

П. Н. НОВИКОВ, О. В. ТОЛЧЕЕВ

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Допущено

*Экспертным советом по профессиональному образованию
в качестве практикума для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих программы
начального профессионального образования*

5-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2011

УДК 621.3(075.32)

ББК 31.2я722

Н731

Рецензенты:

доцент ГОУ СПО «Мытищинский машиностроительный техникум»,
канд. техн. наук *В. И. Полещук*;

зам. директора Колледжа № 27 автоматизации и радиоэлектроники,
преподаватель спецдисциплин *В. П. Петров*

Новиков П. Н.

Н731 Задачник по электротехнике : практикум для учреждений нач. проф. образования / П. Н. Новиков, О. В. Толчеев. — 5-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2011. — 384 с.

ISBN 978-5-7695-8183-0

Содержит задачи на применение основных законов электротехники, а также связанные с физикой, химией, математикой, электроматериаловедением, специальными предметами, производственным обучением. Приводятся краткие теоретические сведения и основные расчетные формулы, подробные решения отдельных задач, отражающих специфику электротехнических объектов. Задачи рассчитаны на разный уровень подготовки и позволяют учитывать индивидуальные особенности учащихся. Их можно применять на различных этапах усвоения знаний, они реализуют межпредметные связи. На большинство задач в конце практикума даны ответы и пояснения к решениям.

В 3-м издании были учтены замечания и пожелания, полученные в результате апробации.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 621.3(075.32)

ББК 31.2я722

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Новиков Н. П., Толчеев О. В., 2008

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008

ISBN 978-5-7695-8183-0

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель изучения электротехники — дать учащимся знания и навыки применения ее основных законов, устройств и принципа действия электроизмерительных приборов, электрических аппаратов и машин, электронных приборов и устройств. Для этого учащимся необходимо усвоить физическую суть электрических и магнитных явлений, их взаимную связь и количественные соотношения, овладеть необходимым математическим аппаратом для расчетов характеристик электротехнических цепей и устройств, определения их основных параметров. Кроме того, следует знать реальные диапазоны изменения характеристик и параметров электротехнических устройств и электронных приборов, что является необходимым при последующем изучении специфики конкретных конструкций, особенностей их монтажа, обслуживания, ремонта.

Решение задач является одним из средств овладения системой знаний и умений по электротехнике, решение задач поможет учащимся более глубоко и всесторонне усвоить программный материал.

Электротехника как общетехнический предмет, основываясь на общеобразовательных предметах, в свою очередь представляет собой базу для изучения специальных дисциплин и производственного обучения. Поэтому ряд задач составлен таким образом, что для их успешного решения необходимы знания не только по курсу электротехники, но и по общеобразовательным предметам: физике, математике, химии. Наряду с этим многие задачи непосредственно связаны со специальными дисциплинами, производственным обучением, электроматериаловедением. Все особенности изложения материала задачника нашли свое отражение в его структуре.

Перед каждой темой излагаются основные понятия и ключевые термины. Чтобы облегчить учащимся работу над задачами, в начале каждой подтемы приведены необходимые теоретические сведения, основные формулы и расчетные соотношения. К некоторым задачам, наиболее полно отражающим специфику данной темы, решения приведены в тексте. При нумерации задач использованы обозначения, раскрывающие их дидактическую направленность.

Знак ► соответствует простым задачам, не требующим сложных преобразований. Они могут использоваться при отработке навыков электротехнических расчетов, а также при изложении нового материала.

Знак ● соответствует задачам повышенной сложности, требующим умения пользоваться соответствующим математическим аппаратом (системы уравнений, логарифмы, некоторые функциональные зависимости). Эти задачи могут применяться при повторении материала и контроле знаний учащихся.

Знак ■ определяет электротехнические задачи с производственным содержанием, решение которых предполагает наличие профессиональных навыков и знаний по электроматериаловедению и специальным дисциплинам.

И, наконец, более половины задач связаны с электротехническими расчетами; они не выделены особыми знаками.

Многообразие задач позволяет преподавателям учитывать индивидуальные особенности учащихся, специфику профессий, реализовывать личностно-ориентированный, деятельностный, компетентностный, модульный и другие подходы при обучении в учреждениях начального профессионального образования.

Авторы выражают благодарность В. Я. Кауфману, Е. В. Шапкину, Г. В. Ярочкиной, оказавшим помощь при подготовке задачника, а также практическим работникам учреждений начального и среднего профессионального образования, приславшим свои пожелания и предложения.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЯХ

Основным объектом электротехники является *электрическая цепь*, которая представляет собой совокупность устройств, предназначенных для создания, передачи и потребления электрического тока. Отдельные устройства, входящие в электрическую цепь, называют также *элементами электрической цепи*. Свойства элемента определяются его параметрами: сопротивлением, индуктивностью и емкостью.

Электрическое сопротивление характеризует способность элемента поглощать электрическую энергию и преобразовывать ее в другие виды энергии. Свойство элемента создавать собственное магнитное поле, когда в нем протекает электрический ток, определяется *индуктивностью*. Под *емкостью* элемента понимается его способность накапливать заряды или возбуждать с их использованием электрическое поле. В общем случае реальные элементы электрических цепей обладают всеми перечисленными параметрами.

При изучении и расчете электромагнитных явлений в электрических и магнитных цепях их представляют в виде схем замещения. Под *схемой замещения* понимается идеализированная электрическая схема, которая является расчетной моделью реальной цепи или устройства. Одна и та же электрическая цепь может иметь несколько схем замещения в зависимости от цели и точности расчета.

При анализе схем замещения используют понятия «*двухполюсник*» и «*четырёхполюсник*», отражающие виды соединения элементов в электрическую цепь. Если электрическая цепь имеет два вывода для подключения к источнику питания или к потребителю, то такая цепь называется *двухполюсником*. Если двухполюсник содержит источник электрической энергии, его называют активным, при отсутствии источника его называют пассивным. Если же электрическая цепь подключается к источнику двумя выводами, а потребители подключаются к двум другим выводам, то та-

кая цепь называется *четырёхполюсником*. В зависимости от наличия или отсутствия внутренних источников четырёхполюсник может быть активным или пассивным.

Электрические схемы замещения содержат *ветви, узлы и контуры*, для которых имеются исходные расчетные уравнения электрического состояния, основанные на законах сохранения энергии и электрического заряда.

1.1. Элементы электрической и магнитной цепей

К основным элементам электрических цепей относятся резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности. Резистор является необратимым преобразователем электромагнитной энергии, конденсатор накапливает энергию электрического поля, а катушка индуктивности — энергию магнитного поля.

Все проводящие электрический ток элементы обладают электрическим сопротивлением. Для проволочных резисторов сопротивление определяется по формуле

$$R = \rho l / S, \tag{1.1}$$

где ρ — удельное сопротивление, Ом · м; l — длина, м; S — площадь поперечного сечения, м².

Для большинства применяемых в электротехнике проводящих материалов их сопротивление в определенном диапазоне температур линейно зависит от температуры:

$$R = R_0 [1 + \alpha_T (T - T_0)], \tag{1.2}$$

где R_0 — сопротивление резистора при температуре T_0 ; α_T — температурный коэффициент сопротивления, 1/К.

Удельные сопротивления и температурные коэффициенты некоторых металлов указаны в Приложении 3.

Наиболее распространенные схемы включения переменных резисторов приведены на рис. 1.1, а, б.

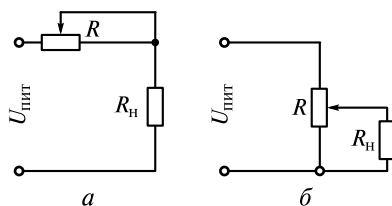


Рис. 1.1. Схемы включения переменных резисторов (к решению задач 1.18; 2.3; 2.13)

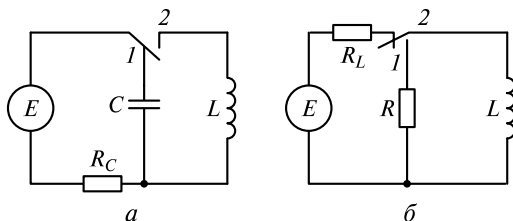


Рис. 1.2. Схема преобразования электрической энергии:

a — в конденсаторе (к задаче 1.25); *б* — в катушке индуктивности (к задаче 1.36)

Конденсатор состоит из двух электродов (металлических пластин), разъединенных диэлектриком; его основной характеристикой является емкость

$$C = q/U, \quad (1.3)$$

где q — заряд одной из пластин, Кл; U — разность потенциалов между пластинами конденсатора, В.

Емкость конденсатора определяется его конфигурацией и относительной диэлектрической проницаемостью диэлектрика, помещенного между его пластинами (см. Приложение 4). Для плоского конденсатора

$$C = \epsilon\epsilon_0 S/l_C, \quad (1.4)$$

где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 — абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, или электрическая постоянная, равная $1/(4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)$ Ф/м; S — площадь одной пластины, м²; l_C — расстояние между пластинами, м.

Заряженный конденсатор обладает энергией, которую он накапливает в процессе зарядки и отдает при разрядке (рис. 1.2, *a*):

$$W = CU^2/2. \quad (1.5)$$

Индуктивность катушки определяет ее способность создавать магнитное поле при прохождении через нее тока:

$$L = \Phi_w/I, \quad (1.6)$$

где Φ — магнитный поток одного витка, Вб; w — число витков катушки; I — сила тока, А.

Индуктивность катушки зависит также от магнитного сопротивления магнитопровода, на который она намотана:

$$L = w^2/R_\mu. \quad (1.7)$$

В свою очередь, магнитное сопротивление определяют по формуле

$$R_{\mu} = \frac{l}{\mu_r \mu_0 S},$$

где l — длина магнитопровода, м; μ_r — относительная магнитная проницаемость; μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, или магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; S — площадь сечения магнитопровода, м².

Катушка индуктивности обладает энергией магнитного поля, преобразующейся в энергию электрического поля при подключении ее к источнику (рис. 1.2, б):

$$W = LI^2/2. \quad (1.8)$$

В электрических устройствах также нашли применение конденсаторы и катушки переменной емкости и индуктивности, позволяющие регулировать ток и напряжение электрических цепей.

С помощью параметров R , L , C электромагнитные процессы в различных электротехнических устройствах представляют в виде эквивалентных схем замещения с целью упрощения анализа и расчета.

Задачи

► **1.1.** Как изменится сопротивление проволочного резистора: а) при увеличении его длины в 2 раза; б) при уменьшении площади поперечного сечения провода в 3 раза; в) при одновременном увеличении длины в 4 раза, а диаметра провода в 2 раза?

1.2. Для двух резисторов была выбрана проволока одной и той же длины, изготовленная из одного материала. При каком соотношении диаметров проволок сопротивление одного из резисторов будет: а) в 3 раза меньше; б) в 4 раза больше; в) в 10 раз больше сопротивления другого резистора?

1.3. Определить минимальный диаметр медной проволоки длиной 100 м, если ее сопротивление не должно превышать 1 Ом. Чему равно сопротивление 1 м медной проволоки диаметром 2 мм?

1.4. Найти сопротивление вольфрамовой нити длиной 70 м и диаметром 1 мм. Каково сечение вольфрамовой проволоки, если ее сопротивление составляет 0,5 Ом на каждый метр длины?

1.5. Определить сопротивление резистора, обмотка которого выполнена из нихромового провода диаметром 0,1 мм, намотанного в один ряд виток к витку на керамический каркас длиной 10 мм и диаметром 4 мм. Как изменится сопротивление при двухрядной намотке?

Решение. На основании формулы для площади круглого сечения провода и соотношения

(1.1) можно записать $R = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$. Длина одного

витка соответствует длине окружности каркаса, число же витков при плотной намотке проволоки равно отношению длины каркаса к диаметру проволоки. Поэтому можно записать $l = \pi d_k l_k / d$. С учетом ранее записанного выражения находим $R = 4\rho l_k d_k / d^3 = 4 \cdot 0,98 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 0,01 \text{ м} \cdot 4 \text{ мм} / 0,001 \text{ мм}^3 = 157 \text{ Ом}$.

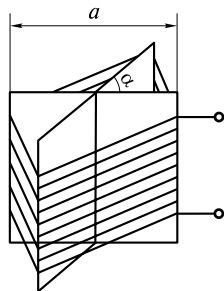


Рис. 1.3. К задаче 1.8

Удельное сопротивление ρ выбрано в соответствии с Приложением 3.

При двухрядной намотке, если пренебречь расположением первого ряда (т.е. его толщиной), длина проволоки будет в 2 раза больше, т.е. $R = 314 \text{ Ом}$.

1.6. При измерениях было установлено, что проволочный резистор, изготовленный из проволоки длиной 100 м и диаметром 0,6 мм, имел сопротивление 50 Ом. Из какого металла или сплава был изготовлен резистор?

● **1.7.** При увеличении длины фехралевого провода на 10 м его сопротивление возросло в 3 раза. Найти первоначальную длину и сопротивление провода в обоих случаях при сечении $2,5 \text{ мм}^2$.

● **1.8.** Определить сопротивление резистора, на каркас которого (рис. 1.3) намотано 100 витков нихромовой проволоки диаметром 1 мм, а конструктивные параметры: $a = 10 \text{ мм}$; $\alpha = 60^\circ$.

■ **1.9.** Рассчитать сопротивление сталеалюминиевого провода воздушной линии, если он состоит из 54 алюминиевых и 7 стальных жил диаметром 3 мм.

Длина провода составляет 300 км, все жилы соединены между собой параллельно.

■ **1.10.** Медная электрическая проволока была заменена на алюминиевую такой же длины и сопротивления. Определить соотношение между сечениями проводов. Найти экономию по массе, полученную при замене медного провода алюминиевым.

► **1.11.** Определить сопротивление медного резистора при температурах $T_1 = 323$; 338 ; 353 К , если при начальной температуре $T_0 = 293 \text{ К}$ его сопротивление было равно 50 Ом.

1.12. Каков температурный коэффициент сопротивления резистора, если при изменении температуры среды на 100 К его сопротивление изменилось на 500 Ом? Номинальное значение сопротивления 1 кОм.

1.13. Сопротивление резистора при температуре $T_1 = 323 \text{ К}$ составляет 270 Ом, а при температуре $T_2 = 353 \text{ К}$ достигает 293 Ом. Найти температурный коэффициент сопротивления резистора и

его номинальное сопротивление при температуре 293 К. Из какого материала изготовлен резистор?

1.14. Сопротивление электрической лампы с номинальными параметрами 60 Вт и 220 В при температуре 293 К (т.е. в ненагретом состоянии) равно 62 Ом. Найти температуру накаленной вольфрамовой нити при номинальном напряжении, приняв температурный коэффициент равным $5 \cdot 10^{-3}$ 1/К во всем диапазоне температур.

Решение. Сопротивление нити в нагретом состоянии определяют по ее номинальным параметрам $R_2 = U^2/P = 807$ Ом.

Зная сопротивление накаленной нити, по выражению (1.2) можно определить ее перегрев $\Delta T = (R_2 - R_1)/R_1 \alpha_T = (807 - 62)/62 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ 1/К = 2 403 К и температуру $T_2 = T_1 + \Delta T = 2 403 + 293 = = 2 696$ К.

■ **1.15.** До какой температуры необходимо нагреть провод из манганина, вольфрама, никрома, чтобы его сопротивление увеличилось на 1 % по сравнению с сопротивлением при температуре 293 К?

1.16. Переменный проволочный резистор сопротивлением от 0 до 1,5 кОм подключен к источнику напряжения 42 В. Какой ток будет проходить через резистор, если: а) под напряжением все витки; б) подвижный контакт посередине; в) под напряжением 80 % витков; г) под напряжением 20 % витков?

1.17. Определить напряжение на выходе переменного проволочного резистора, подключенного к источнику напряжения 42 В, если напряжение снимается: а) со всего резистора; б) с половины витков; в) с четверти витков. Сопротивление резистора нагрузки считать много больше сопротивления резистора.

1.18. В каких пределах можно изменять ток нагрузки R_H переменным резистором R (см. рис. 1.1, а); напряжение на нагрузке R_H резистором R (см. рис. 1.1, б)? Найти силу тока электрической цепи, схема которой соответствует рис. 1.1, б, если $U_{пит} = 42$ В, $R = R_H = 60$ Ом, а подвижный контакт находится посередине.

Решение. Эквивалентное сопротивление, приведенных на рис. 1.1 цепей, следующее:

$$\text{а) } R_{ц} = R_H + R; \quad \text{б) } R_{ц} = \frac{R}{2} + \frac{R_H R/2}{R_H + R/2}.$$

В первом случае ток нагрузки $I = U_{пит}/R_{ц}$. Так как сопротивление переменного резистора может изменяться от 0 до R , то ток изменяется от $U_{пит}/R_H$ до $U_{пит}/(R + R_H)$.

Во втором случае напряжение на нагрузке

$$U = IR_H = U_{пит} \frac{R_H \left(\frac{1}{1 + \frac{2R_H}{R}} \right)}{R_{ц}}.$$

При изменении сопротивления переменного резистора от R до 0 напряжение меняется от $U_{\text{пит}}$ до 0.

При заданном в условии режиме работы цепи

$$R_{\text{ц}} = \frac{R}{2} + \frac{R}{3} = \frac{5}{6}R = 50 \text{ Ом} \text{ и ток } I = U_{\text{пит}}/R_{\text{ц}} = 42 \text{ В}/50 \text{ Ом} = 0,84 \text{ А.}$$

■ **1.19.** Составить принципиальные электрические схемы включения переменных резисторов, позволяющих изменять напряжение на резисторе нагрузки: а) от 0 до $U_{\text{пит}}$; б) от $-U_{\text{пит}}$ до $+U_{\text{пит}}$;

в) от $-\frac{U_{\text{пит}}}{2}$ до $+\frac{U_{\text{пит}}}{2}$.

■ **1.20.** Используя приведенные в Приложении 3 основные характеристики проводниковых материалов, определить, какие из них необходимо выбрать для: а) соединительных монтажных проводов; б) обмоток электрических машин и трансформаторов; в) переменных резисторов; г) электронагревательных приборов и паяльников.

► **1.21.** Как изменится емкость плоского конденсатора: а) при увеличении площади пластин в 3 раза; б) при уменьшении расстояния между пластинами в 4 раза; в) при одновременном уменьшении площади в 2 раза и расстояния в 3 раза?

► **1.22.** Сколько пластин площадью 10^{-2} м^2 надо соединить параллельно, чтобы получить конденсатор емкостью 0,1 мкФ, если в качестве диэлектрика применяется лакоткань толщиной 0,05 мм с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 5$?

1.23. Чему равна емкость плоского конденсатора с круглыми пластинами диаметром 10 мм, если расстояние между пластинами 0,01 мм, а относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика $\epsilon = 2,4$? Из какого материала выполнен диэлектрик?

1.24. Определить энергию электрического поля конденсатора емкостью 10 мкФ при напряжении на пластинах 220 В. Какую работу необходимо совершить источнику напряжения, чтобы перезарядить конденсатор до такого же напряжения, но противоположного знака?

1.25. Энергия электрического поля при зарядке конденсатора от источника постоянного напряжения 100 В составляет 5 мДж (см. рис. 1.2, а). Найти энергию конденсатора при напряжениях 200; 360; 50 В. Указать, в каком элементе цепи расходуется эта энергия при переключении конденсатора.

1.26. Для изготовления плоского цилиндрического конденсатора используются полоски фольги и полиэтиленовой пленки одинаковой ширины 20 мм. Какой длины необходимо взять пленку и фольгу, чтобы получить емкость конденсатора 3,3 нФ? Толщина полиэтиленовой пленки 0,1 мм.

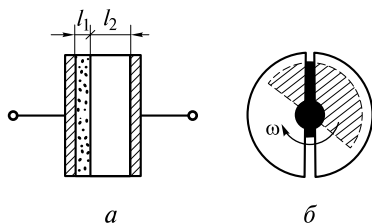


Рис. 1.4. К задачам:

a — 1.27; *б* — 1.28, 1.29

● **1.27.** Плоский конденсатор с двухслойным диэлектриком (рис. 1.4, *a*) имеет следующие параметры: $l_1 = 0,1$ мм и $l_2 = 0,5$ мм, площадь пластин $0,01$ м². Определить емкость конденсатора C и максимальное напряжение, на которое его можно подключить, если первый слой выполнен из картона, а второй слой воздушный.

1.28. Конденсатор переменной емкости состоит из пластин, выполненных в виде полуокружностей, расположенных на одной оси (рис. 1.4, *б*). Определить зависимость емкости конденсатора от угла поворота подвижной пластины, если расстояние между пластинами 1 мм, а радиус полуокружности 35 мм. Найти относительное изменение емкости на градус угла поворота.

Решение. В условии описано устройство переменного конденсатора, который применяется, например, при настройке контуров на определенную частоту. При решении необходимо воспользоваться

формулой для нахождения площади сектора $S = \frac{\pi R^2}{360^\circ} n$, где n — центральный угол дуги сектора. В данном случае $n = 180^\circ - \alpha$.

Следовательно, исходя из формулы (1.4), емкость конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{C_0} \frac{\pi R^2}{360^\circ} (180^\circ - \alpha) = 17 \left(1 - \frac{\alpha}{180^\circ} \right) \text{ пФ.}$$

Относительное изменение емкости

$$\Delta C / \Delta \alpha = -0,095 \text{ пФ/}^\circ.$$

1.29. Ось конденсатора переменной емкости (рис. 1.4, *б*) вращается ручкой настройки с угловой частотой $\omega = 2$ рад/с. Как изменится емкость конденсатора в течение 1 с, если радиус полуокружности 30 мм, а расстояние между подвижной и неподвижной частями 0,5 мм?

■ **1.30.** При включении электролитического конденсатора в цепь была нарушена полярность, указанная в его маркировке. Пояснить причину разрушения конденсатора, произошедшего в результате этого.

1.31. Как изменится индуктивность катушки: а) при увеличении числа витков в 2 раза; б) при уменьшении относительной магнитной проницаемости в 3 раза; в) при одновременном увеличении числа витков и длины катушки в 2 раза?

1.32. Какова индуктивность обмотки, имеющей 450 витков, если ток 0,5 А создает в ней магнитный поток $5 \cdot 10^{-5}$ Вб? Определить

ток, необходимый для создания в этой катушке магнитного потока $5 \cdot 10^{-4}$ Вб.

1.33. Катушка с ферромагнитным магнитопроводом имеет площадь поперечного сечения магнитопровода $0,05 \text{ м}^2$ и число витков 40. Индуктивность катушки составляет 250 мГн при длине магнитопровода 0,1 м. Определить относительную и абсолютную магнитные проницаемости магнитопровода.

1.34. Средний радиус магнитопровода кольцевой катушки составляет 0,15 м, его сечение $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Найти индуктивность катушки при плотности намотки 5 витков на 1 см. Определить магнитный поток и энергию магнитного поля катушки при токе 5 А. Обмотка занимает 90 % длины средней окружности катушки, относительная магнитная проницаемость материала магнитопровода $\mu_r = 200$.

Решение. Индуктивность катушки можно определить по формуле (1.7), причем магнитное сопротивление в данном случае $R_\mu =$

$$= \frac{0,9l}{\mu_r \mu_0 S} = \frac{0,9\pi D}{\mu_r \mu_0 S}, \text{ где } D \text{ — диаметр средней окружности катушки.}$$

Число витков $w = 0,9\pi Dm$, где m — плотность намотки, равная 500 витков/м.

Подставляя полученные соотношения в исходную формулу (1.7), можно записать $L = \mu_r \mu_0 S \pi D m^2 = 200 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \pi \cdot 0,3(500)^2 = 15 \text{ мГн}$.

Магнитный поток определяют, используя формулу (1.6): $\Phi = LI/w = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$, а энергию магнитного поля — выражение (1.8): $W = 0,37 \text{ Дж}$.

1.35. Катушка намотана на цилиндрический магнитопровод диаметром 80 мм и длиной 40 мм, причем относительная магнитная проницаемость $\mu_r = 400$. Сколько метров провода $l_{\text{пр}}$ понадобится для получения индуктивности катушки 1 мГн при однослойной намотке?

1.36. В электрической цепи (см. рис. 1.2, б) происходит отключение источника от ветви с катушкой индуктивности с одновременным замыканием катушки индуктивности на резистор без разрыва цепи. Определить энергию катушки с индуктивностью 20 мГн при токе 5 А. В каком элементе цепи выделяется эта энергия?

1.37. Катушка с сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 10 мГн подключается к источнику постоянного напряжения 100 В. Определить энергию магнитного поля катушки после включения. Как изменится энергия, если катушку подключить к источнику 200 В?

1.38. Для изменения тока в цепи используется катушка переменной индуктивности (рис. 1.5). От-

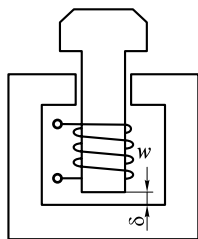


Рис. 1.5. К задаче 1.38

носительная магнитная проницаемость материала магнитопровода $\mu_r = 400$, общая длина силовых линий $0,33$ м, сечение $S = 3 \cdot 10^{-3}$ м². Определить индуктивность катушки в крайних положениях подвижного стержня при отсутствии зазора $\delta = 0$ и максимальном зазоре $\delta = 10$ мм. Число витков катушки $w = 500$. При максимальном зазоре магнитным сопротивлением магнитопровода можно пренебречь. Зазоры между средними и боковыми стержнями не учитывать.

● **1.39.** При изменении напряженности магнитного поля в ферромагнитном магнитопроводе от $1\,000$ до $2\,000$ А/м индукция линейно увеличилась от $0,9$ до $1,1$ Тл. Определить диапазон изменения магнитного сопротивления и индуктивности катушки с числом витков $\omega = 50$, намотанных на магнитопровод, если его длина и сечение соответственно $0,5$ м и $0,03$ м².

■ **1.40.** Объяснить, какими способами можно увеличить индуктивность катушки. Как должен быть выполнен резистор, намотанный из проволоки на цилиндрический каркас, чтобы его индуктивность была равна нулю?

1.2. Схемы замещения электрической и магнитной цепей

Обобщенная электрическая цепь включает в себя в соответствии со схемой замещения (рис. 1.6) источник электрической энергии 1 , потребитель энергии 2 и соединительные провода 3 . Как на внутреннем, так и на внешнем участках электрической цепи действует закон Ома, устанавливающий связь между током, проходящим через элемент цепи, и приложенным к нему напряжением:

$$U = RI \text{ или } I = gU, \tag{1.9}$$

где g — проводимость участка цепи, См, $g = 1/R$.

Важной величиной, характеризующей электрическую цепь, является мощность, которая определяется по одному из трех следующих выражений, применяемых в зависимости от условий исследуемой цепи:

$$P = UI = I^2R = U^2g. \tag{1.10}$$

Мощность в электрической цепи, состоящей из источника электроэнергии, линии передачи и некоторой нагрузки, определяется из соотношения

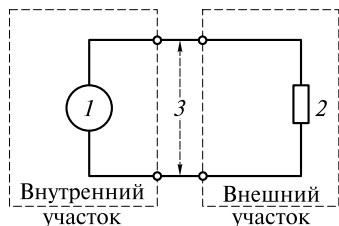


Рис. 1.6. Типовая электрическая цепь:

1 — источник энергии; 2 — потребитель энергии (главные элементы); 3 — соединительные провода (вспомогательные элементы)

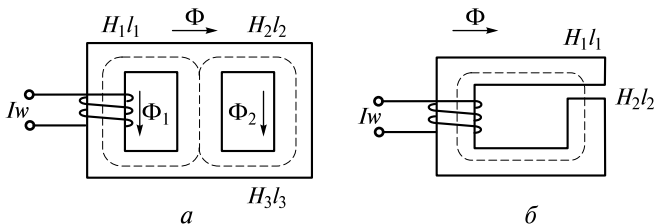


Рис. 1.7. Типовые магнитные цепи (к задаче 1.59):

a — однородная разветвленная (к задаче 1.56); *б* — неоднородная неразветвленная (к задаче 1.57)

$$UI = I^2 R_{\text{л}} + U_{\text{н}} I, \quad (1.11)$$

где UI — мощность, отдаваемая источником электроэнергии; $I^2 R_{\text{л}}$ — мощность, расходуемая на нагревание в проводах линии; $U_{\text{н}} I$ — мощность потребителя.

В качестве источника магнитного потока используется катушка индуктивности: создаваемая ею энергия преобразуется либо в электрическую, либо в механическую энергию. При расчете магнитных цепей (рис. 1.7) часто используются аналогией с электрическими цепями, причем аналогом тока является магнитный поток, аналогом напряжения источника — магнитодвижущая сила Iw .

Задачи

► **1.41.** Определить ток резистора, к которому приложено напряжение 42 В, если его сопротивление 10; 20 и 100 кОм; 1 МОм. Рассчитать сопротивление резистора, к которому приложено напряжение 15 В, а ток равен 0,1 А; 10 мА и 10 мкА.

1.42. Какое наибольшее напряжение можно приложить к резистору сопротивлением 33 Ом, чтобы ток не превышал 3 А? Найти наибольшее значение напряжения, если мощность не должна превышать в этом же резисторе 150 Вт.

1.43. Каково напряжение на выводах источника электроэнергии, подключенного к потребителям сопротивлением 41 Ом через двухпроводную линию из медного провода сечением 1,5 мм² и общей длиной 500 м, если ток в цепи равен 2,7 А?

1.44. Определить длину нихромовой проволоки сечением 0,55 мм², необходимой для намотки резистора, рассчитанного на мощность 750 Вт, при подключении его к источнику напряжением 220 В.

1.45. Для регулирования тока и напряжения потребителя сопротивлением $R_{\text{н}} = 100$ Ом последовательно с ним включают переменный резистор $R_{\text{р}}$ сопротивлением от 0 до 200 Ом. В каких

пределах можно регулировать ток и напряжение потребителя, подключенного к сети напряжением 42 В?

Решение. Общее сопротивление цепи $R_{\text{ц}} = R_{\text{н}} + R_{\text{р}}$, ток в цепи $I = U_{\text{пит}} / (R_{\text{н}} + R_{\text{р}})$.

Максимальный ток в цепи будет при $R_{\text{р}} = 0$, т.е. $I_{\text{max}} = U_{\text{пит}} / R_{\text{н}} = 0,42 \text{ А}$, а наибольшее напряжение $U_{\text{max}} = I_{\text{max}} R_{\text{н}} = U_{\text{пит}} = 42 \text{ В}$.

Минимальный ток в цепи будет при полном сопротивлении

переменного резистора $I_{\text{min}} = \frac{U_{\text{пит}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{р}}} = 0,14 \text{ А}$, а наименьшее на-

пряжение $U_{\text{min}} = I_{\text{min}} R_{\text{н}} = U_{\text{пит}} \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{р}}} = 14 \text{ В}$.

1.46. К источнику электроэнергии $U_{\text{пит}} = 220 \text{ В}$ подключены параллельно четыре потребителя сопротивлениями соответственно 100; 150; 80 и 750 Ом. Определить мощность и ток каждого потребителя, а также мощность и ток источника.

1.47. На рис. 1.8 приведены зависимости тока от напряжения для пяти резисторов. Определить сопротивления резисторов, напряжения на них при токе 1 А.

● **1.48.** В маркировке резисторов одной партии указано номинальное сопротивление $27 \text{ Ом} \pm 5 \%$. Каков разброс значений тока резисторов этой партии при приложенном напряжении 220 В? Как изменится разброс при допуске на номинал $\pm 2,5 \%$?

■ **1.49.** Составить эквивалентные схемы подключения к розетке следующих потребителей: а) лампы накаливания; б) электрического утюга с лампой накаливания; в) телевизора через стабилизатор напряжения.

► **1.50.** При некотором напряжении в резисторе выделялась мощность P . Как надо изменить сопротивление резистора, чтобы мощность в нем не изменилась: а) при увеличении приложенного напряжения в 2 раза; б) при уменьшении приложенного напряжения в 3 раза; в) при увеличении протекающего тока в 2,5 раза?

1.51. В резисторе при напряжении 42 В выделяемая мощность равна 50 Вт. Какова выделяемая в резисторе мощность при напряжениях 127, 220 В?

1.52. Линия передачи электроэнергии подключена к источнику напряжением 460 В. Определить мощность потерь в линии, если ток линии 200 А, а сопротивление потребителя 2,2 Ом. Найти сопротивление линии.

● **1.53.** Ток потребителя, подключенного к источнику напряжением 220 В, изменяется в диапазо-

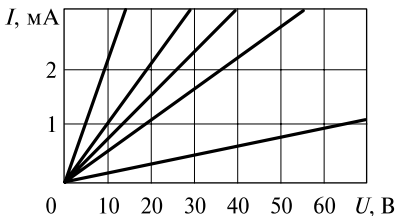


Рис. 1.8. К задаче 1.47

не $40 \text{ A} > I > 10 \text{ A}$. Определить диапазоны изменения сопротивления и мощности потребителя.

■ **1.54.** Потребитель с номинальной мощностью $2,5 \text{ кВт}$ подключен к источнику напряжения 220 В . В результате плохого контакта в розетке напряжение на потребителе оказалось равным 218 В при токе 5 А . Какова энергия, расходуемая в сопротивлении контакта розетки в течение 1 ч работы потребителя? Как изменилась мощность потребителя?

► **1.55.** Магнитный поток, создаваемый в магнитной цепи обмоткой с числом витков 400 при токе 2 А , составляет $2 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$. Определить магнитное сопротивление цепи. Чему равен магнитный поток при токах 1 и 3 А ?

1.56. В магнитной цепи, представленной на рис. 1.7, а, по обмотке с числом витков 350 протекает ток $1,6 \text{ А}$. Определить напряженности участков цепи, если $l_1 = 0,24 \text{ м}$; $l_2 = 0,36 \text{ м}$; $l_3 = 0,12 \text{ м}$. Чему равен магнитный поток в ветви l_1 магнитной цепи, если ее сечение $S = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, а $\mu_r = 400$?

Решение. Для нахождения магнитного потока, индуцируемого в магнитопроводе катушкой, воспользуемся аналогией между магнитными и электрическими цепями. Считая аналогом напряжения питания магнитодвижущую силу Iw , а тока — поток Φ , можно записать $Iw = \Phi R_\mu$. Полное магнитное сопротивление магнитопровода эквивалентно параллельному соединению сопротивлений R_{μ_2} и R_{μ_3} , последовательно подключенных к участку R_{μ_1} , т. е.

$$R_\mu = R_{\mu_1} + R_{\mu_2} R_{\mu_3} / (R_{\mu_2} + R_{\mu_3}).$$

При одинаковом сечении участков магнитопровода их сопротивления пропорциональны длинам. Учитывая заданные в условии значения l_1 , l_2 и l_3 , можно записать $R_{\mu_1} = 2R_{\mu_3}$; $R_{\mu_2} = 3R_{\mu_3}$ и $R_\mu = = 3,5R_{\mu_3}$.

Для данного материала магнитопровода, Гн^{-1} :

$$\begin{aligned} R_{\mu_3} &= l_3 / \mu_r \mu_0 S = \\ &= 0,12 \text{ м} / (400 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2) = 6,8 \cdot 10^5. \end{aligned}$$

Полное сопротивление магнитопровода $R_\mu = 2,4 \cdot 10^6 \text{ Гн}^{-1}$ и магнитный поток $\Phi = \Phi_1 = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$.

Магнитная индукция и напряженность магнитного поля на участке l_1 : $B_1 = \Phi/S = 0,67 \text{ Тл}$ и $H_1 = B/\mu_r \mu_0 = 1330 \text{ А/м}$.

Напряженности на участках цепи l_2 и l_3 обратно пропорциональны их сопротивлениям, т. е. $H_2 = H_1 R_{\mu_2} / R_\mu = \frac{2}{3,5} H_1 = 760 \text{ А/м}$

и $H_3 = H_1 R_{\mu_3} / R_\mu = H_1 / 3,5 = 380 \text{ А/м}$.

1.57. Площадь сечения магнитной цепи на рис. 1.7, б одинакова на всех ее участках и равна $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Определить магнитную индук-

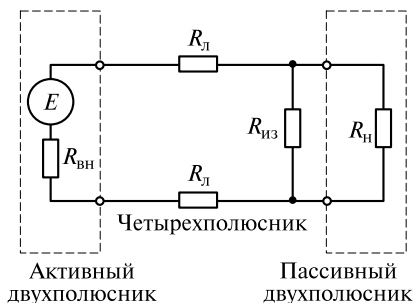


Рис. 1.9. К задачам 1.60, 1.61

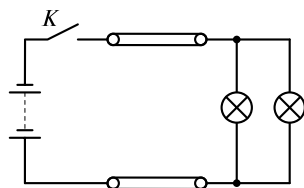


Рис. 1.10. К задаче 1.63

цию и магнитный поток, если по обмотке с числом витков 250 протекает ток 1,5 А, а магнитное сопротивление цепи $R_{\mu} = 10^6 \text{ Гн}^{-1}$.

■ **1.58.** По двум магнитопроводам протекает поток Φ . Магнитопроводы изготовлены из одного магнитного материала, но площадь сечения первого S_1 в 2 раза меньше площади сечения второго S_2 . Определить, в каком магнитопроводе напряженность будет выше.

■ **1.59.** Составьте эквивалентные электрические схемы, являющиеся аналогами схем магнитных цепей, изображенных на рис. 1.7. Запишите для них уравнения магнитного состояния.

► **1.60.** В схеме замещения на рис. 1.9 параметры активного двухполюсника (источника) $E = 42 \text{ В}$; $R_{\text{вн}} = 1 \text{ Ом}$, а сопротивление пассивного двухполюсника (потребителя) $R_{\text{н}} = 20 \text{ Ом}$. Определить ток цепи, мощности, потребляемые двухполюсниками, если сопротивлениями $R_{\text{л}}$ и $R_{\text{из}}$ можно пренебречь.

1.61. В линии передачи используются соединительные алюминиевые провода сечением 10 мм^2 , длиной 120 м каждый. Определить падение напряжения на соединительной линии, если схема передачи соответствует схеме на рис. 1.9, $E = U_{\text{пит}} = 380 \text{ В}$; $R_{\text{вн}} = 0,5 \text{ Ом}$; $R_{\text{н}} = 24 \text{ Ом}$.

1.62. В схеме замещения на рис. 1.9 параметры четырехполюсника $R_{\text{л}} = 20 \text{ Ом}$ и $R_{\text{из}} = 250 \text{ кОм}$. Определить напряжения на входе и выходе четырехполюсника (линии передачи), если $E = 220 \text{ В}$; $R_{\text{вн}} = 150 \text{ Ом}$; $R_{\text{н}} = 10 \text{ кОм}$.

■ **1.63.** На рис. 1.10 приведена схема подключения аккумуляторной батареи к двум электрическим лампам с помощью соединительных проводов. Составить эквивалентную схему замещения этой цепи.

■ **1.64.** В проводах соединительной линии, выполненных из меди, имеется некоторое падение напряжения ΔU . Как изменится эта величина, если заменить медный провод алюминиевым такой же длины и сечения? Чему должен быть равен диаметр алюминиевого провода, чтобы при замене значение ΔU осталось прежним?

1.3. Уравнения электрического состояния цепи

Схемы замещения электрических и магнитных цепей включают в себя внешний и внутренний участки. Внешний участок определяется вольт-амперной характеристикой, т. е. зависимостью тока от напряжения $I = f(U)$. Для потребителей с линейной вольт-амперной характеристикой выполняется закон Ома. Внутренний участок характеризуется внутренним сопротивлением и ЭДС. Зависимость напряжения на выводах генератора от тока в цепи называется *внешней характеристикой*:

$$U = E - IR_{\text{вн}} = IR_{\text{н}}. \quad (1.12)$$

Постоянный ток в замкнутой цепи (рис. 1.11) согласно закону Ома

$$I = E / (R_{\text{вн}} + R_{\text{н}}). \quad (1.13)$$

Для холостого хода цепи справедливы равенства: $I = 0$; $U = E$. Для короткого замыкания: $I = I_{\text{к.з}} = E/R_{\text{вн}}$; $U = 0$.

КПД работы источника электроэнергии

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI}{EI} = \frac{R_{\text{н}}I^2}{(R_{\text{н}} + R_{\text{вн}})I^2} = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{вн}}} = \frac{U}{E}. \quad (1.14)$$

Наибольшая мощность в нагрузке (согласованный режим) имеет место, когда $R_{\text{н}} = R_{\text{вн}}$, при этом $\eta = 0,5$.

В общем случае уравнения состояния электрических цепей описываются законами Кирхгофа. Согласно *первому закону Кирхгофа*, являющемуся следствием закона сохранения заряда, *алгебраическая сумма токов в узле равна нулю*. *Второй закон Кирхгофа* является следствием закона сохранения энергии и согласно ему *сумма напряжений участков замкнутого контура равна алгебраической сумме всех ЭДС, действующих на контуре*.

Уравнения состояния электрических цепей имеют вид:

$$\sum I = 0; \sum E = \sum U. \quad (1.15)$$

На законах Кирхгофа основываются все методы расчета цепей постоянного и переменного тока.

Задачи

► **1.65.** Рассчитать напряжение на выводах источника с ЭДС 120 В, если внутреннее сопротивление источника по сравнению с сопротивлением потребителя: а) в 5 раз больше; б) равно; в) в 5 раз меньше.

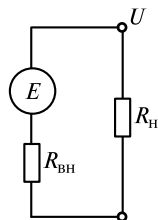


Рис. 1.11. Замкнутая цепь постоянного тока (к задачам 1.68, 1.72)

► **1.66.** Источник электроэнергии с ЭДС 24 В и внутренним сопротивлением 2 Ом подключен к потребителю сопротивлением 48 Ом. Найти: а) ток в цепи; б) падение напряжения на внешнем участке цепи; в) падение напряжения на внутреннем участке; г) КПД работы источника.

1.67. Генератор постоянного тока независимого возбуждения имеет напряжение на выводах 230 В при токе 60 А. Сопротивление цепи якоря генератора (внутреннее сопротивление) равно 0,05 Ом. Определить напряжение на выводах генератора, если ток потребителя уменьшится в 2 раза.

1.68. Какое внутреннее сопротивление должен иметь источник ЭДС в электрической цепи (см. рис. 1.11), чтобы КПД был не менее 95 %? Сопротивление резистора нагрузки составляет 190 Ом.

1.69. Какая мощность расходуется в соединительных проводах, если напряжение и ток потребителя составляют соответственно 112 В и 5 А? Потребитель подключен к источнику с ЭДС 115 В и внутренним сопротивлением $R_{\text{вн}} = 0,5$ Ом.

1.70. В электрической цепи, схема замещения которой приведена на рис. 1.12, а, показание вольтметра при разомкнутом ключе K было 25 В. Когда ключ замкнут, показание амперметра составляет 10 А. Определить ЭДС источника, его внутреннее сопротивление, напряжение и мощность потребителя сопротивлением 2,4 Ом.

Решение. При разомкнутом ключе, если пренебречь внутренним сопротивлением вольтметра, его показание соответствует ЭДС источника $E = 25$ В. Внутреннее сопротивление можно найти, воспользовавшись законом Ома для полной цепи (1.13): $R_{\text{вн}} = (E - IR_{\text{н}})/I$. Учитывая показание амперметра, находим $R_{\text{вн}} = 0,1$ Ом.

Напряжение потребителя можно определить либо по внешней характеристике источника $U = E - IR_{\text{вн}}$, либо по вольт-амперной характеристике потребителя $U = IR_{\text{н}}$, т.е. $U = 24$ В. Мощность потребителя $P = UI = 240$ Вт.

1.71. При увеличении сопротивления потребителя от 6 до 15 кОм ток в цепи уменьшился в 2 раза. Чему равны ЭДС и внутрен-

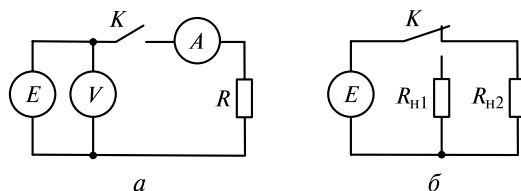


Рис. 1.12. К задачам:

а — 1.70; б — 1.73

нее сопротивление источника, если первоначальный ток был 10 мА?

1.72. Для цепи постоянного тока (см. рис. 1.11) заданы напряжение холостого хода $U_{х.х} = 24$ В и ток короткого замыкания $I_{к.з} = 8$ А. Выбрать такое сопротивление потребителя, чтобы КПД был равен 90 %. Найти мощность потребителя в указанном режиме работы.

1.73. В электрической цепи, схема которой соответствует рис. 1.12, б, источник электрической энергии замыкают сначала на потребитель сопротивлением $R_{н1} = 4$ Ом, а затем на потребитель сопротивлением $R_{н2} = 1$ Ом. Найти внутреннее сопротивление источника, если известно, что в каждом случае мощность, выделяемая в потребителе, одинакова.

1.74. Определить напряжение на выводах источника ЭДС 24 В и КПД работы источника, если внутреннее сопротивление источника составляет 5 % от суммарного сопротивления цепи источник — потребитель.

● **1.75.** Построить внешнюю характеристику источника в цепи с параметрами $E = 15$ В; $R_{вн} = 0,2$ Ом; $R_{н} = 4,8$ Ом и определить ток и напряжение в рабочем режиме цепи. Найти напряжение на выводах источника при токах 0,1; 5; 7,5 А.

● **1.76.** При каком соотношении сопротивления потребителя и внутреннего сопротивления источника мощность, отдаваемая потребителю, будет максимальной? Построить графики зависимостей мощности и КПД потребителя от его сопротивления.

■ **1.77.** Генератор постоянного тока независимого возбуждения имеет напряжение на выводах $U_{н} = 24$ В при внутреннем сопротивлении 0,2 Ом. Найти напряжение на выводах генератора при токе в цепи: а) 10 А; б) 100 А; в) 120 А.

1.78. Определить величину и направление тока в электрической цепи, схема замещения которой приведена на рис. 1.13, а, если

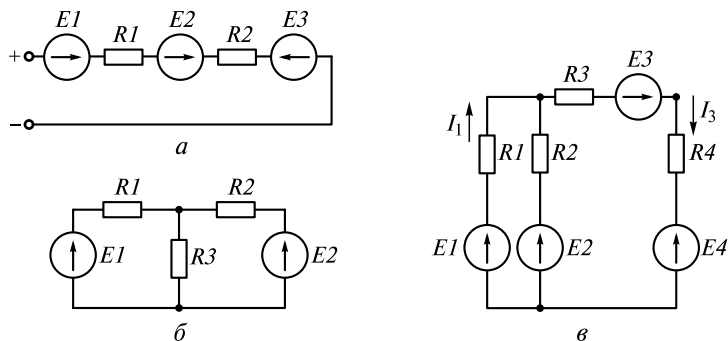


Рис. 1.13. К задачам:

а — 1.78, 1.82; б — 1.79, 1.82; в — 1.80, 1.82

напряжение на выводах цепи равно 2 В. Остальные параметры цепи следующие: $E_1 = 5$ В; $E_2 = 2$ В; $E_3 = 18$ В; $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 4$ Ом.

1.79. В электрической цепи, схема замещения которой представлена на рис. 1.13, б, узловое напряжение равно 10 В. Определить токи во всех ветвях цепи и сопротивление R_2 , если остальные параметры следующие: $E_1 = 12$ В; $E_2 = 13$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_3 = 2$ Ом. Указать на схеме направление узлового напряжения.

1.80. Определить значение тока I_1 в ветви с ЭДС E_1 и сопротивлением R_1 электрической цепи, схема замещения которой соответствует рис. 1.13, в. Известны следующие параметры цепи: $E_1 = 15$ В; $E_2 = 5$ В; $E_3 = 12$ В; $E_4 = 9$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом.

Решение. Составим три исходных расчетных уравнения, используя уравнения состояния данной цепи:

$$I_1 = I_2 + I_3;$$

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2;$$

$$E_2 + E_3 - E_4 = -I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_3 R_4.$$

Подставляя исходные значения ЭДС и сопротивлений резисторов, можно записать:

$$I_1 = I_2 + I_3;$$

$$10 = 2I_1 + 2I_2;$$

$$8 = -2I_2 + 4I_3.$$

Выразим токи I_2 и I_3 через ток I_1 , используя приведенные уравнения: $I_1 = 5 - I_2$ и $I_3 = \frac{4 + I_2}{2}$.

Окончательно получаем: $I_1 = 3,8$ А; $I_2 = 1,2$ А; $I_3 = 2,6$ А.

● **1.81.** Электрическая цепь представлена в виде схемы замещения, которая содержит три узла и шесть ветвей. Сколько уравнений электрического состояния с использованием законов Кирхгофа необходимо составить для этой схемы, чтобы рассчитать токи всех ветвей?

■ **1.82.** Выделить в схемах замещения на рис. 1.13, а, б все варианты двух- и четырехполюсников. Сколько независимых контуров можно выделить в схеме на рис. 1.13, в?