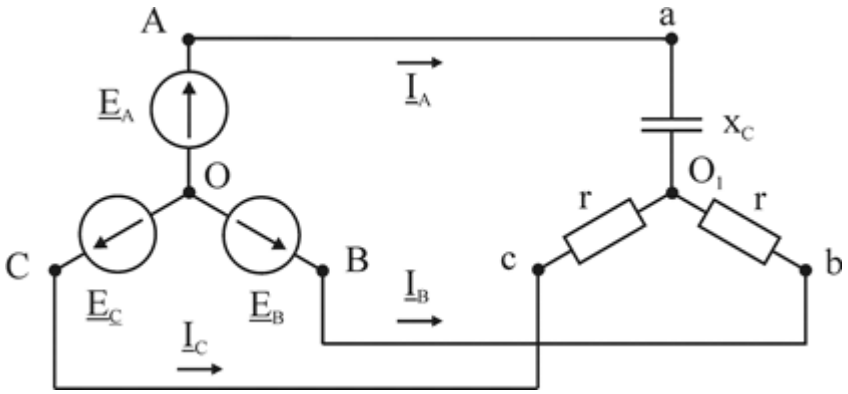
To determine the ammeter reading, it is necessary to find the current in the zero wire. According to Kirchhoff 's I law in complex form we have

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 11e^{-j90^0} + 22e^{-j210^0} + 22e^{j30^0} =$$
$$= -j11 - 19{,}05 + j11 + 19{,}05 + j11 = j11 = 11\angle 90^0 A.$$

Амперметрдің көрсеткіші 11 А-ға тең.

The ammeter reading is 11 A.

Есеп / Task 3.2.2



3.4-сурет / Figure 3.4

Берілгені: симметриялы үш фазалы көздің ЭҚҚ фазасы

Given: EMF phase of a symmetrical three-phase source

$$E_\Phi = 127 \text{ В}; \; x_c = r = 10 \text{ Ом/Ohm}$$

фазалардың кедергісі, қабылдағыш.

- phase resistance of the receiver.

Қабылдағыштың А, В, С фазаларындағы токтарды табу

Find currents in phases A, B, C of the receiver

Шешімі

Симметриялық генератор фазаларындағы күрделі ЭҚҚ

Solution

Complex EMF in phases of a symmetric generator

$$\underline{E}_A = 127B; \quad \underline{E}_B = 127e^{-j120^0}B; \quad \underline{E}_C = 127e^{j120^0}B./\ \text{V}$$

Жүктеме асимметриялы болғандықтан, бейтарап ығысу кернеуін генератор (көз) Мен қабылдағыштың бейтарап нүктелері арасындағы екі түйін әдісімен 0 және 0_1

Since the load is asymmetric, it is necessary to determine the neutral offset voltage by the method of two nodes between the neutral points of the generator (source) and receiver 0 and 0_1

$$\underline{U}_{0_1 0} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \frac{\underline{E}_A \cdot \frac{1}{-jx_c} + \underline{E}_B \cdot \frac{1}{r} + \underline{E}_C \cdot \frac{1}{r}}{\frac{1}{-jx_c} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r}} =$$

$$= \frac{127 \cdot \frac{1}{-j10} + 127e^{-j120^0} \cdot \frac{1}{10} + 127e^{j120^0} \cdot \frac{1}{10}}{\frac{1}{-j10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10}} =$$

$$= \frac{12{,}7e^{j90^0} + 12{,}7e^{-j120^0} + 12{,}7e^{j120^0}}{0{,}1e^{j90^0} + 0{,}1 + 0{,}1} = \frac{j12{,}7 - 6{,}35 - j11 - 6{,}35 + j11}{0{,}22e^{j26{,}57^0}} =$$

$$= \frac{-12{,}7 + j12{,}7}{0{,}22e^{j26{,}57^0}} = \frac{17{,}96e^{j135^0}}{0{,}22e^{j26{,}57^0}} = 81{,}64e^{j108{,}43}B.$$

Нейтралдың ығысу кернеуін ескере отырып, жүктеменің әр фазасындағы кернеу

Voltage at each phase of the load, taking into account the offset voltage of the neutral

$$\underline{U}_{A0_1} = \underline{E}_A - \underline{U}_{0_1 0} = 127 - 81{,}64e^{j108{,}43^0} = 127 + 25{,}81 - j44{,}45 = 152{,}81 -$$

$$- j77{,}45 = 171{,}32e^{-j26{,}88^0}B;$$

$$\underline{U}_{B0_1} = \underline{E}_B - \underline{U}_{0_10} = 127e^{-j120^0} - 81{,}64e^{j108{,}43^0} = -63{,}5 - j109{,}99 + 25{,}81 -$$

$$- j77{,}45 = -37{,}69 - j187{,}44 = 191{,}19e^{-j101{,}37^0}\,B;$$

$$\underline{U}_{C0_1} = \underline{E}_C - \underline{U}_{0_10} = 127e^{j120^0} - 81{,}64e^{j108{,}43^0} = -63{,}5 - j109{,}99 + 25{,}81 -$$

$$- j77{,}45 = -37{,}69 - j32{,}54 = 49{,}79e^{j139{,}19^0}\,B.$$

Ом заңы бойынша жүктеменің А. В, С фазаларындағы токтар кешенді түрде былай есептеледі

Currents, respectively, in phases A. B, C of the load according to Ohm's law in a complex form are calculated as follows

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_{A0_1}}{\underline{Z}_A} = \frac{171{,}32e^{-j26{,}88^0}}{-j10} = 17{,}13e^{j63{,}12^0}\,A;$$

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_{B0_1}}{\underline{Z}_B} = \frac{191{,}19e^{-j101{,}37^0}}{10} = 19{,}12e^{-j101{,}37^0}\,A;$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_{C0_1}}{\underline{Z}_C} = \frac{49{,}79e^{j139{,}19^0}}{10} = 4{,}98e^{j139{,}119^0}\,A;$$

Қолданыстағы фазалық токтар А, В, С

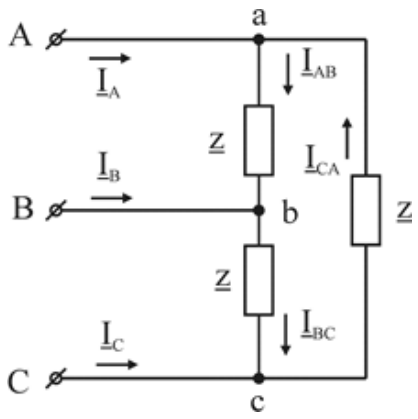
Operating currents of phases A, B, C

$$I_A = 17{,}13A;\ I_B = 19{,}12A;\ I_C = 4{,}98A.$$

3.3 Үшбұрышты қосу кезіндегі симметриялы үш фазалы тізбек

Symmetrical three-phase circuit with triangle connection

Есеп / Task 3.3.1



3.5-сурет / Figure 3.5

Ом фазалық $\underline{z} = 11 - j19$ Ом кедергісі бар симметриялы қабылдағыш үшбұрышқа қосылады, 220 В сызықты кернеуі бар симметриялы үш фазалы көзден қоректенеді. қабылдағыш фазаларының күрделі токтарын және сызықтық токтарды табыңыз.

Шешімі

Үшбұрышпен байланысқан кезде сызықтық кернеулер фазаға тең болады

Symmetrical receiver with phase resistance $\underline{z} = 11 - j19$ Ohm is connected in a triangle, powered by a symmetrical three-phase source with a line voltage of 220V. Find the complex currents of the receiver phases and linear currents.

Solution

When connected by a triangle, the line voltages are equal to the phase voltages

$$U_л = U_ф = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$$

(қолданыстағы мәндер).

Симметриялы үш фазалы тізбектегі комплексті фазалық кернеулер

(valid values).

Complex phase voltages in a symmetrical three-phase circuit

$$\underline{U}_{AB} = 220B; / \text{ V} \quad \underline{U}_{BC} = a^2 \underline{U}_{AB} = 220\angle -120^0 B; / \text{ V}$$

$$\underline{U}_{CA} = a\underline{U}_{AB} = 220\angle 120^0 B. / \text{V}$$

Симметриялық тізбекте фазалық және сызықтық токтардың симметриялы жүйесі орнатылады (токтар бірдей, бірақ фазаға $\pm 120^0$-қа ауысады).

A symmetrical system of phase and linear currents is installed in a symmetrical circuit (the currents are the same in magnitude, but shifted in phase by $\pm 120^0$).

«АВ» фазасының тогы

Current of the «AB» phase

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{z}} = \frac{220}{11 - j19} = 10\angle 60^0 A.$$

«ВС» фазасының тогы

Current of the «BC» phase

$$\underline{I}_{BC} = a^2 \underline{I}_{AB} = 10\angle -60^0 A;$$

«СА» фазасының тогы

Current of the «CA» phase

$$\underline{I}_{CA} = a\underline{I}_{AB} = 10\angle 180^0 A.$$

«А» желісінің сызықтық тогы

Line current of line «A»

$$\underline{I}_A = \sqrt{3}\underline{I}_{AB} e^{-j30^0} = 17{,}3\angle 30^0 A.$$

«В» желісінің сызықтық тогы

Line current of line «A»

$$\underline{I}_B = a^2 \underline{I}_A = 17{,}3\angle -90^0 A; \text{ or } \underline{I}_B = \sqrt{3}\underline{I}_{BC}\angle -30^0.$$

«С» желісінің сызықтық тогы

Line current of line «C»

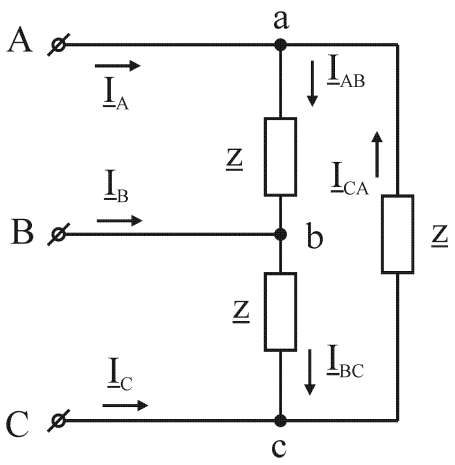
$$\underline{I}_C = a\underline{I}_A = 17{,}3\angle 150^0 A;$$

немесе

or

$$\underline{I}_C = \sqrt{3}\underline{I}_{CA}\angle -30^0.$$

Есеп / Task 3.3.2



3.6-сурет / Figure 3.6

Бұл симметриялы үшфазалы тізбек қабылдағыштың фазалық кедергісі z = 60 + j80, Ом. Желілік кернеу 220В. Кешенді фазалық токтар мен сызықтар, үш фазалы тізбектің күрделі қуатын табу.

In a symmetrical three-phase circuit, the phase resistance of the receiver $\underline{z}$ = 60 + j80, Ohm. The line voltage is 220V. Find the complex currents of phases and lines, the complex power of a three-phase circuit.

Шешімі

Симметриялық тізбекте фазалық және сызықтық токтардың симметриялы жүйесі орнатылады (токтар бірдей, бірақ фазаға $\pm 120^0$-қа ауысады).

Solution

A symmetrical system of phase and linear currents is installed in a symmetrical circuit (the currents are the same in magnitude, but shifted in phase by $\pm 120^0$).

«АВ» фазасының тогы

Current of the «AB» phase

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{z}} = \frac{220}{60 + j80} = \frac{220}{100e^{j53^0}} = 2{,}2\angle -53^0 A.$$

«ВС» фазасының тогы

Current of the «BC» phase

$$\underline{I}_{BC} = a^2 \underline{I}_{AB} = 2{,}2\angle -173^0 A;$$

«СА» фазасының тогы

Current of the «CA» phase

$$\underline{I}_{CA} = a\underline{I}_{AB} = 2{,}2\angle 67^0\, A.$$

«А» желісінің сызықтық тогы | Line current of line «А»

$$\underline{I}_A = \sqrt{3}\underline{I}_{AB}e^{-j30^0} = 3{,}8\angle -83^0\, A.$$

«В» желісінің сызықтық тогы | Line current of line «В»

$$\underline{I}_B = a^2\underline{I}_A = 3{,}8\angle -203^0\, A;\ \text{немесе}\ \underline{I}_B = \sqrt{3}\underline{I}_{BC}\angle -30^0.$$

«С» желісінің сызықтық тогы | Line current of line «С»

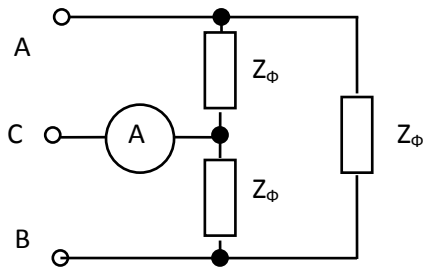
$$\underline{I}_C = a\underline{I}_A = 3{,}8\angle 37^0\, A;\ \text{немесе}\ \underline{I}_C = \sqrt{3}\underline{I}_{CA}\angle -30^0.$$

Симметриялық үш фазалы тізбектің кешенді қуаты | Complex power of a symmetrical three-phase circuit

$$\tilde{S} = 3\underline{U}_{AB}\overset{*}{I}_{AB} = 3\cdot 220\cdot 2.2e^{j53^0} = 1452e^{j53^0} = 873.84 + j1159.62, BA.$$

Симметриялық үш фазалы тізбектің толық қуаты (кешенді қуат модулі) | Full power of a symmetrical three-phase circuit (integrated power module)

Есеп / Task 3.3.3



3.3.3-сурет / Figure 3.3.3

Егер сызықтық кернеу 380 В болса, амперметрдің оқылуын табыңыз, симметриялы қабылдағыштың фазалық кедергісі $Z_Ф$ = 100 Ом. | Find the ammeter reading if the line voltage is 380 V, the phase resistance of the symmetrical receiver $Z_Ф$ = 100 Ом/Ohm.

Шешімі Ом заңы бойынша фазалық ток	**Solution** Phase current according to Ohm's law

$$I_{\phi} = \frac{U}{Z_{\phi}} = \frac{380}{100} = 3{,}8A.$$

Амперметр сызықтық токты өлшейді	Phase current according to Ohm's law

$$I_A = I_Л = \sqrt{3} I_Ф = 6.57A.$$

3.4 Үшбұрышты қосу кезіндегі асимметриялық үш фазалы тізбек

Asymmetric three-phase circuit when connecting a triangle

Есеп / Task 3.4.1

Симметриялы емес фазалық жүктеме үшбұрышпен қосылған.	An asymmetric three-phase load is connected by a triangle.
Фазалық кедергі	Phase resistances

$$\underline{z}_{AB} = -j\, x_C;\ \underline{z}_{BC} = r;\ \underline{z}_{CA} = j\, x_L.$$

$$r = x_L = x_C = 100 \text{ Ом}$$

Тізбектің сызықтық кернеуі 200 В. Қуат көзі симметриялы.	The line voltage of the circuit is 200 V. The power supply is symmetrical.
$\underline{I}_{AB}$; $\underline{I}_{BC}$; $\underline{I}_{CA}$ фазалық токтарын табыңыз және $\underline{I}_B$ сызықты күрделі тогы.	Find complex phase currents $\underline{I}_{AB}$; $\underline{I}_{BC}$; $\underline{I}_{CA}$ and linear complex current $\underline{I}_B$.
Шешімі	**Solution**
Ом заңы бойынша «АВ» фазасының тогы	The current of the «AB» phase according to Ohm's law

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{200}{-j100} = 2\angle 90^0 A.$$

«ВС» фазасының тогы | Current of the «ВС» phase

$$\underline{I}_{BC} = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = \frac{200e^{-j120^0}}{100} = 2\angle -120^0 A.$$

«СА» фазасының тогы | Current of the «СА» phase

$$\underline{I}_{CA} = \frac{\underline{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = \frac{200e^{j120^0}}{j100} = 2\angle 30^0 A.$$

Желі тогы «В» $\underline{I}_B$ | Current of "ВС" $\underline{I}_B$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB} = 2e^{-j120^0} - 2e^{j90^0} = 3{,}86e^{j75^0} = 3.86\angle 75^0 A.$$

Есеп / Task 3.4.2

Жүктеме фазаларының кедергісі | Load phase resistance

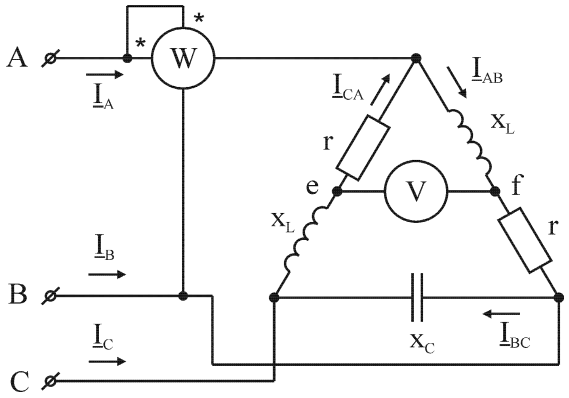
$r = 22$ Ом / Ohm, $X_L = X_C = 11 Ом,$ / Ohm $U_л = 380 B$ / V

- симметриялы көздің сызықтық кернеуі.

Вольтметр мен ваттметрдің көрсеткіштерін табыңыз. Сызықтық сымдардағы кешенді токтарды анықтаңыз (сызықтық токтар).

- line voltage of a symmetrical source.

Find the voltmeter and wattmeter readings. Determine complex currents in linear wires (linear currents).



3.4.2 сурет / Figure 3.4.2

Шешімі

Үшбұрыш қосылған кезде фазалық кернеу сызыққа тең болады

Solution

When connecting a triangle, the phase voltage is linear

$$U_Ф = U_Л = 380 \text{ В./ V}$$

Үш фазалы симметриялы көздің фазалық кернеулері

Phase voltages of a three-phase symmetric source

$$\underline{U}_{AB} = 380B; \quad \underline{U}_{BC} = 380e^{-j120^0} B; \quad \underline{U}_{CA} = 380e^{j120^0} B./\text{V}$$

Жүктеменің әр фазасындағы токтар Ом заңы бойынша кешенді түрде анықталады

The currents in each phase of the load are determined by Ohm's law in a complex form

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{\underline{U}_{AB}}{r + jx_L} = \frac{380}{22 + j11} = \frac{380}{24{,}6e^{j26{,}57^0}} = 15{,}45e^{-j26{,}57^0} A;$$

$$\underline{I}_{BC} = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = \frac{\underline{U}_{BC}}{-jx_C} = \frac{380e^{-j120^0}}{-j11} = 34{,}55e^{-j30^0} A;$$

$$\underline{I}_{CA} = \frac{\underline{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = \frac{\underline{U}_{CA}}{r + jx_L} = \frac{380e^{j120^0}}{22 + j11} = \frac{380e^{j120^0}}{24{,}6e^{j26{,}57^0}} = 15{,}45e^{j93{,}43^0} A.$$

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша сызықтық токтарды кешенді түрде табамыз

Linear currents are found by Kirchhoff's first law in a complex form

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA} = 15{,}45e^{-j26{,}57^0} - 15{,}45e^{j93{,}43^0} = 13{,}82 - j6{,}91 + 0{,}92 -$$
$$- j15{,}42 = 14{,}74 - j22.33 = 26.76\angle -57^0 A;$$
$$\underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB} = 34{,}55e^{-j30^0} - 15{,}45e^{-j26{,}57^0} = 29{,}92 - j17{,}28 - 13{,}82 +$$
$$+ j6{,}91 = 16{,}1 - j10{,}37 = 19{,}15e^{-j32{,}79^0} A;$$
$$\underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC} = 15{,}45e^{j93{,}43^0} - 34{,}55e^{-j30^0} = -0{,}92 + j15{,}42 - 29{,}92 +$$
$$+ j17{,}28 = -30{,}84 + j32{,}7 = 44{,}95e^{j123{,}32^0} A.$$

Ваттметр көрсеткіші	Wattmeter reading

$$P = \mathrm{Re}(\underline{U}_{AB}\,\overset{*}{I}_A) = 380 \cdot 26{,}76\cos(0^0 + 57^0) = 5{,}5\kappa Bm. / \mathrm{kVt}$$

Вольтметрдің көрсеткішін анықтау үшін вольтметр қосылған e және f нүктелері арасындағы күрделі кернеуді табамыз	To determine the voltmeter reading, we will find the complex voltage between the points e and f to which the voltmeter is connected

$$\underline{U}_{ef} = jx_L \cdot \underline{I}_{AB} + r \cdot \underline{I}_{CA} = j11 \cdot 15{,}45e^{-j26{,}57^0} + 22 \cdot 15{,}45e^{j93{,}43^0} =$$
$$= 169{,}95e^{j63{,}43^0} + 339{,}9e^{j93{,}43^0} = 76{,}02 + j152 - 20{,}34 + j339{,}29 =$$
$$= 55{,}68 + j491{,}29 = 494{,}44e^{j83{,}53^0} B.$$

Вольтметр көрсеткіші 494 В-қа тең.	The voltmeter reading is 494 V.

4 Синусоидальды емес периодты көздер үшін сызықты электр тізбектері

Linear electric circuits with non-sinusoidal periodic sources

4.1 Синусоидальды емес периодты көздер үшін бір фазалы тізбек

Single-phase circuit with non-sinusoidal periodic sources

Есеп / Task 4.1.1

Сериялық r, L, C тізбегі синусоидалы емес к ток көзіне қосылған

The serial r, L, C circuit is connected to a non-sinusoidal current source

$$i = 10\sin\omega t + 2\sin(3\omega t + 30^0).$$

Берілгені: r = 20 Ом; X_L = 10 Ом; X_C = 30 Ом (реакативті элементтердің кедергілері бірінші гармоника бойынша).

Электр тізбегінің барлық элементтеріндегі, көздегі лездік кернеулерді, сондай-ақ электр тізбегі мен кернеудің ағымдағы мәндерін табыңыз.

Given: r = 20 Ohm; X_L = 10 Ohm; X_C = 30 Ohm (the resistances of the reactive elements are given by the first harmonic).

Find the instantaneous voltages on all elements of the circuit, on the source, as well as the effective values of the circuit current and the source voltage.

Шешімі.

Бастапқы Ток құрамында бірінші және үшінші гармоника бар. Тізбек сызықты, сондықтан біз суперпозиция (қабаттасу) әдісін қолданамыз.

Біз бірінші гармоника бойынша элементтердегі кернеуді табамыз.

r резисторында (белсенді кедергі) ток пен кернеу фазада сәйкес келеді

Solution.

The source current contains the first and third harmonics. The chain is linear, so we use the superposition (superposition) method.

We find the voltage on the elements by the first harmonic.

On resistor r (active resistance) current and voltage coincide in phase

$$u_{r_1} = r * i_1 = 20 * 10\sin\omega t = 200\sin\omega t;$$

- индуктивтілікте кернеу 90^0 токтан алда

- on the inductance , the voltage is ahead of the current by 90^0

$$u_{L_1} = 10*10\sin(\omega t + 90^0) = 100\sin(\omega t + 90^0);$$

Сыйымдылық элементінде кернеу токтан 90^0 артта қалады

On the capacitive element , the voltage lags behind the current by 90^0

$$u_{C_1} = 30*10\sin(\omega t - 90^0) = 300\sin(\omega t - 90^0);$$

Бірінші гармоника тізбегінің жалпы кернеуінің күрделі амплитудасын (көздегі кернеу) Кирхгофтың екінші заңы бойынша күрделі түрде табамыз

The complex amplitude of the total voltage of the first harmonic circuit (voltage at the source) is found by the second Kirchhoff law in the complex form

$$\underline{U}_{m_1} = \underline{U}_{r_{1m}} + \underline{U}_{L_{1m}} + \underline{U}_{C_{1m}} = 200 + j100 - j300 = 200 - j200 == 282{,}8e^{-j45^0} B.$$

Бірінші гармоника бойынша көздің лездік кернеуі

Instantaneous voltage of the source according to the first harmonic

$$u_1 = 282{,}8\sin(\omega t - 45^0).$$

Токтың үшінші гармоникасы бойынша есептеу:

- резистордағы кернеу

Calculation of the third harmonic of the current:

- voltage on the resistor

$$u_{r_3} = 20*2\sin(3\omega t + 30^0) = 40\sin(3\omega t + 30^0);$$

- индуктивтіліктегі кернеу

- inductance voltage

$$u_{L_3} = 30*2\sin(3\omega t + 30^0 + 90^0) = 60\sin(3\omega t + 120^0);$$

- сыйымдылықтағы кернеу

- voltage on the capacitance

$$u_{C_3} = 10*2\sin(3\omega t + 30^0 - 90^0) = 20\sin(3\omega t - 60^0);$$

- үшінші гармониканың жалпы кернеуінің кешенді амплитудасы

- the complex amplitude of the total voltage of the third harmonic

$$\underline{U}_{m3} = 40e^{j30^0} + 60e^{j120^0} + 20e^{-j60^0} = 56{,}57e^{j75^0}\ B./\mathrm{V}$$

- үшінші гармоника көзінің лездік кернеуі	- instantaneous voltage of the third harmonic source

$$u_3 = 56{,}57\sin(3\omega t + 75^0).$$

Синусоидалды емес кернеу көзінің лездік мәні	Instantaneous value of the non-sinusoidal voltage of the source

$$u = 282{,}8\sin(\omega t - 45^0) + 56{,}57\sin(3\omega t + 75^0)$$

Ток және кернеу көзінің ағымдағы мәндері	Effective values of the current and voltage of the source

$$I = \sqrt{\left(\frac{10}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2} = 7{,}21A;$$

$$U = \sqrt{\left(\frac{282{,}8}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{56{,}57}{\sqrt{2}}\right)^2} = 203{,}93B./\mathrm{V}$$

Есеп / Task 4.1.2

R, L, C элементтері көзге параллель қосылған, көздің кернеуі бірінші, үшінші және бесінші гармоникалық компоненттерден тұрады (гармоника)	Elements R, L, and C are connected to the source in parallel. The source voltage contains the first, third, and fifth harmonic components (harmonics)

$$u = 50\sin(\omega t + 60^0) + 20\sin(3\omega t + 30^0) + 5\sin 5\omega t$$

Барлық тармақтардағы токтардың лездік және белсенді мәндерін табыңыз. Тізбектің белсенді қуатын есептеңіз. Егер ток	Calculate the active power of the circuit. Find the instantaneous and effective values of currents in all branches, including the total current of the circuit, if

ω = 500 $с^{-1}$ / s^{-1}; r = 50 Ом / Ohm; L = 0,2 Гн / Gn; C = 20 мкФ / mkF

Шешімі

Резистордағы Ток кернеумен фазаға сәйкес келеді және осы тармақтың лездік тогы

Solution

The current in the resistor coincides in phase with the voltage and the instantaneous current of this branch is equal to

$$i_r = 1\sin(\omega t + 60^0) + 0{,}4\sin(3\omega t + 30^0) + 0{,}1\sin 5\omega t$$

Резистордағы ағымдағы мәндер

Effective current values in the resistor

$$I = \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}4}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{2}}\right)^2} = 0{,}76A$$

Индуктивті қарсылықты есептеңіз:

Calculate the inductive resistance:

- бірінші гармоника үшін

- for the first harmonic

$$x_{L_1} = \omega * L = 500 * 0{,}2 = 100 \text{ Ом/Ohm};$$

- үшінші гармоника үшін

- for the third harmonic

$$x_{L_3} = 3\omega * L = 3 * x_{L_3} = 300 \text{ Ом/Ohm};$$

- бесінші гармоника үшін

- for the fifth harmonic

$$x_{L_5} = 5\omega * L = 5 * x_{L_3} = 500 \text{ Ом/Ohm}$$

Сыйымдылық кедергісін есептеңіз:

Calculate the capacitive resistance:

- бірінші гармоника үшін

- for the first harmonic

$$x_{C_1} = \frac{1}{\omega * C} = \frac{10^6}{500 * 20} = 100 \text{ Ом/Ohm};$$

- үшінші гармоника үшін

- for the third harmonic

$$x_{C_3} = \frac{1}{3\omega * C} = \frac{x_{C_1}}{3} = 33{,}3 \text{ Ом/Ohm;}$$

- бесінші гармоника үшін | - for the fifth harmonic

$$x_{C_5} = \frac{1}{5\omega * C} = \frac{x_{C_1}}{5} = 20 \text{ Ом/Ohm.}$$

Индуктивтілігі бар тармақтағы токтың лездік мәні ондағы ток фазадағы кернеуден 90^0 артта қалатынын ескере отырып есептеледі | The instantaneous value of the current in the branch with inductance is calculated taking into account the fact that the current in it lags behind the voltage in phase by 90^0

$$i_L = \frac{50}{100}\sin(\omega t + 60^0 - 90^0) + \frac{20}{300}\sin(3\omega t + 30^0 - 90^0) +$$
$$+ \frac{5}{500}\sin(5\omega t - 90^0) = 0{,}5\sin(\omega t - 30^0) +$$
$$+ 0{,}067\sin(3\omega t - 60^0) + 0{,}01\sin(5\omega t - 90^0).$$

Индуктивтіліктің ағымдағы мәні | The effective value of the current in the inductance

$$I_L = \sqrt{\left(\frac{0{,}5}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}067}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01}{\sqrt{2}}\right)^2} = 0{,}36A.$$

Токтың фазалық кернеуден 90^0 асып түсетінін ескере отырып, сыйымдылығы бар тармақтың токтың лездік мәні | The instantaneous value of the current in the branch with a capacity, taking into account that the current is ahead of the voltage in phase by 90^0

$$i_C = \frac{50}{100}\sin(\omega t + 60^0 + 90^0) + \frac{20}{33{,}3}\sin(3\omega t + 30^0 + 90^0) +$$
$$+ \frac{5}{20}\sin(5\omega t + 90^0) = 0{,}5\sin(\omega t + 150^0) +$$
$$+ 0{,}6\sin(3\omega t + 120^0) + 0{,}25\sin(5\omega t + 90^0).$$

Ыдыстағы (конденсатордағы) токтың қолданыстағы мәні

The effective value of the current in the capacitance (capacitor)

$$I_C = \sqrt{\left(\frac{0,5}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,6}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,25}{\sqrt{2}}\right)^2} = 0,58A.$$

Жалпы токтың күрделі амплитудасы Кирхгофтың бірінші заңына сәйкес күрделі түрде анықталады:

- бірінші гармоника үшін (бірінші гармоникада параллель тізбектегі токтардың резонансы L, C)

The complex amplitude of the total current is determined by Kirchhoff 's first law in a complex form:

- for the first harmonic (on the first harmonic, the resonance of currents in the parallel circuit L, C)

$$\underline{I}_{m1} = \underline{I}_{r_{1m}} + \underline{I}_{L_{1m}} + \underline{I}_{C_{1m}} = 1e^{j60^0} + 0,5e^{-j30^0} + 0,5e^{j150^0} = 1e^{j60^0} \text{ A}.$$

- үшінші гармоника үшін

- for the third harmonic

$$\underline{I}_{m3} = \underline{I}_{r_{3m}} + \underline{I}_{L_{3m}} + \underline{I}_{C_{3m}} = 0,4e^{j30^0} + 0,067e^{-j60^0} + 0,6e^{j120^0} =$$

$$= 0,67e^{j83^0} A;$$

- бесінші гармоника үшін

- for the fifth harmonic

$$\underline{I}_{m5} = \underline{I}_{r_{5m}} + \underline{I}_{L_{5m}} + \underline{I}_{C_{5m}} = 1 + 0,01e^{\,j90^0} + 0,25e^{j90^0} =$$

$$= 0,1 - j0,01 + j0,25 = 0,1 + j0,24 = 0,26e^{j67^0} \text{ A}.$$

Жалпы токтың (ток көзінің) лездік мәні

Instantaneous value of the total current (source current)

$$i = 1\sin(\omega t + 60^o) + 0,67\sin(3\omega t + 83^o) + 0,26\sin(5\omega t + 67^o).$$

Ток көзінің нақты мәні

The effective value of the current source

$$I = \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,67}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,26}{\sqrt{2}}\right)^2} = 0,87A$$

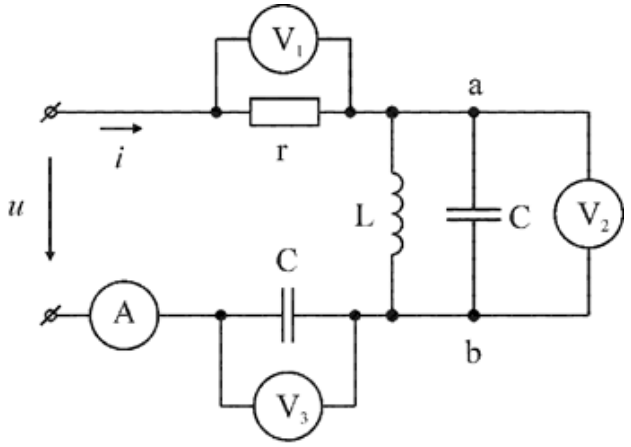
Тізбектің белсенді қуаты гармоникалық белсенді қуаттардың қосындысы ретінде анықталады (бірінші, үшінші, бесінші гармоникалық компоненттер)

The active power of the circuit is defined as the sum of the active powers of harmonics (first, third, fifth harmonic components)

$$P = P_1 + P_3 + P_5 = rI_{r1}^2 + rI_{r3}^2 + rI_{r5}^2 = r(I_{r1}^2 + I_{r3}^2 + I_{r5}^2) =$$

$$= 50\left[\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,4}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{2}}\right)^2\right] = 25 + 4 + 0,25 = 29,25\,\text{Вт./Vt}$$

Есеп / Task 4.1.3



4.1-сурет / Figure 4.1

Егер синусоидальды емес көздің кернеуі берілсе, тізбектегі вольтметрлер мен амперметрдің көрсеткіштерін табыңыз

Find the readings of voltmeters and ammeters in the circuit if the voltage of a non-sinusoidal source is set

$$u = 10 + 100\sin\omega t + 50\sin(2\omega t + 30^0)$$

элементтердің кедергісі

resistances of elements

$r = 10$ Ом/Ohm; $x_{L1} = 10$ Ом/Ohm; $x_{C1} = 40$ Ом/Ohm

(реактивті кедергі бірінші гармоника бойынша берілген).

(reactive resistances are given by the first harmonic).

Шешімі

Көздің синусоидальды емес кернеуі тұрақты компоненттен, бірінші және екінші гармоникалық компоненттерден тұрады.

1 Тұрақты компонент бойынша тізбекті есептеу

Solution

The non-sinusoidal voltage of the source contains a constant component, the first and second harmonic components.

1 Calculation of the chain by a constant component

$$U_0 = 10 \text{ В / V}$$

Тұрақты токтың индуктивтілігі нөлдік кедергіге ие, ал сыйымдылық, керісінше, шексіз үлкен кедергіге ие (осы тармақтағы алшақтық). 4.1.3.2 - -сурет те $U_0 = 10$ В - тұрақты компонент үшін тізбек диаграммасы көрсетілген кернеу көзі. Тұрақты ток

The DC inductance has zero resistance, and the capacitance, on the contrary, has an infinitely large resistance (a gap in this branch). Figure 4.1.3.2 shows the circuit diagram for $U_0 = 10$ В - the constant component of the source voltage. Direct current

$$I_0 = 0 \text{ А}.$$

Тізбек үшін Кирхгофтың екінші заңына сәйкес теңдеу құрамыз

Let's make an equation according to the second Kirchhoff law for the contour

$$r I_0 + U_{C0} = U_0 ,$$

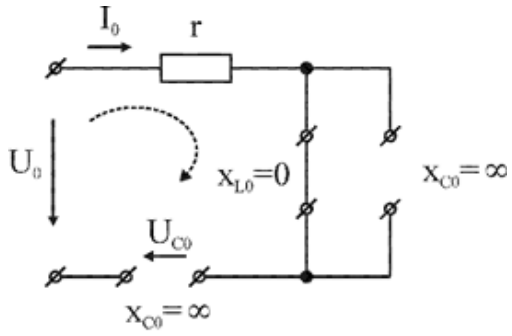
яғни,

means

$$U_{C0} = U_0 = 10 \text{ В /V}$$

- үшінші вольтметрдің оқылуы. Бірінші және екінші вольтметрлердің көрсеткіштері тұрақты компонент үшін нөлге тең кернеу.

- this is the reading of the third voltmeter. The readings of the first and second voltmeters are zero for the constant component of the voltage.



4.2-сурет / Figure 4.2

Тізбектің есебі бойынша бірінші гармонике

Calculation of the first harmonic circuit

$$U_1 = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70{,}92\,\text{В / V}$$

Бірінші гармоника бойынша тізбектің күрделі кедергісі

Complex resistance of the circuit according to the first harmonic

$$\underline{z}_1 = r - jx_{C1} + \frac{jx_{L1}(-jx_{C1})}{j(x_{L1} - x_{C1})} = 10 - j40 + \frac{10 * 40}{j(10 - 40)} = 10 - j40 + j13{,}33 =$$

$$= 10 - j26{,}67 = 28{,}48e^{-j69^0}\ \text{Ом / Ohm}$$

Бірінші гармониканың жалпы тармағының ағымдағы мәні кешені

The complex of the effective current value of the common branch of the first harmonic

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{z}_1} = \frac{100}{\sqrt{2} * 28{,}48e^{-j69^0}} = 2{,}49e^{j69^0}\ \text{A.}$$

Бірінші (негізгі) гармоника бойынша бірінші вольтметрдің оқылымын табамыз

We find the reading of the first voltmeter by the first (main) harmonic

$$U_{11} = r * I_1 = 10*2{,}49 = 24{,}9\ \text{В / V}$$

Бірінші гармоника үшін «ab» учаскесіндегі кернеуді келесі формула бойынша табамыз:

The voltage on the "ab" section for the first harmonic is found by the following formula:

$$\underline{U}_{ab1} = \underline{U}_1 - (r - jx_{C1})\underline{I}_1 = 70{,}92 - (10 - j40) * 2{,}49e^{j69^0} =$$
$$= 70{,}92 - 41{,}23e^{-j76^0} * 2{,}49e^{j69^0} = 70{,}92 - 102{,}66e^{-j7^0} =$$
$$= 70{,}92 - 101{,}89 + j12{,}51 = 33{,}4e^{j158^0} \text{ В / V}$$

Бірінші гармоника бойынша екінші вольтметрдің көрсеткіші

The reading of the second voltmeter on the first harmonic

$$U_{21} = U_{ab1} = 33{,}4 \text{ В / V}$$

Бірінші гармоника бойынша үшінші вольтметрді оқу

The reading of the third voltmeter on the first harmonic

$$U_{21} = U_{ab1} = 33{,}4 \text{ В / V}$$

$$U_{31} = x_{C1} * I_1 = 40*2{,}49 = 99{,}6 \text{ В / V}$$

Тізбектің есебі бойынша екінші гармонике

Calculation of the second harmonic circuit

$$U_2 = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35{,}5 \text{В / V}$$

Екінші гармоника үшін реактивтерді табамыз

We find the reactants for the second harmonic

$$x_{L2} = 2*x_{L1} = 20 \text{ Ом / Ohm}$$

- индуктивті кедергі;

- inductive resistance;

$$x_{C2} = \frac{x_{C1}}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{Ом / Ohm}$$

- сыйымдылық кедергісі.

Екінші гармоникадағы «ab» бөлімінде токтың резонансы (идеалды тербелмелі тізбек)

- capacitive resistance.

In the section «ab» on the second harmonic, the resonance of currents (ideal oscillatory circuit)

$$\underline{z}_{ab2} = \frac{j20(-j20)}{j20 - j20} = \infty .$$

Екінші гармоника үшін тізбектің кедергісі

Circuit resistance for the second harmonic

$$\underline{Z}_2 = r - jx_{C2} + \underline{Z}_{ab2} = \infty.$$

Сондықтан екінші гармоника бойынша тізбектегі ток нөлге тең ($I_2 = 0$).

Кирхгофтың екінші заңына сәйкес біз екінші гармоника үшін күрделі формада боламыз

Therefore, the current in the circuit along the second harmonic is zero ($I_2 = 0$).

According to Kirchhoff's second law, in complex form we have for the second harmonic

$$\underline{U}_2 = r\underline{I}_2 - jx_{C2}\underline{I}_2 + \underline{Z}_{ab2} \cdot \underline{I}_2 = \underline{U}_{ab2} .$$

Бірінші және үшінші вольтметрлердің көрсеткіштері нөлге тең; екінші гармоника үшін екінші вольтметрдің оқылуы

The readings of the first and third voltmeters are zero; the reading of the second voltmeter for the second harmonic

$$U_{22} = U_2 = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35.5B\ /\text{V} .$$

Құрылғының көрсеткіштері
- амперметр

Instrument readings
- am meter

$$I = I_1 = 2.49\ \text{A}$$

(тізбекте тек бірінші гармоника үшін ток болады);
- бірінші вольтметр

(only the current for the first harmonic takes place in the circuit);
- the first voltmeter

$$U_1 = U_{11} = 24.9\ \text{B} / \text{V}$$

- екінші вольтметр U_2,
- үшінші вольтметр U_3

- the second voltmeter U_2,
- the third voltmeter U_3

$$U_2 = U_{ab} = \sqrt{U_{21}^2 + U_{22}^2} = \sqrt{33.4^2 + 35.5^2} = 48.74B; /\text{V}$$

$$U_3 = \sqrt{U_0^2 + U_{31}^2} = \sqrt{10^2 + 99.6^2} = 100.1B. /\text{V}$$

4.2 Синусоидальды емес периодты көздер үшін үш фазалы тізбек

Three-phase circuit with non-sinusoidal periodic sources

Есеп / Task 4.2.1

Тригонометрияда ыдыраған кезде жұлдыз қосылған үш фазалы генератордың А фазасының синусоидальды емес кернеуі (А фазасының ЭҚҚ), Фурье қатарының көрінісінде келтірілген

The non-sinusoidal voltage of phase A (EMF of phase A) of a three-phase generator connected by a star, when decomposed into a trigonometric Fourier series, has the form

$$u = 100\sin(\omega t + 30^0) + 80\sin 3\omega t + 50\sin(5\omega t - 45^0).$$

Жедел сызықтық кернеуді табыңыз $u_{ab}(t)$, фазалық (U_A) және сызықтық (U_{AB}) кернеулердің белсенді мәндері; U_{AB}/U_A қатынасы.

Find the instantaneous line voltage $u_{ab}(t)$, effective values of the phase (U_A) and linear (U_{AB}) voltage; ratio U_{AB}/U_A.

Шешімі

Гармоника № 1, 4, 7 (k = 3n + 1, бұл ретте n = 0, 1, 2, 3...) және т.б. олар фазалардың түзу тізбегінің симметриялы кернеу жүйесін құрайды. Үшке көбейтілген гармоника (k = 3n, n = 1, 2, 3...) фазалардың нөлдік реттілік жүйесін құрайды. Гармоникалық компоненттер № 2, 5, 8 ... (k = 3n + 2, n = 0, 1, 2, 3, 4...) кері тізбектегі симметриялы кернеулер жүйесін құрайтын- фазалар. Сызықтық кернеу фазалық кернеулердің айырмашылығы ретінде анықталады, сондықтан сызықтық кернеулерде

Solution

Harmonics No. 1, 4, 7 (k = 3n + 1, at the same time n = 0, 1, 2, 3…), etc. form a symmetrical stress system of a direct sequence of phases. Harmonics, multiples of three (k = 3n, at the same time n = 1, 2, 3…), form a system of zero sequence of phases. Harmonic components No. 2, 5, 8 … (k = 3n + 2, at the same time n = 0, 1, 2, 3, 4…) form a symmetrical system of stresses of the reverse sequence of phases. The linear voltage is defined as the difference in phase voltages, so there are no harmonics that are

үшке көбейтілген гармоника жоқ.

multiples of three in linear voltages.

$\underline{U}_{ABm}$ сызықтық кернеулерінің күрделі амплитудалық мәндерін табамыз:

- бірінші гармоника, ол тиісті фазадан 30^0-ге асып түсетінін ескере отырып

Find the complex amplitude values of linear voltages $\underline{U}_{ABm}$ for:

- the first harmonic, taking into account the fact that it is ahead of the corresponding phase by 30^0

$$\underline{U}_{ABm1} = \sqrt{3} \cdot 100 \angle 60^0 \, B; /\mathrm{V}$$

- бесінші гармоника, сызықтық кернеу тиісті фазадан 30^0-ге артта қалатынын ескере отырып (фазалардың кері реттілігі)

- the fifth harmonic, taking into account the fact that the line voltage lags behind the corresponding phase by 30^0 (reverse phase sequence)

$$\underline{U}_{ABm5} = \sqrt{3} \cdot 50 \angle -75^0 \, B./\mathrm{V}$$

Лездік сызықтық кернеу

Instantaneous line voltage

$$u_{AB}(t) = 173\sin(\omega t + 60^0) + 87\sin(5\omega t - 75^0).$$

Генератордың фазалық кернеуінің тиімді мәні (бірінші, үшінші, бесінші гармоника)

The effective value of the generator phase voltage (first, third, fifth harmonics)

$$U_A = \sqrt{\left(\frac{100}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{80}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{50}{\sqrt{2}}\right)^2} = 97{,}92B; /\mathrm{V}$$

сызықтық кернеудің қолданыстағы мәні үшінші гармониканы қамтымайды

the effective value of the line voltage does not contain a third harmonic

$$U_{AB} = \sqrt{\left(\frac{173}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{87}{\sqrt{2}}\right)^2} = 137B; /\mathrm{V}$$

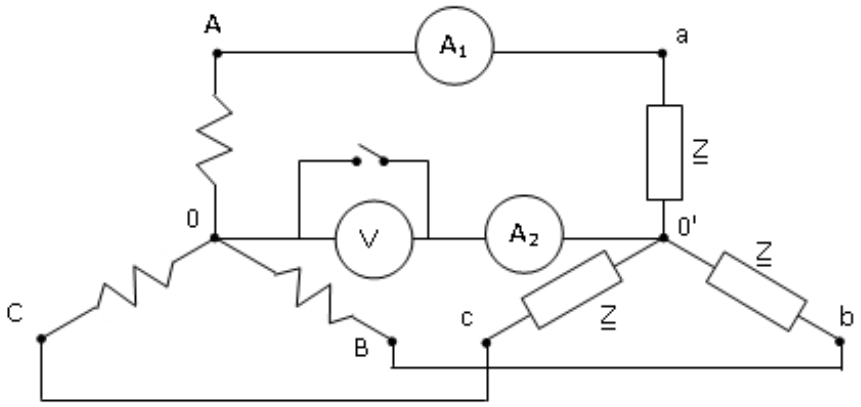
Кернеудің сызықтық және фазалық мәндерінің қатынасы

The ratio of linear and phase operating voltage values

$$\frac{U_{AB}}{U_A} = 1.41 < \sqrt{3} = 1.73,$$

сызықтық кернеуде үшке келтірілген гармоника жоқ.	as there are no harmonics in the linear voltage that are multiples of three.

Есеп / Task 4.2.2



4.3-сурет / Figure 4.3

Тригонометрияда ыдыраған кезде жұлдыз қосылған үш фазалы генератордың а фазасының синусоидальды емес кернеуі (а фазасының ЭҚҚ) - Фурье қатарының көрінісі бар	The non-sinusoidal voltage of phase A (EMF of phase A) of a three-phase generator connected by a star, when decomposed into a trigonometric Fourier series, has the form

$$u = 100\sin(\omega t + 30^0) + 80\sin 3\omega t + 50\sin(5\omega t - 45^0).$$

Генератор жүктемені бірінші (негізгі) гармоника кедергісімен қоректендіреді.	The generator feeds the load with resistance along the first (main) harmonic

$$\underline{Z} = 10 - j60 \text{ Ом./Ohm}$$

Жылу жүйесі аспаптарының көрсеткіштерін табу: 1) тұйық кілтте;	Find the readings of the thermal system devices: 1) with a closed key;

2) ашық кілтте.

Шешімі

Үш фазалы тізбектегі жабық кілтте О көзі мен O^1 қабылдағышының (жүктемесінің) бейтарап нүктелері арасында нөлдік сым бар, оның кедергісі нөлге тең (амперметрдің кедергісі өте аз және есептеулерде біз оны нөлге тең қабылдаймыз).

Үшке көбейтілген гармоника үш фазалы тізбектерде нөлдік (бейтарап) сыммен жүреді.

Тізбек симметриялы, сондықтан біз есептеуді «А» фазасында жүргіземіз.

Гармониканың фазалық тогын табамыз:

- бірінші гармоника

$$\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{U}_{A1}}{\underline{Z}} = \frac{100e^{j30^0}}{\sqrt{2}(10 - j60)} = \frac{70.92e^{j30^0}}{60.83e^{-j81^0}} = 1.17\angle 111^0\, A;$$

- үшінші гармоника

$$\underline{I}_{A3} = \frac{\underline{U}_{A3}}{\underline{Z}_3} = \frac{80}{\sqrt{2}(10 - j20)} = \frac{56.74}{22.36e^{-j63^0}} = 2.54\angle 63^0\, A;$$

-бесінші гармоника

$$\underline{I}_{A5} = \frac{\underline{U}_{A5}}{\underline{Z}_5} = \frac{50e^{-j45^0}}{\sqrt{2}(10 - j12)} = \frac{35.46e^{-j45^0}}{15.62e^{-j50^0}} = 2.27\angle 5^0\, A.$$

Үшінші гармоника үшін сыйымдылық кедергісі бірінші (негізгі) гармоникаға қарағанда 3 есе аз, бесінші гармоникадағы кедергіден 5 есе аз.

2) with an open key.

Solution

With a closed key in a three-phase circuit, there is a zero wire between the neutral points of the source O and receiver (load) O^1, the resistance of which is zero (the resistance of the ammeter is very small and in calculations we take it to be zero).

Harmonics that are multiples of three occur in three-phase circuits with a zero (neutral) wire.

The circuit is symmetrical, so the calculation is carried out by one phase «A».

We find the phase current of harmonics:

- the first harmonic

- the third harmonic

- the fifth harmonic

The capacitance resistance for the third harmonic is 3 times less than for the first (main) harmonic, for the fifth – 5 times less than the resistance on the main harmonic.

The devices of the thermal

Жылу жүйесінің құрылғылары ағымдағы мәндерді өлшейді, сондықтан бірінші амперметрдің көрсеткіші келесідей есептеледі:

system measure the current values, so the reading of the first ammeter is calculated as follows:

$$I_1 = \sqrt{1.17^2 + 2.54^2 + 2.27^2} = 3.36A.$$

Симметриялы үш фазалы тізбек, сондықтан нөлдік сымда түзу және кері фазалық тізбектердің токтары болмайды (бірінші және бесінші гармоникалық компоненттер). Үшке көбейтілген гармоника фазалардың нөлдік тізбегі жүйесін құрайды, сондықтан бейтарап сымда олар жан-жақты жинақталады. Үшінші гармоника токтары үшін біз аламыз

A symmetrical three-phase circuit, therefore, there are no currents of forward and reverse phase sequences (the first and fifth harmonic components) in the zero wire. Harmonics, multiples of three, form a system of zero phase sequence, so in a neutral wire they are combined in a complex way. For the third harmonic currents we get

$$\underline{I}_{N3} = \underline{I}_{A3} + \underline{I}_{B3} + \underline{I}_{C3} = 3\underline{I}_{A3} = 7.62\angle 63^0 A.$$

Екінші амперметрдің көрсеткіші 7,62 А-ға тең, вольтметр жабық кілтпен нөлді көрсетеді.

Нөлдік сымдағы ашық кілтте вольтметр бар, оның кедергісі өте үлкен (теориялық тұрғыдан шексіздікке тең-үзіліс), яғни біз симметриялы үш фазаны аламыз-нөлдік сымы жоқ тізбек. Мұндай тізбекте үшке көбейтілген гармоникалық токтар жоқ. Сондықтан бірінші амперметр тек бірінші және бесінші гармоникалық токтардан тұратын «А» фазасының ағымдағы мәнін өлшейді

The reading of the second ammeter is 7.62 A, the voltmeter shows zero when the key is closed.

When the key is open, there is a voltmeter in the zero wire, the resistance of which is very large (theoretically equal to infinity – gap), that is, we get a symmetrical three-phase circuit without a zero wire. In such a circuit, there are no harmonic currents that are multiples of three. Therefore, the first ammeter measures only the current value of the phase «A», consisting of the currents of the first and fifth harmonics

$$I_1 = \sqrt{1.17^2 + 2.27^2} = 2,55A.$$

Екінші амперметрдің көрсеткіші нөлге тең (нөлдік сымдағы үзіліс).

Симметриялы үш фазалы тізбекте түзу және кері тізбектер жүйесін құрайтын гармоникада бейтарап ығысу жоқ (бейтарап ығысу кернеуі нөлге тең). Біздің міндетімізде бірінші және бесінші гармоникадағы бейтарап ығысу кернеулері нөлге тең. Бірақ бейтарап ығысу кернеуінде үшке көбейтілген гармоника бар. Үшінші гармониканың кернеуі үшін бізде

The reading of the second ammeter is zero (breakage in the zero wire).

In a symmetrical three-phase circuit, there is no neutral offset (the neutral offset voltage is zero) on harmonics forming systems of forward and reverse sequences. In our problem, the neutral bias voltages at the first and fifth harmonics are zero. But in the neutral bias voltage there are harmonics that are multiples of three. For the voltage of the third harmonic we have

$$\underline{U}_{0^1 03} = \frac{3\underline{U}_{A3}\underline{Y}_{A3}}{3\underline{Y}_{A3}} = \underline{U}_{A3} = 56.74B./\mathrm{V}$$

Вольтметрді көрсеткіші, бейтарап нүктелер арасында қосылған қорек көзі мен қабылдағыш 56,74 В құрайды.

The reading of the voltmeter switched on between the neutral points of the source and receiver is 56,74 V.

5 Өзіндік жұмысына арналған тапсырма
Tasks for independent work

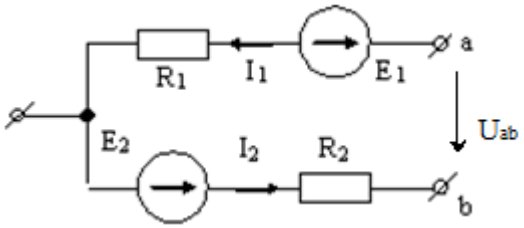
5.1 Тұрақты токтың сызықты тізбектері
Linear DC circuits

Есеп / Task 5.1.1

Берілгені: | Given:

$E_1 = 60$ В/V; $E_2 = 10$ В/V; $r_1 = r_2 = 5$ Ом/Ohm; $I_1 = 4$ А; $I_2 = 2$ А.

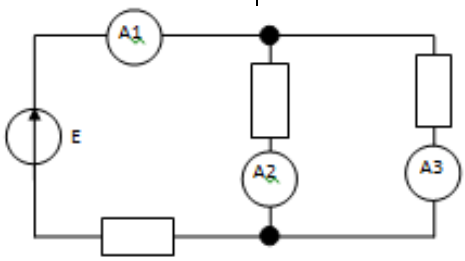
Кирхгофтың екінші заңын қолдана отырып, *ab* нүктелері арасындағы U_{ab} кернеуін табыңыз. | To find U_{ab} – the voltage between points *ab* using Kirchhoff's second law.



5.1-сурет / Figure 5.1

Есеп / Task 5.1.2

Егер бірінші және екінші Амперметрлердің көрсеткіштері сәйкесінше 20 А және 15 А болса, үшінші амперметрдің оқылуын табыңыз. | Find the reading of the third ammeter if the readings of the first and second ammeters are 20 A and 15 A, respectively.



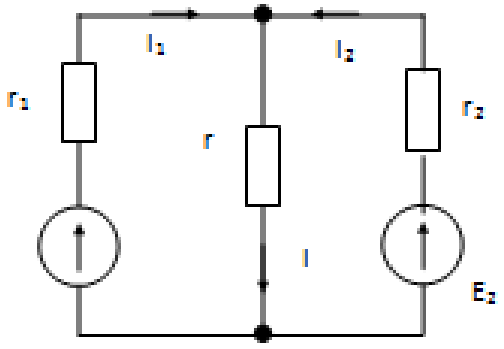
5.2-сурет / Figure 5.2

Есеп / Task 5.1.3

r кедергісінде тұтынылатын қуатты анықтаңыз, егер

Determine the power consumed in the resistance *r* if

I_2= 2 А, I_1= 4 А, r = 10 Ом/Ohm.

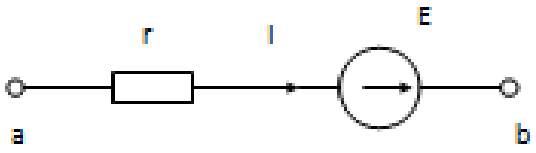


5.3-сурет / Figure 5.3

Есеп – Задача 5.1.4

Егер E = 30 В, r = 10 Ом, I = 2 А болса, Кирхгофтың екінші заңын қолдана отырып, U_{ab} кернеуін анықтаңыз.

Determine the voltage U_{ab}, if E = 30 В, r = 10 Ohm, I = 2 А, using Kirchhoff's second law.

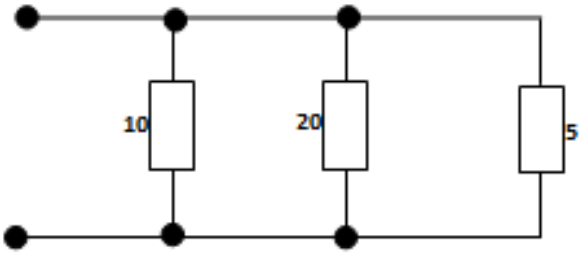


5.4-сурет / Figure 5.4

Есеп – Задача 5.1.5

Тізбектің кедергісін анықта, егер крезисторлардың кедергілері Оммен берілген

Find the resistance of the circuit if the resistors are given in Ohms.

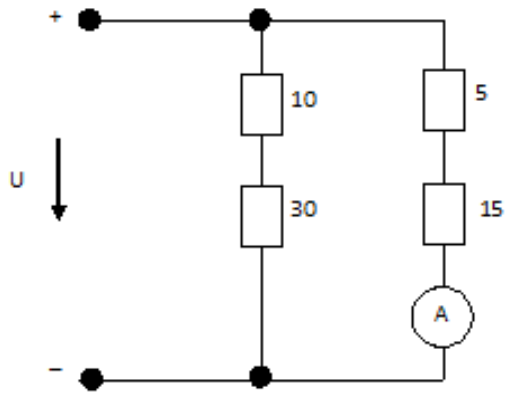


5.5-сурет / Figure 5.5

Есеп / Task 5.1.6

Егер амперметрдің оқылуы 3 А болса, кернеу мен ток көзін табыңыз (резисторлардың кедергісі Ом-мен берілген).

Find the voltage and current of the source if the ammeter reading is 3 A. (the resistance of the resistors are given in Ohms).



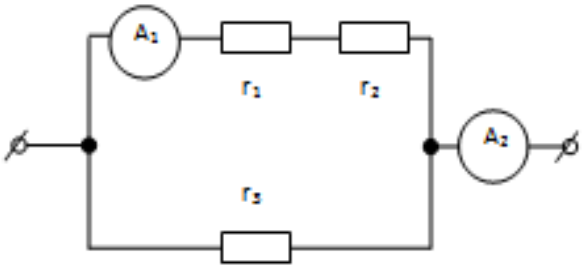
5.6-сурет / Figure 5.6

Есеп – Задача 5.1.7

Екінші амперметрдің оқылуын және тізбектегі шығындардың қуатын анықтаңыз. Егер біріншісінің көрсеткіші 3 А, ал кедергілері келтірілген

Determine the reading of the second ammeter and the power loss in the circuit, if the reading of the first is 3 A, the resistance is set

r_1= 5 Ом/Ohm, r_2= 15 Ом/Ohm, r_3= 40 Ом/Ohm.



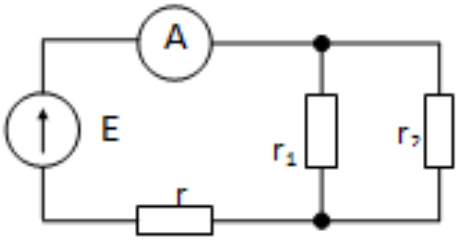
5.7-сурет / Figure 5.7

Есеп / Task 5.1.8

Көрсеткішін анықтау амперметр, егер

Determine the ammeter reading if

E = 50 В/V, r = 30 Ом/Ohm; $r_1 = r_2 = 20$ Ом/Ohm.



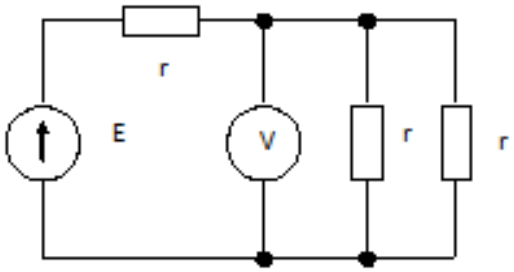
5.8-сурет / Figure 5.8

Есеп / Task 5.1.9

Вольтметрдің оқылуын анықтаңыз, егер

Determine the voltmeter reading if

E = 30 В/V, r = 10 Ом/Ohm.



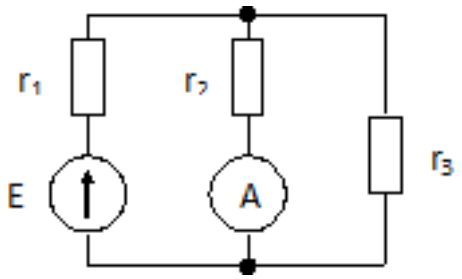
5.9-сурет / Figure 5.9

Есеп / Task 5.1.10

Амперметрдің оқылуын анықтаңыз, егер

Determine the ammeter reading if

E = 20 В/V, r_1 = 6 Ом/Ohm, r_2 = 12 Ом/Ohm, r_3= 6 Ом/Ohm.

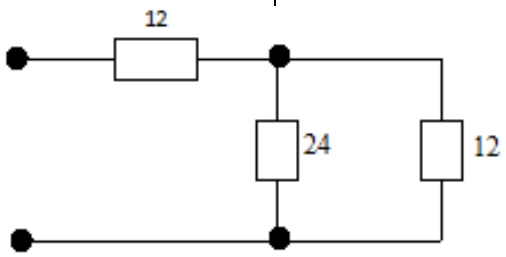


5.10-сурет / Figure 5.10

Есеп / Task 5.1.11

Тізбектің кедергісін табыңыз, резисторлардың кедергісі Омда көрсетілген.

Find the resistance of the circuit, the resistors are indicated in ohms.



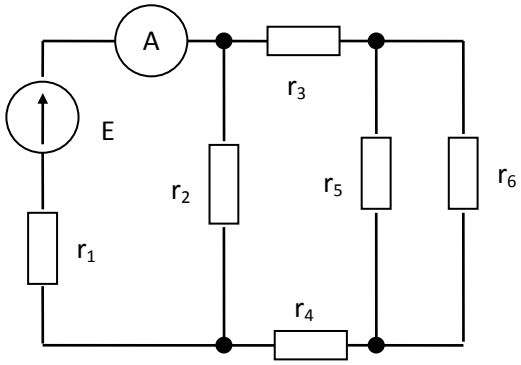
5.11-сурет / Figure 5.11

Есеп – Задача 5.1.12

Амперметрдің оқылуын анықтаңыз, егер

Determine the ammeter reading if

E_1= 50 В/V, r_1= 2,5 Ом/Ohm, r_2 = 15 Ом/Ohm, r_3= 4 Ом/Ohm, r_4= 6 Ом/Ohm, r_5 = r_6 = 10 Ом/Ohm.



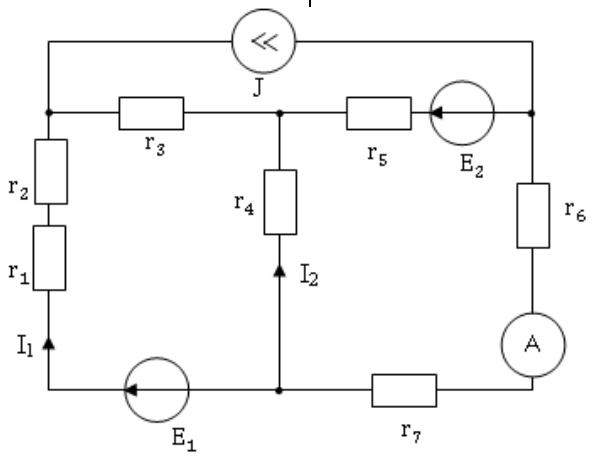
5.1.12-сурет / Figure 5.1.12

Есеп / Task 5.1.13

Берілгені:	Given:

J = 2 A;E_1 = 10В/V; r_1 = r_3= r_4 = 10 Ом/Ohm; r_2 = r_5 = r_6 = 10 Ом/Ohm; r_7 = 5 Ом/Ohm.

амперметрдің көрсеткіші 1,25 А-ға тең.	The reading of the ammeter I is 1,25 A.
Контурлық ток әдісін қолдана отырып, I_1, I_2 тармақтарындағы токтарын табыңыз	Find branch currents I_1, I_2, applying the method of contour currents.



5.13-сурет / Figure 5.13

Есеп – Задача 5.1.14

Берілгені: ЭҚҚ көздері	Given: Sources of EMF

$E_1 = 20$ В/V, $E_2 = 10$ В/V;

ток көздері	current source

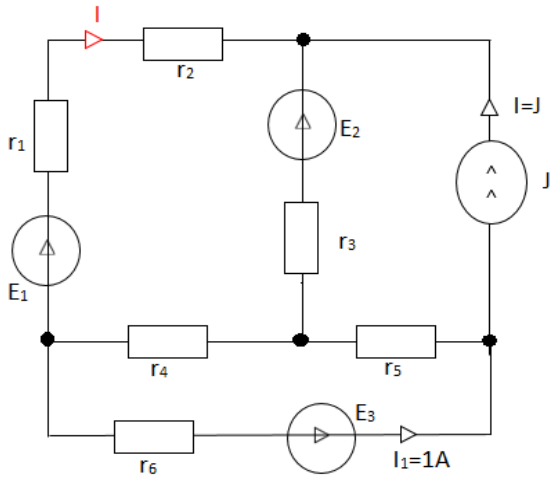
J = 1 A; current

$I_1 = 1$ A;

резисторлардың кедергісі	resistors resistance

$r_1 = r_4 = 5$ Ом/Ohm, $r_2 = 10$ Ом/Ohm, $r_3 = 20$ Ом/Ohm.

Контурлық токтар әдісіне сәйкес ЭҚК E_1 бар тармақтарындағы I токты есептеңіз.	Using the method of contour currents, calculate the current I in the branch with EMF E_1



5.14-сурет / Figure 5.14

Есеп – Задача 5.1.15

Берілгені: Ток көрсеткіші	Given: Current source

J = 2 A,

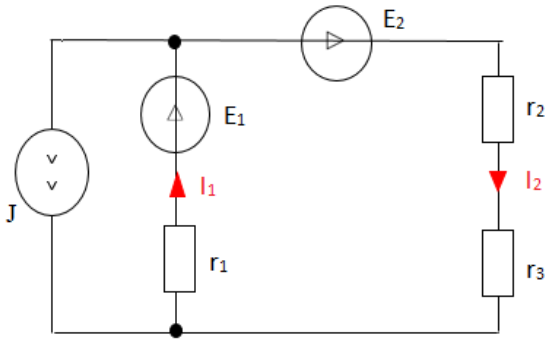
ЭҚҚ көрсеткіші	sources of EMF

$E_1 = 25$ В, $E_2 = 15$ В;

резисторлардың кедергісі	resistors resistance

$r_1 = 5$ Ом/Ohm, $r_2 = 10$ Ом/Ohm, $r_3 = 15$ Ом/Ohm.

Контурлы токтар әдісіне сәйкес I_1 және I_2 токтарын табыңыз.	By the method of contour currents to find the currents I_1 and I_2.



5.15-сурет / Figure 5.15

Есеп – Задача 5.1.16

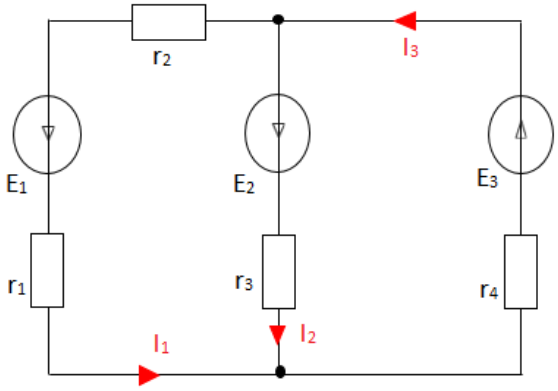
Берілгені: ЭҚҚ көрсеткіші	Given: sources of EMF

$E_1 = 15$ В/V, $E_2 = 25$ В/V, $E_3 = 10$ В/V;

резисторлардың кедергісі	resistors resistance

$r_1 = 5$ Ом/Ohm, $r_2 = 10$ Ом/Ohm, $r_3 = 15$ Ом/Ohm,
$r_4 = 20$ Ом/Ohm.

Контурлы токтар әдісіне сәйкес I_1, I_2 және I_3 токтарын анықтаңыз.	By the method of contour currents to determine the currents I_1, I_2 and I_3.



5.16-сурет / Figure 5.16

Есеп / Task 5.1.17

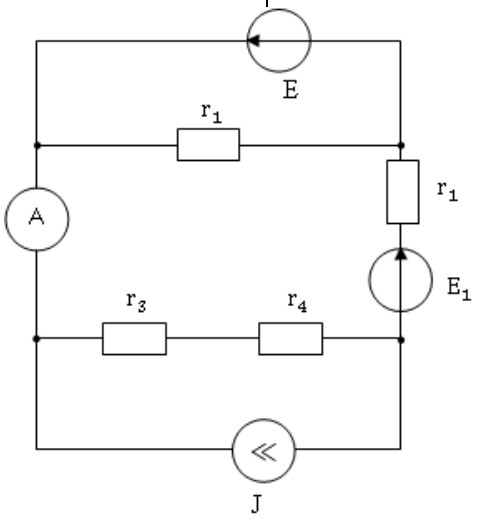
Берілгені:

Given:

J = 2 A; E = 10 В/V; E_1= 40В/V; r_1= 25 Ом/Ohm; r_2= 15 Ом/Ohm r_3 = 10 Ом/Ohm; r_4 = 25 Ом/Ohm.

Амперметрдің көрсеткіштерін түйіндік потенциалдар әдісімен табыңыз.

Find the reading of the ammeter by the method of nodal potentials.



5.17-сурет / Figure 5.17

Есеп / Task 5.1.18

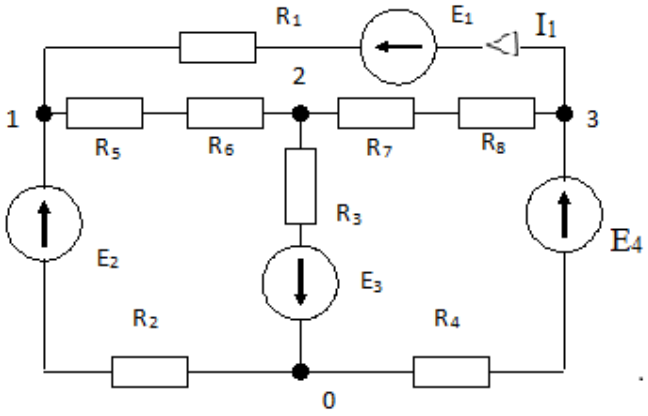
2 түйіннің потенциалын анықтаңыз, егер

Determine the potential of node 2, taking as the base node 0, if the EMF of the sources

$E_1 = 20$ В/V, $E_2 = 15$ В/V, $E_3 = 30$ В/V, $\varphi_1 = 10$ В/V, $\varphi_3 = 15$ В/V

барлық R_1 резисторларының кедергісі болса... $R_8 = 2$ Ом. I_1 тогын табыңыз

resistances of all resistors $R_1 ... R_8 = 2$ Ohm. Find the current I_1.

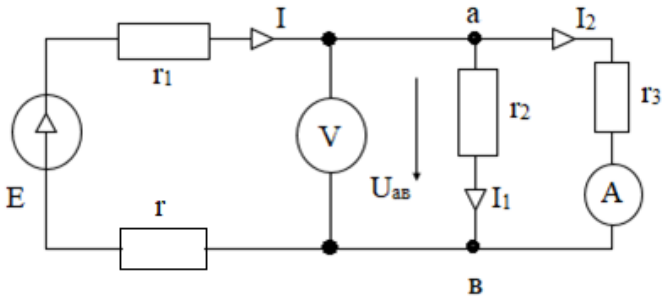


5.18-сурет / Figure 5.18

Аспаптардың көрсеткіштерін табыңыз. Екі түйін әдісі бойынша, егер көздің ЭҚҚ

By the method of two nodes, find the readings of the instruments if the EMF of the source

$E = 120$ В; $r_1 = 10$ Ом/Ohm; $r_2 = r_3 = 40$ Ом/Ohm; $r = 30$ Ом/Ohm



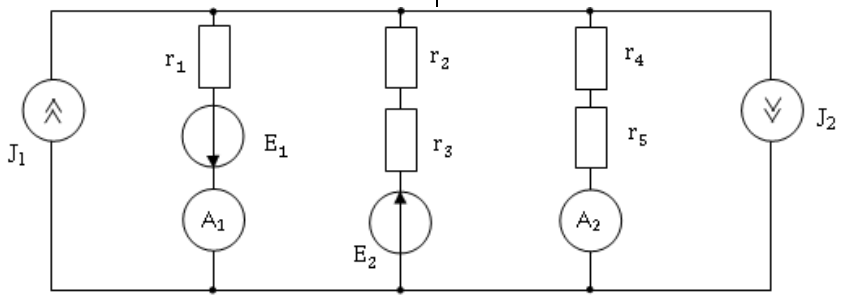
5.19-сурет / Figure 5.19

Есеп / Task 5.1.20

Берілгені: | Given:

J_1 = 1 А; J_2 = 2 А; E_1 = 20 В; E_2 =30 В; $r_1 = r_4$= 10 Ом/Ohm; $r_2 = r_5$ = 20 Ом/Ohm; r_3= 25 Ом/Ohm.

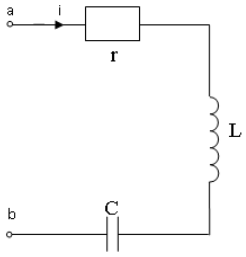
Екі түйін әдісіне сәйкес бірінші және екінші Амперметрлердің көрсеткіштерін табыңыз. | Using the method of two nodes, find the readings of the first and second ammeters



5.20-сурет / Figure 5.20

5.2 Бір фазалы синусоидалы токтың желілік электр тізбектері Linear electric circuits of single-phase sinusoidal current

Есеп / Task 5.2.1



5.21-сурет / Figure 5.21

Лездік тізбекті ток тізбегі | Instantaneous serial circuit current

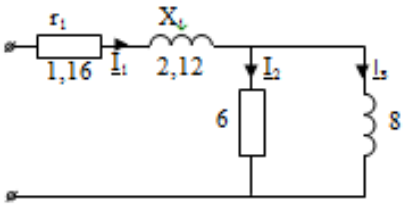
$$i = 2 \sin (\omega t + 45°),$$

кешенді әрекетті табыңыз тізбектің (көздің) кернеу мәні), егер	find the complex effective value of the voltage of the circuit (source) if

$$r = 30 \text{ Ом/Ohm}, X_L = 80 \text{ Ом/Ohm}, X_C = 40 \text{ Ом/Ohm}.$$

Күрделі ток пен тізбектің кернеулерінің векторлық диаграммасын құрыңыз.	Construct a vector diagram of the complex current and voltage of the circuit.

Есеп / Task 5.2.2



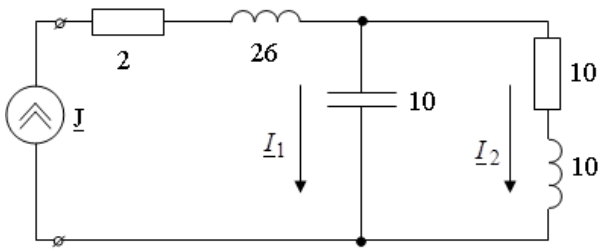
5.22-сурет / Figure 5.22

5.2.2 -сурет індегі тізбектегі токтардың шамаларын табыңыз (қарсылықтар Омда көрсетілген), тізбек кернеу көзінен қоректенеді	Find the values of the circuit currents in Figure 5.2.2 (resistances are indicated in Ohms), the circuit is powered by a voltage source

$$\underline{U} = 60\sqrt{2}B./\text{V}$$

Белсенді қуат балансын есептеңіз.	Calculate the active power balance.

Есеп / Task 5.2.3



5.23-сурет / Figure 5.23

5.2.3 -сурет тізбегінде қарсылықтар Ом-да көрсетілген, контурлы токтар әдісімен ток көзі үшін $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ күрделі белсенді токтарды табыңыз

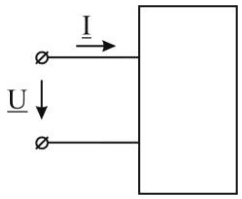
In the circuit of Figure 5.2.3, where the resistances are indicated in Ohms, using the contour currents method, find the complex acting currents $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ at the current source

$$\underline{J} = 2\angle 30^{\circ} A$$

Тізбектің күрделі қуатының балансын жасаңыз. Көз тогының лездік мәнін жазыңыз.

To make a balance of the complex power of the circuit. Record the instantaneous value of the source current.

Есеп / Task 5.2.4



5.24-сурет / Figure 5.24

Қос полюстің кіреберісінде күрделі жұмыс кернеуі берілген

Complex operating voltages are set at the input of the two-pole

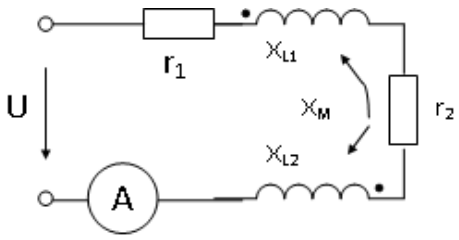
$$\underline{U} = 100 + j70 \text{ В /V, current}$$

$$\underline{I} = 1 + j1 \text{ A.}$$

Қос полюстің күрделі кедергісін табыңыз, Қос полюстің сипатын анықтаңыз. Қос полюстің күрделі қуатын есептеңіз.

Find the complex resistance of the two-pole, determine the nature of the two-pole. Calculate the complex power of a two-pole.

Есеп / Task 5.2.5



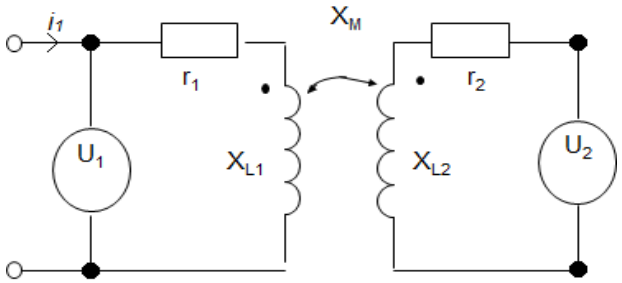
5.25-сурет / Figure 5.25

Берілгені:	Given:

r_1= 20 Ом/Ohm; r_2= 10 Ом/Ohm; X_{L1}=25 Ом/Ohm; X_{L2}= 15 Ом/Ohm; X_M = 5 Ом/Ohm

Амперметрдің 2 А көрсеткіші кезінде U көзі кернеуінің тиімді мәнін табыңыз.	Find the effective value of the voltage of the source U when the ammeter is 2 A.

Есеп / Task 5.2.6



5.26-сурет / Figure 5.26

Оқылымды анықтау V_1 вольтметрінің ауа трансформаторының кірісіндегі кернеуі, егер қайталама ораманың қысқыштарындағы кернеу	Determine the voltmeter reading V_1 at the input of the air transformer, if the voltage at the terminals of the secondary winding

$U_{V2} = U_1$= 50 В /V;

бастапқы ораманың параметрлері	parameters of the primary winding

$r_1 = 60$ Ом, $X_{L1} = 80$ Ом/Ohm;

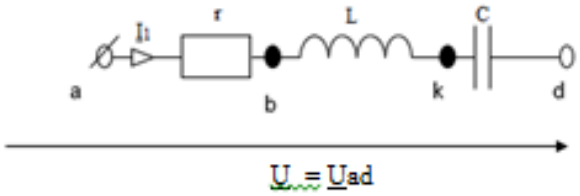
өзара қарсылық	resistance to mutual

$X_M = 40$ Ом.

Есеп / Task 5.2.7

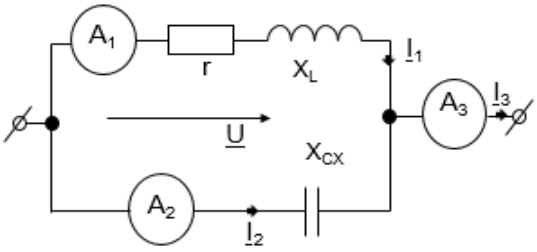
Кернеуді табыңыз $U_{ак}$ кернеу резонансы режимінде (РРН).	Find the voltage $U_{ак}$ in the voltage resonance mode (RRM).
Берілгені:	Given:

$U_{ad} = 30$ В/V, $U_{kd} = 40$ В/V.



5.27-сурет / Figure 5.27

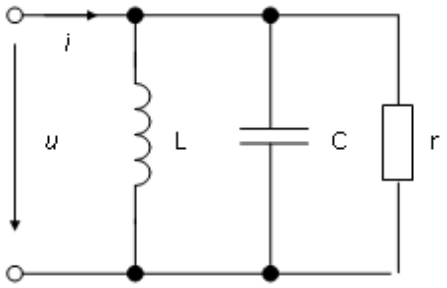
Есеп / Task 5.2.8



5.28-сурет / Figure 5.28

Егер РРТ схемасында болса, екінші амперметрдің оқылуын табыңыз; бірінші амперметрдің оқылуы 20 А, үшіншісі-12а.	Find the reading of the second ammeter, if in the PPT scheme; the reading of the first ammeter is 20 A, the third is 12A.

Есеп / Task 5.2.9



5.29-сурет / Figure 5.29

Жалпы токтың лездік мәні үшін өрнек жазыңыз *i*, егер кернеу көзі

Write an expression for the instantaneous value of the total current *i*, if the voltage of the source

$$u = 100 \sin(\omega t - 60°)$$

$$X_L = X_C = r = 25 \text{ Ом/Ohm.}$$

5.3 Үш фазалы синусоидалы токтың желілік электр тізбектері
Linear electric circuits of three-phase sinusoidal current

Есеп / Task 5.3.1

Симметриялы үш фазалы тізбекте «жұлдыз» қосылған кезде «В» фазасының күрделі белсенді тогы

In a symmetrical three-phase circuit, when connecting the «star», the complex acting current of the phase «B» is equal to

$$\dot{I}_B = 10 \angle -45^0 \, A$$

Табу керек кешенді токты «А», «С» фазаларында.

Find the complex current phases «A», «C».

Есеп / Task 5.3.2

Сызықтық кернеу симметриялық үш фазалы симметриялық қабылдағыштың фазалық кедергісі 173 В. Жұлдызмен байланысқан симметриялы қабылдағыштың фазалық кедергісі тең

The line voltage of a symmetrical three-phase source is 173 V. The complex phase resistances of a symmetrical receiver connected by a star are equal to

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = 12 + j16, \text{ Ом/Ohm.}$$

Нөлдік сыммен тізбектегі $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ және бейтарап сымның фазалық $\underline{I}_N$ күрделі токтарын табыңыз.

Find phase complex currents $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ and neutral wire $\underline{I}_N$ zero-wire circuits.

Есеп / Task 5.3.3

Сызықтық кернеу симметриялық үш фазалы көзі 220 В-қа тең. Жұлдыз арқылы қосылған асимметриялық қабылдағыштың фазалық кедергісі тең

The line voltage of a symmetrical three-phase source is 220 V. The complex phase resistances of an asymmetric receiver connected by a star are equal

$$\underline{Z}_A = 20 \text{ Ом/Ohm}, \underline{Z}_B = -j20 \text{ Ом/Ohm}, \underline{Z}_C = j20 \text{ Ом/Ohm.}$$

Нөлдік сымсыз $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ тізбектерінің фазалық кешенді токтарын табыңыз.

Find phase complex currents $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ circuits without a zero wire.

Есеп / Task 5.3.4

Сызықтық кернеу симметриялық үш фазалы көзі 220 В-қа тең. Жұлдызша қосылған симметриялық емес қабылдағыштың фазалық кедергісі тең

The line voltage of a symmetrical three-phase source is 220 V. The complex phase resistances of an asymmetric receiver connected by a star are equal

$$\underline{Z}_A = 30+j\,40, \text{ Ом/Ohm}; \underline{Z}_B = 20-j20, \text{ Ом/Ohm}; \underline{Z}_C = 50 \text{ Ом/Ohm.}$$

Кедергісі нөлге тең ($\underline{Z}_N = 0$) нөлдік сымы бар тізбектегі $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ және бейтарап сымның фазалық комплекстік токтарын табыңыз.

Find phase complex currents $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ and neutral wire $\underline{I}_N$ circuits with a zero wire whose resistance is zero ($\underline{Z}_N = 0$).

Есеп / Task 5.3.5

Симметриялық үш фазалы тізбекте «Үшбұрыш» қосылған кезде «В» сызығының күрделі белсенді сызықтық тогы

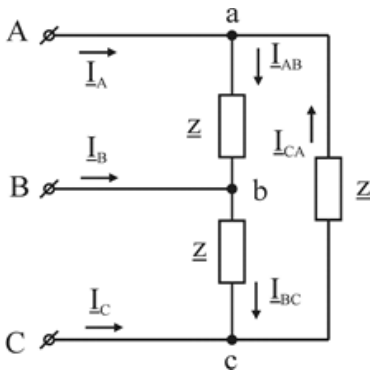
In a symmetrical three-phase circuit, when connecting the «triangle», the complex acting linear current of the line «В» is equal to

$$I_B = 10 \angle -45^0 \; A$$

«ВС», «АВ», «СА» фазаларының күрделі токтарын және «А», «С» желілерінің сызықтық токтарының кешендерін табыңыз.

Find complex currents of phases «ВС», «АВ», «СА» and complexes of linear currents of lines «А», «С».

Есеп / Task 5.3.6



5.30-сурет / Figure 5.31

Фазалық кедергісі бар симметриялы қабылдағыш

Symmetrical receiver with phase resistance

$$\underline{z} = 30 + j40 \text{ Ом/Ohm}$$

үшбұрышқа қосылған, 380 В сызықты кернеуі бар симметриялы үш фазалы көзден қоректенеді. қабылдағыштың күрделі фазалық токтарын және сызықтық токтарды табыңыз.

connected in a triangle, powered by a symmetrical three-phase source with a line voltage of 380V. Find the complex currents of the receiver phases and linear currents.

Есеп / Task 5.3.7

Симметриялық емес үш фазалы жүктеме үшбұрышпен қосылған.
Фазалық кедергілері

An asymmetric three-phase load is connected by a triangle.
Phase resistances

$$\underline{Z}_{AB} = jX_L;\ \underline{Z}_{BC} = R;\ \underline{Z}_{CA} = -j\,X_C.$$

$$R = X_L = X_C = 25\ \text{Ом/Ohm}.$$

Тізбектің сызықтық кернеуі 173 В. Қуат көзі симметриялы.

Табу кешенді токтар фаза $\underline{I}_{AB}$; $\underline{I}_{BC}$; $\underline{I}_{CA}$ және «А» $\underline{I}_A$ желісінің сызықтық кешенді тогы.

The line voltage of the circuit is 173 V. The power supply is symmetrical.

Find complex currents of phases $\underline{I}_{AB}$; $\underline{I}_{BC}$; $\underline{I}_{CA}$ and the linear complex current of line «A» $\underline{I}_A$.

5.4 Синусоидальды емес периодты көздер кезіндегі сызықтық электр тізбектері
Linear electrical circuits with non-sinusoidal periodic sources

Есеп / Task 5.4.1

Үш элемент көзге параллель қосылған:

Three elements are connected to the source in parallel:

$$R = 100\ \text{Ом/Ohm};\ L = 0{,}1\ \text{Гн/Gn};\ C = 10\ \text{мкФ/mkF};$$

көздің кернеуі

source voltage

$$u = 100\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) + 30\sin 3\omega t + 10\sin\left(5\omega t - \frac{3}{4}\pi\right)$$

Синусоидалы емес функцияның

Angular frequency of a non-

бұрыштық жиілігі ω=1000 $с^{-1}$. Табу лездік және әсерлік мәндері токтың барлық тармақтарында.

sinusoidal function ω=1000 $с^{-1}$. Find the instantaneous and effective values of currents in all branches.

Есеп / Task 5.4.2

Қос полюстің кірісіндегі кернеу мен ток

Voltage and current at the input of the two-pole

$$\begin{cases} u = 100 + 50\sin\omega t - 20\sin\left(3\omega t + \frac{\pi}{6}\right) + 10\sin\left(5\omega t - \frac{\pi}{3}\right); \\ i = 2 + 10\sin\left(3\omega t - \frac{\pi}{3}\right) + 4\sin 5\omega t. \end{cases}$$

Табу: 1) Қос полюстің кірісіндегі синусоидалы емес ток пен кернеудің белсенді мәндері; 2) қос полюстің белсенді, реактивті және толық қуаты.

To find: 1) the effective values of non-sinusoidal current and voltage at the input of the bipolar; 2) active, reactive and full power of the bipolar.

Есеп / Task 5.4.3

Жұлдызмен байланысқан үш фазалы генератордың А e_A фазасының синусоидальды емес периодты ЭҚҚ Фурье тригонометриялық сериясы түрінде ұсынылған:

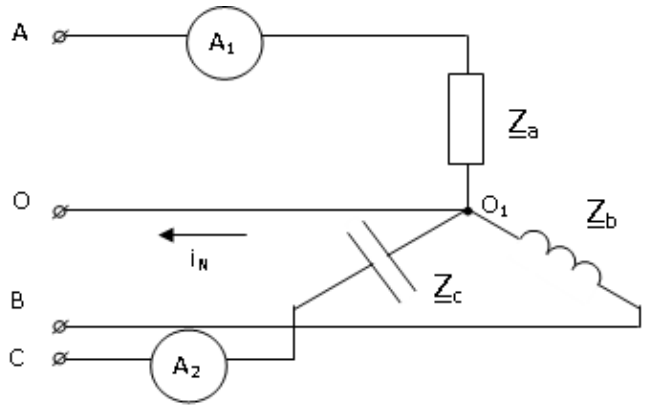
The non-sinusoidal periodic EMF of phase A e_A of a three-phase generator connected by a star is represented as a trigonometric Fourier series:

$$e_A = 300\sin\omega t + 160\sin\left(3\omega t - \frac{\pi}{6}\right) + 100\sin\left(5\omega t + \frac{\pi}{4}\right) + 60\sin\left(7\omega t + \frac{\pi}{3}\right) + 40\sin\left(9\omega t + \frac{\pi}{8}\right).$$

u_{AB}(t)лездік сызықтық кернеуді, E_A «А» фазасының және U_{AB} сызықтық кернеуінің ЭҚҚ мәнін, сондай – ақ U_{AB}/E_A сызықтық кернеудің фазаға қатынасын табыңыз.

Find the instantaneous line voltage u_{AB}(t), the effective value of the EMF of phase «A» E_A and line voltage U_{AB}, and also the attitude U_{AB}/E_A – line voltage to phase voltage.

Есеп / Task 5.4.4



5.32-сурет / Figure 5.32

Тізбек үшін (5.4.4--сурет) берілген: фазалық қарсылықтың 1-ші гармоникасы үшін

For the circuit (Figure 5.4.4) it is given: for the 1st harmonic of the phase resistance

$$z_{a1} = 10 Ом;\ z_{b1} = 10\sqrt{3} Ом;\ z_{c1} = 10\sqrt{3} Ом;$$

жұлдызмен байланысқан симметриялы генератордың «А» фазасының фазалық ЭҚҚ

phase EMF of phase «A» of a symmetrical generator connected by a star

$$e_A = 100\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^0) + 60\sqrt{2}\sin 3\omega t + 30\sqrt{2}\sin(5\omega t - 30^0)$$

Табу: 1) «А» және «С» фазаларындағы электромагниттік жүйенің амперметрлерінің көрсеткіштері; 2) нөлдік сымдағы 3-ші гармоника тогының қолданыстағы мәні. Нөлдік сымдағы ағымдағы мәндерді есептеу формуласын жазыңыз

To find: 1) ammeter readings of the electromagnetic system in phases «A» and «C»; 2) the effective value of the current of the 3rd harmonic in the zero wire. Write down the formula for calculating the effective values of the current in the zero wire through its harmonics.

Жауаптар

Answers

Есеп № Tasks	Жауаптар – Answers	Есеп № Task	Жауаптар – Answers
5.1.1	80 В	5.1.11	20 Ом
5.1.2	5 А	5.1.12	5 А
5.1.3	360 Вт/W	5.1.13	-0,56А;-0,69 А
5.1.4	- 10 В	5.1.14	- 0,375 А
5.1.5	2,86 Ом/Ohm	5.1.15	3 А; 1 А
5.1.6	60 В; 4,5 А	5.1.16	0,21 А; 0,88 А; 1,09 А
5.1.7	4,5 А; 270 Вт	5.1.17	0,33 А
5.1.8	1,25 А	5.1.18	-8,75 В; 12,5 А
5.1.9	10 В	5.1.19	40 В; 1 А
5.1.10	0,67 А	5.1.20	0,5 А; 0,5 А
5.2.1	$\underline{U} = 71\angle 98^{\circ} B.$	5.3.2	$\underline{I}_A = 5\angle -53^0 A;\ \underline{I}_C = 5\angle 67^0 A;$ $\underline{I}_B = 5\angle -173^0 A;\ \underline{I}_N = 0.$
5.2.2	12 А; 9.6 А; 7,2 А; 720 Вт/W.	5.3.3	$\underline{I}_A = -11A;\ \underline{I}_B = 21{,}25\angle -75^0 A;$ $\underline{I}_C = 21{,}25\angle 75^0 A;$
5.2.3	$\underline{I}_{-1} = 2{,}83\angle 75^{\circ} A;$ $\underline{I}_{-2} = 2\angle -60^{\circ} A;$ P = 48 Вт; Q = - 40,1 вар/var $j = 2{,}82\sin(\omega t + 30^0)$. вар/var;	5.3.4	$\underline{I}_A = 2{,}54\angle -53^0 A;\ \underline{I}_B = 4{,}5\angle -75^0 A;$ $\underline{I}_C = 2{,}54\angle 120^0 A;$ $\underline{I}_N = 3{,}96\angle -69^0 A.$

5.2.4	$\underline{Z} = 86{,}57\angle -10^{\circ}\ Ом;$ $\tilde{S} = 172{,}12\angle -10^{\circ} =$ $169{,}51 - j28{,}89, ВА.$	5.3.5	$\underline{I}_{AB} = 5.78\angle 105^0\ A;\ \underline{I}_{BC} = 5.78\angle -15^0\ A;$ $\underline{I}_{CA} = 5.78\angle 225^0\ A.\ \underline{I}_A = 10\angle 75^0\ A;$ $\underline{I}_C = 10\angle 195^0\ A;$
5.2.5	116,62 В.	5.3.6	$\underline{I}_{AB} = 7{,}6\angle -53^0\ A;\ \underline{I}_{BC} = 7{,}6\angle -173^0\ A;$ $\underline{I}_{CA} = 7{,}6\angle 67^0\ A.\ \underline{I}_A = 13{,}15\angle -83^0\ A;$ $\underline{I}_B = 13{,}15\angle -203^0\ A;\ \underline{I}_C = 13{,}15\angle 37^0\ A.$
5.2.6	125 В.	5.3.7	$\underline{I}_{AB} = 6.92\angle -90^0\ A;\ \underline{I}_{BC} = 6.92\angle -120^0\ A;$ $\underline{I}_{CA} = 6.92\angle 210^0\ A.\ \underline{I}_A = 6.93\angle -30^0\ A;$
5.2.7	50 В.	5.4.1	$i_r = \sin(\omega t + 30^0) + 0.3\sin 3\omega t + 0.1\sin(5\omega t - 135^0);$ $i_L = \sin(\omega t - 60^0) + 0.1\sin(3\omega t - 90^0) + 0.02\sin(5\omega t - 225^0);$ $i_C = \sin(\omega t + 120^0) + 0.9\sin(3\omega t + 90^0) + 0.5\sin(5\omega t - 45^0);$ $I_r = 1.02\ A;\quad I_L = 1\ A;\quad I_C = 1.24\ A.$
5.2.8	16 А.	5.4.2	U = 107.24 В; I = 7.87 А; P = 210 Вт; Q = 82.68 вар; S = 225.7 ВА.
5.2.9	$i = 4\sin(\omega t - 60^0).$	5.4.3	$u_{AB} = 519\sin(\omega t + 30^0) + 173\sin(5\omega t + 15^0) + 104\sin(7\omega t + 90^0$ $E_A = 255{,}73\ В;\quad U_{AB} = 393.77\ В;$ $\frac{U_{AB}}{E_A} = 1.54\langle\sqrt{3}.$
5.3.1	$\underline{I}_A = 10\angle 75^0\ A;$ $\underline{I}_C = 10\angle 195^0\ A.$	5.4.4	$I_A = I_1 = 12.04\ A;\quad I_C = I_2 = 14.72\ A;$ $I_N = \sqrt{I_{N1}^2 + I_{N3}^2 + I_{N5}^2}.$

Әдебиет

1 Туғынбаев Ы. Т. Электротехниканың теориялық негіздері / оқулық. Ы. Т. Туғынбаев. – Алматы : Экономика. 2012. – 500 б.

2 Балабатыров С. Б. Электротехниканың теориялық негіздері : оқу құралы. – 2 бөлім. – Алматы : Бастау. 2009. – 338 б.

3 Мустафина Р. М., Кислов А. П., Амренова Д. Т. Тұрақты және бірфазалы синусоидалы тоқтардың сызықты электр тізбектерін есептеу (ЭЕМ-ге арналған бағдарлама). а. с. ИС 001104 № 489 от 16.03.2015.

4 Мустафина Р. М., Кислов А. П., Байкенова Н. Б. Үш фазалы синусоидалы және синусоидалы емес тоқтардың сызықты тізбектерін есептеу (ЭЕМ-ге арналған бағдарлама). а. с. ИС 001133 № 507 от 19.03.2015.

5 Мустафина Р. М., Дробинский А. А., Байкенова Н .Б. Тоқтын сызықты электр тізбектері (программа для ЭВМ). а. с. ИС 007969 № 671 от 11.04.2017.

6 Мустафина Р. М., Дробинский А. А., Байкенова Н. Б. Тестілік есептер. Бірфазалы және ұшфазалы синусоидалы тоқтын сызықты электр тізбектері (программа для ЭВМ). а. с. ИС 007961 № 676 от 11.04.2017.

Resources

1 Bessonov L. A. Teoreticheskiye osnovy electrotekhniki. Elektricheskiye tsepi / uchebnik dlya electrotekn. Spets.vuzov / L. A. Bessonov. – 11-ye izd. Pererab. I dop. – M. : Yurait, 2013. – 701 s. – (Bacalavr)

2 Pryanishnikov V. A. Teoreticheskiye osnovi electrotekhniki: kurs lektsi: uchebnoye posobiye / V. A. Pryanishnikov. – SPb. : CORONA print. 2011 – 366 s.

3 Mustafina R. M., Kislov A. P. I dr. Raschet lineinikh tsepei trekhfaznogo sinusoidalnogo i nesinusoidalnogo tokov [Electronni resurs]. a. s. |IS 000955 No. 357 ot 25.02.2015

4 Mustafina R. M., Drobinski A. A., Baikenova N. B. Lineiniye electricheskiye tsepi postoyannogo toka (programma dlya EVM). a. s. IS 002725 No. 1899 от 08.10.2015

5 Mustafina R. M., Drobinski A. A., Baikenova N. B. Testoviye zadachi. Lineiniye electricheskiye tsepi odnophaznogo b trekhfaznogo

sinusoidalnogo toka (programma dlya EVM). a. s. IS 003481 No. 0058 ot 12.01.2016

Мазмұны
Content

	Кіріспе Introduction	3
1	Сызықты тұрақты токтың электр тізбектері Linear DC electrical circuits	4
1.1	Ом және Кирхгоф заңдары The laws of Ohm and Kirchhoff	4
1.2	Элементтердің тізбектеліп, параллель және аралас қосылуы Serial, parallel and mixed connection of elements	11
1.3	Контурлық ток әдісі (КТӘ) The method of contour currents (MCC)	19
1.4	Түйіндік потенциалдар әдісі (ТПӘ) Nodal Potential Method (NPM)	24
1.5	Екі түйін әдісі Two node method	28
2	Бірфазалы синусоидалы токтың сызықтық электр тізбектері Linear electric circuits of single-phase sinusoidal current	32
2.1	Негізгі түсініктер Basic concepts	32
2.2	Тізбекті кешенді есептеу Complex calculation of the serial circuit	35
2.3	Параллельді тізбекте кешенді түрін есептеу Complex parallel circuit calculation	42
2.4	Аралас тізбекті кешенді есептеу Complex calculation of the mixed chain	45
2.5	Кешендік түрдегі контурлы токтар әдісі The method of contour currents in a complex form	50
2.6	Бір фазалы синусоидалы ток тізбегінің қуаты Single-phase sinusoidal current circuit power	51
2.7	Өзара индукция болған кездегі тізбектер Circuits in the presence of mutual induction	59
2.8	Резонанс режимдері Resonance modes	62
3	Үш фазалы синусоидалы токтың сызықты электр тізбектері Linear electric circuits of three-phase sinusoidal current	68

3.1 Жұлдызша қосылған кезде симметриялы үш фазалы тізбек
Symmetrical three-phase circuit with star connection 68
3.2 Жұлдызша қосылған кезде симметриялық емес үш фазалы тізбек
Asymmetric three-phase circuit with star connection 71
3.3 Үшбұрышты қосу кезіндегі симметриялы үш фазалы тізбек
Symmetrical three-phase circuit with triangle connection 76
3.4 Үшбұрышты қосу кезіндегі асимметриялық үш фазалы тізбек
Asymmetric three-phase circuit when connecting a triangle 80
4 Синусоидальды емес периодты көздер үшін сызықты электр тізбектері
Linear electrical circuits with non-sinusoidal periodic sources 84
4.1 Синусоидальды емес периодты көздер үшін бір фазалы тізбек
Single-phase circuit with non-sinusoidal periodic sources 84
4.2 Синусоидальды емес периодты көздер үшін үш фазалы тізбек
Three-phase circuit with non-sinusoidal periodic sources 95
5 Өзіндік жұмысына арналған тапсырма
Tasks for independent work 101
5.1 Тұрақты токтың сызықты тізбектері
Linear DC circuits 101
5.2 Бір фазалы синусоидалы токтың желілік электр тізбектері
Linear electric circuits of single-phase sinusoidal current 111
5.3 Үш фазалы синусоидалы токтың желілік электр тізбектері
Linear electric circuits of three-phase sinusoidal current 116
5.4 Синусоидальды емес периодты көздер кезіндегі сызықтық электр тізбектері
Linear electrical circuits with non-sinusoidal periodic sources 119
Жауаптар
Answers 122
Әдебиет
Resources 124