

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое читателям пособие является практическим руководством по дисциплине «Теоретические основы электротехники», содержащим набор задач с решениями для студентов всех форм обучения и магистров.

Пособие охватывает круг задач по учебной дисциплине ТОЭ с учетом особенностей подготовки студентов магистратуры.

Автор использовал в пособии ранее опубликованные источники (отмеченные в библиографии) и собственные разработки, которые были накоплены в течение преподавания данной дисциплины в разных вузах России.

Содержание учебного пособия составлено с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлениям подготовки магистров 140200 «Электроэнергетика»; 13.04.02 (140400.68) «Электроэнергетика и электротехника»; 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»; 140400(с3) «Электроэнергетика и электротехника» (стандарт 3-го поколения).

Пособие может быть полезно для магистров и инженерно-технических работников, встречающихся в своей деятельности с расчётами электротехнических устройств. При разработке пособия учтены особенности получения образования без отрыва от трудовой деятельности и при ограниченном бюджете времени для очных форм обучения.

Отобранный для пособия учебный материал даёт студенту возможность в дальнейшем успешно осваивать специальные электротехнические дисциплины. Каждая группа задач предваряется краткими теоретическими выкладками, упрощающими осмысление подходов к решению задач.

Автор приносит глубокую благодарность д. т. н., проф. А. Н. Горскому и д. т. н., профессору М. А. Шакирову за внимательное прочтение рукописи и ряд полезных замечаний, способствовавших её улучшению.

Автор будет благодарен всем замечаниям по настоящему пособию, так как это первая попытка в написании практикума для магистров. Замечания можно направлять в адрес издательства, которое обязуется передать их автору.

Список принятых обозначений и сокращений

Принятые обозначения

f – частота ЭМП, Гц;
 t – время, ч;
 ω – круговая частота ЭМП, с^{-1} ;
 $\vec{E}$ – вектор электрической напряженности ЭМП, В/м;
 $\vec{H}$ – вектор магнитной напряженности ЭМП, А/м;
 $\vec{B}$ – вектор магнитной индукции ЭМП, В·с/м²;
 $\vec{D}$ – вектор электрической индукции ЭМП, А·с/м²;
 φ_M, φ_E – магнитный и электрический потенциалы ЭМП, А, В;
 $\vec{j}$ – вектор плотности тока, А/м²;
 ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, А·с/В·м;
 $\epsilon_0 = (1/36\pi) \cdot 10^{-9}$ – диэлектрическая постоянная, А·с/В·м;
 μ – магнитная проницаемость среды, В·с/А·м;
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость воздуха, В·с/А·м;
 γ – электрическая проводимость среды, См/м.

Принятые сокращения

КЗ – короткое замыкание,
МДС – магнитодвижущая сила,
МП – магнитное поле,
МСП – магнитостатическое поле,
РФ – Российская Федерация,
ТН – трансформатор напряжения,
ТТ – трансформатор тока,
ХХ – холостой ход,
ЭЗ – электрический заряд,
ЭДС – электродвижущая сила,
ЭВМ – электронно-вычислительная машина,
ЭИП – электроизмерительный прибор,
ЭМП – электромагнитное поле,
ЭО – электрооборудование,
ЭП – электрическое поле,
ЭСП – электростатическое поле,
ЭЭ – электрическая энергия,
ЭЭС – электроэнергетическая система.

РАЗДЕЛ I. РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ

ГЛАВА 1. РАСЧЁТ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1. Краткие теоретические сведения

Зависимость между напряжением и током в электрической цепи устанавливает закон Ома. Для участка электрической цепи, не содержащей источника электрической энергии (ЭЭ), закон Ома для участка цепи имеет вид $I = U / R$, где I – ток участка цепи, А; U – напряжение на зажимах этого участка, В; R – сопротивление участка, Ом. Для полной электрической цепи, т. е. цепи с источником ЭЭ, закон Ома определяется выражением $I = E / (R + r)$, где E – ЭДС источника ЭЭ, В; r – внутреннее сопротивление этого источника, Ом.

Сопротивление проводника можно определить по формуле $R = \rho l / S$, где ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·мм²/м (значения ρ для некоторых материалов даны в табл. 1.1); l – длина проводника, м; S – площадь сечения проводника, мм².

Таблица 1.1

Материал проводника	Удельное сопротивление ρ , Ом·мм ² /м
Медь	0,0175
Алюминий	0,03
Железо	0,13
Свинец	0,2
Никелин	0,42
Нихром	1,1

Соединение резисторов может быть последовательным, параллельным или смешанным.

При последовательном соединении резисторов (рис. 1.1)

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U}{R_{\text{экв}}}, \quad R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3, \quad U = U_1 + U_2 + U_3,$$

где U – напряжение между зажимами цепи; U_1, U_2, U_3 – напряжения на резисторах соответственно R_1, R_2, R_3 . При параллельном соединении резисторов (рис. 1.2)

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R_{\text{экв}}},$$
$$\frac{1}{R_{\text{экв}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \quad \text{или} \quad g = g_1 + g_2 + g_3,$$

где g – проводимость резистора – величина, обратная его сопротивлению ($g = 1 / R$).

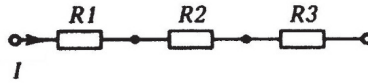


Рис. 1.1

При смешанном соединении резисторов эквивалентное сопротивление $R_{\text{экв}}$ электрической цепи определяют в несколько этапов. Например, при схеме соединения, показанной на рис. 1.3, сначала находят сопротивление R_{12} последовательно включенных резисторов R_1 и R_2 , затем – сопротивление R_{123} параллельно соединенных цепей с резисторами R_1 , R_2 и R_3 и, наконец, эквивалентное сопротивление $R_{\text{экв}}$ всего соединения резисторов:

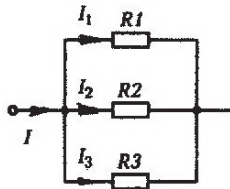


Рис. 1.2

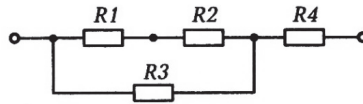


Рис. 1.3

$$R_{12} = R_1 + R_2; \quad \frac{1}{R_{123}} = \frac{R_{12}R_3}{R_{12} + R_3}; \quad R_{\text{экв}} = R_{123} + R_4.$$

Работа, произведенная в единицу времени, называется *мощностью* $P = A / t$. Единица мощности – ватт (Вт). Мощность в электрической цепи $P = UI$.

Сила взаимодействия двух точечных электрических зарядов, выражаемая в ньютонах (Н), определяется по закону Кулона:

$$F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_a r^2},$$

где Q, q – электрические заряды, Кл; r – расстояние между зарядами, м; ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м.

Интенсивность электрического поля (ЭП) оценивается напряженностью $E = F/q$.

Абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Относительная диэлектрическая проницаемость других сред $\epsilon = \epsilon_a / \epsilon_0$.

Напряжение между двумя точками электрического поля (ЭП), имеющими потенциалы V_1 и V_2 , определяется как разность потенциалов $U_{12} = V_1 - V_2$.

Емкость плоского конденсатора, $C = \epsilon_a S / d$, Ф, где S – площадь обкладок конденсатора, м²; d – расстояние между обкладками, м.

Энергия ЭП конденсатора $W_c = 0,5CU^2$, Дж.

Зависимость сопротивления проводника от температуры определяется формулой $R_2 = R_1[1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)]$, где R_1 и R_2 – сопротивления при температуре

соответственно θ_1 и θ_2 , Ом; α – температурный коэффициент изменения сопротивления, Ом/°С.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в узле равна нулю, т. е. $\sum I = 0$, причем токи, направленные к узлу, записывают со знаком плюс, а от узла – со знаком минус.

Второй закон Кирхгофа: в замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжения вдоль того же контура: $\sum E = \sum IR$.

По закону Джоуля–Ленца при прохождении постоянного тока в проводнике электрическая энергия $W = I^2 R t$ превращается в тепловую.

Примечание. Во всех задачах приняты следующие допущения.

1. Напряжение U или ЭДС E питающих источников ЭЭ есть величины постоянные, не зависящие от тока.
2. Сопротивление вольтметра равно бесконечности, а сопротивление амперметра – нулю.

1.2. Типовые задачи на основные законы электрических цепей

1.1. На рис. 1.4,а изображён остов некоторой схемы. Токи I_1 и I_2 известны. Найти ток I_3 .

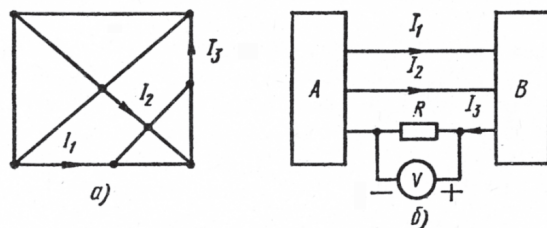


Рис. 1.4

Решение. Мысленно расsection схему рис. 1.4,а плоскостью, проходящей через ветви с токами I_1, I_2, I_3 . Все, что находится по сторону от этой плоскости, можно рассматривать как некоторый узел. Алгебраическая сумма токов, входящих в этот узел, равна нулю: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$. Отсюда $I_3 = I_1 + I_2$.

1.2. В схеме рис. 1.5,а определить потенциал точки O и токи I_1, I_2, I_3 , если $E_1 = 10$ В; $R_1 = 2$ кОм; $E_2 = 25$ В; $R_2 = 8$ кОм; $R_3 = 12$ кОм; $\varphi_1 = -0,5$ В; $\varphi_2 = 16$ В; $\varphi_3 = 28$ В.

Решение. В соответствии со схемой рис. 1.5,а по закону Ома запишем выражение для каждого тока:

$$I_1 = (\varphi_1 - \varphi_0 + E_1) g_1; \quad I_2 = (\varphi_2 - \varphi_0 + E_2) g_2; \quad I_3 = (\varphi_3 - \varphi_0) g_3,$$

где g_1, g_2, g_3 – проводимости ветвей.

Учтем, что, по первому закону Кирхгофа, $I_1 + I_2 + I_3 = 0$. Отсюда

$$\varphi_0 = \frac{\varphi_1 g_1 + \varphi_2 g_2 + \varphi_3 g_3 + E_1 g_1 - E_2 g_2}{R_4 + R_5 + R_6} = 5,25 \text{ В.}$$

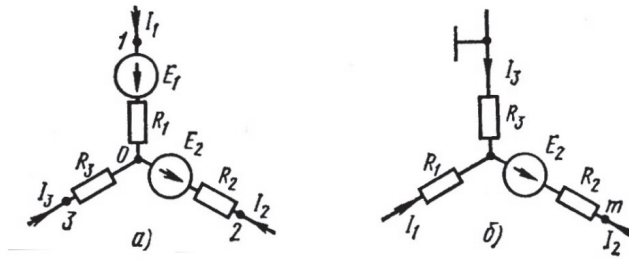


Рис. 1.5

Подставляя найденное значение φ_0 в формулы для токов, получим $I_1 = -0,125 \text{ мА}$; $I_2 = -1,78 \text{ мА}$; $I_3 = -1,905 \text{ мА}$.

1.3. В схеме, рис. 1.6, определить токи во всех ветвях и напряжение U_{nk} между точками n и k . Значение сопротивления каждого резистора ($R_1 - R_{11}$) дано в омах и равно номеру соответствующего резистора, например $R_7 = 7 \text{ Ом}$; $R_{20} = 20 \text{ Ом}$. Токи $J_{12} - J_{19}$ даны в амперах, причем значения каждого равно номеру источника тока, например $J_{15} = 15 \text{ А}$. ЭДС $E_2 = -29 \text{ В}$; $E_5 = 10 \text{ В}$; $E_6 = 10 \text{ В}$.

Решение. Всего ветвей в схеме – $v = 20$, в том числе с источниками тока $v_{um} = 8$. Следовательно, неизвестных токов $20 - 8 = 12$. Узлов y в схеме 12. По первому закону Кирхгофа следует составить $y - 1 = 12 - 1 = 11$ уравнений, по второму закону – одно: $v - v_{um} - (y - 1) = 20 - 8 - (12 - 1) = 1$.

Так как в узлах m, n, k, l неизвестно только по одному току, то, по первому закону Кирхгофа, $I_1 = -J_{15} - J_{17} = -32$, $I_{20} = I_1 + J_{12}$.

Для узлов g, h, d, b, f, e, a определим неизвестные токи $I_9, I_8, I_6, I_4, I_2, I_3, I_5$, выразив их через найденные ранее и через ток I_7 :

$$I_9 = 27 - I_7; I_8 = 2 - I_7; I_6 = 21 - I_7; I_4 = -3 - I_7; I_3 = -1 + I_7; \\ I_5 = 19 - I_7; I_2 = 34 - I_7.$$

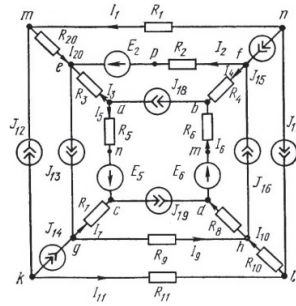


Рис. 1.6

Убедимся, что для узла c получим тождество $I_5 + I_{17} - J_{19} = 0$. С целью определений тока I_7 составим уравнение по второму закону Кирхгофа для контура $feacghdbf$:

$$I_2 R_2 - I_3 R_3 + I_5 R_5 - I_7 R_7 + I_9 R_9 + I_8 R_8 + I_6 R_6 - I_4 R_4 = E_2 + E_5 + E_6.$$

Подставляя в это уравнение токи, выраженные через I_7 , найдем:

$$I_7 = 572 / 44 = 13 \text{ A}; I_2 = 14 \text{ A}; I_8 = -11 \text{ A}; I_6 = 8 \text{ A}; I_4 = 10 \text{ A}; I_2 = 21 \text{ A}; \\ I_3 = 12 \text{ A}; I_5 = 6 \text{ A}.$$

Потенциал точки n

$$\varphi_n = \varphi_k - I_{11} R_{11} - I_{10} R_{10} - I_8 R_8 - I_6 R_6 + I_4 R_4 - I_2 R_2 + I_{20} R_{20} + I_1 R_1 + E_2 + E_6.$$

Подставляя числовые значения токов и сопротивлений резисторов, получим $\varphi_n = \varphi_k - 37$; $U_{nk} = -37 \text{ В}$.

1.4. Построить потенциальную диаграмму для схемы рис. 1.5,а. Параметры и функции схемы: $R_4 = 5 \text{ кОм}$; $E_5 = 20 \text{ В}$; $R_5 = 3 \text{ кОм}$; $E_6 = 40 \text{ В}$; $R_6 = 2 \text{ кОм}$; $I_1 = 10 \text{ мА}$; $I_3 = -20 \text{ мА}$.

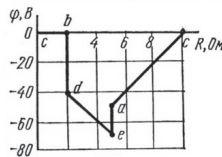


Рис. 1.7

Решение. Из решения задачи (рис. 1.5,а) известны токи в ветвях: $I_4 = 10 \text{ мА}$; $I_5 = -10 \text{ мА}$; $I_6 = 0$. Потенциальная диаграмма изображена на рис. 1.7. Потенциалы $\varphi_c = 0$; $\varphi_b = \varphi_c$, так как $I_6 = 0$; $\varphi_a = -E_6 = -40$; $\varphi_e = \varphi_d + I_5 R_5 = -40 - 30 = -70 \text{ В}$; $\varphi_a = \varphi_e + E_5 = -50 \text{ В}$; $\varphi_c = \varphi_a + I_4 R_4 = 0$.

1.5. На рис. 1.8,б изображена потенциальная диаграмма вдоль контура $oabcdefgo$ скелетной схемы рис. 1.8,а. Известно, что в ветвях af и cf включены

резисторы. Определить значение и направление токов в ветвях и характер элементов, включённых на различных участках схемы.

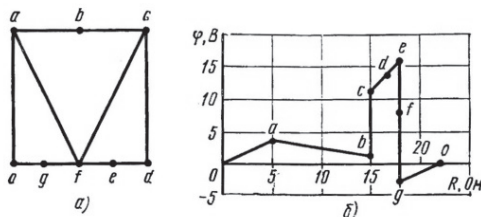


Рис. 1.8

Решение. В соответствии с рис. 1.8, а, б определим токи в ветвях и характер включенных элементов. Сопротивление участка oa $R_{oa} = 5$ Ом. На этом участке ток течет от точки a к точке o и составляет $3,175/5 = 0,635$ А. Сопротивление участка ab $R_{ab} = 10$ Ом. Ток течет от a к b и равен $(3,175 - 0,975)/10 = 0,225$ А. Между точкам b и c включен источник ЭДС $E = 10$ В. Сопротивление участка cd $R_{cd} = 3$ Ом. Ток по ветви $fedc$ течет от точки f к точке c и равен $1,52$ А. Ток диагональной ветви cf течет от точки c к f и равен $1,31$ А (найден по закону Ома для узла c). Сопротивление ветви cf $R_{cf} = 2,63$ Ом.

1.6. В схеме рис. 1.9, а сопротивление резистора R_2 изменяется от 0 до ∞ . Записать зависимость тока I_1 от тока I_2 для двух случаев: 1) $E_1 = 0$; 2) $E_1 = 10$ В. Ток источника тока $J = 1$ А; $R_1 = 10$ Ом; $R = 1$ Ом.

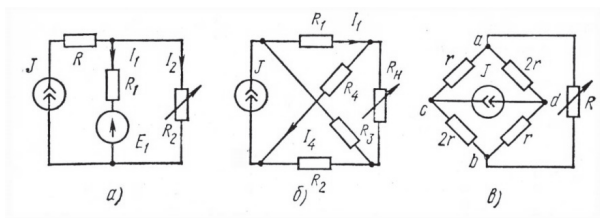


Рис. 1.9

Решение. В обоих случаях зависимость между токами I_1 и I_2 линейна и имеет вид $I_1 = a + bI_2$. Коэффициенты a и b определим из опытов короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) второй ветви.

При $E_1 = 0$ и $R_2 = 0$, $I_2 = 1$, $I_1 = 0$; при $R_2 \rightarrow \infty$ $I_2 = 0$, $I_1 = 1$. Поэтому $1 = a + 0$, $0 = a + b \cdot 1$. Решив уравнения совместно, найдем $a = 1$, $b = -1$, $I_1 = 1 - I_2$.

При $E_1 \neq 0$ и $R_2 = 0$ $I_2 = 2$, $I_1 = -1$; при $R_2 \rightarrow \infty$ $I_2 = 0$; $I_1 = 1$, откуда $-1 = a + 2b$, $1 = a + 0$. Ток $I_1 = 1 - I_2$.

1.7. Определить входное сопротивление R_{ab} схемы рис. 1.10,а относительно точек a и b , если $R_1 = 2,26$ Ом; $R_2 = 3$ Ом; $R_3 = 2,17$ Ом; $R_4 = 4$ Ом; $R_5 = 3$ Ом; $R_6 = 2$ Ом.

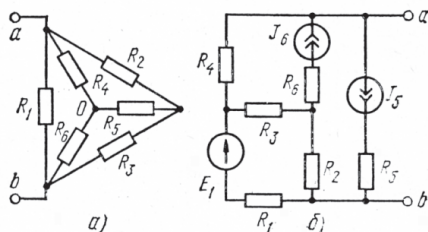


Рис. 1.10

Решение. Звезду, состоящую из резисторов R_4, R_5, R_6 на рис. 1.10,а заменим треугольником из резисторов $R_{45} = 13,03$ Ом; $R_{56} = 6,52$ Ом и $R_{64} = 8,67$ Ом (рис. 1.11). Резистор R_2 и параллельный ему R_{56} – резистором сопротивлением 1,63 Ом, резистор R_1 и параллельный ему R_{64} – резистором сопротивлением 1,79 Ом. Входное сопротивление $R_{ab} = 1,243$ Ом.

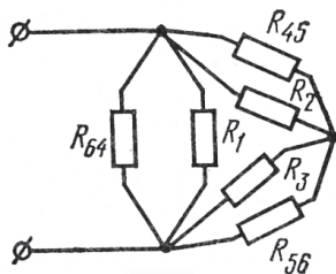


Рис. 1.11

1.8. Сопротивление R резистора измерено с помощью схемы рис. 1.12. В этой схеме переключатель может находиться либо в первом, либо во втором положении. Внутреннее сопротивление вольтметра $R_{вн} = 3$ кОм. Проведены два измерения при неизменном входном напряжении U . Когда переключатель находился в положении 1, вольтметр показал 100 В. При установке переключателя в положение 2, вольтметр показал 90 В. Найти сопротивление R резистора.

Решение. Обозначим показание вольтметра в положении 2 через U_V . В этом положении через вольтметр и резистор R протекает одинаковый ток, поэтому отношение напряжения на резисторе к напряжению на вольтметре $(U - U_V) / U_V = R / R_V$. Отсюда $R = R_V [(U / U_V) - 1] = 3000[(100 / 90) - 1] = 333$ Ом.

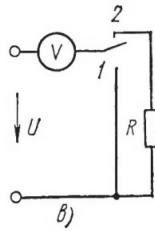


Рис. 1.12

1.9. На рис. 1.13,а изображён проволочный куб, каждое ребро которого имеет сопротивление $R=1$ Ом. Найти сопротивление между точками a и b , a и c , d и c .

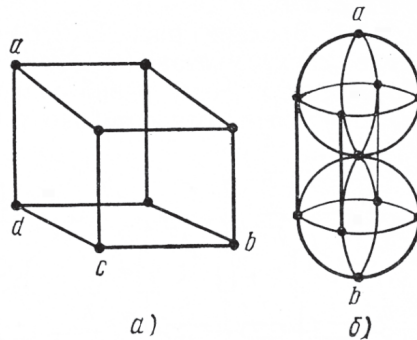


Рис. 1.13

Решение. Для каждого из трех случаев в одном из ребер, наиболее удаленном от плоскости симметрии (по обе стороны от которой значения токов по соответствующим ребрам одинаковы), задаёмся произвольным током, например $I=1$ А. Затем, используя законы Кирхгофа и условия симметрии, найдем токи в других ребрах. После этого определим разность потенциалов между заданными точками и входной ток. Частное от деления разности потенциалов на входной ток даст искомое сопротивление.

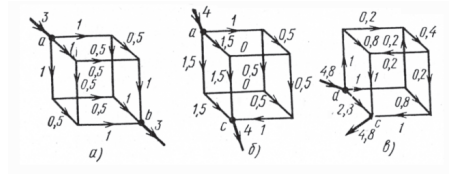


Рис. 1.14

Распределение токов при питании между точками a и b показано на рис. 1.14,а; $R_{ab} = 5/6$ Ом. Распределение токов при питании между точками a и c дано на рис. 1.14,б; $R_{ac} = 0,75$ Ом. На рис. 1.14,в показано распределение токов в ребрах куба при питании между точками d и c ; $R_{dc} = 7/12$ Ом.

1.3. Расчёт входных и взаимных проводимостей электрических цепей

1.10. Для схемы, указанной на рис. 1.15, найти входные и взаимные проводимости. Значения сопротивлений резисторов в омах указаны на схеме.

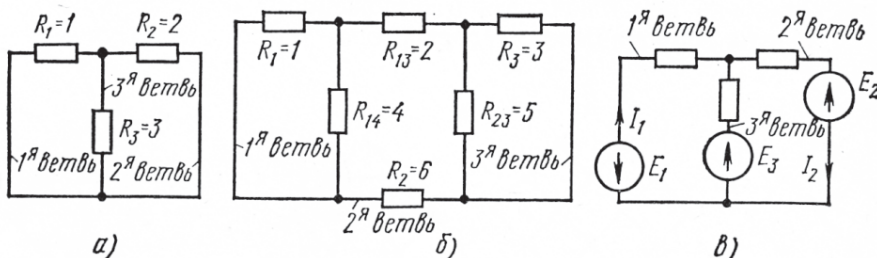


Рис. 1.15

Решение. Для определения g_{11} и g_{12} задаемся током $I = 1$ А в ветви 2 и подсчитаем, какой источник ЭДС следовало бы для этого включить в ветвь 1: $E_1 = 1 \cdot 2 + 1,6671 = 3,667 = 1 \cdot 2 + 1,667 \cdot 1 = 3,667$ В (1,667 А – ток, текущий в ветви 1, 0,667 А – ток, текущий в ветви 3). Отсюда: $g_{11} = 1,667/3,667 = 0,454$ См; $g_{12} = 1/3,667 = 0,273$ См; $g_{13} = 0,607/3,667 = 0,182$ См.

Для подсчета g_{11} и g_{23} исключим из схемы источник ЭДС E_1 , а в ветвь 2 подключим некоторый источник ЭДС E_2 . Значение этой ЭДС берем таким, чтобы в этом опыте ток $I_1 = 1$ А. При этом $I_3 = 0,33$ А; $I_2 = 1,333$ А; $E_2 = 3,666$ В. Следовательно $g_{22} = 1,333/3,666 = 0,3635$ См; $g_{23} = 0,33/3,666 = 0,091$ См.

1.11. Известны входные и взаимные проводимости ветвей схемы рис. 1.15, в: $g_{11} = 0,454$ См; $g_{12} = 0,273$ См; $g_{13} = 0,182$ См; $g_{22} = 0,3635$ См; $g_{23} = 0,091$ См. Найти ток I_2 , если $E_1 = 10$ мВ; $E_2 = 6$ мВ; $E_3 = 5$ мВ.

Решение. В соответствии с рис. 1.15, в запишем выражение для тока I_2 . Соответствующие слагаемые правой части возьмём положительными, если они создают ток, направленный согласно току I_2 :

$$I_2 = -E_1 g_{12} + E_3 g_{23} - E_2 g_{22} = -0,273 \cdot 10 + 5 \cdot 0,091 - 6 \cdot 0,3635 = -4,445 \text{ мА.}$$

1.12. В схеме рис. 1.16, а с помощью вольтметра с внутренним сопротивлением R_V и амперметра с внутренним сопротивлением R_A проведены измерения для трех сочетаний положений переключателей P_1 и P_2 . Результаты измерений приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Режим	Положение P_1	Положение P_2	Показание амперметра, А	Показание вольтметра, В
1	1	2	0,4755	95,3
2	2	1	0,906	0
3	2	2	1,295	86,5

Определить сопротивление R резистора, внутреннее сопротивление амперметра, внутреннее сопротивление вольтметра R_V , входное сопротивление двухполюсника $R_{\text{вх}ab}$ относительно точек a и b , напряжение на зажимах a и b при холостом ходе U_{abx} .

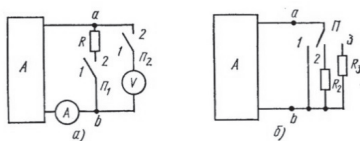


Рис. 1.16

Решение. Для первого режима составим два уравнения:

$$0,4755R_V = 95,3; \quad \frac{U_{abx}}{R_A + R_V + R_{\text{вх}ab}} = 0,4755.$$

Для второго режима – одно уравнение:

$$\frac{U_{abx}}{R_A + R + R_{\text{вх}}}} = 0,906.$$

Для третьего режима – два уравнения:

$$\frac{RR_V}{R + R_V} \cdot 1,295 = 86,5; \quad \frac{U_{abx}}{R_A + R_{\text{вх}ab} + \frac{RR_V}{R + R_V}} = 1,295.$$

Совместное решение пяти уравнений даёт $R = 100$ Ом; $R_A = 0,5$ Ом; $R_V = 200$ Ом; $R_{\text{вх}ab} = 10$ Ом; $U_{abx} = 100$ В.

1.13. Переключатель Π в схеме рис. 1.16,б может находиться в трех положениях. Когда он находится в положении 1, ток $I = I_1 = 100$ мА, в положении 2 ток $I = I_2 = 50$ мА, в положении 3 ток $I = I_3 = 20$ мА. Сопротивление резистора $R_2 = 1$ кОм. Определить сопротивление резистора R_3 , входное сопротивление двухполюсника относительно точек a и b и напряжение холостого хода U_{abx} .

Решение. Для первого режима $I_1 = U_{abx}/R_{\text{вх}ab}$; для второго режима $I_2 = U_{abx}/(R_2 + R_{\text{вх}ab})$; для третьего режима $I_3 = U_{abx}/(R_3 + R_{\text{вх}ab})$. Следовательно, $U_{abx} = I_2 R_2 / [1 - (I_2/I_1)] = 100$ В; $R_{\text{вх}ab} = U_{\text{вх}ab}/I_1 = 1$ кОм; $R_3 = 4$ кОм.

1.14. Для схемы рис. 1.17,а записать два уравнения, связывающие входные g_{11}, g_{22} и взаимную g_{12} проводимости ветви с собственными и взаимными сопротивлениями контуров R_{11}, R_{12}, R_{22} .

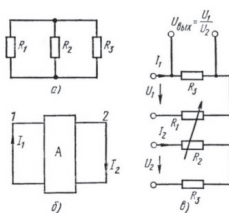


Рис. 1.17

Решение. Составим уравнения для схемы рис. 1.17,а по методу контурных токов, полагая, что в левом контуре имеется ЭДС E_{11} , а в правом ЭДС E_{22} :

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} = E_{11}; \quad R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} = E_{22}. \quad \text{Определитель } \Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{vmatrix} \text{ сначала}$$

раскроем по элементам первой строки $R_{11}\Delta_{11} + R_{12}\Delta_{12} = \Delta$, а затем по элементам второй строки $R_{21}\Delta_{21} + R_{22}\Delta_{22} = \Delta$. Здесь Δ_{km} – минор вместе с принадлежащим ему знаком. Разделим каждую из строчек на Δ и учтем, что $\Delta_{km} / \Delta = g_{km}$. В результате получим искомые зависимости: $R_{11}g_{11} + R_{12}g_{12} = 1$; $R_{21}g_{21} + R_{22}g_{22} = 1$.

1.15. На рис. 1.18,а изображен граф, в котором имеется пять узлов и восемь ветвей. Выберем дерево графа, изображенное на рис. 1.18,б, обозначим его ветви номерами 1, 2, 3, 4, а остальным ветвям графа придадим номера 5, 6, 7, 8. Поставим стрелки на всех ветвях графа (рис. 1.18,в). Сопротивления ветвей электрической схемы, которую изображает граф, обозначим $R_1 - R_8$ (проводимости $g_1 - g_8$). В ветвях 5 и 7 имеются источники ЭДС E_5 и E_7 кроме того, в схеме имеются два источника тока J_6 и J_8 . Составить узловую матрицу $[A]$, заземлив узел 5, матрицу главных сечений $[Q_r]$ и матрицу главных контуров $[K_r]$.

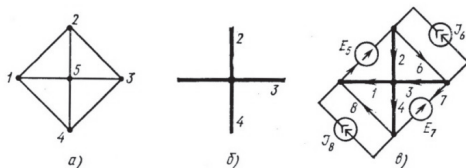


Рис. 1.18

Решение. Узлы 1-4 графа рис. 1.18,в (рис. 1.19,а) обведем кружками и составим $[A]$ -матрицу, поставив в ее клетки +1, стрелки на которых выходят из соответствующих кружков:

$$[A] = \begin{array}{c} \text{Узлы} \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \end{array} \left[\begin{array}{cccc|cccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{array} \right] = [A_1 | A_2].$$

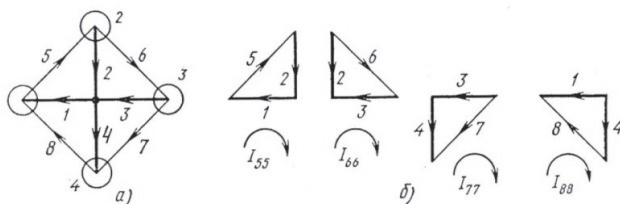


Рис. 1.19

Для дерева, изображенного на рис. 1.19,б, главные сечения будут совпадать с кружками, показанными на рис. 1.19,а и использованными при составлении $[A]$ -матрицы. Каждое главное сечение рассекает одну ветвь дерева, а остальные – хорды. Номер главного сечения соответствует номеру ветви дерева. Плюс 1 в клетках $[Q_r]$ -матрицы ставят для рассекаемой этим сечением ветви дерева и для всех ветвей связи, стрелки на которых ориентированы относительно поверхности сечения, так же как и стрелка на рассекаемой этим сечением ветви дерева.

Для дерева рис. 1.19,а главные контуры изображены на рис. 1.15,б. Каждый главный контур содержит по одной хорде (остальные его ветви – это ветви дерева). Номер главного контура соответствует номеру хорды. Направление обхода каждого главного контура (и направление контурного тока) соответствует стрелке на хорде этого контура. В соответствии с рис. 1.19,б.

$$[Q_r] = \begin{array}{c} \text{Сечения} \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \end{array} \left[\begin{array}{cccc|cccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{array} \right] = [1 | Q_2].$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru