

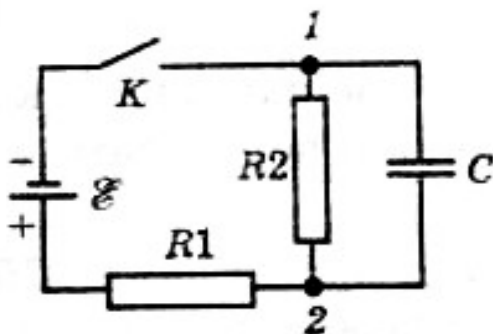
ФГБОУВПО
«Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра общей физики

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к решению задач по физике
для студентов всех направлений и специальностей
факультета автоматизации и роботизации машиностроения
и авиационного факультета
очной формы обучения



Воронеж 2012

Составители: канд. физ.-мат. наук Н.В. Агапитова, ст. преп. П.И. Деркачёва, канд. физ.-мат. наук В.С. Железный

УДК 681.3; 53

Постоянный электрический ток: методические указания к решению задач по физике для студентов всех направлений и специальностей факультета автоматизации и роботизации машиностроения и авиационного факультета очной формы обучения / ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Н.В. Агапитова, П.И. Деркачёва, В.С. Железный. Воронеж, 2012. 53 с.

Методические указания содержат основные теоретические положения по теме «Постоянный ток», примеры решения типовых задач с подробными пояснениями и набор подобных задач для самостоятельного решения. Методические указания будут способствовать активизации самостоятельной работы студентов по усвоению соответствующего материала.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2010 и содержатся в файле МУ Постоянный ток.doc

Табл. 1. Ил. 29. Библиогр.: 8 назв.

Рецензент д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бугаков

Ответственный за выпуск зав. кафедрой профессор
В.С. Железный

Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета

©ФГБОУВПО «Воронежский государственный
технический университет», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания содержат основные теоретические положения по теме «Постоянный ток», примеры решения типовых задач с подробными пояснениями и набор подобных типовых задач для самостоятельного решения.

Постоянный ток – одна из фундаментальных тем физического практикума, имеющих большое значение для изучения последующих разделов физики, а так же различных технических дисциплин.

Умение решать задачи по разным разделам физики является необходимым условием выработки у студентов приёмов и навыков, помогающих им в дальнейшем решать конкретные инженерные вопросы.

Наличие предлагаемых методических материалов позволит студенту лучше усвоить материал в процессе индивидуальной работы над данной темой.

Методические указания могут быть рекомендованы студентам при выполнении домашних и контрольных заданий.

Надеемся, что они помогут студентам в самостоятельной работе по изучению этой важнейшей темы курса общей физики.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Основные формулы

- Сила постоянного тока

$$I = \frac{Q}{t},$$

где Q -количество электричества, прошедшее через поперечное сечение проводника за время t .

• Плотность электрического тока есть векторная величина, равная отношению силы тока к площади S поперечного сечения проводника:

$$\vec{j} = \frac{I}{S} \vec{k}$$

где $\vec{k}$ - единичный вектор, по направлению совпадающий с направлением движения положительных носителей заряда.

• Плотность тока $\vec{j}$, средняя скорость $\langle \vec{v} \rangle$ упорядоченного движения носителей заряда и их концентрация n связаны соотношением

$$\vec{j} = e \cdot n \cdot \langle \vec{v} \rangle$$

- Сопротивление однородного проводника

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

где ρ -удельное сопротивление вещества проводника, l -его длина.

• Проводимость G проводника и удельная проводимость σ вещества

$$G = \frac{1}{R}, \quad \sigma = \frac{1}{\rho}.$$

- Зависимость удельного сопротивления от температуры

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t^0) ,$$

где ρ и ρ_0 - удельное сопротивление соответственно при t^0 и 0^0C ; t^0 - температура (по шкале Цельсия); α - температурный коэффициент сопротивления.

- Сопротивление соединения проводников:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i ;$$

последовательного

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} .$$

параллельного

Здесь R_i - сопротивление i -го проводника; n - число проводников.

- Закон Ома:

для неоднородного участка цепи

$$I = \frac{(\phi_1 - \phi_2) \pm \varepsilon_{12}}{R} = \frac{U}{R} .$$

для однородного участка цепи

$$I = \frac{\phi_1 - \phi_2}{R} = \frac{U}{R} ;$$

для замкнутой цепи ($\phi_1 = \phi_2$)

$$I = \frac{\xi}{R} .$$

Здесь $(\phi_1 - \phi_2)$ - разность потенциалов на концах участках цепи; ξ_{12} - э.д.с. источников тока, входящих в участок, U - напряжение на участке цепи; ξ - э.д.с.

всех источников тока цепи, R - суммарное сопротивление всей цепи.

Чтобы безошибочно применять закон Ома для участка цепи, содержащего э.д.с., необходимо придерживаться следующих правил:

а) начертить схему и обозначить на ней полюсы всех источников, а также направление тока в цепи (если оно неизвестно, то надо указать предполагаемое направление);

б) ток считать положительным на заданном участке 1-2, если он направлен от точки 1 к точке 2;

в) э.д.с. считать положительной на участке 1-2, если она повышает потенциал в направлении от точки 1 к точке 2, т.е. при мысленном движении вдоль пути 1-2 сначала встречается отрицательный полюс источника, а затем положительный.

• Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

где σ - удельная проводимость вещества проводника, $\vec{E}$ - напряжённость электрического поля.

• Правила Кирхгофа.

Первое правило: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю, т.е.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0, \quad (1)$$

где n - число токов, сходящихся в узле.

Второе правило: в замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил, т.е.

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^k \xi_i, \quad (2)$$

где I_i - сила тока на i -ом участке; R_i - активное сопротивление на i -м участке; n - число участков, содержащих активное сопротивление; k - число участков, содержащих источники тока.

При применении правил Кирхгофа необходимо выполнять следующие указания:

а) выбрать (произвольно) направление токов во всех участках разветвлённой цепи, отметив их на чертеже стрелками;

б) при составлении уравнения (1) соблюдать правило знаков: токи, притекающие к узлу, считать положительными, а вытекающие из узла – отрицательными;

в) иметь в виду, что число независимых уравнений, составленных по первому правилу Кирхгофа, всегда на единицу меньше числа узлов, имеющих в данной цепи;

г) выбрать направление обхода контуров цепи (по часовой стрелке или против);

д) составляя уравнение (2), соблюдать правило знаков: токи, совпадающие с направлением обхода, записывать со знаком «+», а обратные направлению обхода – со знаком «-»; считать положительными те э.д.с., которые повышают потенциал в направлении обхода, т.е., двигаясь по контуру, сначала встречаем отрицательный полюс источника, а затем положительный;

е) чтобы все уравнения, составленные на основании второго правила Кирхгофа, были независимыми, необходимо каждый раз рассматривать контуры, содержащие хотя бы одну новую ветвь цепи, не входящую в уже использованные контуры;

ж) для упрощения выкладок, связанных с решением полученной системы уравнений, предварительно подставить числовые значения всех известных величин.

з) если в полученном ответе какой-либо ток будет иметь знак «-», то это укажет на ошибочность первоначального выбора направления данного тока, т.е. ток в действительности течёт в обратном направлении. Если же определяется сопротивление какой-либо ветви цепи и в результате решения системы уравнений, составленных по правилам Кирхгофа, получится отрицательное значение сопротивления, это также свидетельствует о неправильном выборе направления тока на данном проводнике. Однако в этом случае неверным окажется и числовое значение сопротивления. Тогда необходимо, изменив на чертеже направление тока в проводнике, составить новую систему уравнений и, решив её, определить искомое сопротивление.

При расчёте сложных цепей можно пользоваться методом узловых потенциалов. Он состоит в том, что потенциал каждого узла обозначают какой-нибудь буквой (например, ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 или x, y, z) и выражают через эти потенциалы все токи. Затем составляют уравнения, выражающие тот факт, что сумма токов, «втекающих» в узел, равна сумме токов, «вытекающих» из узла. Решив полученную систему уравнений, находят все узловые потенциалы и затем все токи. (Поскольку потенциал одного из узлов можно считать равным нулю, то число неизвестных потенциалов всегда меньше числа узлов).

Пользуясь этим методом, нужно сначала задаться какими –нибудь возможными направлениями всех токов. Если в результате решения задачи некоторые токи получатся отрицательными, значит, они направлены противоположным образом.

- Работа, совершаемая электростатическим полем и сторонними силами в участке цепи постоянного тока за время t , равна

$$A = IUt$$

- Мощность тока

$$P = IU$$

- Закон Джоуля – Ленца

$$Q = I^2 R t$$

где Q - количество теплоты, выделяющееся в участке цепи за время t .

Закон Джоуля – Ленца справедлив при условии, что участок неподвижен и в нём не совершаются химические превращения.

- Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме

$$\omega = \sigma E^2$$

где ω - объёмная плотность тепловой мощности.

- Закон электролиза Фарадея:

Первый закон

$$m = kq$$

где m - масса вещества, выделяющегося на электроде при прохождении через электролит заряда q ;
 k - электрохимический эквивалент вещества.

Второй закон

$$k = \frac{M}{F \cdot n}$$

где F - постоянная Фарадея ($F = 96,5 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$);
 M - молярная масса ионов данного вещества;

n - валентность ионов.

Объединённый закон

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} q = \frac{1}{F} \frac{M}{n} I t ,$$

где I - сила тока, протекающего через электролит;

t - время, в течение которого шёл ток.

- Подвижность ионов

$$\vec{u} = \frac{\langle \vec{v} \rangle}{E} ,$$

где $\langle \vec{v} \rangle$ - средняя скорость упорядоченного движения ионов; E - напряженность электрического поля.

- Закон Ома в дифференциальной форме для электролитов и газов при самостоятельном разряде в области, далёкой от насыщения

$$\vec{j} = qn(u_+ + u_-) \vec{E} ,$$

где q - заряд иона; n - концентрация ионов; u_+ и u_- - подвижность соответственно положительных и отрицательных ионов.

- Плотность тока насыщения

$$j_{\text{нас}} = qn_0 d ,$$

где n_0 - число пар ионов, создаваемых ионизатором в единице объёма в единицу времени; d - расстояние между электродами [$n_0 = \frac{N}{V \cdot t}$, где N - число пар ионов, создаваемых ионизатором за время t в пространстве между электродами; V - объём этого пространства].

1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1.1.

Какой заряд пройдет по проводнику, если в течение $t=10,0$ с сила тока уменьшилась от $I_0=10,0$ А до $I=5,00$ А? Рассмотреть два случая: 1) сила тока уменьшилась равномерно; 2) сопротивление проводника равномерно возрастало в течение указанного промежутка времени, а разность потенциалов на концах проводника поддерживалась постоянной.

Решение.

1) Величина заряда dq , проходящего через поперечное сечение проводника за время dt , связана с силой тока соотношением

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Если в эту формулу вместо элементарных величин dq и dt подставить конечные значения q и t , то получим среднее значение силы тока I_{cp} за время t , т.е. $I_{cp} = q/t$. Отсюда искомый заряд

$$q = I_{cp} t.$$

Поскольку сила тока в цепи изменялась равномерно, т.е. являлась линейной функцией времени, в качестве среднего значения I_{cp} можно взять среднее арифметическое между начальным и конечным значениями силы тока за время t . Следовательно,

$$q = (I_0 + I) \cdot t/2 = 75 \text{ Кл} \quad (1)$$

2) Теперь равномерно изменяется не сила тока, а сопротивление R . Это значит, что величина R является линейной функцией времени, т.е.

$$R = R_0 + kt \quad , \quad (2)$$

где R_0 и R - соответственно начальное и конечное сопротивления проводника, k – постоянная величина, выражающая скорость изменения сопротивления. Тогда по закону Ома для однородного участка цепи получим

$$I = \frac{\phi_1 - \phi_2}{R} = \frac{\phi_1 - \phi_2}{R_0 + kt} \quad . \quad (3)$$

Видим, что в этом случае зависимость силы тока от времени не является линейной, поэтому соотношение (1) здесь неприменимо. Однако при любой зависимости силы тока от времени можно записать

$$dq = I \cdot dt$$

Отсюда полный заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за время t , выразится интегралом:

$$q = \int_0^t I dt \quad . \quad (4)$$

Подставив в (4) вместо силы тока её значение по формуле (3), выполним интегрирование:

$$q = \int_0^t \frac{\phi_1 - \phi_2}{R_0 + kt} \cdot dt = \frac{\phi_1 - \phi_2}{k} \ln \frac{R_0 + kt}{R_0} \quad .$$

Преобразовав этот результат с учётом формулы (2) и соотношений $R = (\phi_1 - \phi_2) / I$, $R_0 = (\phi_1 - \phi_2) / I_0$, найдём

$$q = \frac{(\phi_1 - \phi_2) \cdot t}{R - R_0} \cdot \ln \frac{R}{R_0} = \frac{I_0 I \cdot t}{I_0 - I} \cdot \ln \frac{I_0}{I} \quad (5)$$

Подставив в формулу (5) числовые значения, получим
 $q = 69 \text{ Кл}$

Задача 1.2.

Определить плотность тока в медной проволоке длиной $l=10$ м, если разность потенциалов на её концах $\phi_1 - \phi_2 = 12$ В.

Решение:

Плотность тока, определяемую формулой $j = \frac{dI}{dS}$, найдём, выразив силу тока I по закону Ома для однородного участка цепи. Тогда с учётом $R = \rho \frac{l}{S}$ получим

$$I = (\phi_1 - \phi_2) S / \rho \cdot l$$

Отсюда плотность тока

$$j = \frac{dI}{dS} = \frac{\phi_1 - \phi_2}{\rho \cdot l} \quad (1)$$

К этому результату можно прийти, применив закон Ома в дифференциальной форме,

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}, \quad (2)$$

предварительно выразив напряжённость электрического поля внутри однородного проводника через разность потенциалов на концах проводника и его длину:

$$E = (\phi_1 - \phi_2) / l$$

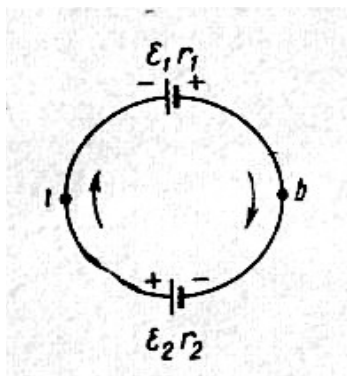
Подставив это значение E в (2) и учитывая, что $\sigma = 1/\rho$, снова получим ответ (1).

Взяв из справочных таблиц значение удельного сопротивления меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м и выполнив вычисление по формуле (1), найдём:

$$j = 7 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2.$$

Задача 1.3

Два гальванических элемента, имеющих э.д.с $\xi_1=1,5$ В, $\xi_2=1,6$ В и внутреннее сопротивление $r_1=0,60$ Ом, $r_2=0,40$ Ом, соединены разноимёнными полюсами. (рис. 1.1)



Пренебрегая сопротивлением соединительных проводов, определить разность потенциалов на зажимах элементов (между точкам а и b).

Решение:

Точки а и b являются концами двух участков цепи: $a\xi_1b$ и $a\xi_2b$. Оба эти участка содержат э.д.с и, следовательно, являются участками

неоднородной цепи. Применим закон Ома в виде

$$I = \frac{\phi_1 - \phi_2 + \sum \xi}{\sum R}$$

Рис. 1.1

. Так как обе э.д.с имеют положительные знаки при обходе цепи по часовой стрелке, ток по цепи будет течь в том же направлении. Тогда для участка $a\xi_1b$ получим

$$I = [(\phi_a - \phi_b) + \xi_1] / r_1 \quad (1)$$

Далее есть два пути решения задачи. Во-первых, можно применить закон Ома для участка $a\xi_2b$:

$$-I = [(\phi_a - \phi_b) - \xi_2] / r_2 \quad (2)$$

Во-вторых, можно воспользоваться законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = (\xi_1 + \xi_2) / (r_1 + r_2) \quad (3)$$

Взяв любые два уравнения из (1), (2),(3) и исключив из них силу тока I , найдём

$$\phi_a - \phi_b = \frac{\xi_2 r_1 - \xi_1 r_2}{r_1 + r_2} = 0,4 \quad \text{В.}$$

Задача 1.4

Найти сопротивление шестиугольника, изображённого на рис. 1.2, если он включён в цепь между точками А и В. Сопротивление каждого проводника схемы равно R .

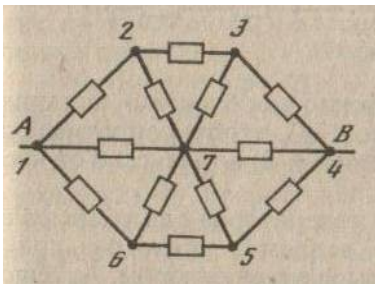


Рис. 1.2

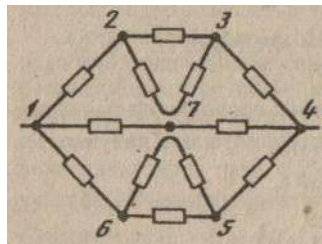


Рис. 1.3

Решение: Вследствие симметрии, очевидно, что ток в проводнике 1-7 равен току в проводнике 7-4, ток в 2-7 равен току в 7-3, ток в 6-7 равен току 7-5. (см. рис. 1.2) Поэтому распределение токов и, следовательно, сопротивление шестиугольника не изменится, если отсоединить проводники 2-7, 7-3, 6-7, и 7-5 от центра (рис. 1.3). Сопротивление же этой схемы, которая эквивалентна исходной, легко вычислить. Сопротивление верхней части схемы равно $8R/3$. Таково же сопротивление нижней части. Полное сопротивление r найдётся из соотношения:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{2R} + \frac{6}{8R} \quad \text{отсюда}$$

$$r = \frac{4}{5} R .$$

Задача 1.5

Элементы цепи, схема которой изображена на (рис. 1.4), имеют следующие значения: $\mathcal{E}_1 = 1,50$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,60$ В, $R_1 = 1,00$ кОм, $R_2 = 2,00$ кОм. Определить показания вольтметра, если его сопротивление $R_v = 2,00$ кОм. Сопротивлением источников напряжения и соединительных проводов пренебречь.

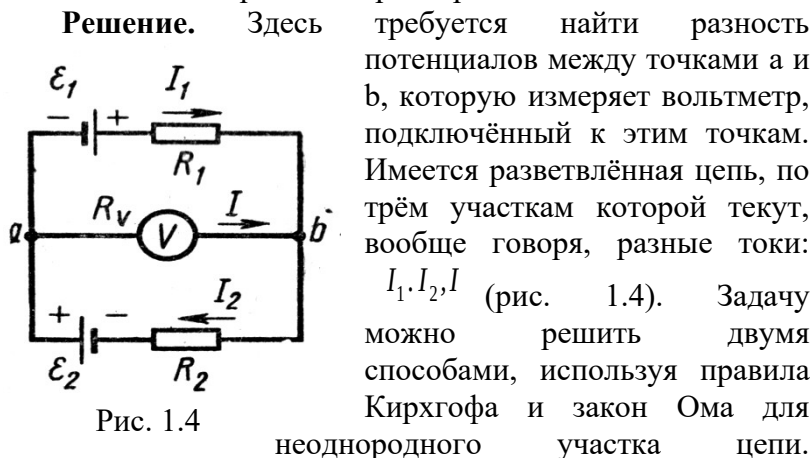


Рис. 1.4

Рассмотрим оба способа.

1. Искомая разность потенциалов по закону Ома равна $\phi_a - \phi_b = IR_v$ (1)

Чтобы определить силу тока I в цепи вольтметра, применим правила Кирхгофа. Обозначив на рис. 1.4 направление всех токов (для тока I делаем это лишь предположительно), согласно первому правилу Кирхгофа запишем для узла a :

$$I_2 - I_1 - I = 0 \quad (2)$$

Для составления остальных двух независимых уравнений воспользуемся вторым правилом Кирхгофа.

Предварительно выбрав направление обхода замкнутых контуров, например по часовой стрелке, и учитывая правило знаков, получим соответственно для контуров aR_1ba и abR_2a :

$$I_1 R_1 - I R_v = \xi_1, \quad (3)$$

$$I_2 R_2 + I R_v = \xi_2, \quad (4)$$

Решив систему трёх уравнений (2), (3), (4) с тремя неизвестными I_1, I_2, I относительно тока I , найдём

$$I = \frac{\xi_2 R_1 - \xi_1 R_2}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2) R_v} \quad (5)$$

Подставив это значение I в (1) и произведения вычисления, получим

$$\varphi_a - \varphi_b = \frac{(\xi_2 R_1 - \xi_1 R_2) R_v}{R_1 R_2 + (R_1 + R_2) R_v} = -0,35 \text{ В}. \quad (6)$$

Знак «-» в ответе означает, что $\varphi_b > \varphi_a$ и в действительности ток в цепи вольтметра имеет направление, противоположное тому, что мы предположили, т.е. от точки b к точке a .

2. Применим закон Ома для неоднородного участка цепи поочерёдно к трём участкам: aR_1b , aR_2b , aR_vb . Тогда, учитывая правило знаков, запишем соответственно три уравнения:

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_b + \xi_1}{R_1}; \quad -I_2 = \frac{\varphi_a - \varphi_b - \xi_2}{R_2}; \quad I = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R_v};$$

Подставим эти значения сил токов в уравнение (2):

$$\frac{\varphi_a - \varphi_b - \xi_2}{R_2} + \frac{\varphi_a - \varphi_b + \xi_1}{R_1} + \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R_v} = 0.$$

Решив это уравнение относительно величины $\varphi_a - \varphi_b$, найдём ответ, совпадающий с формулой (6).

Задача 1.6

Определить сопротивление цепи аб, схема которой изображена на рис. 1.5, если $R_1 = R_5 = 1,00$ Ом, $R_2 = R_6 = 2,00$ Ом, $R_3 = R_7 = 3,00$ Ом, $R_4 = R_8 = 4,00$ Ом.

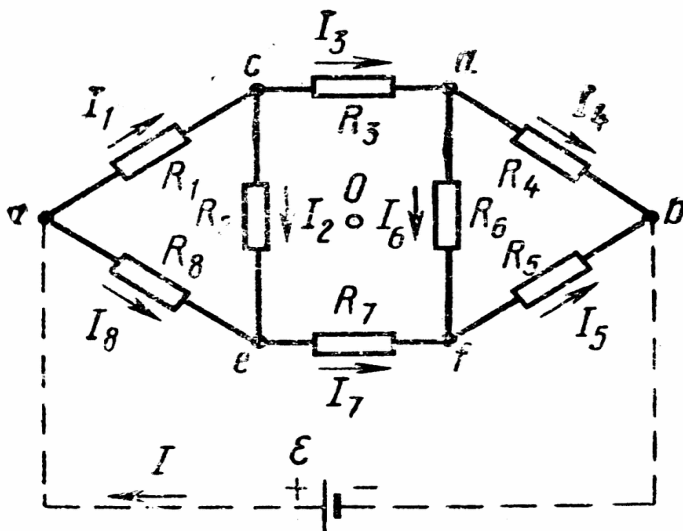


Рис. 1.5

Решение. В данной цепи, состоящей из восьми сопротивлений, нет хотя бы двух элементов, соединенных между собой последовательно или параллельно.

Применим к расчёту сопротивления цепи правила Кирхгофа. Для этого предположим, что к зажимам цепи аб подключён источник тока. Тогда в цепи будет ток. Сила тока I в неразветвленной части цепи зависит от э.д.с.

источника, а так же является некоторой функцией от величин $R_1, R_2, \dots, R_8$ (считаем сопротивление источника равным нулю). Так как при этом, согласно закону Ома, сила тока I пропорциональна величине ξ , можно записать

$$I = f(R_1, R_2, \dots, R_8) \xi \quad (1)$$

С другой стороны, из того же закона Ома следует

$$I = \xi / R, \quad (2)$$

где R - искомое сопротивление. Сравнив формулы (1) и (2), получим

$$R = \frac{1}{f(R_1, R_2, \dots, R_8)}.$$

Следовательно, выразив силу тока I согласно формуле (1) как функцию всех данных величин сопротивлений и произвольной величины ξ с помощью правил Кирхгофа, найдём сопротивление R цепи.

Обозначим токи на всех участках цепи и укажем (произвольно) их направления (рис 1.5). В данном случае имеется девять неизвестных сил токов $I_1, I_2, \dots, I_8, I$. Чтобы избежать громоздких вычислений, связанных с решением системы из девяти уравнений, которую мы получим, применив правила Кирхгофа, воспользуемся следующим обстоятельством. Из условия задачи видно, что данная цепь обладает симметрией в точке O (рис.1.5). Действительно, если, отсоединив цепь в точках a и b , от источника, повернуть её в плоскости чертежа вокруг точки O на 180° и снова соединить с источником тока, то в силу данных в условии равенств она совместится со своим первоначальным положением. Но теперь в резисторе R_5 течет ток, который раньше был в резисторе R_1 . Перемена же знаков напряжения на зажимах цепи не может

вызвать изменения силы тока ни на одном участке цепи. Значит. и раньше в резисторах R_5 и R_1 были токи одинаковой силы, т. е. $I_1 = I_5$. Аналогично можно показать, что в данной цепи должны выполняться равенства: $I_2 = I_6$, $I_3 = I_7$, $I_4 = I_8$. Таким образом, в задаче фактически имеется лишь пять различных неизвестных токов: I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 .

По первому правилу Кирхгофа с учётом что $I_4 = I_8$, $I_2 = I_6$, получим соответственно для узлов а, с и b:

$$I = I_1 + I_4; \quad (3)$$

$$I_1 = I_2 + I_3; \quad (4)$$

$$I_3 = I_2 + I_4; \quad (5)$$

Легко убедиться проверкой, что аналогичные уравнения, составленные для остальных трёх узлов схемы, будут повторением уже имеющихся уравнений. Недостающие два уравнения получим на основании второго правила Кирхгофа. Выбрав направление обхода контуров по часовой стрелке, запишем, например, для контуров $acdb\xi a$ и $asea$ соответственно:

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = \xi; \quad (6)$$

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_4 R_8 = 0. \quad (7)$$

Подставив в (3) – (7) числовые значения сопротивлений из условия задачи и решив систему пяти уравнений с пятью неизвестными силами токов относительно тока I , получим

$$I = (2/7) \cdot \xi. \quad (8)$$

Сравнив выражения (8) и (2), найдём искомое сопротивление:

$$R = \left(\frac{7}{2} \right) \text{ Ом} = 3,5 \text{ Ом}.$$

Задача 1.7. Источники тока с электродвижущими силами ξ_1 и ξ_2 включены в цепь, как показано на рис 1.6. Определить силы токов, текущих в сопротивлениях R_1 и R_2 , если $\xi_1 = 10 \text{ В}$ и $\xi_2 = 4 \text{ В}$, а $R_1 = R_4 = 2 \text{ Ом}$ и $R_2 = R_3 = 1 \text{ Ом}$. Сопротивлениями источников тока пренебречь.

Решение. Силы токов в разветвлённой цепи определяют с помощью законов Кирхгофа. Чтобы найти значения силы токов, следует составить четыре уравнения.

Выберем направления токов, как они показаны на рис.1.6, и условимся обходить контуры по часовой стрелке.

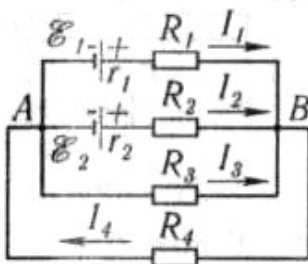


Рис. 1.6

Рассматриваемая в задаче схема имеет два узла: A и B . Но составлять уравнение по первому закону Кирхгофа следует только для одного узла, так как уравнение, составленное для второго узла, будет следствием первого уравнения.

При составлении уравнений по первому закону Кирхгофа необходимо соблюдать правило знаков: ток, подходящий к узлу, входит в уравнение со знаком плюс; ток, отходящий от узла, - со знаком минус.

По первому закону Кирхгофа для узла B имеем:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

Недостающие три уравнения получим по второму закону Кирхгофа. Число независимых уравнений, которые могут быть составлены по второму закону Кирхгофа, также меньше числа контуров (в нашем случае контуров шесть, а независимых уравнений три). Чтобы найти необходимое число независимых уравнений, следует придерживаться правила: выбирать контуры таким образом, чтобы в каждый новый контур входила хотя бы одна ветвь, не участвовавшая ни в одном из ранее использованных контуров.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо соблюдать следующее правило знаков:

а) если ток по направлению совпадает с выбранным направлением обхода контуров, то соответствующее произведение IR входит в уравнение со знаком плюс, в противоположном случае произведение IR входит в уравнение со знаком минус,

б) если ЭДС повышает потенциал в направлении обхода контура, т.е. если при обходе контура приходится идти от минуса к плюсу внутри источника, то соответствующая ЭДС входит в уравнение со знаком плюс, в противном случае – со знаком минус.

По второму закону Кирхгофа имеем соответственно для контуров AR_1BR_2A ; AR_1BR_3A ; AR_3BR_4A :

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = \xi_1 - \xi_2, \quad (1)$$

$$I_1 R_1 - I_3 R_3 = \xi_1, \quad (2)$$

$$I_3 R_3 + I_4 R_4 = 0. \quad (3)$$

Подставив в равенства (1) - (3) значения сопротивлений и ЭДС, получим систему уравнений:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0,$$

$$2I_1 - 4I_2 = 6,$$

$$2I_1 - 4I_3 = 10,$$

$$4I_3 + 2I_4 = 0.$$

Поскольку нужно найти только два тока, то удобно воспользоваться методом определителей (детерминантов). С этой целью перепишем уравнения ещё раз в следующем виде:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0,$$

$$2I_1 - 4I_2 + 0 + 0 = 6,$$

$$2I_1 + 0 - 4I_3 + 0 = 10,$$

$$0 + 0 + 4I_3 + 2I_4 = 0.$$

Искомые значения токов найдём из выражений

$$I_2 = \frac{\Delta I_2}{\Delta} \quad \text{и} \quad I_3 = \frac{\Delta I_3}{\Delta},$$

где Δ - определитель системы уравнений; ΔI_2 ΔI_3 - определители, полученные заменой соответствующих столбцов определителя Δ столбцами, составленными из свободных членов четырех вышеприведённых уравнений. Находим:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 \\ 2 & -4 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 \end{vmatrix} = 96$$

$$\Delta I_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & -1 \\ 2 & 6 & 0 & 0 \\ 2 & 10 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 \end{vmatrix} = 0$$

$$\Delta I_3 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 \\ 2 & -4 & 6 & 0 \\ 2 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{vmatrix} = -96.$$

Отсюда получаем

$$I_2 = 0, \quad I_3 = -1 \text{ A.}$$

Знак минус у значения силы тока I_3 свидетельствует о том, что при произвольном выборе направлений токов, указанных на рисунке, направление тока I_3 было указано противоположно истинному. На самом деле ток I_3 течёт от узла B к узлу A .

Задача 1.8. Под конец зарядки аккумулятора при силе тока в цепи $I_1 = 3 \text{ A}$ показание вольтметра, подключенного к зажимам аккумулятора, $U_1 = 4,25 \text{ В}$. В начале разрядки того же аккумулятора при силе тока в цепи $I_2 = 4 \text{ A}$ показание вольтметра $U_2 = 3,9 \text{ В}$ (рис. 1.7). Определить ЭДС ξ и внутреннее сопротивление r аккумулятора.

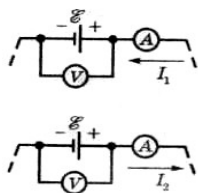


Рис. 1.7

Анализ. Аккумуляторы являются многоразовыми химическими источниками тока. При длительной работе они разряжаются, т.е. их ЭДС уменьшается. Аккумуляторы могут быть вновь заряжены при пропускании электрического тока от

внешнего источника в направлении, противоположном стороннему полю аккумулятора. В конце зарядки, так же как и в начале разрядки (т.е. самостоятельной работы аккумулятора как источника на нагрузку), можно считать, что ЭДС аккумулятора имеет максимальное номинальное значение, которое и требуется определить.

В условии заданы показания вольтметра, подключенного к зажимам аккумулятора. Вольтметр, включенный в цепь, всегда показывает напряжение на себе самом, равное разности потенциалов между точками, к которым он подключён. В данном случае показания вольтметра

$$U = \phi_2 - \phi_1 \quad (1)$$

(при условии, что $\phi_2 > \phi_1$). Поскольку внутреннее сопротивление вольтметра не задано, следует предположить, что оно настолько велико по сравнению с сопротивлением всех элементов цепи, что силой тока, идущего через вольтметр, можно пренебречь. Тогда сила тока, протекающего через аккумулятор, равна заданному значению I_1 (при разрядке I_2).

При зарядке аккумулятора, когда ток I_1 направлен так, как показано на рисунке, $\xi < \phi_2 - \phi_1$. При разрядке ток I_2 направлен в противоположную сторону и

$\phi_2 - \phi_1 < \xi$. Следовательно, ЭДС аккумулятора должна удовлетворять условию

$$U_2 < \xi < U_1.$$

Применяя обобщённый закон Ома к участку 1 ξ 2 для каждого из двух процессов, получим два уравнения, содержащих в качестве неизвестных ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора.

Решение. При зарядке и разрядке аккумулятора закон Ома для участка 1 ξ 2 примет вид

$$-I_1 r = \phi_1 - \phi_2 + \xi, \quad I_2 r = \phi_1' - \phi_2' + \xi.$$

Учитывая равенство (1), найдём, что $\phi_1 - \phi_2 = -U_1$;
 $\phi_1' - \phi_2' = -U_2$. Подставляя эти выражения в записанные выше уравнения и решая их совместно, получаем:

$$r = (U_1 - U_2) / (I_1 + I_2) = 0,05 \text{ Ом};$$

$$\xi = (U_1 I_2 + U_2 I_1) / (I_1 + I_2) = 4,1 \text{ В}.$$

Задача 1.9. В цепи (Рис. 1.8) $\xi_1 = 15 \text{ В}$, $r_1 = 3 \text{ Ом}$, $E_2 = 30 \text{ В}$, $r_2 = 6 \text{ Ом}$, $R = 8 \text{ Ом}$. Найти все токи цепи.

Решение: Токи, текущие через источники, будем считать направленными от А к В, а ток, текущий через сопротивление R, - от А к В. Потенциал узла А будем считать равным нулю, а потенциал узла В – равным ϕ . Тогда получим:

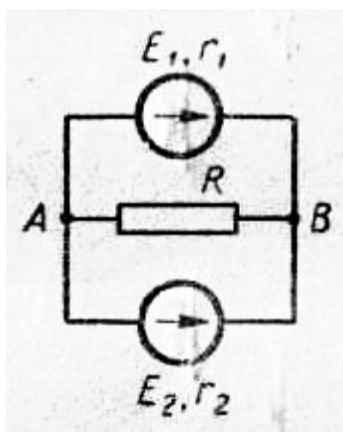


Рис. 1.8

$$I_1 = \frac{\xi_1 - \phi}{r_1}, \quad I_2 = \frac{\xi_2 - \phi}{r_2},$$

$$I_{AB} = \frac{\phi}{R},$$

где $\xi_1 = 15 \text{ В}$, $\xi_2 = 30 \text{ В}$,

$$r_1 = 3 \text{ Ом}, \quad r_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R = 8 \text{ Ом}.$$

Далее, так как токи I_1, I_2 «втекают» в узел В,

а ток I_{AB} «вытекает» из этого

узла, то

$$\frac{15 - \phi}{3} + \frac{30 - \phi}{6} = \frac{\phi}{8}.$$

Решив это уравнение, найдём: $\phi = 16 \text{ В}$. Следовательно,

$$I_1 = \frac{15 - 16}{3} = -\frac{1}{3}(\text{а}), \quad I_2 = \frac{30 - 16}{6} = \frac{7}{3}(\text{а}),$$

$$I_{AB} = \frac{16}{8} = 2(\text{а}).$$

Так как ток I_1 получился отрицательным, то он направлен не от А к В (как мы предполагали), а от В к А.

Задача 1.10. В цепи (Рис. 1.9) $\xi_2 = 22 \text{ В}$, $r = 0$, $R_1 = 1 \text{ Ом}$, а каждое из остальных сопротивлений равно 2 Ом . Найти токи этой цепи.

Решение: Будем считать, что ток I_1 направлен от А к С, ток I_2 - от С к В, ток I_3 - от А к D, ток I_4 от D к В, ток I_5 - от С к D. Потенциал точки В будем считать равным нулю, и тогда потенциал точки А будет $\phi_A = \xi = 22 \text{ В}$. Далее получим:

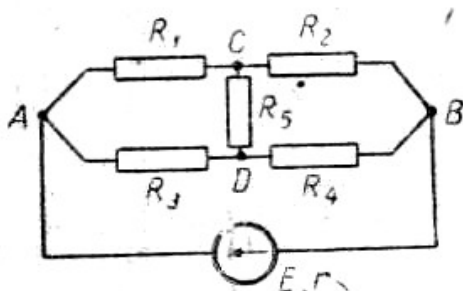


Рис. 1.9

$$I_1 = \frac{\phi_A - \phi_C}{R_1}, \quad I_2 = \frac{\phi_C}{R_2}, \quad I_3 = \frac{\phi_A - \phi_D}{R_3}, \quad I_4 = \frac{\phi_D}{R_4},$$

$$I_5 = \frac{\phi_C - \phi_D}{R_5}.$$

Но ток I_1 «втекает» в узел С, а токи I_2 , I_5 «вытекают» из этого узла. Следовательно,

$$\frac{22 - \phi_C}{1} = \frac{\phi_C}{2} + \frac{\phi_C - \phi_D}{2}.$$

(Здесь уже подставлены числовые значения для ϕ_A и сопротивлений). Аналогично, токи I_3 , I_5 «втекают в узел D, а ток I_4 «вытекает» из этого узла. Поэтому

$$\frac{22 - \phi_D}{2} + \frac{\phi_C - \phi_D}{2} = \frac{\phi_D}{2}.$$

Решив полученную систему двух уравнений с двумя неизвестными, найдём: $\phi_C = 14 \text{ В}$, $\phi_D = 12 \text{ В}$. Подставив эти значения в выражения для токов, получим:

$$I_1 = 8 \text{ А}, \quad I_2 = 7 \text{ А}, \quad I_3 = 5 \text{ А}, \quad I_4 = 6 \text{ А}, \quad I_5 = 1 \text{ А}.$$

Поскольку все токи положительны, то они направлены так, как мы предполагали.

Задача 1.11. В цепи (рис 1.10) $U = 14 \text{ В}$, а каждое из сопротивлений равно 1 Ом . Найти токи этой цепи.

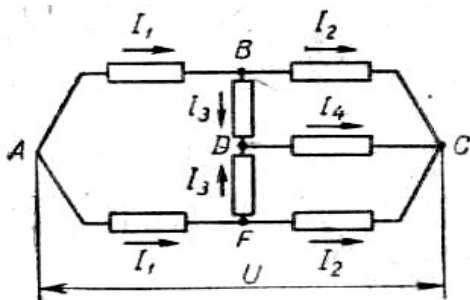


Рис. 1.10

Решение: Будем считать, что токи направлены так, как показано на рис. 1.10.

Пусть $\phi_C = 0$ и $\phi_A = U = 14 \text{ В}$.

Тогда

$$I_1 = \frac{14 - \phi_B}{1} (\text{А}),$$

$$I_2 = \frac{\phi_B}{1} (\text{А}),$$

$$I_3 = \frac{\phi_B - \phi_D}{1} (\text{А}), \quad I_4 = \frac{\phi_D}{1} (\text{А}),$$

и так как $I_1 = I_2 + I_3$ и $2I_3 = I_4$, то

$$14 - \phi_B = \phi_B + (\phi_B - \phi_D),$$

$$2(\phi_B - \phi_D) = \phi_D.$$

Из этих уравнений найдём: $\phi_B = 6 \text{ В}$, $\phi_D = 4 \text{ В}$. Подставив эти значения в выражения для токов, получим:

$$I_1=8\text{ A}, \quad I_2=6\text{ A}, \quad I_3=2\text{ A}, \quad I_4=4\text{ A}.$$

(Так как цепь симметрична, то эту задачу можно было решить проще – совмещая точки B и F).

Задача 1.12. В цепи (рис. 1.11) $\xi_1=65\text{ В}$, $\xi_2=39\text{ В}$, $R_1=20\text{ Ом}$, $R_2=R_3=R_4=R_5=10\text{ Ом}$. Найти все токи. Внутренние сопротивления источников не учитывать.

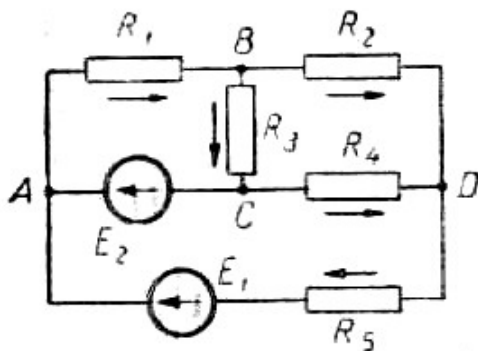


Рис.1.11

Решение: Предполагаемые направления токов показаны на рис. 1.11.

Пусть $\phi_C=0$. Тогда $\phi_A=\xi_2=39\text{ В}$. Далее получим:

$$I_1 = \frac{39 - \phi_B}{20} (\text{A}), \quad I_2 = \frac{\phi_B - \phi_D}{10} (\text{A}), \quad I_3 = \frac{\phi_B}{10} (\text{A}),$$

$$I_4 = -\frac{\phi_D}{10} (\text{A}), \quad I_5 = \frac{65 + \phi_D - 39}{10} (\text{A}).$$

Учтя, что $I_1 = I_2 + I_3$ и $I_2 + I_4 = I_5$, будем иметь:

$$\frac{39 - \phi_B}{20} = \frac{\phi_B - \phi_D}{10} + \frac{\phi_B}{10}, \quad \frac{\phi_B - \phi_D}{10} - \frac{\phi_D}{10} = \frac{26 + \phi_D}{10}.$$

Решив эту систему, найдём: $\phi_B = 5 \text{ В}$, $\phi_D = -7 \text{ В}$.
Подставив эти значения в выражения для токов, получим:

$$I_1 = 1,7 \text{ А}, \quad I_2 = 1,2 \text{ А}, \quad I_3 = 0,5 \text{ А}, \quad I_4 = 0,7 \text{ А}, \\ I_5 = 1,9 \text{ А}.$$

Ток, протекающий через источник ξ_2 , очевидно, равен $I_4 - I_3 = 0,7 \text{ А} - 0,5 \text{ А} = 0,2 \text{ А}$ (и направлен от А к С).

Задача 1.13. В цепи (рис. 1.12) $\xi_1 = 10 \text{ В}$, $\xi_2 = 30 \text{ В}$, и каждое сопротивление равно 1 Ом . Пренебрегая внутренними сопротивлениями источников, найти все токи.

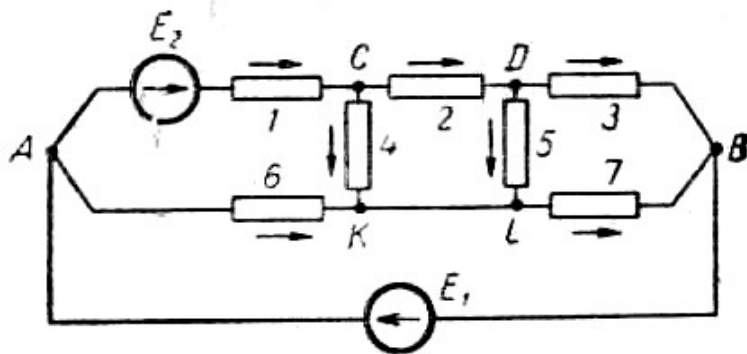
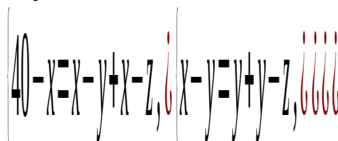


Рис. 1.12

Решение: Пусть $\phi_B = 0$. Тогда $\phi_A = \xi_1 = 10 \text{ В}$.
Далее, пусть $\phi_C = x$, $\phi_D = y$, $\phi_K = \phi_L = z$. Тогда получим:

$$I_1 = 30 + 10 - x, \quad I_2 = x - y; \quad I_3 = y, \\ I_4 = x - z, \quad I_5 = y - z, \quad I_6 = 10 - z, \quad I_7 = z.$$

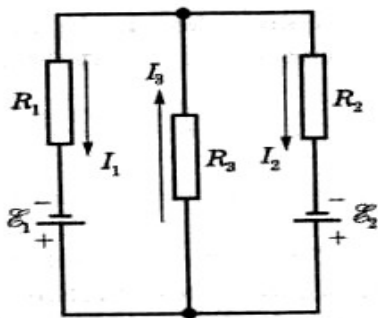
Учтя, что $I_1 = I_2 + I_4$, $I_2 = I_3 + I_5$,
 $I_4 + I_6 = I_5 + I_7$, будем иметь:



Отсюда получаем: $x=20\text{ В}$, $y=10\text{ В}$, $z=10\text{ В}$.
 Подставив эти значения в выражения для токов, найдём:

$$I_1 = 20\text{ А}, \quad I_2 = I_3 = I_4 = I_7 = 10\text{ А}, \quad I_5 = I_6 = 0.$$

Задача 1.14. В схеме, показанной на рис. 1.13, $\xi_1 = 20\text{ В}$; $\xi_2 = 25\text{ В}$; $R_1 = 10\text{ Ом}$; $R_2 = 15\text{ Ом}$; внутренние сопротивления источников пренебрежимо малы. Определить: 1) работу, совершённую источниками, и полное количество выделившейся в цепи джоулевой теплоты за интервал времени $\Delta t = 0,5\text{ с}$ при $R_3 = 82\text{ Ом}$; 2) сопротивление R_3 , при котором выделяемая на этом резисторе тепловая мощность максимальна.



Анализ. Под работой источника следует понимать работу, совершаемую силами стороннего поля при перемещении заряда, проходящего через

источник за промежуток времени Δt . При постоянной силе тока I , согласно определению электродвижущей силы, эта работа может быть рассчитана по формуле:

$$A = \xi \cdot I \cdot \Delta t.$$

Очевидно, что при направлении тока, совпадающем с направлением стороннего поля, работа источника положительна. Количество теплоты, выделяющееся на неразветвлённом участке цепи с сопротивлением R ,

$$Q = I^2 R \Delta t.$$

Таким образом, для решения задачи необходимо найти силы токов во всех участках цепи, для чего можно использовать правила Кирхгофа.

Тепловая мощность (отношение количества теплоты к промежутку времени, в течение которого она выделяется) на резисторе R_3 тем больше, чем больше сила тока I_3 и сопротивление R_3 . С другой стороны, с ростом сопротивления R_3 сила тока I_3 уменьшается. Поэтому сопротивление R_3 , при котором выделяемая на резисторе тепловая мощность максимальна, может быть рассчитано только тогда, когда будет получено аналитическое выражение этой тепловой мощности в условиях заданной схемы.

Решение. Применим правила Кирхгофа к одному из узлов и к замкнутому контуру $R_1 \xi_1 R_3$ и $R_2 \xi_2 R_3$:

$$I_1 + I_2 = I_3, \quad (1)$$

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = \xi_1, \quad (2)$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = \xi_2. \quad (3)$$

Умножив уравнение (2) на R_2 , а уравнение (3) на R_1 и почленно их сложив, после несложных преобразований с учётом (1) получим

$$I_3 = \frac{\xi_1 R_2 + \xi_2 R_1}{R_1 R_2 + R_3 (R_1 + R_2)}. \quad (4)$$

При заданных значениях ЭДС и сопротивлений $I_3 = 0,25 \text{ A}$.

Из уравнений (2) и (3) находим

$$I_1 = (\varepsilon_1 - I_3 R_3) / R_1 = -0,05 \text{ A};$$

$$I_2 = (\varepsilon_2 - I_3 R_3) / R_2 = 0,3 \text{ A}.$$

Отрицательное значение силы тока I_1 означает лишь то, что направление этого тока указано на схеме неверно. В действительности ток через первый источник течёт в противоположном направлении и сила этого тока $I_1 = 0,05 \text{ A}$.

При таком направлении тока I_1 работа первого источника отрицательна:

$$A_1 = -\xi_1 I_1' \Delta t = -0,5 \text{ Дж.}$$

Работа второго источника положительна, так как ток I_2 , идущий через второй источник, направлен по его стороннему полю:

$$A_2 = \xi_2 I_2 \Delta t = 3,75 \text{ Дж.}$$

Поскольку других источников в цепи нет, количество теплоты, выделяемое во всей цепи:

$$Q = A_1 + A_2 = 3,25 \text{ Дж.}$$

Очевидно, эта величина может быть рассчитана и по формуле:

$$Q = (I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3) \Delta t.$$

Выделяемая на резисторе R_3 тепловая мощность:

$$N = I_3^2 R_3,$$

где R_3 – искомое сопротивление.

Учитывая выражение (4), получаем:

$$N = \frac{(\varepsilon_1 R_2 + \varepsilon_2 R_1)^2 R_x}{[R_1 R_2 + R_x (R_1 + R_2)]^2}.$$

Для ответа на вопрос задачи приравняем нулю производную dN/dR_x :

$$\frac{dN}{dR_x} = (\varepsilon_1 R_2 + \varepsilon_2 R_1)^2 \times \frac{[R_1 R_2 + R_x (R_1 + R_2)]^2 - 2 R_x (R_1 + R_2) [R_1 R_2 + R_x (R_1 + R_2)]}{[R_1 R_2 + R_x (R_1 + R_2)]^4} = 0$$

После алгебраических преобразований получим

$$\frac{(\varepsilon_1 R_2 + \varepsilon_2 R_1)^2}{[R_1 R_2 + R_x (R_1 + R_2)]^3} [R_1 R_2 - R_x (R_1 + R_2)] = 0,$$

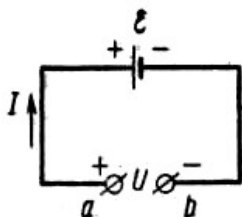
откуда

$$R_x = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 6 \text{ Ом.}$$

Задача 1.15

Определить работу электрических сил и количество теплоты, выделяемое каждую секунду, в следующих случаях:

1) в резисторе, по которому идёт ток силой $I=1,0$ А; разность потенциалов между концами резистора $\phi_a - \phi_b = 2,0$ В;



2) в аккумуляторе, который заряжается током силой $I=1,0$ А; разность потенциалов на его зажимах $\phi_a - \phi_b = 2,0$ В, э.д.с. аккумулятора $\xi = 1,3$ В; 3) в батарее аккумуляторов, которая даёт ток силой $I=1,0$ на внешнюю

Рис. 1.14

нагрузку; разность потенциалов на зажимах батареи
 $\phi_a - \phi_b = 2,0$ В, её э.д.с. $\xi = 2,6$ В

Решение: 1. Так как рассматриваемый участок не содержит э.д.с, то по закону Ома для участка однородной цепи имеем

$$\phi_a - \phi_b = IR$$

Вся работа электрических сил идет на нагревание резистора:

$$A = Q = (\phi_a - \phi_b) It = 2 \text{ Дж}$$

2. При зарядке аккумулятора его зажимы присоединяют к источнику, разность потенциалов на полюсах которого постоянна. При этом ток внутри аккумулятора идёт от его положительного полюса к отрицательному (рис.1.14), т.е. в направлении, обратном току разряда. Работу электрических сил снова вычислим по формуле

$$A = (\phi_a - \phi_b) It = 2 \text{ Дж}$$

Чтобы по формуле

$$Q = I^2 R t \tag{1}$$

определить количество выделенной теплоты, найдём сопротивление R участка цепи $a \xi b$. Поскольку он содержит э.д.с., применим закон Ома для участка неоднородной цепи. Учитывая направления тока и э.д.с., запишем в соответствии с правилом знаков

$$I = \frac{\phi_a - \phi_b - \xi}{R} \tag{2}$$

Подставив значение R из (2) в (1), получим

$$Q = I^2 R t = (\phi_a - \phi_b - \xi) It = 0,7 \text{ Дж}$$

В данном случае лишь часть работы электрических сил идёт на нагревание аккумулятора, остальная же часть $A-Q=1,3\text{Дж}$ превращается в химическую энергию заряжаемого аккумулятора.

3. Работу электрических сил также найдём по формуле $A=(\phi_1-\phi_2)It$. При этом обратим внимание на отличие данного случая от предыдущего. Если положительный знак разности потенциалов $\phi_a-\phi_b$ сохранился, то направление тока на участке $a\xi b$ изменилось на противоположное (рис. 1.15). Следовательно,

$$A=(\phi_a-\phi_b)(-I)\cdot t=-(\phi_a-\phi_b)It=-2\text{ Дж} \quad (3)$$

Отрицательный знак ответа выражает то обстоятельство, что положительные заряды движутся внутри каждого аккумулятора от его низшего потенциала к высшему, т.е. против электрических сил. При этом положительную работу совершают сторонние силы, перемещая заряды внутри аккумуляторов.

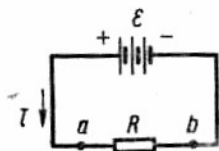


Рис. 1.15

Количество теплоты, выделенное в батарее, снова определим по формуле (1). При этом сопротивление r батареи, как и в предыдущем случае, можно вычислить по закону Ома для участка неоднородной цепи $a\xi b$. Теперь, учитывая направление тока и знак э.д.с, запишем

$$-I=(\phi_a-\phi_b-\xi)/r \quad (4)$$

Сопротивление батареи можно найти также как разность между сопротивлением всей цепи и сопротивлением внешнего участка цепи. Тогда по закону Ома для однородного участка цепи и замкнутой цепи имеем:

$$r = R_{полн} - R = \frac{\xi}{I} - \frac{\phi_a - \phi_b}{I} = \frac{\xi - (\phi_a - \phi_b)}{I}$$

что совпадает с формулой (4). Подставив найденное значение r в формулу (1), получим

$$Q = I^2 r t = [\xi - (\phi_a - \phi_b)] I t = 0,6 \quad \text{Дж} \quad (5)$$

Этот вариант задачи можно решить ещё по-другому. По данным условия найдём работу электрических сил на внешнем участке цепи aRb :

$$A_{внешн} = (\phi_a - \phi_b) I t = 2 \quad \text{Дж}$$

Однако работа электрических, т.е. кулоновских (но не сторонних), сил по перемещению зарядов на замкнутом пути всегда равна нулю. Значит,

$$A_{внутр} + A_{внешн} = 0$$

$$A_{внутр} = -A_{внешн} = -2 \quad \text{Дж}$$

что совпадает с результатом (3)

Вся энергия, расходуемая батареей, превращается (посредством работы электрических сил) в тепло $Q_{общ}$, выделяющееся во всей цепи:

$$A_{б} = Q_{общ} = \xi I t = 2,6 \quad \text{Дж};$$

Так как на внешнем участке выделяется количество теплоты

$$Q_{внешн} = A_{внешн} = 2 \quad \text{Дж},$$

то для батареи

$$Q = Q_{общ} - Q_{внешн} = 0,6 \quad \text{Дж}$$

Что совпадает с результатом (5).

Задача 1.16. Полезная мощность, выделяемая во внешней части цепи, достигает наибольшего значения 5 Вт при силе тока 5А. Найти внутренне сопротивление и ЭДС источника тока.

Дано: $N_{\max}=5$ Вт; $I_{\max}=5$ А.

Найти: r – ? ε – ?

Решение: По закону Джоуля - Ленца, полезная мощность, выделяемая во внешней части цепи с сопротивлением R ,

$$N=I^2 R. \quad (1)$$

Учитывая, что, по закону Ома для замкнутой цепи, сила тока

$$I=\varepsilon/(R+r),$$

перепишем уравнение (1):

$$N=\varepsilon^2 R/(R+r)^2. \quad (2)$$

Мощность, выделяемая во внешней части цепи, максимальна ($N=N_{\max}$) при выполнении условия

$$\frac{dN}{dR}=0. \quad (3)$$

Дифференцированием уравнения (2) находим внешнее сопротивление $R_{\max}$, при котором мощность максимальна:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dR} \left[\frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2} \right] &= \frac{\varepsilon^2 (R+r)^2 - \varepsilon^2 R \cdot 2(R+r)}{(R+r)^4} = 0; \\ (R+r)^2 - 2R(R+r) &= 0; \quad (R+r)(R+r-2R) = 0; \\ R+r-2R &= 0; \quad R=R_{\max}=r. \end{aligned}$$

Подставим $R_{\max}$ в уравнение (1) и (2):

$$N_{\max}=I_{\max}^2 r, \quad \text{откуда}$$

$$r=N_{\max}/I_{\max}^2; \quad r=(5/5^2) \text{ Ом}=0,2 \text{ Ом}.$$

тогда

$$N_{\max} = \varepsilon^2 r / (4r^2) = \varepsilon^2 / (4r), \quad \text{откуда}$$

$$\varepsilon = \sqrt{4rN_{\max}} = \sqrt{\frac{4N_{\max}}{I_{\max}^2}} = 2 \frac{N_{\max}}{I_{\max}}; \quad \varepsilon = 2 \frac{5}{5} B = 2B.$$

Задача 1.17

Определить суммарный импульс электронов в прямом проводе длиной $l=10,0$ км при токе силой $I=400$ А.

Решение. Ток в металле представляет собой направленное движение свободных электронов. Оно характеризуется определённым импульсом (количеством движения). Чтобы найти этот импульс K , просуммируем импульсы отдельных электронов:

$$K = \sum_{i=1}^N m v_i = m \sum_{i=1}^N v_i = mN \langle v \rangle, \quad (1)$$

где m -масса электрона, N - число свободных электронов в проводнике, $\langle v \rangle$ - средняя скорость их направленного движения.

Скорость $\langle v \rangle$ выразим через данную в условии силу тока I по формуле $j = e \cdot n \langle \vec{v} \rangle$ учитывая, что плотность тока $i = I/S$:

$$\langle v \rangle = I / enS \quad (2)$$

Подставим это значение $\langle v \rangle$ в формулу (1) и имея в виду, что отношение N/n равно объёму V провода, получим

$$K = \frac{mNI}{enS} = \frac{mVI}{eS} = \frac{mI}{e}.$$

Из справочных таблиц находим значения заряда и массы электрона: $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Подставив в формулу значения величин, выраженные в единицах СИ, произведём вычисление:

$$K = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,00 \cdot 10^4 \cdot 400}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Задача 1.18

Определить коэффициент диссоциации водного раствора хлористого калия (KCl) с концентрацией $c=0,10 \text{ г/см}^3$. Удельное сопротивление такого раствора $\rho=7,4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом/м}$ при 18°C , а подвижности ионов K^+ и Cl^- при этой температуре соответственно равны: $u_+=6,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $u_-=6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Решение. Для определения коэффициента диссоциации электролита воспользуемся формулой

$$\sigma = qan_0(u_+ + u_-), \quad (1)$$

в которую входит эта величина. При этом учтём, что $\rho = 1/\sigma$, где σ -удельная электропроводность и что ионы K^+ и Cl^- одновалентны, следовательно, заряд каждого из них численно равен заряду электрона e . Теперь, чтобы из формулы (1) можно было найти величину α , остаётся определить концентрацию молекул n_0 , выразив её через данную концентрацию раствора c . Так как концентрация молекул есть число молекул в единице объема, т.е.

$$n_0 = N/V,$$

а концентрация раствора измеряется массой растворённого вещества в единице объёма раствора:

$$c=m/V,$$

то из двух последних равенств имеем

$$n_0=cN/m. \quad (2)$$

Учтём, что величина N связана с постоянной Авогадро N_A и числом молей растворённого вещества ν так:

$$N=N_A \nu =N_A(m/\mu).$$

Подставим это значение в формулу (2)

$$n_0=cN_A/\mu. \quad (3)$$

Теперь перепишем формулу $j_n=q\Delta n \cdot l$, учитывая соотношение (3), а также соображения изложенные выше:

$$\frac{1}{\rho} = \alpha \frac{n_0 N_A}{\mu} (u_+ + u_-).$$

Отсюда найдём коэффициент диссоциации электролита:

$$\alpha = \mu / \rho c (u_+ + u_-) N_A. \quad (4)$$

Взяв из таблицы значение молярной массы для хлористого калия ($\mu=0,074$ кг/моль), подставим в (4) числовые значения входящих в неё величин, выраженные в единицах СИ. Произведя вычисления по (4), получим

$$\alpha=0,8.$$

Задача 1.19. Определить скорость u (мкм/ч), с которой растёт слой никеля над полоской поверхности металла при электролизе, если плотность тока j , протекающего через электролит, равна 30 А/м. Никель считать двухвалентным.

Решение. Для решения задачи воспользуемся объединённым законом Фарадея

$$m=\frac{1}{F} \cdot \frac{M}{Z} It. \quad (1)$$

Будем считать, что электролитическое осаждение никеля идёт равномерно по всей поверхности металла. Тогда массу m выделившегося за время t никеля

можно выразить через плотность ρ , площадь S поверхности металла и толщину h слоя никеля:

$$m = \rho \cdot S \cdot h \quad (2)$$

Силу тока I выразим через плотность тока и площадь поверхности металла:

$$I = j \cdot S \quad (3)$$

Подставив в формулу (1) выражения для массы (2) и силы тока (3), получим

$$\rho \cdot h = \frac{1}{F} \frac{M}{Z} j t \quad (4)$$

При неизменной плотности тока нарастание слоя никеля будет происходить с постоянной скоростью u , определяемой отношением толщины слоя, наращенного за некоторый интервал времени, к этому интервалу ($u = h/t$). Тогда из формулы (4) следует

$$u = \frac{1}{F} \frac{M j}{Z \rho}$$

Убедимся в том, что правая часть равенства дает единицу скорости:

$$\frac{[M] \cdot [j]}{[F] \cdot [\rho]} = \frac{1 \text{ кг/моль} \cdot 1 \text{ А/м}^2}{1 \text{ Кл/моль} \cdot 1 \text{ кг/м}^3} = \frac{1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}}{1 \text{ Кл}} = \frac{1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}}{1 \text{ А/с}} = 1 \text{ м/с}.$$

При этом было учтено, что валентность Z величина неименованная (безразмерная).

Выпишем значения величин, выразив их в единицах

$$\text{СИ: } F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}, \quad M = 58,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}, \\ Z = 2, \quad j = 30 \text{ А/м}^2, \quad \rho = 8,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Подставим числовые значения и произведём вычисления:

$$u = \frac{58,7 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{9,65 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 8,8 \cdot 10^3} \text{ м/с} = 1,04 \cdot 10^{-9} \text{ м/с} = 3,74 \text{ мкм/ч}.$$

Задача 1.20. Пространство между пластинами плоского конденсатора имеет объём $V=375\text{ см}^3$ и заполнено водородом, который частично ионизирован. Площадь пластин конденсатора $S=250\text{ см}^2$. При каком напряжении U между пластинами конденсатора сила тока I , протекающего через конденсатор, достигнет значения 2 мкА , если концентрация n ионов обоих знаков в газе равна $5,3\cdot 10^7\text{ см}^{-3}$? Принять подвижность ионов $b_+=5,4\cdot 10^{-4}\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, $b_-=7,4\cdot 10^{-4}\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Решение: Напряжение U на пластинках конденсатора связано с напряжённостью E электрического поля между пластинами и расстоянием d между ними соотношением

$$U=E\cdot d \quad (1)$$

Напряжённость поля может быть найдена из выражения плотности тока

$$j=Q\cdot n(b_++b_-)E,$$

где Q – заряд иона.

Отсюда

$$E=\frac{j}{Q\cdot n(b_++b_-)}=\frac{I}{Q\cdot n(b_++b_-)S}. \quad (2)$$

Расстояние d между пластинами, входящее в формулу (1), найдём из соотношения

$$d=V/S.$$

Подставив выражение E и d в (1), получим

$$U=\frac{I\cdot V}{Q\cdot n(b_++b_-)S^2}.$$

Проверим, даёт ли правая часть полученной расчётной формулы единицу напряжения:

$$\frac{[I][V]}{[Q] \cdot [n] \cdot [b] \cdot [S^2]} = \frac{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ м}^3}{1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ м}^{-3} [1 \text{ м}^2 / (\text{с} \cdot \text{В})] \text{ м}^4} = \frac{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ м}^6 \cdot 1 \text{ с} \cdot 1 \text{ В}}{1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ м}^6} = \\ = \frac{1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}.$$

Подставим в формулу (2) значения величин и произведём вычисления:

$$U = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3,75 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5,3 \cdot 10^{13} (5,4 + 7,4) \cdot 10^{-4} (250 \cdot 10^{-4})^2} \text{ В} = 110 \text{ В}.$$

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ:

Задача 2.1. Определить плотность тока j в железном проводнике длиной $l=10$ м, если провод находится под напряжением $U=6$ В.

Ответ: 6,1 МА/м²

Задача 2.2. Ток I в проводнике меняется со временем t по уравнению $I=4+2t$, где I - в амперах и t - в секундах. Какое количество электричества q проходит через поперечное сечение проводника за время от $t_1=2$ с до $t_2=6$ с? При каком постоянном токе I_0 через поперечное сечение проводника за то же время проходит такое же количество электричества?

$$q = \int_{t_1}^{t_2} I \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} (4 + 2t) dt = 48 \text{ Кл}; \quad I_0 = 12 \text{ А}$$

Ответ:

Задача 2.3. В цепи источника постоянного тока с ЭДС $\xi = 6\text{В}$ включен резистор сопротивлением $R = 80 \text{ Ом}$. Определить: 1) плотность тока в соединительных проводах площадью поперечного сечения $S = 2 \text{ мм}^2$; 2) число N элементов, проходящих через сечение проводов за время $t = 1 \text{ с}$. Сопротивлением источника тока и соединительных проводов пренебречь.

Ответ: $j = 3,75 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2$; $N = 4,69 \cdot 10^7$
электронов

Задача 2.4. Имеется n точек, соединенных попарно резисторами. Каково сопротивление R между любыми двумя из этих точек, если сопротивление каждого резистора R_0 .

Ответ: $R = 2 R_0 / n$

Задача 2.5. Найдите сопротивление R между точками А и В цепи показанной на рис. 2.1.

Сопротивление каждого из резисторов R_0 .

Ответ: $R = 0,8 R_0$

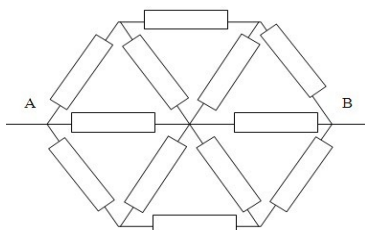


Рис.2.1

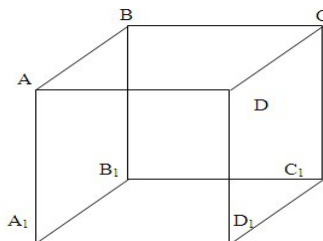


Рис.2.2

Задача 2.6. Найдите сопротивление R проволочного куба (см. рис. 2.2) между точками A_1 и C . Сопротивление каждого ребра R_0 .

$$R = \frac{5}{6} R_0$$

Ответ:

Задача 2.7. Найдите сопротивление R проволочного куба (см. рис. 2.2) между точками A_1 и D . Сопротивление каждого ребра R_0 .

$$R = \frac{3}{4} R_0$$

Ответ:

Задача 2.8. Найдите сопротивление R проволочного куба (см. рис. 2.2) между точками A и A_1 . Сопротивление каждого ребра R_0 .

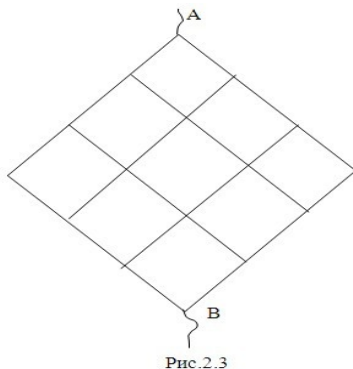
$$R = \frac{7}{12} R_0$$

Ответ:

Задача 2.9. Найдите сопротивление R цепи (см. рис. 2.3) между точками A и B , если сопротивление каждого звена R_0 .

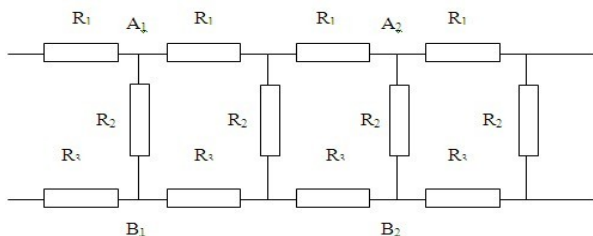
$$R = \frac{13}{7} R_0$$

Ответ:



Задача 2.10. Найти сопротивление R бесконечной цепи, показанной на рис. 2.4.

Ответ:
$$R = \frac{R_1 + R_3}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4R_2}{R_1 + R_3}} \right)$$



Задача 2.11. Найдите силу тока I_A через амперметр (см. рис 2.5), если сопротивления резисторов $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = R_4 = 8 \text{ Ом}$, $R_3 = 1 \text{ Ом}$. ЭДС источника $\xi = 50 \text{ В}$, его внутреннее сопротивление $r = 1 \text{ Ом}$. Сопротивлением амперметра можно пренебречь.

Ответ: $I_A = 6 \text{ А}$

Задача 2.12. Найдите показание амперметра в схеме (см. рис. 2.6), если $\mathcal{E} = 15 \text{ В}$, $R_1 = 4,2 \text{ Ом}$, $R_2 = 8 \text{ Ом}$, $R_3 = 12 \text{ Ом}$. Каким станет это показание, если поменять местами амперметр и источник ЭДС? Внутренние сопротивления источника и амперметра малы по сравнению с сопротивлениями резисторов.

Ответ: $I_A = 0,67 \text{ А}$ (в обоих случаях)

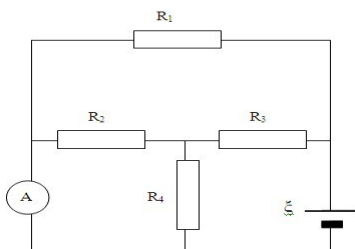


Рис. 2.5

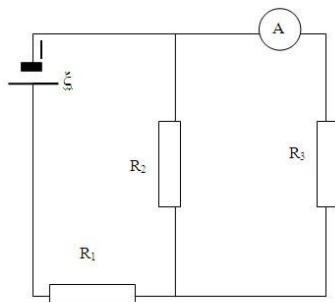


Рис. 2.6

Задача 2.13. К аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 0,01 \text{ Ом}$ подключен резистор с сопротивлением $R = 10 \text{ Ом}$. Вольтметр дает одинаковые показания как при последовательном, так и при параллельном подключении к резистору. Найдите сопротивление вольтметра R_v .

Ответ: $R_v = \frac{R^2}{r} = 10 \text{ кОм}$.

Задача 2.14. Два источника ЭДС соединены, как показано на рисунке 2.7. Найдите разность потенциалов между точками А и В. Какой станет разность потенциалов, если изменить полярность включения второго источника?

Ответ: $u = \frac{\xi_1 r_2 - \xi_2 r_1}{r_1 + r_2}$; $u = \frac{\xi_1 r_2 + \xi_2 r_1}{r_1 + r_2}$.

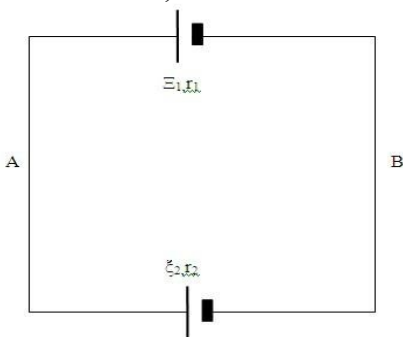


Рис.2.7

Задача 2.15. Имеются два последовательно соединенных элемента с ЭДС ξ_1 и ξ_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 . При каком внешнем сопротивлении R напряжение на зажимах одного из элементов равно нулю? На зажимах какого именно элемента это возможно?

Ответ: $\phi_A - \phi_B = U \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)$.

Задача 2.16. В цепи с внешним сопротивлением $R=2 \text{ Ом}$ необходимо обеспечить силу тока $I=2 \text{ А}$. Какое наименьшее число N элементов потребуется для этого, и как они должны быть соединены в батарею, если ЭДС каждого элемента $\xi=2 \text{ В}$, а внутреннее сопротивление $r=1 \text{ Ом}$.

Ответ: $N=8$

Задача 2.17. Два одинаковых источника тока с ЭДС $\xi=1,2$ В и внутренним сопротивлением $r=0,4$ Ом соединены, как показано на рисунке 2.8, а, б. Определить силу тока I в цепи и разность потенциалов U между точками А и В в первом и втором случаях.

Ответ: а) $I=3$ А ; $U=0$

б) $I=0$; $U=1,2$ В.

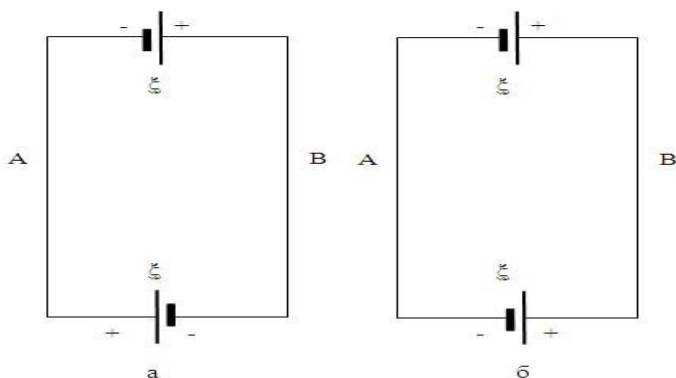


Рис.2.8

Задача 2.18. Два элемента ($\xi_1=1,2$ В, $r_1=0,1$ Ом; $\xi_2=0,9$ В, $r_2=0,3$ Ом) соединены одноимёнными полюсами. Сопротивление R соединительных проводов равно $0,2$ Ом. Определить силу тока I в цепи.

Ответ: $0,5$ А

Задача 2.19. Две батареи аккумуляторов ($\xi_1=10$ В, $r_1=1$ Ом; $\xi_2=8$ В, $r_2=2$ Ом) и резистор ($R=6$ Ом) соединены, как показано на рисунке 2.9. Найти силу тока в батареях и резисторе.

Ответ: $1,6A$; $0,2A$; $1,4A$.

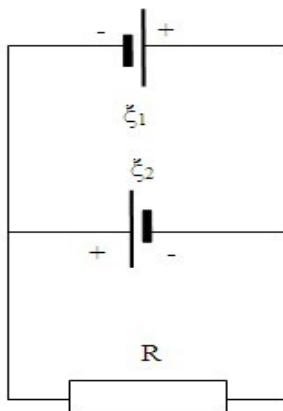


Рис.2.9

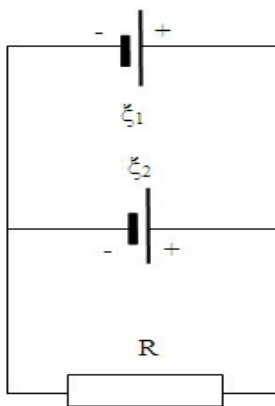


Рис.2.10

Задача 2.20. Два источника тока ($\xi_1=8$ В, $r_1=2$ Ом; $\xi_2=6$ В, $r_2=1,5$ Ом) и резистор ($R=10$ Ом) соединены, как показано на рисунке 2.10. Вычислить силу тока I , текущего через резистор.

Ответ: 0

Задача 2.21. Определить силу тока I_3 в резисторе сопротивлением R_3 рис. 2.11 и напряжение U_3 на концах резистора, если $\xi_1=4$ В, $\xi_2=3$ В, $R_1=2$ Ом, $R_2=6$ Ом, $R_3=1$ Ом. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

Ответ: $I_3=0$; $U_3=0$.

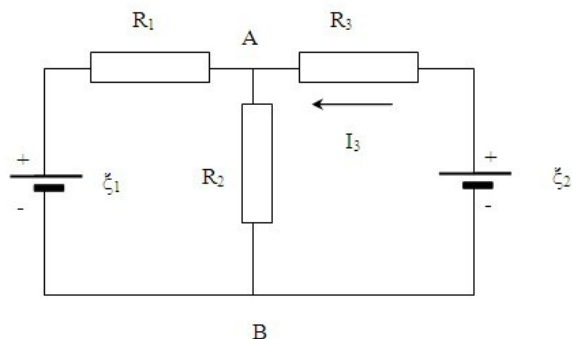


Рис.2.11

Задача 2.22. Три батареи с ЭДС $\xi_1=12$ В, $\xi_2=5$ В и $\xi_3=10$ В и одинаковыми внутренними сопротивлениями r , равными 1 Ом, соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов I , идущих через каждую батарею.

Ответ: 3А ; 4А ; 1А .

Задача 2.23. Три источника тока с ЭДС $\xi_1=11$ В, $\xi_2=4$ В и $\xi_3=6$ В и три реостата с сопротивлениями $R_1=5$ Ом, $R_2=10$ Ом и $R_3=2$ Ом соединены, как показано на рис. 2.12. Определить силы токов I в реостатах. Внутреннее сопротивление источника тока пренебрежимо мало.

Ответ: 0,8А ; 0,3А ; 0,5А .

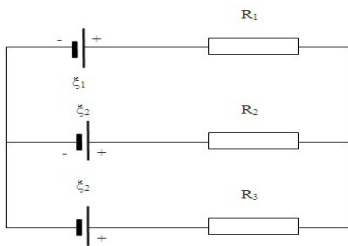


Рис.2.12

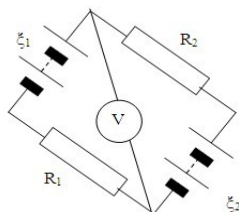


Рис.2.13

Задача 2.24. Батареи имеют э.д.с. $\xi_1 = \xi_2$, сопротивления $R_2 = 2R_1$, (рис. 2.13). Во сколько раз ток, текущий через вольтметр, больше тока, текущего через сопротивление R_2 ?

Ответ: в 3 раза.

Задача 2.25. Батареи имеют э.д.с. $\xi_1 = \xi_2 = 110 \text{ В}$, сопротивления $R_1 = R_2 = 0,2 \text{ кОм}$, сопротивление вольтметра $R_V = 1 \text{ кОм}$ (рис. 2.13). Найти показание вольтметра.

Ответ: $U = 100 \text{ В}$.

Задача 2.26. Батареи имеют э.д.с. $\xi_1 = \xi_2$, сопротивления $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$, сопротивление вольтметра $R_V = 150 \text{ Ом}$ (рис. 2.13). Показание вольтметра $U = 150 \text{ В}$. Найти э.д.с. ξ_1 и ξ_2 батарей.

Ответ: $\xi_1 = \xi_2 = 200 \text{ В}$.

Задача 2.27. Элементы имеют э.д.с. $\xi_1 = \xi_2 = 1,5 \text{ В}$ и внутренние сопротивления $r_1 = r_2 = 0,5 \text{ Ом}$, сопротивления $R_1 = R_2 = 2 \text{ Ом}$ и $R_3 = 1 \text{ Ом}$, сопротивление амперметра $R_A = 3 \text{ Ом}$ (рис. 2.14). Найти показание амперметра.

Ответ: $I = 75 \text{ мА}$.

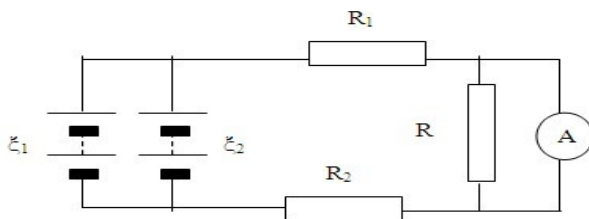


Рис.2.14

Задача 2.28. Какую силу тока I пропустить через железную проволоку диаметра $D=0,5$ мм, чтобы через $\tau=1$ с проволока начала плавиться? Начальная температура проволоки $t_0=0^\circ\text{C}$; теплопередачу в окружающую среду и зависимость сопротивления от температуры не учитывайте.

Ответ:
$$I = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\frac{dc(t_{\text{пл}} - t_0)}{\rho \cdot \tau}} = 47 \text{ A}$$

Задача 2.29. Лампочка и реостат, соединенные последовательно, присоединены к источнику тока. Напряжение U на зажимах лампочки равно 40 В, сопротивление R реостата равно 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P=120$ Вт. Найти силу тока I в цепи.

Ответ: 2 А

Задача 2.30. К батарее аккумуляторов, ЭДС $\mathcal{E}$ которой равна 2 В и внутреннее сопротивление $r=0,5$ Ом, присоединен проводник. Определить: 1) сопротивление R проводника, при котором мощность, выделяемая в нем, максимальна; 2) мощность P , которая при этом выделяется в проводнике.

Ответ: 0,5 Ом ; 2 Вт .

Задача 2.31. Сила тока в проводнике сопротивлением $r=100$ Ом равномерно нарастает от $I_0=0$ до $I_{\max}=10$ А в течение времени $\tau=30$ с. Определить количество теплоты Q , выделившееся за это время в проводнике.

Ответ:
$$Q = \frac{I_{\max}^2 r}{\tau^2} \int_0^{\tau} t^2 dt = \frac{1}{3} I_{\max}^2 R \tau = 100 \text{ кДж}$$

Задача 2.32. Плотность тока j в алюминиевом проводе равна 1 А/мм^2 . Найти среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов, предполагая, что число свободных электронов в 1 см^3 алюминия равно числу атомов.

Ответ: $0,1 \text{ мм/с}$.

Задача 2.33. Определить объёмную плотность тепловой мощности ω в металлическом проводнике, если плотность тока $j=10 \text{ А/мм}^2$. Напряжённость E электрического поля в проводнике равна 1 мВ/м .

Ответ: 10 кВт/м^3 .

Задача 2.34. Определить количество вещества ν и число атомов N двухвалентного металла, отложившегося на катоде электролитической ванны, если через раствор в течение времени $t=5$ мин шел ток силой $I=2 \text{ А}$.

Ответ:
$$\nu = \frac{I \cdot t}{F \cdot z} = 3,12 \text{ ммоль} ;$$

$$N = N_A \nu = 1,87 \cdot 10^{21} .$$

Задача 2.35. Воздух между плоскими электродами ионизационной камеры ионизируется рентгеновским

излучением. Сила тока I , текущего через камеру, равна $1,2 \text{ мкА}$. Площадь S каждого электрода равна 300 см^2 , расстояние между ними $d=2 \text{ см}$, разность потенциалов $U=100 \text{ В}$. Найти концентрацию n пар ионов между пластинами, если ток далёк от насыщения. Подвижность положительных ионов $b_+=1,4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и отрицательных $b_-=1,9 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

Ответ: $1,52 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$

Контрольные задания по теме “Постоянный ток”

Тема \ Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Закон Ома для участка цепи	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.6
Закон Ома для полной цепи	2.3	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19
Правила Кирхгофа	2.20	2.21	2.22	2.23	2.24	2.25	2.26	2.27	2.25	2.24
Работа и мощность тока	2.28	2.30	2.29	2.30	2.28	2.30	2.29	2.28	2.30	2.29
Ток в металлах, жидкостях и газах	2.31	2.32	2.33	2.34	2.31	2.32	2.34	2.31	2.32	2.33

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чертов А.Г. Задачник по физике/ А.Г. Чертов, А.А. Воробьёв. – М.: Интеграл Пресс, 1997. – 544с.
2. Волькинштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики/ В.С. Волькинштейн. – СПб.:Спец. лит., 2002. – 327с.
3. Новодворская Е.М. Сборник задач по физике для ВТУЗов/ Е.М. Новодворская, Э.М. Дмитриева. – М.:ОНИКС 21 век «Мир и образование», 2003 – 368с.
4. Фиргант Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики/ Е.В. Фиргант. – М.: Высш. шк., - 1977. – 350с.
5. Буховцев Б.Б. Сборник задач по элементарной физике: пособие для самообразования / Б.Б. Буховцев– 7-е изд., - М.: Издательство УНЦ ДО, 2004. – 448с.
6. Гельфгат И.М. 1001 задача по физике с ответами, указаниями, решениями / И.М. Гельфгат.– М.:ИЛЕКСА, 2003,-351с.
7. Мясников С.П. Пособие по физике: учеб. пособие для подгот. отделений вузов/ С.П. Мясников, Т.Н. Осанова - 5-е изд., испр. и перераб. - М.: Высш. шк. 1988. - 399 с.: ил.
8. Коган В.Ю. Задачи по физике / В.Ю.Коган М.: 1971,. – 286с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	1
Основные законы постоянного тока	2
1. Примеры решения задач	8
2. Задачи для самостоятельного решения	41
Библиографический список	53

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к решению задач по физике
для студентов всех направлений и специальностей
факультета автоматизации и роботизации машиностроения
и авиационного факультета
очной формы обучения

Составители: Агапитова Наталья Валерьевна
Деркачёва Павлина Игнатьевна
Железный Владимир Семёнович

В авторской редакции

Подписано к изданию 25.01.2012.
Уч. – изд. л. 3,2.

ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14