

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
2017 г.



## ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине  
"Теоретические основы электротехники" для студентов направлений  
подготовки "Электроэнергетика и электротехника"

Курск 2017

УДК 621. 301

Составитель: Л.В. Плесконос, А.С.Романченко.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения  
А.Л.Овчинников

**Линейные электрические цепи постоянного тока.** Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Теоретические основы электротехники" для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника»// Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.В.Плесконос, А.С.Романченко. Курск, 2017. 46 с., рис. 24, табл. 4. Библиогр.: 46 с.

Излагаются методические указания и теоретический материал, необходимый для выполнения работы.

Предназначены для студентов направления подготовки  
Электроэнергетика и электротехника

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать. Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. Уч.-изд.л. Тираж Заказ. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г.Курск ул. 50 лет Октября, 94.

# ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

## Основные формулы и уравнения.

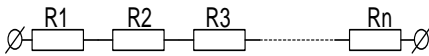
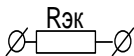
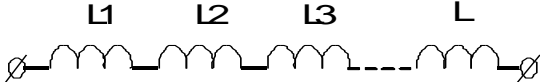

Таблица 1.

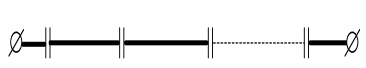

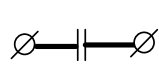
Величина	Обозначение	Единица измерения	Формула
Количество электричества (заряд)	Q	Кулон(Кл) = Ампер • секунда (А • с)	$Q = I \cdot t$
Электрический ток	I	Ампер (А)	$I = \frac{Q}{t}$
Напряжение	U	Вольт (В)	$U_{12} = \Phi_1 - \Phi_2$
Сопротивление	R	Ом (Ом)	$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$
Проводимость	G	Сименс (См)	$G = \frac{1}{R}$
Удельное электрическое Сопротивление	$\rho$	$\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$\rho = R \cdot \frac{S}{l}$

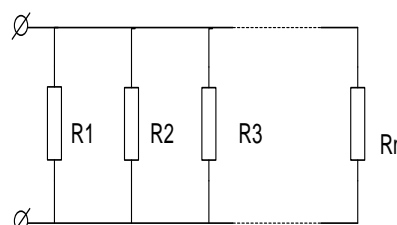
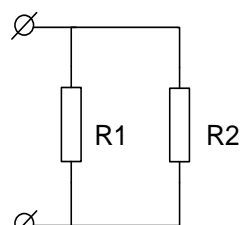
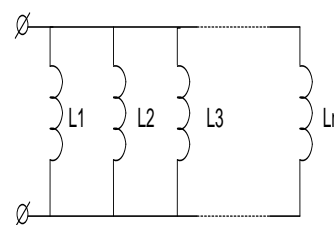
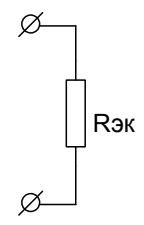
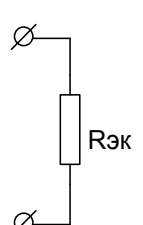
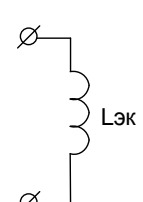
Удельная электрическая проводимость	$\gamma$	$\frac{м}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$	$\gamma = \frac{1}{\rho}$
-------------------------------------	----------	-----------------------------------------	---------------------------

### Способы соединения элементов

Таблица 2

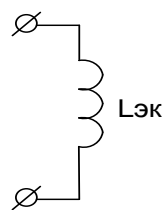
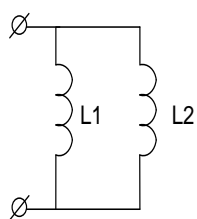
Вид соединения	Начальная электрическая схема	Преобразованная электрическая схема
1	2	3
Последовательное		
		$R_{эк} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$
Последовательное		
		$L_{эк} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$

	<p style="text-align: center;">C1   C2   C3   Cn</p>  <p style="text-align: center;">Частный случай</p> <p style="text-align: center;">C1   C2</p> 	<p style="text-align: center;">Cэк</p>  $\frac{1}{C_{эк}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$ $C_{эк} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

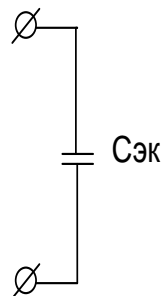
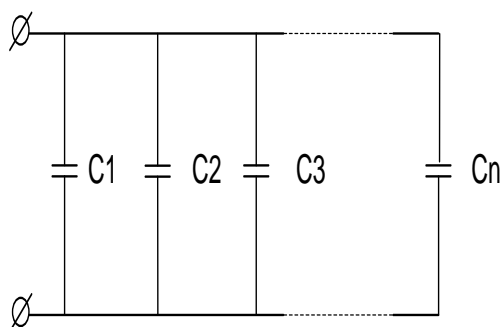
<p>Параллельное</p>	  	 $\frac{1}{R_{эк}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$  $R_{эк} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$  $\frac{1}{L_{эк}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$
---------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Параллельное

Частный случай

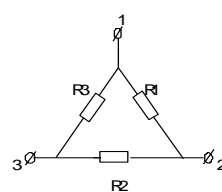
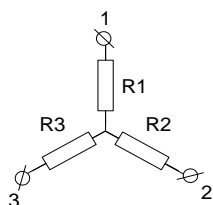


$$L_{\text{эк}} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$



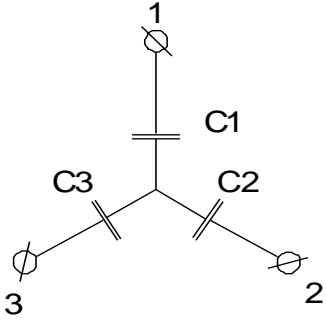
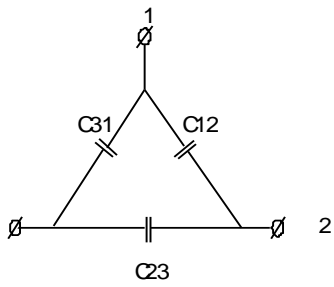
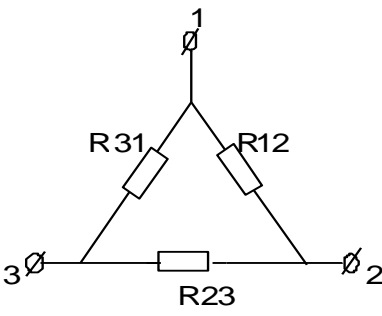
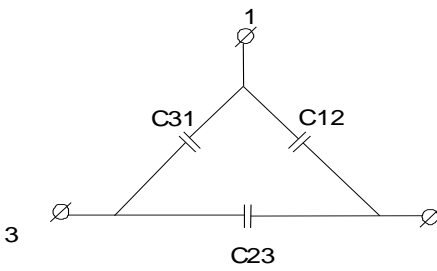
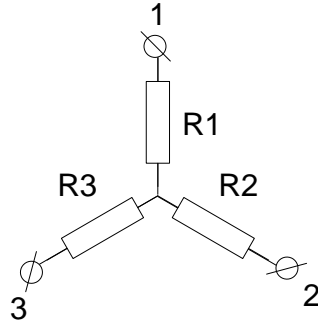
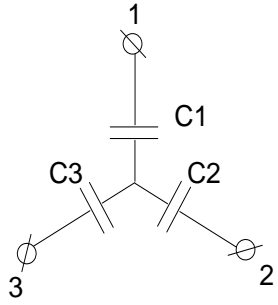
$$C_{\text{эк}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Преобразование  
соединения  
звездой в  
треугольник



$$G_{12} = \frac{G_1 \cdot G_2}{G_1 + G_2 + G_3}, \text{ где}$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} \quad G_2 = \frac{1}{R_2} \quad G_3 = \frac{1}{R_3}$$

1	2	3
	 <p>A star connection of three capacitors. Terminal 1 is at the top, terminal 3 is at the bottom left, and terminal 2 is at the bottom right. Capacitor C1 is connected between terminals 1 and the center, C2 between 2 and the center, and C3 between 3 and the center.</p>	 <p>A delta connection of three capacitors. Terminal 1 is at the top vertex, terminal 2 is at the bottom right vertex, and terminal 3 is at the bottom left vertex. Capacitor C12 is on the right side, C23 is on the bottom side, and C31 is on the left side.</p> $C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2 + C_3}$ <p>Далее применяют круговую замену индексов</p>
<p>Преобразование соединения треугольником в звезду</p>	 <p>A delta connection of three resistors. Terminal 1 is at the top vertex, terminal 3 is at the bottom left vertex, and terminal 2 is at the bottom right vertex. Resistor R31 is on the left side, R12 is on the right side, and R23 is on the bottom side.</p>  <p>A delta connection of three capacitors. Terminal 1 is at the top vertex, terminal 3 is at the bottom left vertex, and terminal 2 is at the bottom right vertex. Capacitor C31 is on the left side, C12 is on the right side, and C23 is on the bottom side.</p>	 <p>A star connection of three resistors. Terminal 1 is at the top, terminal 3 is at the bottom left, and terminal 2 is at the bottom right. Resistor R1 is connected between terminals 1 and the center, R2 between 2 and the center, and R3 between 3 and the center.</p> $R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ <p>Далее применяют круговую систему индексов</p>  <p>A star connection of three capacitors. Terminal 1 is at the top, terminal 3 is at the bottom left, and terminal 2 is at the bottom right. Capacitor C1 is connected between terminals 1 and the center, C2 between 2 and the center, and C3 between 3 and the center.</p>

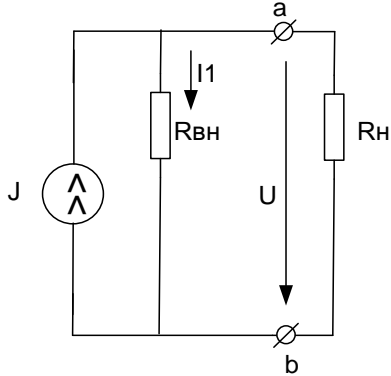
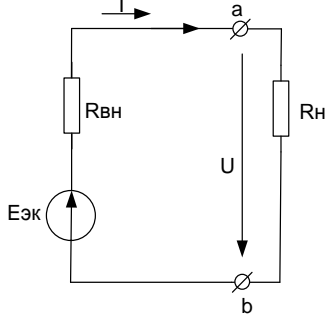
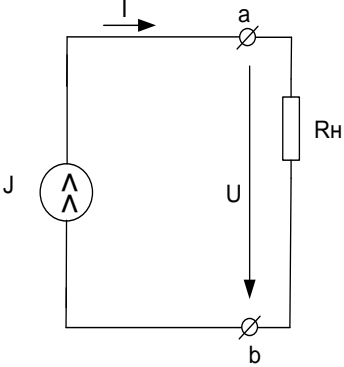
		$\frac{1}{C_1} = \frac{\frac{1}{C_{12}} \cdot \frac{1}{C_{31}}}{\frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_{23}} + \frac{1}{C_{31}}}$ <p>Далее применяют круговую замену индексов</p>
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Источники энергии

Таблица 3.

Источник энергии	Исходная электрическая схема	Эквивалентная схема
1	2	3
Источник ЭДС E		$J_{эк} = \frac{E}{R_{вн}}$
Идеальный источник ЭДС: $R_{вн} = 0$		Замены нет



<p>Источник тока J</p>		 $E_{эк} = J \cdot R_{вн}$
<p>Идеальный источник тока J</p>	 $J = I$	<p>Замены нет</p>

Законы и методы расчёта электрических цепей

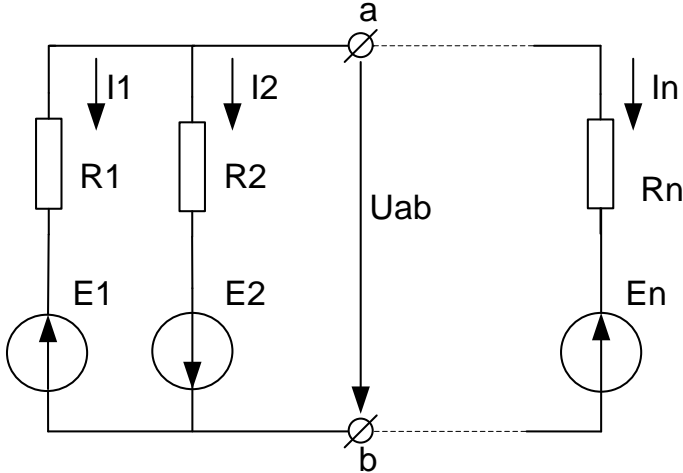
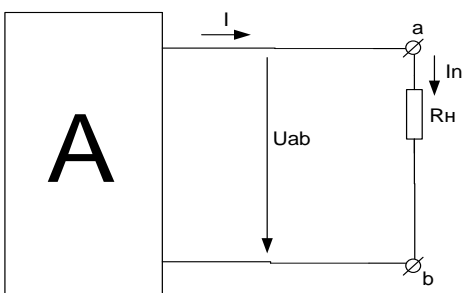
Таблица 4.

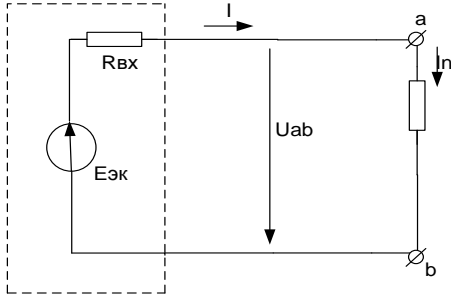
Законы (методы) расчёта	Уравнение
1	2
<p>Закон Ома для участка цепи: ток, проходящий по цепи, прямо пропорционален напряжению U, приложенному к этому участку и обратно пропорционален его сопротивлению R</p>	$I = \frac{U}{R}$
<p>Закон Ома для участка цепи с источником ЭДС</p>	 $I = \frac{U_{ab} + E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$ <p>В числителе этого выражения ЭДС записывают со знаком плюс, если их направления совпадают с</p>

	выбранным направлением тока
Первый закон Кирхгоффа: алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.	$\sum_{k=1}^n I_k = 0$ <p>Количество составленных уравнений <math>K_1=U-1</math>, где <math>U</math> – число узлов электрической схемы</p>
Второй закон Кирхгоффа: в замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений вдоль того же контура	$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n E_k$ <p>Количество составляемых уравнений <math>K_2=B-K_1</math>, где <math>B</math> – число ветвей электрической схемы</p>
Метод контурных токов	$\begin{cases} I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} + \dots + I_{nn}R_{1n} = E_{11} \\ I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} + \dots + I_{nn}R_{2n} = E_{22} \\ \dots \\ I_{11}R_{n1} + I_{22}R_{n2} + \dots + I_{nn}R_{nn} = E_{nn} \end{cases}$ <p>где <math>I_{nn}</math> – контурный ток <math>n</math> – контура;</p> <p>сопротивления с одинаковыми индексами (<math>R_{11}, R_{22}</math>) называются собственным сопротивлением контуров и равны сумме сопротивлений, входящих в контур; сопротивления с разными индексами называются взаимными (<math>R_{12}, R_{23}</math>) и равны сопротивлению смежных ветвей с соответствующим знаком; <math>E_{nn}</math> – алгебраическая сумма ЭДС <math>n</math> – контура. Количество составляемых уравнений равно <math>K_2</math></p>

Продолжение табл.4

1	2
Метод узловых потенциалов	$\begin{cases} \varphi_1 G_{11} + \varphi_2 G_{12} + \dots + \varphi_{n-1} G_{1,n-1} = J_{11} \\ \varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} + \dots + \varphi_{n-1} G_{2,n-1} = J_{22} \\ \dots \\ \varphi_1 G_{n-1,1} + \varphi_2 G_{n-1,2} + \dots + \varphi_{n-1} G_{n-1,n-1} = J_{nn} \end{cases}$

	<p>где <math>\phi_k</math> – потенциал «k» – контура;</p> <p><math>G_{kk}</math> – сумма проводимостей ветвей, сходящихся в узле k;</p> <p><math>G_{km}</math> – сумма проводимостей ветвей, соединяющих узлы k и m, взятая со знаком минус. В формировании узлового тока k-узла <math>J_{kk}</math> участвуют ветви, которые подходят к этому узлу и содержат источники ЭДС и тока. Количество составляемых уравнений равно <math>K_1</math></p>
<p>Метод двух узлов</p>	 $U = \frac{E_1 \cdot G_1 - E_2 \cdot G_2 + \dots + E_n \cdot G_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n},$ <p>где <math>G_n = \frac{1}{R_n}</math></p>
<p>Метод наложения</p>	<p>При расчёте цепей данным методом поступают следующим образом: поочерёдно рассчитывают токи, возникающие от действия каждого из источников в отдельности, мысленно удаляя остальные из схемы; затем находят токи в ветвях путём алгебраического сложения частичных токов</p>
<p>Метод эквивалентного генератора:</p> <p>Активный двухполюсник по отношению к рассматриваемой ветви можно заменить эквивалентным ЭДС <math>E_{эк}</math> равным напряжению холостого хода на зажимах этой ветви <math>U_{хх}</math> с внутренним сопротивлением <math>R_{вх}</math>, равным входному сопротивлению двухполюсника</p>	

	 $I = \frac{U_{xx}}{R_{вх} + R_n} U_{xx} = E_{эк}$
<p>Баланс мощностей в электрической цепи: мощность, развиваемая источником, равна сумме мощностей потребителей</p>	$\sum_{k=1}^n E_k I_k = \sum_{k=1}^n I_k^2 R_k$ <p>Произведение EI положительно, если E и I имеют одно направление и отрицательно, если разное.</p>

**1.1р.** Свинцовый аккумулятор емкостью  $Q=15\text{А}\cdot\text{ч}$  заряжается током  $I_{зар}=1,5\text{А}$ . Как долго он должен заряжаться и через сколько времени он разрядится через лампы током  $I_{раз} = 0,3\text{ А}$ .

**1.2.** Заряженный аккумулятор емкостью  $Q=28\text{А}\cdot\text{ч}$ . Какой ток необходим для зарядки аккумулятора за 10ч, и каким током он разрядится за 140ч.

**1.3р.** Длина медной проволоки  $l=0,2\text{км}$ , диаметр  $d=2\text{мм}$ . Определить сопротивление этой проволоки.

**1.4.** Линия электропередачи выполнена из алюминиевого провода диаметром 2,5 мм. Общая длина обоих проводов 600м. Определить сопротивление линии.

**1.5р.** Для изготовления реостата с сопротивлением  $R=100\text{ Ом}$  взяли медную и никелиновую проволоку диаметром  $d=0,5\text{мм}$ . Какой должна быть длина медной и никелиновой проволоки для реостата, если удельное

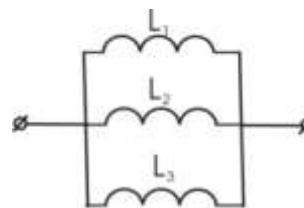
сопротивление меди  $\rho_M=1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, удельное сопротивление никелина  $\rho_N=40 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

**1.6р.** Определить эквивалентную индуктивность и эквивалентную емкость цепи (рис. 1.1).

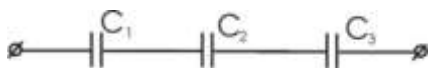
Параметры цепи:  $C=0,1$  мкФ,  $L=1$  Гн.



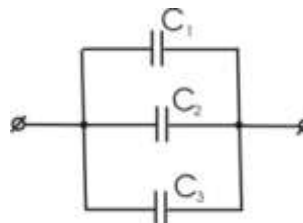
а)



в)



б)



г)

Рис. 1.1.

**1.7р.** Для цепи (рис. 1.2) определить эквивалентные сопротивления между зажимами а и б, с и d, d и f.

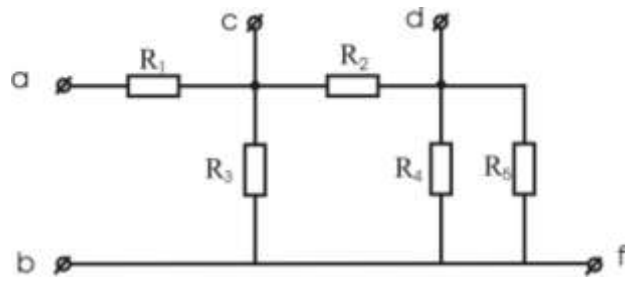
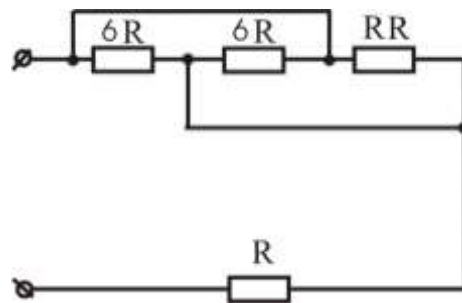


Рис. 1.2.

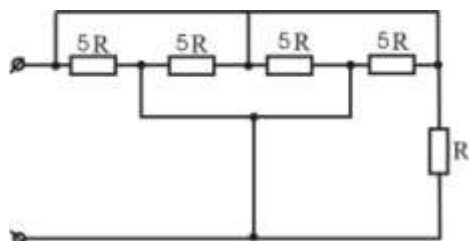
Параметры цепи:  $R_1=6$  Ом,  $R_2=5$  Ом,  $R_3=15$  Ом,  $R_4=30$  Ом,  
 $R_5=6$  Ом.

**1.8.** Определить эквивалентное сопротивление цепей

(рис. 1.3).



a)



б)

Рис.1.3.

**1.9р.** Определить эквивалентное сопротивление цепей

(рис. 1.4).

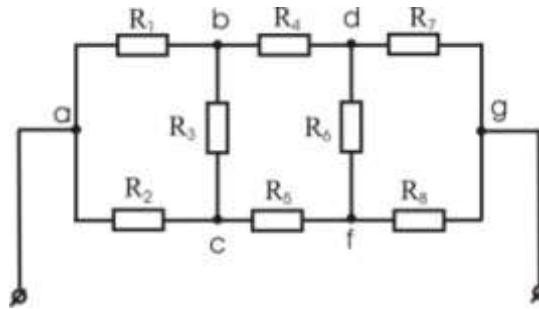
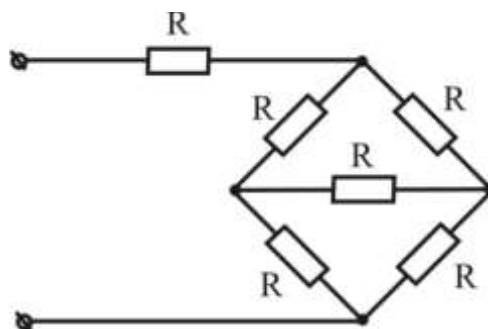


Рис. 1.4.

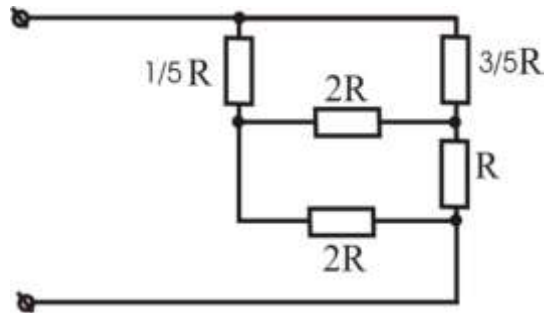
Сопротивление цепи:  $R_1=30$  Ом,  $R_2= R_3=10$  Ом,  $R_4=26$  Ом,

$R_5=11$  Ом,  $R_6=10$  Ом,  $R_7=40$  Ом,  $R_8=50$  Ом.

**1.10.** Определить эквивалентное сопротивление цепей (рис. 1.5)



а)



б)

Рис.1.5.

**1.11р.** Две лампы с номинальным напряжением 110 В, из которых одна с номинальной мощностью  $P_1=25\text{Вт}$ , а мощность другой  $P_2=100\text{Вт}$ , включены последовательно в сеть с напряжением  $U=220\text{В}$ .

Определить напряжение на каждой лампе.

**1.12.** К идеальному источнику постоянного тока с Э.Д.С.  $E=125\text{В}$  подключены последовательно три резистора с сопротивлением  $R_1=100\text{ Ом}$ ,  $R_2=30\text{ Ом}$ ,  $R_3=120\text{ Ом}$ .

Определить ток в цепи, падение напряжения и мощность на каждом резисторе.

**1.13.** Пылесос с номинальным напряжением  $U_n=110\text{ В}$  и мощностью 170 Вт должен работать при напряжении сети  $U=120\text{ В}$ .

Определить каким должно быть добавочное сопротивление резистора.

**1.14р.** Вольтметр для измерения напряжений до 10В имеет сопротивление  $R_v=100\text{ Ом}$ .

Определить каким должно быть сопротивление добавочного резистора  $R_d$ , чтобы вольтметр измерял напряжение до 250 В.



**1.15.** На резистор сопротивлением  $R_H=120\text{ Ом}$  подано напряжение от источника Э.Д.С.  $E=300\text{В}$  через реостат сопротивлением  $R_p=480\text{ Ом}$  (рис. 1.6)

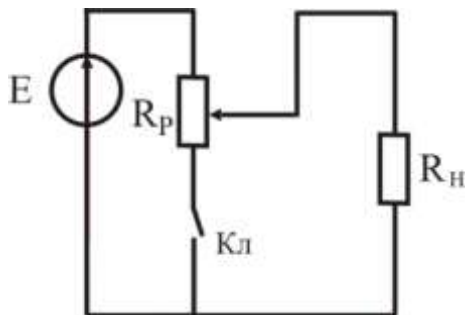


Рис. 1.6.

Определить, в каких пределах можно изменять ток и напряжение в нагрузке с помощью реостата при:

1) замкнутым и 2) разомкнутым тумблере Кл.

**1.16.** Определить показания вольтметров (рис. 1.7)

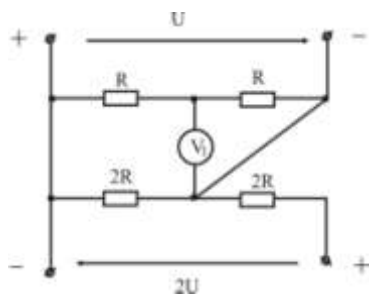


Рис. 1.7.

**1.17р.** Полупроводниковый усилитель имеет схему замещения, приведенную на рис. 1.8.

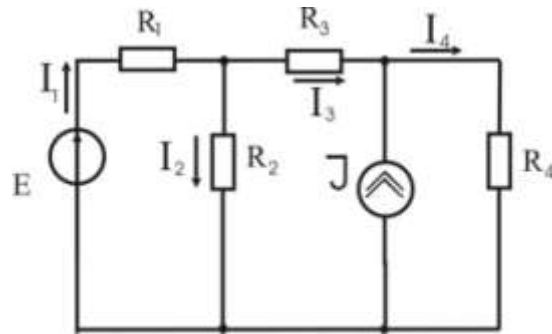


Рис. 1.8.

Для этой схемы заданы:  $E=6\text{В}$ ,  $J=1\text{А}$ ,  $R_1=9\text{ Ом}$ ,  $R_2=4,5\text{ Ом}$ ,

$R_3=3\text{ Ом}$ ,  $R_4=6\text{ Ом}$ .

Определить токи ветвей принципом наложения.

**1.18р.** Схема, изображенная на рис. 1.9. представляет собой мост, в диагонали которого включены два источника с Э.Д.С.  $E_1=E_2=20\text{ В}$ .

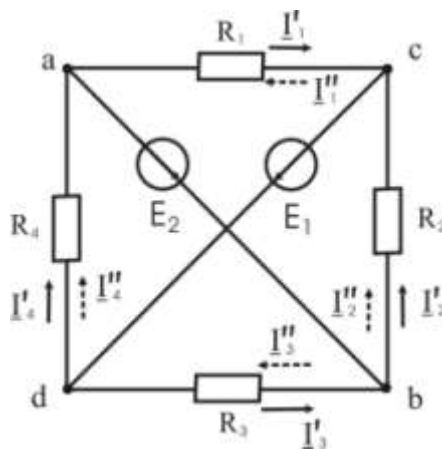


Рис. 1.9.

Сопротивления ветвей моста одинаковы и равны

$R_1=R_2=R_3=R_4=20\text{ Ом}$ .

Определить мощности, расходуемые в каждом сопротивлении и мощности, отдаваемые каждым из генераторов.

**1.19.** Определить токи ветвей (рис. 1.10.) принципом наложения.

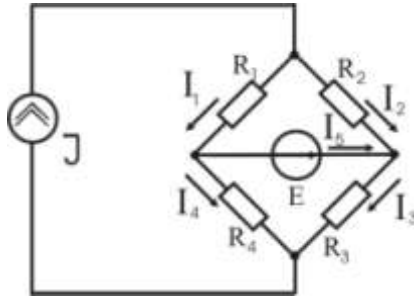


Рис. 1.10.

Для схемы заданы:  $E=3\text{В}$ ,  $J=10\text{мА}$ ,  $R_1=R_3=4\text{кОм}$ ,  $R_2=R_4=1\text{кОм}$ .

**1.20.** Определить ток  $I$  цепи (рис 1.11.) принципом наложения.

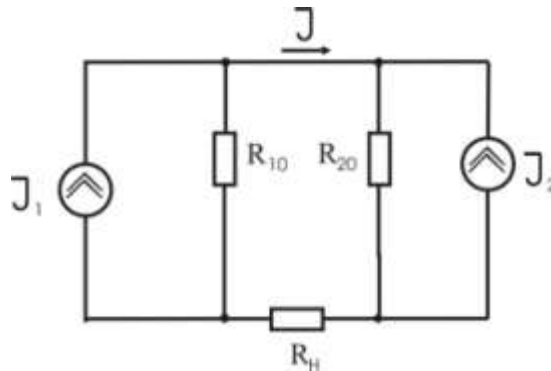


Рис.1.11.

Параметры источников тока:  $J_1 = 200\text{ А}$ ,  $R_{10} = 2\text{ Ом}$ ,  $J_2 = 100\text{ А}$ ,

$R_{20} = 1\text{ Ом}$ . Сопротивление резистора  $R_n=7\text{ Ом}$ .

**1.21р.** В цепи рис 1.12 определить токи в ветвях пользуясь законами Кирхгофа и проверить баланс мощностей.

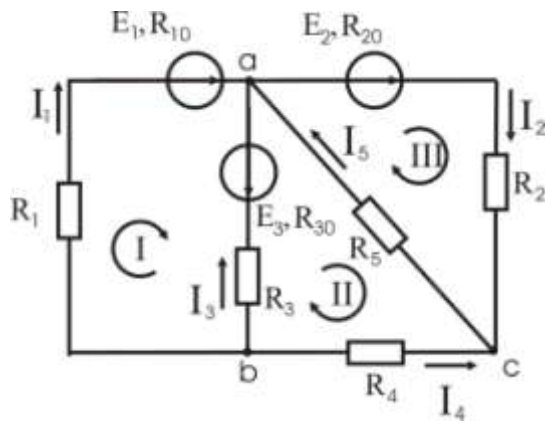


Рис. 1.12.

Параметры цепи:  $R_1=5 \text{ Ом}$ ,  $R_2=4 \text{ Ом}$ ,  $R_3=8 \text{ Ом}$ ,  $R_4=2,5 \text{ Ом}$ ,

$R_5=15 \text{ Ом}$ .

Э.Д.С. генераторов  $E_1=15 \text{ В}$ ,  $E_2=70 \text{ В}$ ,  $E_3=5 \text{ В}$ ; их внутренние сопротивления:  $R_{10}=R_{20}=1 \text{ Ом}$ ,  $R_{30}=2 \text{ Ом}$ .

**1.22.** В линейной цепи (рис. 1.13) Э.Д.С.  $E_1$  представляет генератор автомобиля с его внутренним сопротивлением  $R_{10}$ , а  $E_2$  - аккумулятор,  $R_1$  и  $R_2$  - сопротивления соединительных проводов, а  $R_3$  - приемники автомобиля.

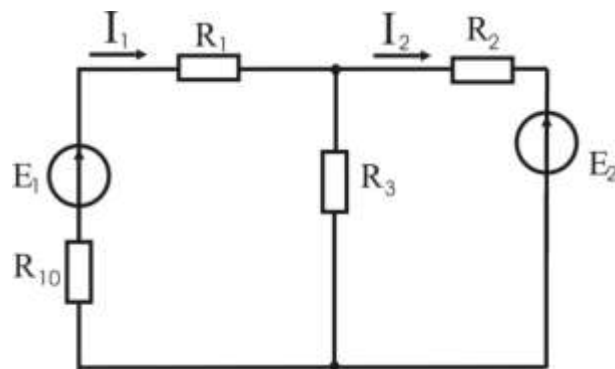


Рис. 1.13.

Используя второй закон Кирхгофа и уравнение баланса мощностей проверить правильность расчета токов, если  $E_1=14,4 \text{ В}$ ,  $E_2=12 \text{ В}$ ,  $R_{10}=0,01 \text{ Ом}$ ,  $R_1=0,19 \text{ Ом}$ ,  $R_2=0,2 \text{ Ом}$ ,  $I_1=11 \text{ А}$ ,  $I_2=1 \text{ А}$ .

**1.23.** Определить показание вольтметра  $V$  и ваттметров  $W_1$  и  $W_2$  в электрической цепи (рис. 1.14), используя законы Кирхгофа

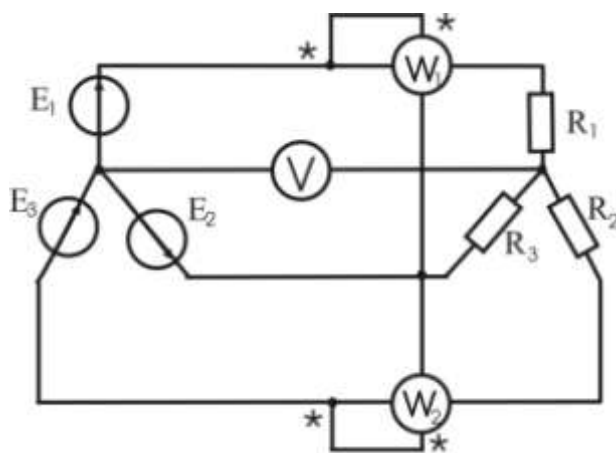


Рис. 1.14

Э.Д.С. источников и параметры элементов цепи:  $E_1=30$  В,

$E_2=21$  В,  $E_3=5$  В,  $R_1=5$  Ом,  $R_2=10$  Ом,  $R_3=50$  Ом.

**1.24.** В электрической схеме рис. 1.15 определить токи во всех ветвях с помощью уравнений Кирхгофа, проверить баланс мощностей. Указать режимы работы источников.

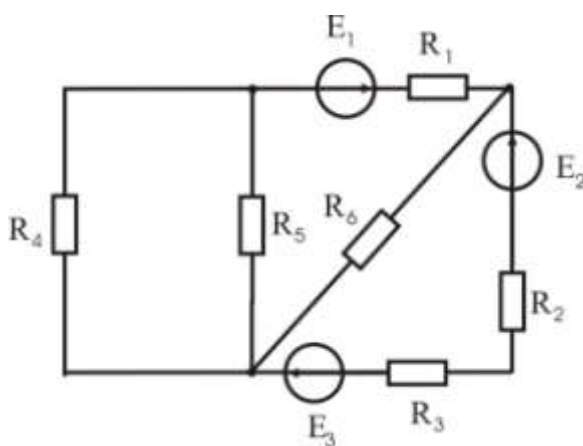


Рис. 1.15.

Э.Д.С. источников и параметры цепи:  $E_1=1,5$  В,  $E_2=4,5$  В,  $E_3=3,5$  В,  $R_1=0,5$  Ом,

$R_2=0,4$  Ом,  $R_3=0,1$  Ом,  $R_4=10$  Ом,  $R_5=15$  Ом,  $R_6=2$  Ом.

**1.25р.** Цепь рис. 1.16 содержит генератор тока, имеющий внутреннюю проводимость  $G_r=5 \cdot 10^{-5}$  См и ток  $J=80$  мА и источник напряжения с Э.Д.С.  $E_1=230$ В.

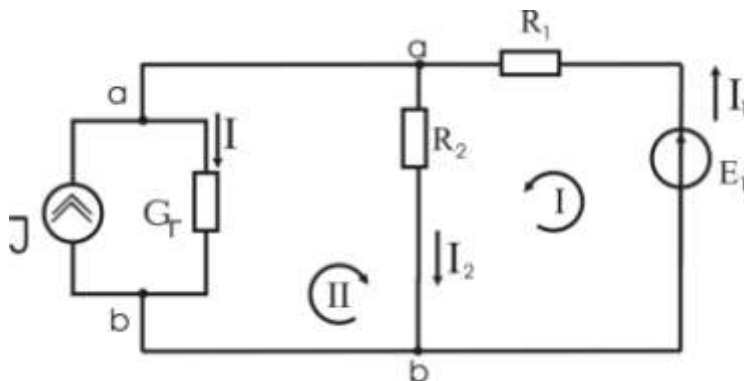


Рис. 1.16

Определить токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$ . Составить баланс мощностей.

**1.26.** Используя законы Кирхгофа, определить токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$  цепи рис. 1.17.

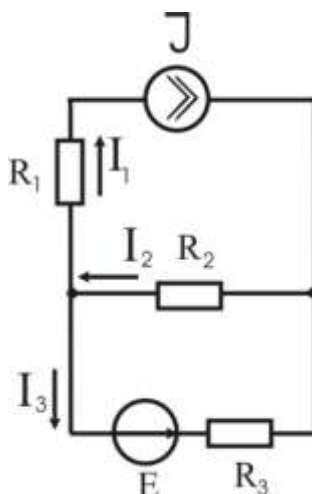


Рис.1.17.

Источники тока:  $J=5$ А, напряжения  $E=200$ В, сопротивления  $R_1=R_2=R_3=5$  Ом.

**1.27р.** В электрической цепи (рис. 1.18) определить токи

методом контурных токов

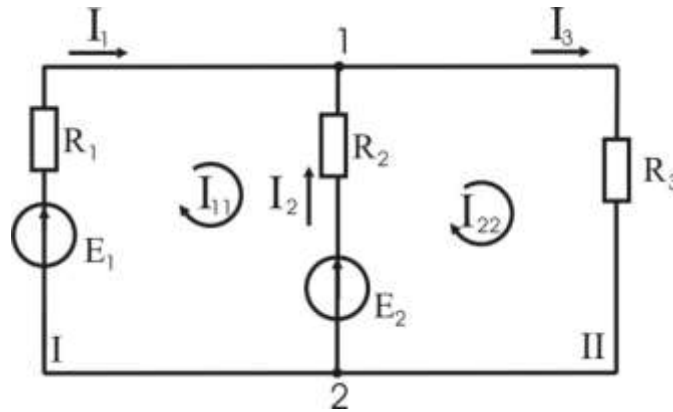


Рис. 1.18.

Э.Д.С. источников и параметры элементов цепи:  $E_1=15\text{В}$ ,  $E_2=14\text{В}$ ,  $R_1=3\text{ Ом}$ ,  $R_2=2\text{ Ом}$ ,  $R_3=6\text{ Ом}$ .

**1.28.** Определить токи во всех ветвях схемы (рис. 1.19) методом контурных токов.

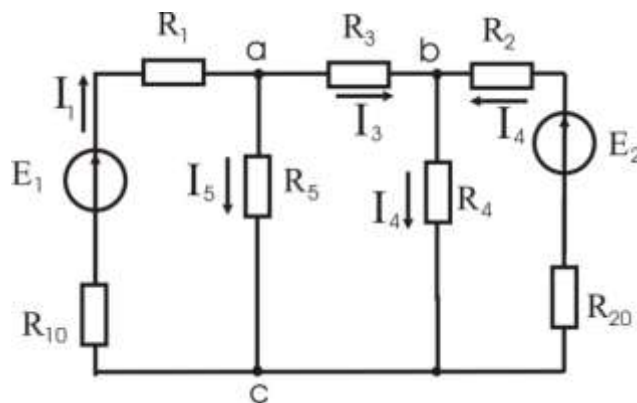


Рис. 1.19.

Э.Д.С. источников и параметры элементов цепи:  $E_1= 48\text{В}$ ,  $E_2=24\text{В}$ ,  $R_1+ R_{10}= 4\text{ Ом}$ ,  $R_2+ R_{20}= 4\text{ Ом}$ ,  $R_3=2\text{ Ом}$ ,  $R_4=R_5= 4\text{ Ом}$ .

**1.29р.** Определить все токи цепи (рис 1.20) методом контурных токов

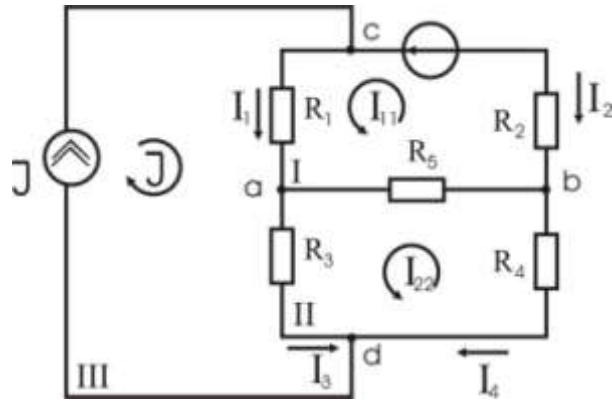


Рис. 1.20.

Для схемы заданы:  $J=50\text{mA}$ ,  $E=60\text{V}$ ,  $R_1=5\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=4\text{ k}\Omega$ ,

$R_3=16\text{ k}\Omega$ ,  $R_4=2\text{ k}\Omega$ ,  $R_5=8\text{ k}\Omega$ . Проверить баланс мощностей.

**1.30.** Решить задачу 1.19 и 1.23 методом контурных токов.

**1.31р.** Определить токи в ветвях схемы (рис. 1.21) методом узловых потенциалов.



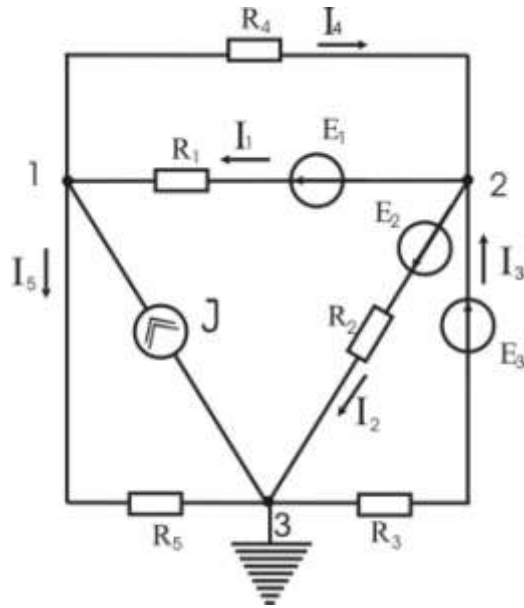


Рис. 1.21.

Величины источников и параметры элементов схемы:  $E_1=20\text{В}$ ,  $E_2=40\text{В}$ ,  $E_3=20\text{В}$ ,  $J=2\text{А}$ ,  $R_1=5\ \Omega$ ,  $R_2=20\ \Omega$ ,  $R_3=4\ \Omega$ ,  $R_4=10\ \Omega$ ,  $R_5=5\ \Omega$ .

**1.32.** Определить токи в схеме (рис. 1.22) методом узловых потенциалов.

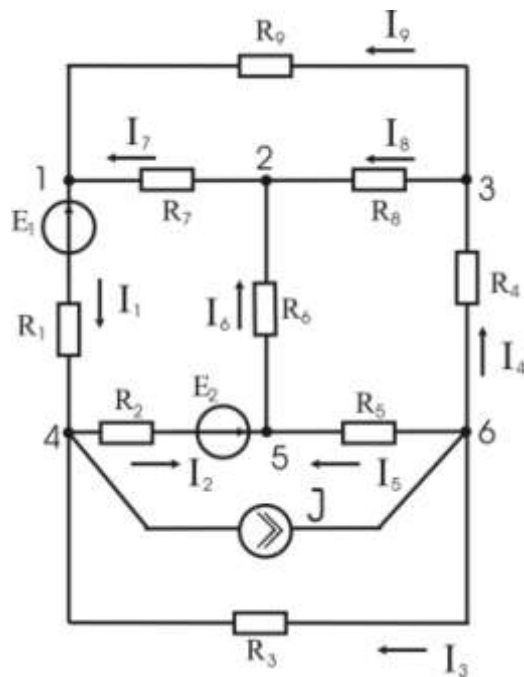


Рис. 1.22.

Величины источников и параметры элементов схемы:  $E_1=6\text{В}$ ,  $E_2=12\text{В}$ ,  $J=9\text{А}$ ,  $R_1=1\text{ Ом}$ ,  $R_2=R_3=2\text{ Ом}$ ,  $R_4=R_6=5\text{ Ом}$ ,  $R_5=6\text{ Ом}$ ,  $R_7=R_8=R_9=3\text{ Ом}$ .

Проверить баланс мощностей.

**1.33.** Решить задачу 1.28 методом узловых потенциалов.

**1.34р.** Два генератора (см. рис. 1.18) с  $E_1=115\text{В}$  и  $E_2=115\text{В}$  работают параллельно на сопротивление нагрузки  $R_3=6,67\text{ Ом}$ . Внутреннее сопротивление генераторов и сопротивления соединяющих проводов образуют сопротивления  $R_1=1,25\text{ Ом}$  и  $R_2=1,28\text{ Ом}$  в ветвях каждого генератора.

Определить токи ветвей методом двух узлов.

**1.36.** Определить ток  $I_H$  схемы рис. 1.23 методом эквивалентного генератора, если  $E=30\text{В}$ ,  $R_1=30\text{ Ом}$ ,  $R_2=60\text{ Ом}$ ,  $R_3=15\text{ Ом}$ ,  $R_4=45\text{ Ом}$ , а сопротивление  $R_H$  принимает значения  $0, 30, 90, 270, \infty\text{ Ом}$ .

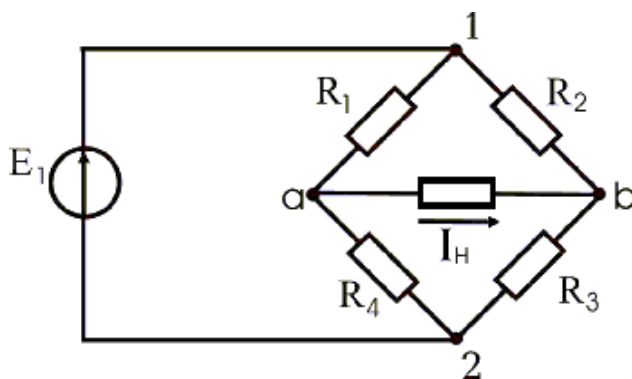


Рис. 1.23.

**1.37.** Методом эквивалентного генератора определить ток  $I$  в сопротивлении  $R_5$  (рис. 1.24), если  $E_1=E_2=20\text{В}$ ,  $R_1=R_2=40\text{ Ом}$ ,

$R_3=10\text{ Ом}$ ,  $R_4=160\text{ Ом}$ ,  $R_5=20\text{ Ом}$ .

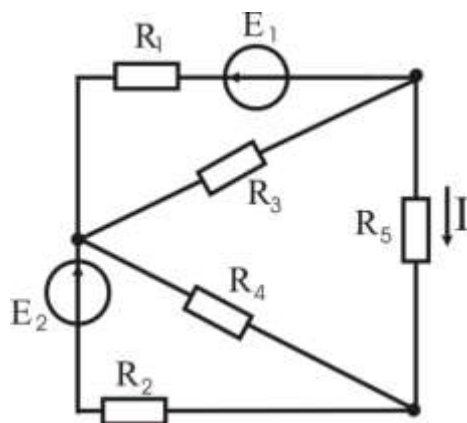


Рис.1.24

**1.38.** Определить ток в сопротивлении  $R_5$  задачи 1.29 методом эквивалентного генератора.

Примечание. При определении внутреннего сопротивления  $R_{вн}$ , ветвь с источником тока  $J$  обрываем.

**1.39.** Определить ток в сопротивлении  $R_3$  задачи 1.31 методом эквивалентного генератора.

Примечание. При определении внутреннего сопротивления заменить соединение сопротивлений треугольником на эквивалентную звезду (или соединение сопротивлений звездой на эквивалентный треугольник).

## РЕШЕНИЯ.

**1.1р.**  $t_{\text{зар.}} = \frac{Q}{I_{\text{зар.}}} = \frac{15}{1,5} = 10\text{ч}$ , т.е. аккумулятор должен заряжаться

10ч.

$t_{\text{раз.}} = \frac{Q}{I_{\text{раз.}}} = \frac{15}{0,3} = 50\text{ч}$ , т.е. лампы горели 50ч.

**1.3р.** Сопротивление  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Площадь поперечного сечения

провода  $S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

Удельное сопротивление меди  $\rho_{\text{м}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Тогда  $R = 1,7 \cdot 10^{-8} \frac{200}{3,14 \cdot 10^{-6}} = 1,11 \text{ Ом}$ .

**1.5р.** Площадь поперечного сечения проволоки

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,196 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Сопротивление проволоки  $R = \rho \frac{l}{S}$ .

Откуда длина проволоки для изготовления реостата  $l = \frac{RS}{\rho}$ .

Длина проволоки из меди  $l = \frac{100 \cdot 0,196 \cdot 10^{-6}}{1,7 \cdot 10^{-8}} = 1118,6 \text{ м.}$

Так как  $\frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{м}}} = 23,5$ , то длина проволоки из никелина для изготовления реостата с сопротивлением 100 Ом будет в 23,5 раз меньше, т.е.  $l = 47,6 \text{ м.}$

**1.6р. а)**  $L_{\text{ЭК}} = L_1 + L_2 + L_3 = 3 \text{ Гн,}$       б)  $\frac{1}{L_{\text{ЭК}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} = 3,$

в)  $\frac{1}{C_{\text{ЭК}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{3}{0,1},$        $L_{\text{ЭК}} = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ Гн,}$

$C_{\text{ЭК}} = \frac{0,1}{3} = 0,033 \text{ мкФ,}$       г)  $C_{\text{ЭК}} = C_1 + C_2 + C_3 = 0,3 \text{ мкФ.}$

**1.7р.** Расчет сопротивления  $R_{\text{ав}}$ .

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{30 \cdot 6}{30 + 6} = 5 \text{ Ом,} \quad R_{2,45} = R_2 + R_{45} = 5 + 5 = 10 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{ав}} = R_1 + \frac{R_{2,45} \cdot R_3}{R_{2,45} + R_3} = 6 + \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 12 \text{ Ом.}$$

Расчет сопротивления  $R_{\text{сд}}$ .

$$R_{3,45} = R_3 + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = 15 + \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 15 + 5 = 20 \text{ Ом.}$$

$$R_{cd} = \frac{R_2 \cdot R_{3,45}}{R_2 + R_{3,45}} = \frac{5 \cdot 20}{5 + 20} = 4 \text{ Ом}.$$

Расчет сопротивления  $R_{df}$ .

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = 5 \text{ Ом}, \quad R_{23} = R_2 + R_3 = 5 + 15 = 20 \text{ Ом},$$

$$R_{df} = \frac{R_{45} \cdot R_{23}}{R_{45} + R_{23}} = \frac{5 \cdot 20}{5 + 20} = 4 \text{ Ом}.$$

**1.9р.** Заменяем треугольники сопротивлений «авс» и «dfg» эквивалентными звездами. Получим схему, изображенную на рис.р. 1.25

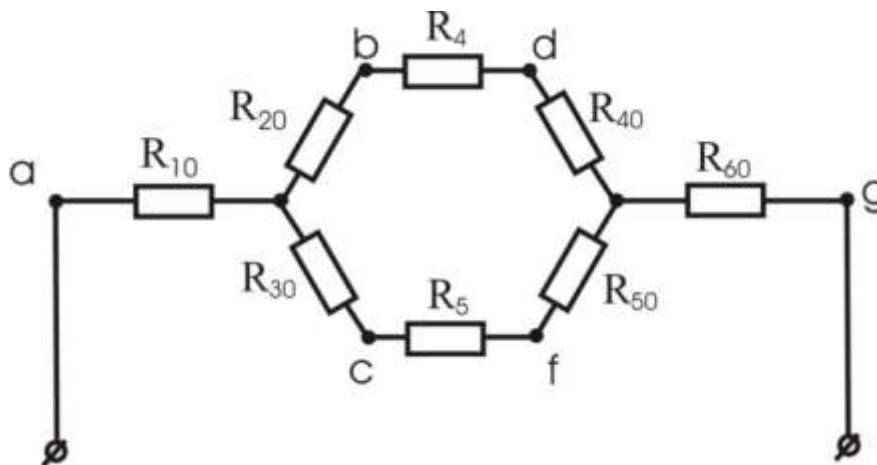


Рис.р. 1.25

В преобразованной схеме, изображенной на рисунке появились новые узлы «е» и «т».

Используя формулы пересчета подсчитаем сопротивление лучей звезды  $R_{10}$ ,  $R_{20}$  и  $R_{30}$ , эквивалентной треугольнику «авс» сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 2 \text{ Ом}, \quad R_{20} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 6 \text{ Ом},$$

$$R_{30} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 2 \text{ Ом}.$$

Определим сопротивления лучей звезды  $R_{40}$ ,  $R_{50}$ ,  $R_{60}$  эквивалентной треугольнику «dfg» сопротивлений  $R_6$ ,  $R_7$ ,  $R_8$ .

$$R_{40} = \frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7 + R_8} = 4 \text{ Ом}, \quad R_{50} = \frac{R_6 \cdot R_8}{R_6 + R_7 + R_8} = 5 \text{ Ом},$$

$$R_{60} = \frac{R_7 \cdot R_8}{R_6 + R_7 + R_8} = 20 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное (входное сопротивление) всей цепи

$$R_{\text{ЭК}} = R_{10} + \frac{R_{11} \cdot R_{22}}{R_{11} + R_{22}} + R_{60} = 38 \text{ Ом},$$

где  $R_{11} = R_{20} + R_4 + R_{40} = 36 \text{ Ом}$ ,

$R_{22} = R_{30} + R_5 + R_{50} = 18 \text{ Ом}$ .

**1.11р.** По данным ламп определим номинальные токи

$$I_{1н} = \frac{P_1}{U_n} = \frac{25}{110} = 0,227\text{А}, I_{2н} = \frac{P_2}{U_n} = \frac{100}{110} = 0,909\text{А} \text{ и значения сопротивлений:}$$

$$R_1 = \frac{U_n}{I_{1н}} = \frac{110}{0,227} = 484 \text{ Ом}, R_2 = \frac{U_n}{I_{2н}} = \frac{110}{0,909} = 121 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление ламп  $R=R_1+R_2=484+121=605 \text{ Ом}$ .

Ток в цепи при последовательном соединении ламп

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{605} = 0,364\text{А}. \text{ При этом токе падения напряжений на лампах:}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,364 \cdot 484 = 176\text{В},$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0,364 \cdot 121 = 44\text{В}.$$

Проверка расчета  $U=U_1+U_2=176+44=220\text{В}$ .

Расчет показывает, что напряжение сети делится между лампами не поровну, а пропорционально их сопротивлениям

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{176}{44} = \frac{484}{121} = \frac{4}{1};$$

Поэтому напряжение на лампе номинальной мощностью 25Вт значительно превышает 110В. Эта лампа будет светить ярче, чем вторая и может перегореть.

**1.14р.** При включении последовательно добавочного резистора вольтметром можно измерять большие напряжения. Измеряемое напряжение  $U$  равно сумме двух напряжений: падение напряжения



на добавочном резисторе  $U_d$  и напряжения на вольтметре  $U_B$ .  $U = U_d + U_B$  или  $250V = (U_d + 10)V$ .

Ток, проходящий через прибор при максимальном отклонении стрелки,  $I_B \frac{U_B}{R_B} = \frac{10}{100} = 0,1A$ . Тот же ток должен проходить через

вольтметр и при измерении напряжения 250V, поэтому  $250V =$

$(I_B R_d + 10)V$ ,  $I_B R_d = 240V$ . Добавочное сопротивление  $R_d = \frac{240}{0,1} =$

$= 2400 \text{ Ом}$ .

**1.17р.** Найдем частичные токи от действия только Э.Д.С. E. Для этого обрываем ветвь с источником тока и исходная схема принимает вид, изображенный на нижеследующем рисунке.

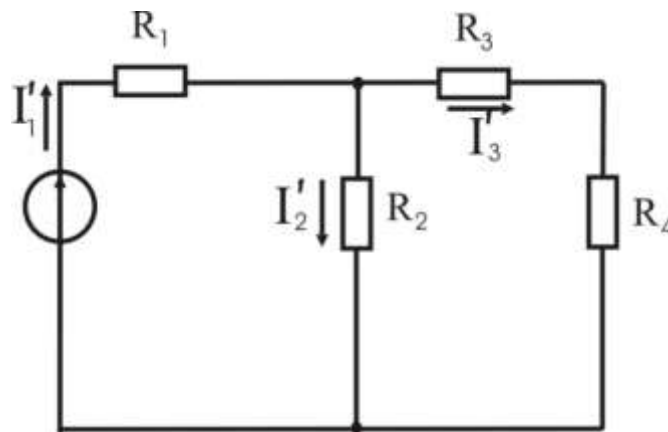


Рис.р.1.26

$$R_{\text{эк}} = R_1 + \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} = 9 + \frac{4,5 \cdot 9}{13,5} = 12 \text{ Ом}.$$

В ветви с сопротивлением  $R_1$  ток

$$I_1' = \frac{E}{R_{\Sigma}} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ A}.$$

В ветви с сопротивлением  $R_2$  ток

$$I_2' = I_1' \frac{(R_3 + R_4)}{(R_2 + R_3 + R_4)} = 0,5 \frac{9}{13,5} = 0,333 \text{ A}.$$

В ветви с сопротивлением  $R_3$  и  $R_4$  ток

$$I_3' = I_1' \frac{R_2}{(R_2 + R_3 + R_4)} = 0,5 \frac{4,5}{13,5} = 0,167 \text{ A}.$$

Определим частичные токи от действия источника тока. Для этого закорачиваем источник Э.Д.С. и исходная схема принимает вид, изображенный на нижеследующем рисунке.

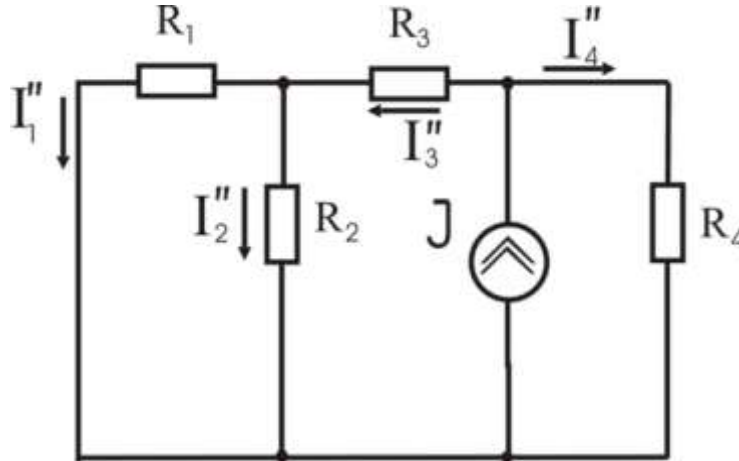


Рис.р.1.27

В этой схеме  $R_{1_{\Sigma}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{9 \cdot 4,5}{13,5} + 3 = 6 \text{ Ом}.$

Сопротивление  $R_{1_{\Sigma}}$  включено параллельно сопротивлению  $R_4$  и эти

сопротивления одинаковы. Значит  $I_3'' = I_4'' = \frac{J}{2} = 0,5 \text{ A}.$

$$\text{Ток} \quad I_1'' = I_3'' \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{0,5 \cdot 4,5}{13,5} = 0,167 \text{А}.$$

$$\text{Ток} \quad I_1' = I_3' \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} = \frac{0,5 \cdot 9}{13,5} = 0,333 \text{А}.$$

С учетом выбранных положительных токов ветвей, в схемах с источником Э.Д.С. и источником тока, просуммируем частичные токи и определим фактические токи цепи:

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 0,333 \text{А}, \quad I_2 = I_2' + I_2'' = 0,667 \text{А},$$

$$I_3 = I_3' - I_3'' = -0,333 \text{А}, \quad I_4 = I_4' + I_4'' = 0,667 \text{А}.$$

**1.18р.** Ввиду того, что мост уравновешен, расчет проще всего произвести, воспользовавшись принципом наложения. В примере требуется определить мощности в ветвях цепи, при питании двумя источниками. Мощность не является линейной функцией Э.Д.С. источника, поэтому, пользуясь методом наложения, следует найти сначала токи в ветвях.

Допустим, что работает только источник  $E_1$ . Найдем токи в ветвях

$$I_1' = I_2' - I_3' = I_4' = \frac{E_1}{R_1 + R_4} = \frac{E_1}{R_2 + R_3} = 1,5 \text{А}.$$

Направления токов указаны сплошными стрелками на рис. 1.9.

Теперь допустим, что работает только один генератор  $E_2$

$$I_1'' = I_2'' - I_3'' = I_4'' = \frac{E_2}{R_3 + R_4} = \frac{E_2}{R_1 + R_2} = 1,5 \text{ A} .$$

Направления токов указаны пунктирными стрелками на рис. 1.9.

Таким образом, при данной полярности источников токи при работе от обоих источников равны

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 1,5 - 1,5 = 0; I_2 = I_2' + I_1'' = 1,5 + 1,5 = 3 \text{ A};$$

$$I_3 = I_3' - I_3'' = 1,5 - 1,5 = 0; I_4 = I_4' + I_4'' = 1,5 + 1,5 = 3 \text{ A} .$$

Мощности, расходуемые в ветвях цепи  $P = I^2 R$ ;  $P = 0$ ;  $P_2 = 180 \text{ В}$ ;  $P_3 = 0$ ;  $P_4 = 180 \text{ В}$ . Мощность, отдаваемая каждым из источников  $P_0 = EI = 60 \cdot 3 = 180 \text{ В}$ . Если бы работал только один из источников  $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 1,5^2 \cdot 20 = 45 \text{ В}$ , а отдаваемая им мощность была бы равна  $P = EI = 60 \cdot 3 = 180 \text{ В}$ . Принцип наложения справедлив для токов, но не для мощностей. Мощности, поглощаемые ветвями цепи при одновременной работе двух источников, не равны суммам мощностей, поглощаемых теми же ветвями при работе каждого источника в отдельности.

**1.21р.** В схеме пять ветвей  $V=5$  и три узла  $U=3$ . Тогда по первому закону Кирхгофа надо составить число уравнений

$K_1 = U - 1 = 2$ , а по второму закону – число уравнений  $K_2 = V - K_1 = 3$ .

Произвольно выберем положительные направления токов. Выберем

три независимых контура I, II, III и обозначим стрелками направление их обхода. Составим систему уравнений Кирхгофа:

Для узла «а»  $I_1 - I_2 + I_3 + I_5 = 0,$

Для узла «в»  $-I_1 - I_3 - I_4 = 0,$

Для I контура  $E_1 + E_3 = (R_1 + R_{10})I_1 - (R_3 + R_{30})I_3,$

Для II контура  $E_3 = -(R_3 + R_{30})I_3 + R_4 I_4 + R_5 I_5,$

Для III контура  $E_2 = (R_2 + R_{20})I_2 + R_5 I_5.$

После подстановки числовых данных система уравнений примет вид:

$$I_1 - I_2 + I_3 + I_5 = 0,$$

$$I_1 + I_3 + I_4 = 0,$$

$$6I_1 - 10I_3 = 20,$$

$$-10I_3 + 2,5I_4 + 15I_5 = 5,$$

$$5I_2 + 15I_5 = 70.$$

Решая эту систему, получим:

$$I_1 = 5A, I_2 = 8A, I_3 = 1A, I_4 = -6A, I_5 = 2A.$$

Составим уравнение баланса мощностей для схемы

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 - E_3 I_3 = I_1^2 (R_1 + R_{10}) + I_2^2 (R_2 + R_{20}) + I_3^2 (R_3 + R_{30}) + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5,$$

или  $15,5 + 70 \cdot 8 - 5 \cdot 1 = 5^2 \cdot 6 + 8^2 \cdot 5 + 1^2 \cdot 10 + 6^2 \cdot 2,5 + 2^2 \cdot 15,$  получено тождество  $630 \text{Вт} = 630 \text{Вт}.$

**1.25р.** Схема содержит четыре ветви  $V=4$ , два узла «а» и «в» ( $Y=2$ ), один генератор тока ( $V_T=1$ ). Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа  $K_1=Y-1=1$ , по второму закону –  $K_2=V-V_T-K_1=2$ .

Выберем два независимых контура и не содержащих источника тока.

Уравнение для узла «а»  $J-I_1-I_2+I_1=0$ ,

Для I контура  $R_1I_1+R_2I_2=E_1$ ,

Для II контура  $R_2I_2 - \frac{1}{G_r}I = 0$ .

Подставляя цифровые значения в эти уравнения, и решив их, получим:  $I_1=30\text{mA}$ ,  $I_2=100\text{mA}$ ,  $I=10\text{mA}$ .

Для проверки баланса мощностей вначале определим напряжение

на источнике тока  $U_{ав} = \frac{I}{G_r} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-5}} = 220\text{В}$ .

Мощности, доставляемые источником тока и напряжения

$$P_{и} = U_{ав}J + E_1I_1 = 200 \cdot 80 \cdot 10^{-3} + 230 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 22,9\text{Вт}.$$

Мощности, расходуемые в сопротивлениях

$$P = I_1^2 R_1 + I_1^2 \frac{1}{G_r} = 0,33^2 \cdot 10^3 + 0,1^2 \cdot 2 \cdot 10^3 + 0,01^2 \frac{1}{5 \cdot 10^{-5}} = 22,9\text{Вт}.$$

**1.27р.** Схема содержит 3 ветви  $V=3$ , два узла  $U=2$ , тогда число уравнений составленных по методу контурных токов равно 2 ( $K=3-1=2$ ). Вычислим контурные Э.Д.С:

в первом контуре  $E_{11}=E_1-E_2=15-14=1\text{В}$ ,

во втором контуре  $E_{22}=E=14\text{В}$ .

Собственные сопротивления контуров  $R_{11}=R_1+R_2=3+2=5 \text{ Ом}$ ,

$R_{22}=R_2+R_3=2+6=8 \text{ Ом}$ . Общее сопротивление контуров

$R_{12}=R_{21}= -2 \text{ Ом}$ .

Составляем систему уравнений:

$$I_{11}R_{11}+I_{22}R_{22}=E_{11},$$

$$I_{11}R_{21}+I_{22}R_{22}=E_{22}.$$

Подставляем в систему уравнений числовые значения, получаем

$$5 I_{11}-2 I_{22}=1,$$

$$-2I_{11}+8I_{22}=14.$$

Определяем контурные токи  $I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta}$ ,  $I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta}$ , где

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} \\ -R_{21} & R_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 5 & -2 \\ -2 & 8 \end{vmatrix} = 36 \text{ Ом}^2,$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_{11} & -R_{12} \\ E_{22} & R_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & -2 \\ 14 & 8 \end{vmatrix} = 36 \text{ В} \cdot \text{Ом},$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} R_{11} & E_{11} \\ -R_{21} & E_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 5 & 1 \\ -2 & 14 \end{vmatrix} = 72 \text{В} \cdot \text{Ом}.$$

$$I_{11} = 1 \text{А}, \quad I_{22} = 2 \text{А}.$$

Токи в ветвях  $I_1 = I_{11} = 1 \text{А}$ ,  $I_2 = I_{22} - I_{11} = 1 \text{А}$ ,  $I_3 = I_{22} = 2 \text{А}$ .

**1.29р.** Схема содержит шесть ветвей  $V=6$ , четыре узла  $U=4$ , один генератор тока  $V_t=1$ . Число уравнений, составленных по методу контурных токов, равно двум  $K=[6-(4-1)-1]=2$ . Выбираем два независимых контура I и II и задаемся направлениями контурных токов  $I_{11}$  и  $I_{22}$  в них. Там же нанесем известный контурный ток источника тока  $J$ . Составим систему уравнений для первого и второго контуров:

$$I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} + JR_{13} = E_{11}.$$

$$I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} + JR_{13} = 0,$$

где  $R_{11} = R_1 + R_2 + R_5 = (5 + 4 + 8) = 17 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ ,

$$R_{12} = R_{21} = R_5 = 8 \cdot 10^3 \text{ Ом}, \quad R_{13} = R_1 = 5 \cdot 10^3 \text{ Ом},$$

$$R_{22} = R_3 + R_4 = R_5 = (16 + 2 + 8) = 26 \cdot 10^3 \text{ Ом}, \quad R_{23} = -R_3 = -16 \cdot 10^3 \text{ Ом}, \quad E_{11} = E = 60 \text{В}.$$

Решая полученную систему уравнений, определяем контурные токи:

$$I_{11} = -30 \text{ мА}, \quad I_{22} = 40 \text{ мА}.$$

Действительные токи:



$I_1 = J - I_{11} = 20 \text{ мА}$ ,  $I_2 = -I_{11} = 30 \text{ мА}$ ,  $I_3 = J - I_{22} = 10 \text{ мА}$ ,  $I_4 = I_{22} = 40 \text{ мА}$ ,  $I_5 = I_{11} + I_{22} = 10 \text{ мА}$ .

Баланс мощностей

$$-E I_2 + U_{cd} J = -E I_2 + (R_1 I_1 + R_3 I_3) J = I_1^2 R_1 + I_1^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5.$$

Подставляя числовые значения, получим тождество  $11,2 \text{ Вт} = 11,2 \text{ Вт}$ .

**1.31р.** Выберем в качестве базисного узел 3 и его потенциал приравняем к нулю  $\varphi_3 = 0$ . Остаются неизвестными потенциалы узлов 1 и 2, поэтому по методу узловых потенциалов надо составить два уравнения.

$$\varphi_1 G_{11} + \varphi_2 G_{12} = J_{11},$$

$$\varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} = J_{22}.$$

где

$$G_{11} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} = 0,5 \text{ См},$$

$$G_{22} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{20} + \frac{1}{4} = 0,6 \text{ См},$$

$$G_{12} = G_{21} = \left( \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} \right) = -0,3 \text{ См},$$

$$J_{11} = J + \frac{E_1}{R_1} = 2 + \frac{20}{R_5} = 6 \text{ А}, \quad J_{22} = -\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} = -4 - 2 + 5 = -1 \text{ А}.$$

После подстановки числовых значений, система уравнений имеет вид:

$$\varphi_1 \cdot 0,5 - \varphi_2 \cdot 0,3 = 6,$$

$$-\varphi_1 \cdot 0,3 - \varphi_2 \cdot 0,6 = -1.$$

Определяем неизвестные потенциалы

$$\varphi_1 = 15,71\text{В}, \quad \varphi_2 = 6,19\text{В}.$$

Применяя обобщенный закон Ома, рассчитываем токи, выбрав предварительно их условно положительные направления,

$$I_1 = \frac{E_1 + U_{21}}{R_1} = \frac{E_1 + \varphi_2 - \varphi_1}{R_1} = \frac{20 - 15,71 + 6,19}{5} = 20,96\text{А},$$

$$I_2 = \frac{E_2 + U_{23}}{R_2} = \frac{E_2 + \varphi_2}{R_2} = \frac{46,19}{20} = 2,31\text{А},$$

$$I_3 = \frac{E_3 + U_{32}}{R_3} = \frac{E_3 - \varphi_2}{R_3} = \frac{20 - 6,19}{4} = 3,45\text{А},$$

$$I_4 = \frac{U_{12}}{R_4} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_4} = \frac{9,52}{10} = 0,95\text{А},$$

$$I_5 = \frac{U_{13}}{R_5} = \frac{\varphi_1}{R_5} = \frac{15,71}{-5} = 3,14.$$

**1.33р.** По методу двух узлов напряжение

$$U_{12} = \frac{\sum_1^3 E_k G_k}{\sum_1^3 G_k} = \frac{E_1 \frac{1}{R_1} + E_2 \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{115 \frac{1}{1,25} + 115 \frac{1}{1,82}}{\frac{1}{1,25} + \frac{1}{1,82} + \frac{1}{6,67}} = \frac{155,3}{1,5} = 103,53\text{В}.$$

Токи в ветвях определяем, используя обобщенный закон Ома.

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{12}}{R_1} = 9,19\text{А}, \quad I_2 = \frac{E_2 - U_{12}}{R_2} = 6,32\text{А}, \quad I_3 = \frac{U_{12}}{R_3} = 15,53\text{А}.$$

**1.36р.** По методу эквивалентного генератора  $I_H = \frac{U_{abxx}}{R_{âí} + R_{í'}}$ ,

1. Определяем  $U_{abxx}$ . Оборвем ветвь с сопротивлением  $R_H$ , тогда исходная схема примет вид

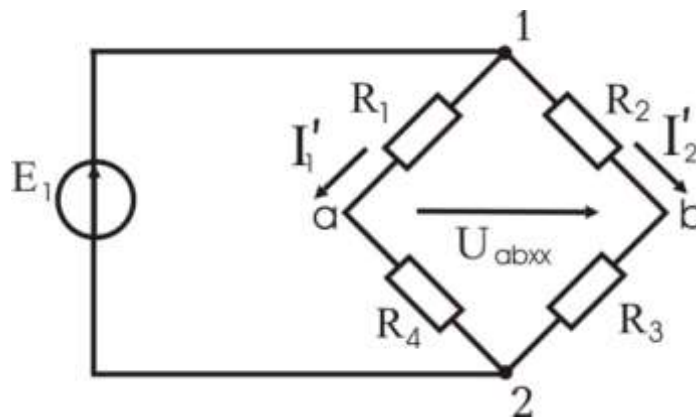


Рис.р.1.28

Напряжение  $U_{abxx}$  определяем по второму закону Кирхгофа

откуда  $U_{abxx} = \left(\frac{E_1}{R_2 + R_3}\right)R_2 - \left(\frac{E_1}{R_1 + R_4}\right)R_1 = 12\text{В}$  — исправить шрифт и инд+

2. Для определения внутреннего сопротивления закорачиваем источник Э.Д.С.  $E_1$ , восстанавливаем ветвь с сопротивлением  $R_H$  и определяем сопротивление относительно выводов  $ab$  пассивного двухполюсника.

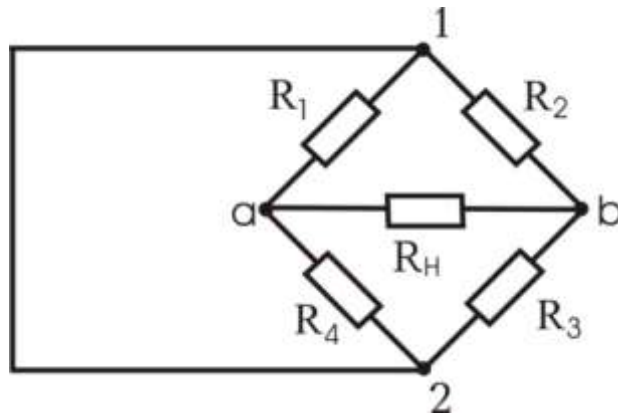


Рис.р.1.29

Внутреннее сопротивление

$$R_{\text{вн}} = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{30 \cdot 45}{30 + 45} = \frac{60 \cdot 15}{60 + 15} = 30 \text{ Ом}.$$

Окончательно подставляя в формулу  $I_{\text{н}} = \frac{12}{30 + R_{\text{н}}}$   $R_{\text{н}} = 0, 30, 90, 270, \infty$   
 Ом, получаем  $I_{\text{н}} = 0,4\text{А}, 0,2\text{А}, 0,01\text{А}, 0,04\text{А}, 0\text{А}.$

## ОТВЕТЫ

2.  $I_{\text{зар}}=2,8\text{A}$ ,  $I_{\text{раз}}=0,2\text{A}$ .

4.  $R=4\text{ Ом}$ .

8. а)  $R_{\text{эк}}=3R$ ;  $R_{\text{эк}}=R$ .

10. а)  $R_{\text{эк}}=2R$ ; б)  $R_{\text{эк}}=9/10R$ .

12.  $I=0,5\text{A}$ ,  $U_1=50\text{В}$ ,  $U_2=15\text{В}$ ,  $U_3=60\text{В}$ ,  $P_1=25\text{Вт}$ ,  $P_2=7,5\text{Вт}$ ,  
 $P_3=30\text{Вт}$ .

13.  $R_d=71\text{ Ом}$ .

15.  $U=0\div 300\text{В}$ ,  $I=0\div 2,5\text{A}$ .

16.  $U_1=\frac{1}{2}U$ ,  $U_2=2U$ .

19.  $I_1=I_3=2,6\text{A}$ ,  $I_2=I_4=7,5\text{mA}$ ,  $I_5=-4,8\text{mA}$ .

20.  $I=30\text{A}$ . - 50 -

22. Мощность, доставляемая источниками  $P_{\text{ист}} = 146,4\text{ Вт}$ ,  
потребляемая нагрузкой  $P_{\text{н}} = 146,4\text{ Вт}$ .

23.  $U_v=25\text{В}$ ,  $P_1=9\text{Вт}$ ,  $P_2=15,6\text{Вт}$ .

24.  $I_1=0,1\text{A}$ ,  $I_{2,3}=0,32\text{A}$ ,  $I_4=0,06\text{A}$ ,  $I_5=0,04\text{A}$ ,  $I_6=0,42\text{A}$ .

26.  $I_1=5\text{A}$ ,  $I_2=4,5\text{A}$ ,  $I_3=-0,5\text{A}$ .

28.  $I_1=7\text{A}$ ,  $I_2=2\text{A}$ ,  $I_3=2\text{A}$ ,  $I_4=4\text{A}$ ,  $I_5=5\text{A}$ .

32.  $I_1=1,5\text{A}$ ,  $I_2=0$ ,  $I_3=7,5\text{A}$ ,  $I_4=1\text{A}$ ,  $I_5=0,5\text{A}$ ,  $I_6=0,5\text{A}$ ,  $P=126\text{Вт}$ .

37.  $I=0,2\text{A}$ .

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зевеке, Г.В.** Основы теории цепей: / **П.А. Ионкин, С.В. Нетушил, С.В. Страхов**; - М.: Энергия, 1975.-750с.
2. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники: электрические цепи; - М.: Высшая школа, 1984.-420с.
3. **Ионкин, П.А.** Теоретические основы электротехники, подред. П.А. Ионкина. т.1: / **А.И. Деровский, Е.С. Кухаркин** и др.; М.: Высшая школа, 1976.- 544с.
4. **Матханов П.Н.** Основы анализа электрических цепей; -М.: Высшая школа, 1981.-333с.
5. **Белецкий А.Ф.** Теория линейных электрических цепей; - М.: Радио и связь, 1986.-540с.
6. **Татур Т.А.** Основы теории электрических цепей; - М.: Высшая школа, 1980.-270с.
7. **Атабеков Г.И.** Теоретические основы электротехники, т.1;- М.: Энергия, 1978.-592с.
8. **Нейман, Л.Р.** Теоретические основы электротехники, т.2:/ **К.С. Денирчян**; - М.: Энергия, 1966.-407с.