



**Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
„Уральский государственный горный
университет”**

М. В. Калачева, С. Н. Шитова, М. И. Старцева

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Учебное пособие

**для самостоятельной подготовки
к практическим занятиям студентов очного обу-
чения всех специальностей по разделу «Электро-
динамика», ч. II, дисциплины «Физика»**

Екатеринбург, 2006

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
Уральский государственный горный университет

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
Института геологии и геофизики
«_____» _____ 2006 г.
Председатель комиссии
_____ проф. В.И.Бондарев

М. В. Калачева, С. Н. Шитова, М. И. Старцева

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Учебное пособие для самостоятельного изучения теоретического материала студентами очного и заочного обучения всех специальностей по разделу «Электродинамика» дисциплины «Физика»

Издание УГГУ

Екатеринбург, 2006

К 17

К 17 *Калачева М. В., Шитова С. Н., Старцева М. И.*

ПОСТОЯННЫЙ ТОК: Учебное пособие по разделу «Электродинамика» дисциплины «Физика» для самостоятельного изучения теоретического материала студентами очного обучения всех специальностей. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 41с.

Предложенный материал содержит программу и вопросы раздела «Постоянный ток», краткую теорию по вопросам раздела, необходимую для решения задач, задания для самопроверки, подробный разбор типичных задач и задачи для самостоятельного решения с тремя уровнями сложности. Данное учебное пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов к практическим занятиям.

Пособие рассмотрено на заседании кафедры физики 15 мая 2006 года (протокол № 16) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Рецензент: В. В. Жаворонкова, канд. геол.- минерал. наук, доцент кафедры физики УГГУ

© Калачева М. В., Шитова С. Н., Старцева М. И. , 2006

© Уральский государственный горный университет, 2006

Введение

Данное учебное пособие подготовлено в соответствии с учебной программой по физике, составленной на основе федерального компонента Государственного стандарта (ЕН. Ф. 03)

Раздел «Постоянный электрический ток»

Сила и плотность тока. Сторонние силы. Электродвижущая сила. Законы Ома и Джоуля - Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Разветвленные электрические цепи. Правила Кирхгофа.

Содержание этого раздела представлено в перечне вопросов, которые составляют основу экзаменационных билетов. В зависимости от специальности вопросы к программе могут быть несколько изменены. Знание приведенных ниже вопросов гарантирует сдачу экзамена на положительную оценку.

Вопросы по программе дисциплины «Физика» по разделу «постоянный ток»

1. Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования.
2. Закон Ома в интегральной форме для однородного участка цепи.
3. Закон Ома в дифференциальной форме.
4. Сторонние силы в электрической цепи. Источники тока. Электродвижущая сила. Разность потенциалов, напряжение.
5. Закон Ома в интегральной форме для неоднородного участка цепи.
6. Закон Ома для замкнутой цепи.
7. Правила Кирхгофа, расчет разветвленных цепей.
8. Работа и мощность тока. Закон Джоуля – Ленца.
9. Ток в газах и электролитах.
10. Шунты и добавочные сопротивления.

В данном учебном пособии представлены четыре типа самостоятельных работ для студентов:

- ☞ краткое и доступное изложение теоретического материала отдельных вопросов;
- ☞ тесты для самостоятельной проверки студентом усвоения теоретического материала;
- ☞ подробный разбор типичных задач;
- ☞ задачи для дифференцированной самостоятельной работы с тремя уровнями сложности, приведенные в конце пособия.

Проверить правильность выполнения заданий для самостоятельной работы вы можете, сравнив свои ответы с ответами, приведенными на страницах 36– 39.

Памятка студенту

☞ При изучении каждой темы мы рекомендуем сначала внимательно разобраться с теоретическим материалом по учебнику, проверить свои знания по тестам, разобрать методику решения типичных задач и закрепить свои знания, решая задачи, сгруппированные в конце учебного пособия по уровню сложности: *-второй уровень; **-третий уровень.

☞ Если вас нервируют трудные задачи, то не расстраивайтесь: для начала выберите задачи начального уровня. Решая самые простые задачи, вы постепенно приобретаете уверенность в своих силах.

☞ Помните: только ваша настойчивость, сила воли и желание понять материал помогут вам и вашему преподавателю испытать счастье совместного труда и достичь замечательных результатов.

Желаем творческих успехов в вашей нелегкой самостоятельной учебной деятельности!!!

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Электрическим током называют любое направленное движение электрических зарядов.

За направление тока условно принимают направление движения положительных зарядов.

Условия возникновения электрического тока:

- наличие свободных носителей заряда;
- наличие электрического поля.

Сила тока (I) – СФВ, являющаяся количественной мерой электрического тока и численно равная заряду, перенесённому через поперечное сечение проводника в единицу времени. [I] = А:

$$I(t) = \frac{dQ}{dt}. \quad (1)$$

Электрический ток называют **постоянным**, если его сила и направление не изменяются с течением времени. Для постоянного тока

$$I = \frac{Q}{t}. \quad (2)$$

Плотность тока \vec{j} – ВФВ, характеризующая интенсивность упорядоченного движения зарядов и численно равная силе тока, проходящего через единицу площади поперечного сечения проводника, перпендикулярного направлению тока [j] = А/м²:

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} \vec{n}. \quad (3)$$

Модуль плотности тока зависит от концентрации зарядов **n** и их средней скорости упорядоченного движения **v**:

$$j = ne \langle v \rangle. \quad (4)$$

Резистор – элемент цепи, основное функциональное назначение которого - оказывать сопротивление электрическому току.

Электрическое сопротивление R – СФВ, характеризующая способность проводников препятствовать протеканию тока и численно равная напряжению, приложенному к участку цепи при протекании через него тока силой 1 А. [R] = В/А = Ом:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (5)$$

Сопротивление проводника зависит от его размеров и формы, от свойств материала проводника и от температуры. Для однородного линейного проводника R прямо пропорционально его длине ℓ и обратно пропорционально площади поперечного сечения S :

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \quad (6)$$

где ρ – коэффициент пропорциональности, характеризующий материал проводника, называется *удельным сопротивлением*.

Удельное электрическое сопротивление однородного изотропного проводника ρ – СФВ, характеризующая способность проводника препятствовать протеканию электрического тока и численно равная сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью сечения 1 м^2 [ρ] = Ом·м:

$$\rho = \frac{R S}{\ell}. \quad (7)$$

Величина, обратная удельному сопротивлению, называется *удельной проводимостью*. [γ] = См/м:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}. \quad (8)$$

Удельное сопротивление (удельная проводимость) определяется химической природой вещества и условиями, при которых оно находится, в частности температурой.

Изменение удельного сопротивления, а следовательно, и сопротивления проводника с температурой описывается линейным законом:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_0(1 + \alpha t); \\ R &= R_0(1 + \alpha t), \end{aligned} \quad (9)$$

где ρ_0 и R_0 – удельное сопротивление и сопротивление проводника при температуре $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$;

ρ , R – удельное сопротивление и сопротивление проводника при температуре t ;

α – температурный коэффициент сопротивления, зависит от материала проводника.

Для изменения силы тока в цепи используют параллельное и последовательное соединения резисторов.

Параллельное соединение сопротивлений

Соединение называется параллельным, если все элементы включены между одними и теми же точками цепи (рис. 1).

При параллельном соединении разность потенциалов на всех резисторах одинакова. Сила тока в цепи равна сумме токов в ветвях (в соответствии с законом сохранения заряда):

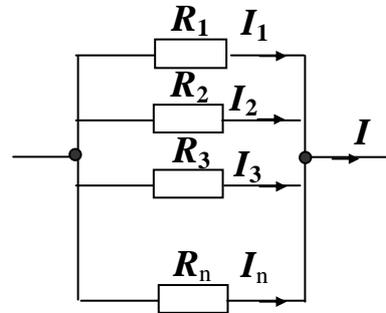


Рис. 1

$$\Delta\varphi = \text{const } I = \sum_{i=1}^n I_i ;$$

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_i} . \quad (10)$$

Последовательное соединение сопротивлений

Соединение называют последовательным, если каждый вывод элемента цепи соединён только с одним выводом другого элемента цепи (рис. 2).

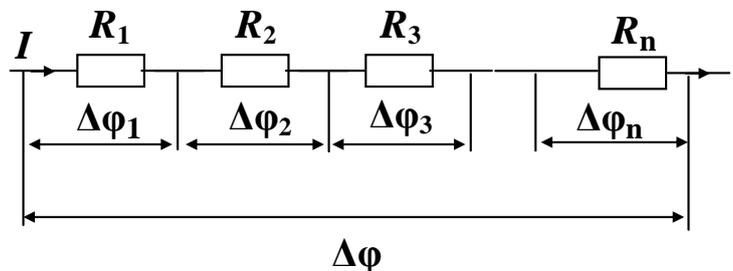


Рис. 2.

При последовательном соединении сила тока одинаковая, а разность потенциалов между крайними точками цепи равна сумме разностей потенциалов на всех резисторах:

$$I = \text{const } \Delta\varphi = \sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i ;$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n . \quad (11)$$



Задания для самопроверки к разделу 1

1. Условия существования постоянного тока на участке цепи:

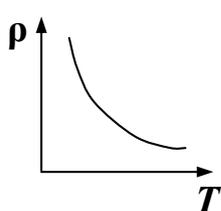
- 1) цепь должна быть замкнута;
- 2) в цепи должны быть свободные носители заряда;
- 3) должна поддерживаться постоянная разность потенциалов;
- 4) сопротивление внешнего участка цепи должно быть значительно больше внутреннего сопротивления.

а) 1; б) 1, 3; в) 2, 3; г) 1, 2.

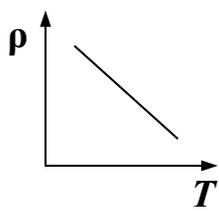
2. Упорядоченным движением каких частиц создается электрический ток в металлах?

- а) положительных ионов; б) отрицательных ионов;
- в) электронов;
- г) положительных и отрицательных ионов и электронов.

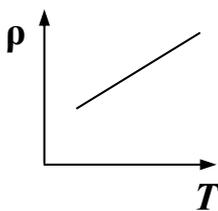
3. Какой из графиков представляет зависимость удельного сопротивления от температуры в области комнатных температур?



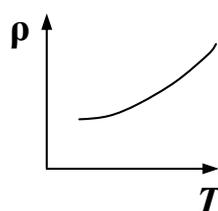
а)



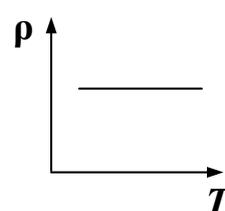
б)



в)



г)



д)

4. Два проводника одинаковой длины изготовлены из одного материала и находятся при одинаковой температуре. Площадь поперечного сечения у первого проводника в 4 раза больше, чем второго. Укажите верное соотношение:

- а) $R_1 = 2R_2$; б) $R_1 = 3R_2$;
- в) $R_2 = 4R_1$; г) $R_2 = 16R_1$.

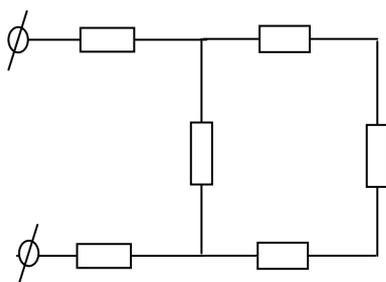
5. Сопротивления двух проводников круглого сечения одинаковой длины и материала ($R_1:R_2$) относятся как 1:2. Какой из них тяжелее и во сколько раз?

- а) второй тяжелее первого в 2 раза;
- б) первый тяжелее второго в 2 раза;
- в) второй тяжелее первого в 4 раза;
- г) первый тяжелее второго в 4 раза;
- д) масса проводников одинакова.

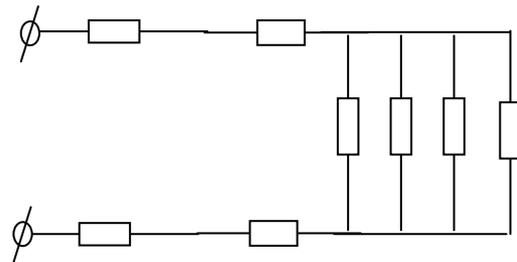
6. Восемь проводников сопротивлением по 20 Ом каждый соединены по два последовательно в четыре параллельных участка цепи. Определите общее сопротивление цепи:

- а) 160 Ом; б) 80 Ом; в) 40 Ом; г) 10 Ом.

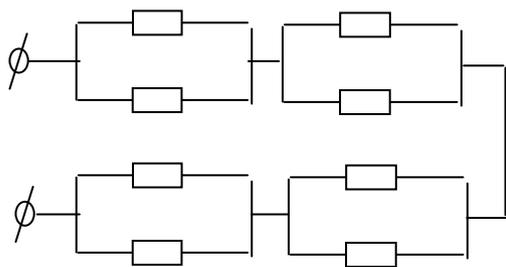
7. Определите полное сопротивление цепи, если сопротивления всех проводников одинаковые и равны R ?



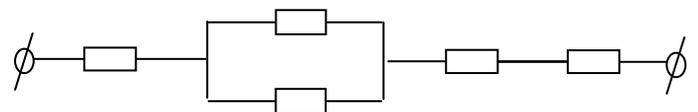
а)



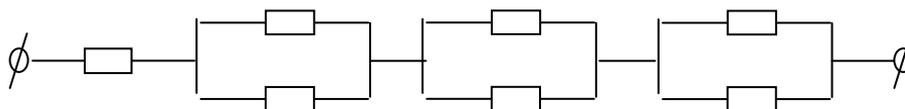
б)



в)



г)



д)

2 СТОРОННИЕ СИЛЫ, ЭДС ИСТОЧНИКА ТОКА

Для существования постоянного тока необходимо устройство, в котором на одном из полюсов создаётся избыток свободных зарядов, а на другом – недостаток. Эту работу осуществляют *сторонние силы*.

Сторонние силы – силы, имеющие неэлектрическую природу, но обладающие способностью воздействовать на электрические заряды.

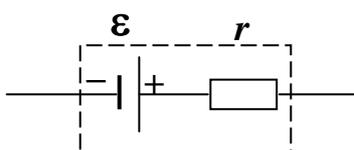


Рис. 3.

Источник тока – устройство, в котором за счёт работы сторонних сил осуществляется разделение электрических зарядов и их концентрация на специальных проводниках, называемых *полюсами*.

В источниках тока за счёт работы сторонних сил происходит преобразование различных видов энергии в электрическую энергию. Природа сторонних сил может быть разной: электрохимической (разделение зарядов под действием химических реакций), электромагнитной (движение разноименно заряженных частиц в магнитном поле под действием силы Лоренца в противоположные стороны), термоэлектрической, и др.

Источники тока характеризуются электродвижущей силой (ЭДС) ε и внутренним сопротивлением r (рис. 3). На электрических схемах, как правило, внутренние сопротивления не рисуются.

ЭДС источника тока ε - СФВ, являющаяся энергетической характеристикой источника тока, характеризующая способность сторонних сил разделять электрические заряды и численно равная работе сторонних сил по перемещению единичного, положительного точечного заряда по участку цепи или по замкнутому контуру. $[\varepsilon] = \text{Дж/Кл} = \text{В}$:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{Q_0}. \quad (12)$$

При *последовательном соединении* источников тока ЭДС батареи равна алгебраической сумме ЭДС (с учетом знака полю-

сов при обходе), а внутреннее сопротивление – сумме внутренних сопротивлений всех источников, составляющих батарею, т. е.

$$\varepsilon_{\text{посл}} = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i; \quad r_{\text{посл}} = \sum_{i=1}^N r_i. \quad (13)$$

Если при обходе *входишь в «-», а выходишь из «+»*, то ЭДС пишется со знаком “+”, и наоборот.

Например, для батареи на рис. 4:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4 - \varepsilon_5; \quad r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$$

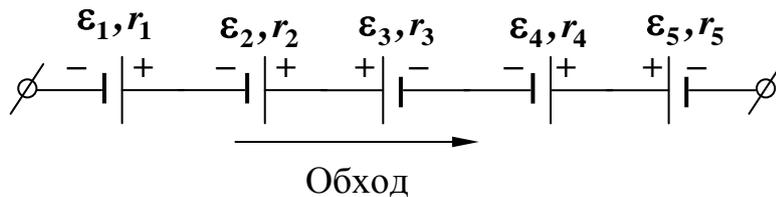


Рис. 4.

Разность потенциалов $\Delta\varphi$ – СФВ, являющаяся энергетической характеристикой электростатического поля и численно равная работе, совершаемой электростатическими силами по перемещению единичного положительного точечного заряда из начальной точки в конечную:

$$-\Delta\varphi = \frac{A_{\text{эл}}}{Q_0}. \quad (14)$$

Знак «-» означает, что силы электростатического поля перемещают заряд в сторону, противоположную сторонним силам.

Напряжение U – СФВ, характеризующая работу сил любой природы при протекании тока в электрической цепи, численно равная работе результирующей силы по перемещению единичного, положительного заряда между данными точками цепи:

$$U = \frac{A_{\text{рез}}}{Q_0} = \frac{A_{\text{ст}} + A_{\text{эл}}}{Q_0} = \varepsilon - \Delta\varphi. \quad (15)$$

Часто студенты при решении задач понятия «напряжение» и «разность потенциалов» не различают. Чтобы понимать конкретное содержание каждого понятия, ещё раз запишем:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{Q_0}; \quad -\Delta\varphi = \frac{A_{\text{эл}}}{Q_0}; \quad U = \frac{A_{\text{рез}}}{Q_0}.$$

3. ЗАКОН ОМА

Закономерность, связывающая параметры электрического тока и характеристики электрической цепи, экспериментально была установлена в 1826 г. немецким физиком Г. Омом.

Закон Ома в дифференциальной форме устанавливает зависимость между плотностью тока (\vec{j}), удельной проводимостью проводника (γ) и напряженностью электрического поля (\vec{E}):

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}. \quad (16)$$

Закон Ома: сила тока, текущего по участку цепи, пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка.

Закон Ома в интегральной форме имеет вид:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (17)$$

Для решения практических задач, с учетом определения напряжения (15) и характеристик источника тока, нужно применять **обобщенный закон Ома в интегральной форме** (или закон Ома для полной цепи):

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \varepsilon}{R + r}. \quad (18)$$

В зависимости от электрической цепи, форма записи закона Ома изменяется.

Рассмотрим частные случаи:

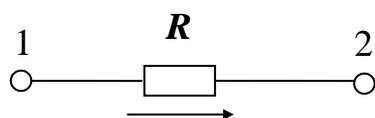


Рис. 5.

1. Однородный участок цепи

Участок цепи называется **однородным**, если на нём действуют только электрические силы, т. е. участок, **не содержащий источника тока** (рис. 5).

Следовательно, для однородного участка $\varepsilon = 0$; $r = 0$.

Из формулы (18) следует:

$$U = -\Delta\varphi = -(\varphi_2 - \varphi_1) = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Закон Ома для однородного участка можно записать:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} \quad (19)$$

2. Неоднородная цепь

Электрическая цепь называется **неоднородной**, если в ней действуют и электрические, и сторонние силы, т. е. участок, **содержащий источник тока**, а также другие элементы (рис. 6).

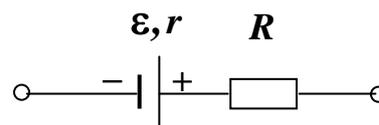


Рис. 6.

При этом возможны два случая:

- Неоднородная цепь разомкнута (рис. 7)

Если неоднородная цепь разомкнута, то ток через неё не протекает ($I = 0$) $\Rightarrow U = 0$. Так как заряды не переносятся ни сторонними, ни электрическими силами, тогда

$$\varepsilon = \Delta\varphi,$$

т. е. разность потенциалов на границах разомкнутого участка цепи равна алгебраической сумме ЭДС всех источников тока, включённых в этот участок. В частности, разность потенциалов на полюсах разомкнутого источника равна его ЭДС.

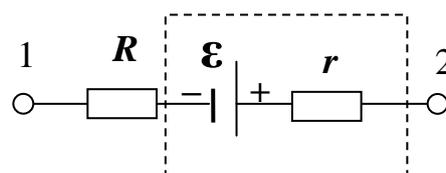


Рис. 7.

- Неоднородная цепь замкнута (рис. 8)

Если неоднородная цепь замкнута, то работа электрических сил по замкнутому контуру равна нулю, т. е. $\Delta\varphi = 0$, тогда в формуле (18) $U = \varepsilon$.

Закон Ома для замкнутой неоднородной цепи будет иметь вид:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (20)$$

Эта формула используется при расчете токов в разветвленных цепях по правилам Кирхгофа.

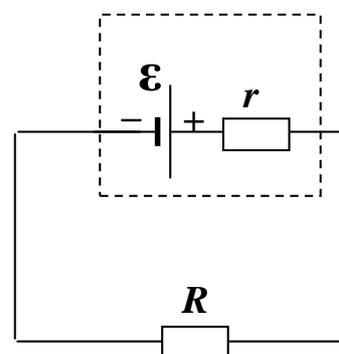
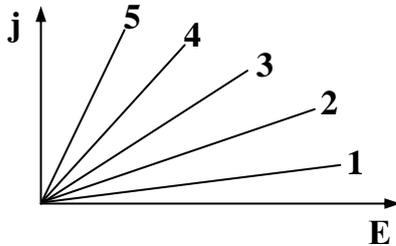


Рис. 8.



Задания для самопроверки к разделу 3



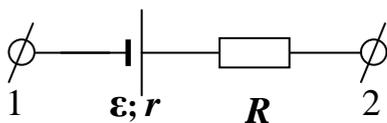
1. На рисунке изображены графики зависимости плотности тока от напряженности электрического поля в металлическом проводнике, полученные при различных температурах. Какой график соответствует самой высокой температуре?

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5.

2. Найти силу, действующую со стороны электрического поля на свободный электрон в медном проводнике ($\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) сечением $S = 0,17 \text{ мм}^2$, по которому течет ток силой $I = 0,20 \text{ А}$ (заряд электрона $\bar{e} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$):

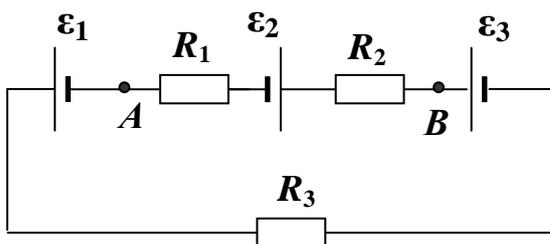
- а) $3,2 \cdot 10^{-21} \text{ Н}$; б) $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$; в) $1,25 \cdot 10^{17} \text{ Н}$;
г) $0,018 \text{ Н}$ д) $3,4 \cdot 10^{-19} \text{ Н}$. е) $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Н}$

3. Какой ток протекает по участку цепи, если $\mathcal{E} = 2 \text{ В}$; $r = 0,5 \text{ Ом}$; $R = 1,5 \text{ Ом}$; $\varphi_1 = 3 \text{ В}$; $\varphi_2 = 1 \text{ В}$?



- а) $0,8 \text{ А}$; б) 2 А ; в) 0 ;
г) $1,6 \text{ А}$; д) -3 А . е) 1

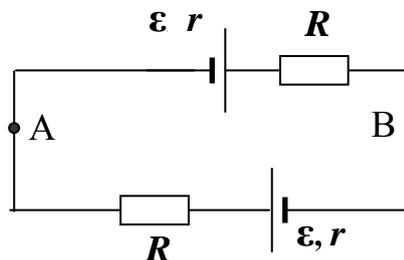
4. Чему равна разность потенциалов между точками A и B , если $\mathcal{E}_1 = 2 \text{ В}$; $\mathcal{E}_2 = 5 \text{ В}$; $\mathcal{E}_3 = 2 \text{ В}$; $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$?
Внутренними сопротивлениями источников пренебречь:



- а) $\varphi_A - \varphi_B = 1,5 \text{ В}$;
б) $\varphi_A - \varphi_B = 0$;
в) $\varphi_A - \varphi_B = -2 \text{ В}$;
г) $\varphi_A - \varphi_B = -4,4 \text{ В}$;
д) $\varphi_A - \varphi_B = 3,2 \text{ В}$;
е) $\varphi_A - \varphi_B = -5 \text{ В}$

5. Найти разность потенциалов между точками А и В, если значения \mathcal{E} , внутренних сопротивлений источников r и активного сопротивления R одинаковые.

- а) 0; б) $2\mathcal{E}$;
 в) \mathcal{E} ; г) $\mathcal{E}/2$;
 д) $-\mathcal{E}$; е) $-2\mathcal{E}$.



4. ЗАКОН ДЖОУЛЯ - ЛЕНЦА. МОЩНОСТЬ. КПД

Если ток протекает по неподвижному проводнику, то вся работа тока идёт на его нагревание.

Закон Джоуля Ленца: Если проводник неподвижен и в нём не совершаются химические реакции, то величина тепловой энергии, выделившейся при протекании постоянного тока, пропорциональна квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени.

В дифференциальной форме:

$$dQ = IU \cdot dt = I^2 R \cdot dt = \frac{U^2}{r} dt. \quad (20)$$

В интегральной форме:

$$Q = IU \cdot t = I^2 R \cdot t = \frac{U^2}{r} t, \quad (21)$$

где Q – количество теплоты, выделившееся в проводнике сопротивлением R за время t . $[Q] = \text{Дж}$.

По определению, мощность численно равна работе в единицу времени. Мощность постоянного тока

$$P = \frac{dA}{dt} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (22)$$

При любом соединении резисторов общая мощность равна сумме мощностей, выделившихся на каждом резисторе:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i.$$

Работа, совершаемая во всей замкнутой цепи, определяется ЭДС. Но не вся работа совершается в том участке цепи, который является полезной нагрузкой. Часть энергии источника расходу-

ется непроизводительно, поэтому вводят такую характеристику цепи, как коэффициент полезного действия (КПД).

КПД (η) – СФВ, характеризующая эффективность процессов передачи и преобразования энергии и численно равная отношению полезно используемой энергии ко всей энергии, затраченной системой (или отношению полезной работы или ко всей работе, совершённой системой).

Для электрической цепи КПД находят как отношение полезной мощности (мощности, которая выделяется во внешней цепи или на нагрузке) к полной или затраченной мощности (мощности, которую вырабатывает источник питания):

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затр}}} = \frac{I \cdot U}{I \cdot \varepsilon} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{IR_{\text{н}}}{I(R_{\text{н}} + r)} = \frac{R_{\text{н}}}{(R_{\text{н}} + r)}, \quad (23)$$

где U – напряжение на полезной нагрузке.

Короткое замыкание источника тока – это соединение его зажимов проводником с ничтожно малым сопротивлением. Сила тока при коротком замыкании источника:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r} \quad (24)$$



Задания для самопроверки к разделу 4

1. Три резистора, имеющие сопротивления $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$ и $R_3 = 9 \text{ Ом}$, включены последовательно в цепь постоянного тока. Чему равно отношение ($P_1:P_2:P_3$) мощностей электрического тока на этих резисторах?

а) 1:1:1;

б) 1:2:3;

в) 3:2:1;

г) 1:4:9.

2. На каком сопротивлении выделится наибольшее количество теплоты, если $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$?

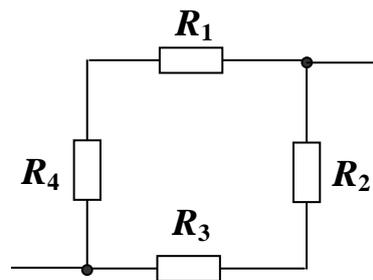
а) R_3 ;

б) R_2 ;

в) R_1 ;

г) R_4 .

д) одинаково



3. На одной лампочке написано: «220 В, 60 Вт», на другой – «110 В, 30 Вт». Сопротивление какой лампочки больше?

а) сопротивление первой больше;

б) сопротивление второй больше;

в) сопротивления одинаковы;

г) среди ответов нет правильного.

4. Какая из лампочек потребляет большую мощность и во сколько раз, если $R_2 = 3R_1$?

а) $P_2 = 3P_1$;

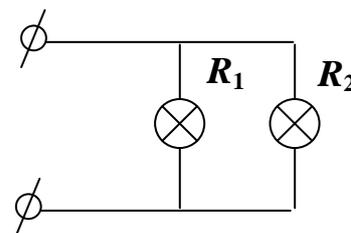
б) $P_1 = 2P_2$;

в) $P_1 = P_2$;

г) $P_1 = 3P_2$;

д) $P_1 = 0,5P_2$

е) $P_1 = 9P_2$



5. Как изменятся тепловые потери в линии электропередачи, если будет использоваться напряжение 110 кВ вместо 11 кВ при условии передачи одинаковой мощности?

- а) увеличатся в 10 раз; б) уменьшатся в 10 раз;
в) увеличатся в 100 раз; г) уменьшатся в 100 раз;
д) не изменятся.

6. При каком условии мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи, максимальна?

- а) $R \rightarrow \infty$; б) $r = R$; в) $r \rightarrow \infty$;
г) $R \rightarrow 0$; д) $r \rightarrow 0$; е) $R = 2r$.

7. Два нагревателя подключаются к источнику питания сначала последовательно, затем – параллельно. В каком случае КПД больше?

- а) в первом; б) в обоих случаях одинаково;
в) во втором; г) среди ответов нет правильного.

8. При каком условии КПД источника тока стремится к 1?

- а) $R = 0,5r$ б) $R = r$; в) $r \rightarrow \infty$;
г) $R = 0$. д) $r \rightarrow 0$; е) $R = 2r$

9. Чему равен КПД источника при коротком замыкании?

- а) числу, < 1 , зависящему от сопротивления внешней цепи;
б) 0; в) 1; г) 0,5;
д) числу, < 1 , зависящему от сопротивления источника.



Примеры решения задач

Задача 1. В проводнике за время Δt при равномерном возрастании тока от I_0 до I выделилось количество теплоты Q . Найти сопротивление проводника.

Решение. Закон Джоуля в виде

$$Q = I^2 R \cdot t$$

можно применять только в случае постоянного тока ($I = \text{const}$). Если же сила тока в проводнике изменяется, то указанный закон справедлив для бесконечно малого промежутка времени dt и записывается в виде

$$dQ = I^2 R \cdot dt.$$

Здесь сила тока изменяется по линейному закону (рис. 9)

$$I = I_0 + kt,$$

где k – коэффициент пропорциональности, равный отношению приращения силы тока к интервалу времени, за который произошло это приращение

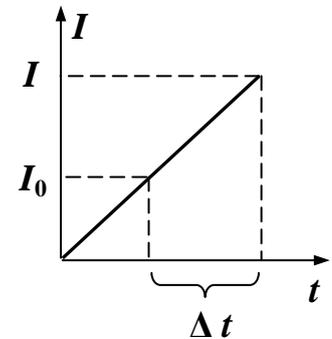


Рис. 9.

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Тогда количество теплоты, выделившееся в проводнике за время dt

$$dQ = (I_0 + kt)^2 R \cdot dt = (I_0^2 + 2I_0kt + k^2t^2) R dt.$$

Количество теплоты, выделившееся в проводнике за время t :

$$\begin{aligned} Q &= \int_{\Delta t} dQ = R \int_{\Delta t} (I_0^2 + 2I_0kt + k^2t^2) dt = \\ &= R \left[I_0^2 \int_{\Delta t} dt + 2I_0k \int_{\Delta t} t dt + k^2 \int_{\Delta t} t^2 dt \right] = R \left(I_0^2 \Delta t + \frac{2I_0k \Delta t^2}{2} + \frac{k^2 \Delta t^3}{3} \right) = \\ &= R \left(I_0^2 \Delta t + I_0 \frac{\Delta I \cdot \Delta t^2}{\Delta t} + \frac{\Delta I^2 \cdot \Delta t^3}{3 \Delta t^2} \right) = \\ &= R \left(I_0^2 \cdot \Delta t + I_0 \cdot \Delta I \cdot \Delta t + \frac{1}{3} \Delta I^2 \Delta t \right) = R \Delta t \left(I_0^2 + I_0 \Delta I + \frac{1}{3} \Delta I^2 \right). \end{aligned}$$

С учетом того, что $\Delta I = I - I_0$, получим:

$$\begin{aligned}
 Q &= R\Delta t \left[I_0^2 + I_0(I - I_0) + \frac{1}{3}(I - I_0)^2 \right] = \\
 &= R\Delta t \left[I_0^2 + I_0I - I_0^2 + \frac{1}{3}(I^2 - 2I \cdot I_0 + I_0^2) \right] = \\
 &= R\Delta t \left(I_0I + \frac{1}{3}I^2 - \frac{2}{3}I I_0 + \frac{I_0^2}{3} \right) = \frac{R\Delta t(I^2 + I_0I + I_0^2)}{3} \Rightarrow \\
 R &= \frac{3Q}{\Delta t(I^2 + I_0I + I_0^2)}
 \end{aligned}$$

Задача 2. Найти ЭДС ε и внутреннее сопротивление аккумулятора r , если при токе I_1 он отдает во внешнюю цепь мощность P_1 , а при токе I_2 – мощность P_2 .

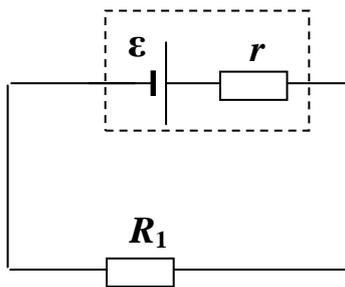


Рис. 10.

Решение. Сила тока меняется в том случае, если меняется сопротивление нагрузки (рис. 10).

Так как источник один и тот же, запишем для двух нагрузок:

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r)$$

$$\varepsilon = I_2(R_2 + r).$$

Приравняв правые части, получим:

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r),$$

где r – внутреннее сопротивление источника.

Выразим силу тока из формулы мощности:

$$P = I^2 R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}};$$

$$\sqrt{\frac{P_1}{R_1}}(R_1 + r) = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}}(R_2 + r)$$

ИЛИ

$$\sqrt{P_1 R_1} + \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} r = \sqrt{P_2 R_2} + \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} r.$$

Отсюда внутреннее сопротивление источника

$$r = \frac{\sqrt{P_1 R_1} - \sqrt{P_2 R_2}}{\sqrt{\frac{P_2}{R_2}} - \sqrt{\frac{P_1}{R_1}}}$$

Зная внутреннее сопротивление, можно найти ЭДС источника.

Задача 3. Батарея с ЭДС $\varepsilon = 16$ В замкнута на прибор. Сила тока в приборе $I = 2$ А, КПД батареи $\eta = 75\%$. Определить внутреннее сопротивление r батареи.

Решение. Прибор является полезной нагрузкой (рис. 11). Из формулы КПД электрической цепи (23) выразим напряжение на нагрузке (приборе):

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon} \Rightarrow U = \varepsilon \cdot \eta.$$

Из закона Ома для замкнутой цепи выразим ЭДС источника тока.

$$\varepsilon = I(R_{\text{н}} + r) = IR_{\text{н}} + Ir = U + Ir.$$

Отсюда выразим внутреннее сопротивление, в которое подставим напряжение из формулы КПД. Окончательно получим:

$$r = \frac{\varepsilon - U}{I} = \frac{\varepsilon - \varepsilon \eta}{I} = \frac{\varepsilon(1 - \eta)}{I} = \frac{16(1 - 0,75)}{2} = 2 \text{ Ом.}$$

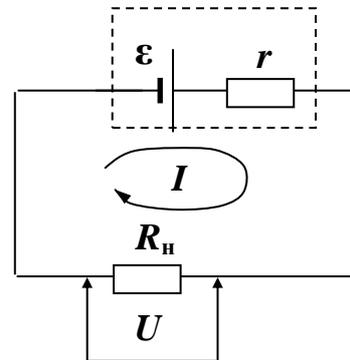


Рис. 11.

5. ШУНТЫ И ДОБАВОЧНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Шунты и добавочные сопротивления – это резисторы, подключаемые соответственно к амперметру или вольтметру для увеличения их пределов измерения. Для решения этих практических вопросов нужно хорошо знать соотношение между токами, сопротивлениями и напряжениями при последовательном и параллельном соединениях.

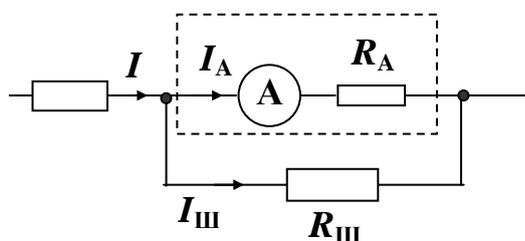


Рис. 12

Для измерения силы тока (I) на участке цепи амперметр включают последовательно, так как $I = I_A$. Прежде чем подключать прибор, необходимо определить максимально возможный ток, который он может измерить. Для этого нужно определить предел измерения прибора. Предположим, что измеряемый ток $I > I_A$. Если мы попытаемся его измерить нашим прибором, то прибор будет зашкаливать и даже может сгореть. Во избежание этого, параллельно амперметру включаем шунт (рис. 12), сопротивление которого $R_{\text{ш}}$ необходимо рассчитать:

$$I = I_A + I_{\text{ш}} = I_A + \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}} = I_A + \frac{I_A R_A}{R_{\text{ш}}} \Rightarrow R_{\text{ш}} = \frac{I_A R_A}{I - I_A}$$

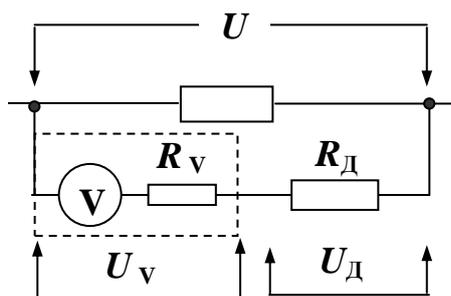


Рис.13

Для измерения напряжения (U) на участке цепи, вольтметр подключают параллельно этому участку, так как $U = U_V$. Перед подключением определяем предел измерения вольтметра. Если нужно измерить напряжение, большее, чем позволяет прибор $U > U_V$, то последовательно с вольтметром подключаем добавочное сопротивление $R_{\text{д}}$ (рис. 13), которое рассчитывается следующим образом:

$$U = U_V + U_{\text{д}} = U_V + I_V R_{\text{д}} = U_V + \frac{U_V}{R_V} R_{\text{д}} \Rightarrow R_{\text{д}} = \frac{(U - U_V) R_V}{U_V}$$

Используя шунты и добавочные сопротивления, один и тот же прибор можно применять для измерения и силы тока и напряжения.



Примеры решения задач

Задача 4. Внутреннее сопротивление амперметра 720 Ом, его шкала рассчитана на 300 мкА. Как и какое сопротивление нужно подключить, чтобы прибором можно было измерять:

1. напряжение до 300 В;
2. силу тока до 1 мА?

Решение. 1. Для того чтобы амперметром измерить напряжение, его нужно подключить так же, как вольтметр на рис. 13. Сначала определим максимальное напряжение, которое можно измерить прибором:

$$U_A = I_A R_A.$$

Поскольку оно больше того, которое нужно измерить, то последовательно с амперметром подключаем добавочное сопротивление R_D

$$R_D = \frac{U_D}{I_D} = \frac{U - U_A}{I_A} = \frac{U - I_A R_A}{I_A}.$$

Подставив числовые данные, получим:

$$R_D = \frac{300 - 300 \cdot 10^{-6} \cdot 720}{300 \cdot 10^{-6}} = 999280 \text{ Ом}.$$

2. Поскольку шкала амперметра рассчитана на меньший ток, чем нам нужно измерить, то разность токов $(I - I_A)$ нужно пустить в «обход», т. е. параллельно прибору подключить резистор $R_{ш}$ (зашунтировать). Сопротивление шунта рассчитаем из закона Ома:

$$R_{ш} = \frac{U_{ш}}{I_{ш}} = \frac{U_A}{I - I_A} = \frac{I_A R_A}{I - I_A}.$$

Подставив числовые данные, получим:

$$R_{ш} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 720}{(1 - 0,3) \cdot 10^{-3}} = 309 \text{ Ом}.$$

6. РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ ПО ПРАВИЛАМ КИРХГОФА

В случае сложных разветвленных цепей расчёт удобно проводить с помощью двух правил Кирхгофа.

Любая точка разветвления цепи, в которой сходится не менее трех проводников с током, называется *узлом*.

Любая замкнутая цепь называется *контуром*.

Участок цепи между двумя узлами называется *ветвью*.

Первое правило Кирхгофа (для узлов): алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_k I_k = 0 \quad (25)$$

При этом ток, входящий в узел, считается *положительным*, а выходящий из узла – *отрицательным*.

Первое правило Кирхгофа вытекает из закона сохранения заряда.

Второе правило Кирхгофа (для контуров): в любом произвольно выбранном замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на всех элементах равна алгебраической сумме ЭДС всех источников тока, встречающихся в этом контуре.

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k \cdot \quad (26)$$

Это правило получается из обобщённого закона Ома для разветвлённых цепей.

Опираясь на первое и второе правила Кирхгофа, можно составить систему линейных уравнений, решение которых позволит по известным параметрам цепи определить значения токов в цепи, и наоборот.

Методика расчёта цепей по правилам Кирхгофа.

- а) Выбрать произвольное направление токов на всех участках цепи, отметив их на чертеже стрелками. **ВНИМАНИЕ: по одной ветви может протекать только один ток!**
- б) Выбрать произвольно направление обхода контуров. Оно должно быть **ЕДИНЫМ** во всех контурах (по направлению часовой стрелки либо против).

- в) Составить столько уравнений, чтобы их число было равно числу искомых величин (как правило, равное числу ветвей).
- г) По **первому** правилу Кирхгофа число уравнений должно быть равно $(k - 1)$, где k – число узлов, остальные уравнения – по второму правилу Кирхгофа.
- д) Контуры следует выбирать так, чтобы каждый рассматриваемый контур содержал хотя бы одну новую ветвь цепи, не входящую в другие уже использованные контуры.
- е) Составляя уравнения, необходимо соблюдать **правила знаков**:
- Ток, входящий в узел, считается *положительным*, а выходящий из узла – *отрицательным*.
 - Напряжение (IR) считается *положительным*, если выбранное направление тока *совпадает* с выбранным направлением обхода контура.
 - ЭДС считается *положительной*, если она способствует протеканию тока в заданном направлении обхода (если при обходе *входишь в «-», а выходишь из «+»*, то ЭДС пишется со знаком “+”, и наоборот).
- ж) Для упрощения выкладок, связанных с решением полученной системы, предварительно подставить числовые значения всех известных величин.
- з) Решить полученную систему с помощью определителей или методом подстановки.
- и) Если в полученном ответе какой - либо ток будет иметь знак «-», это значит, что в действительности ток течет в обратном направлении.
- к) Если же в задаче определяется сопротивление какой - либо ветви и в результате решения получится отрицательное значение сопротивления, это также свидетельствует о неправильном выборе направления тока на данном участке. 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 ее, определить искомое сопротивление.



Примеры решения задач

Задача 5. Составить систему уравнений для электрической схемы, представленной на рис. 14. Считать известными значения всех \mathcal{E} , сопротивлений R и внутренних сопротивлений источников r .

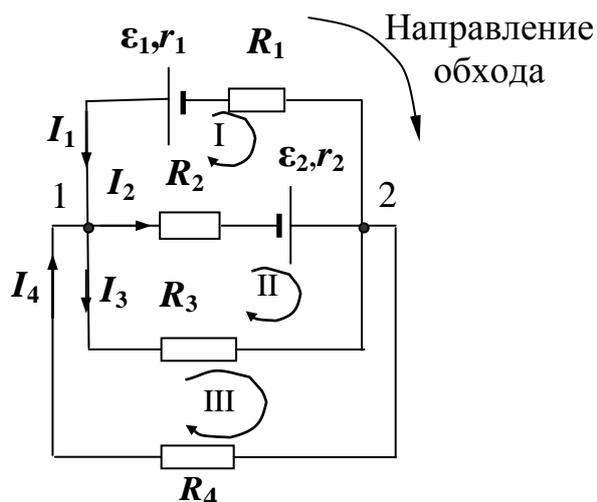


Рис. 14.

Решение. Используя предложенную выше методику расчета, составим систему, состоящую из четырех уравнений, так как в схема содержит четыре ветви, а следовательно, четыре неизвестных тока.

Выберем произвольно направления токов

Выберем направление обхода контуров – по ходу часовой стрелке.

Так как схема содержит два узла, то по первому правилу Кирхгофа будет только одно уравнение: либо для узла 1, либо для узла 2. Рассмотрим узел 1. Токи I_1 и I_4 входят в узел, поэтому они пишутся со знаком «+», остальные токи выходят из узла, поэтому они пишутся со знаком «-».

По второму правилу Кирхгофа будет три уравнения: для контуров I, II и III, обозначенных на схеме круговыми стрелками.

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0 & \text{для узла 1} \\ -I_1(R_1 + r_1) - I_2(R_2 + r_2) = -\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 & \text{для контура I} \\ I_2(R_2 + r_2) - I_3 R_3 = \mathcal{E}_2 & \text{для контура II} \\ I_3 R_3 + I_4 R_4 = 0 & \text{для контура III} \end{cases}$$

Решить эту систему можно методом подстановки либо методом определителей.

* Решим данную систему методом определителей (детерминантов). Для простоты примем, что внутренние сопротивления

источников пренебрежимо малы, т. е. $r_1 = r_2 = 0$. Перепишем полученную систему в виде:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0 \\ -R_1 I_1 - R_2 I_2 + 0 \cdot I_3 + 0 \cdot I_4 = -\varepsilon_1 - \varepsilon_2 \\ 0 \cdot I_1 + R_2 I_2 - R_3 I_3 + 0 \cdot I_4 = \varepsilon_2 \\ 0 \cdot I_1 + 0 \cdot I_2 + R_3 I_3 + R_4 I_4 = 0 \end{cases}$$

Каждый из токов находится как $I_i = \frac{\Delta I_i}{\Delta}$. Рассчитаем определитель системы Δ :

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ -R_1 & -R_2 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 - R_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & R_4 \end{vmatrix} = 1 \cdot (-1)^{(1+1)} \begin{vmatrix} -R_2 & 0 & 0 \\ R_2 - R_3 & 0 \\ 0 & R_3 & R_4 \end{vmatrix} - \\ &- 1 \cdot (-1)^{(1+2)} \begin{vmatrix} -R_1 & 0 & 0 \\ 0 & -R_3 & 0 \\ 0 & R_3 & R_4 \end{vmatrix} - 1 \cdot (-1)^{(1+3)} \begin{vmatrix} -R_1 & -R_2 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_4 \end{vmatrix} + \\ &+ 1 \cdot (-1)^{(1+4)} \begin{vmatrix} -R_1 & -R_2 & 0 \\ 0 & R_2 - R_3 \\ 0 & 0 & R_3 \end{vmatrix} = \\ &= 1[-R_2(-R_3R_4)] + 1[-R_1(-R_3R_4)] - 1[-R_1(R_2R_4)] - 1[-R_1(R_2R_3)] = \\ &= R_2R_3R_4 + R_1R_3R_4 + R_1R_2R_4 + R_1R_2R_3. \end{aligned}$$

Подставляем числовые значения из условий задачи и вычисляем.

Определитель для каждого тока получаем заменой соответствующего столбца определителя Δ столбцом, составленным из свободных членов уравнений системы, например:

$$\begin{aligned}
\Delta I_1 &= \begin{vmatrix} \mathbf{0} & -\mathbf{1} & -\mathbf{1} & \mathbf{1} \\ (-\varepsilon_1 - \varepsilon_2) & -R_2 & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \varepsilon_2 & R_2 & -R_3 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & R_3 & R_4 \end{vmatrix} = \\
&= -\mathbf{1} \cdot (-\mathbf{1})^{(1+2)} \begin{vmatrix} (-\varepsilon_1 - \varepsilon_2) & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \varepsilon_2 & -R_3 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & R_3 & R_4 \end{vmatrix} - \\
&- \mathbf{1} \cdot (-\mathbf{1})^{(1+3)} \begin{vmatrix} (-\varepsilon_1 - \varepsilon_2) & R_2 & \mathbf{0} \\ \varepsilon_2 & R_2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & R_4 \end{vmatrix} + \\
&+ \mathbf{1} \begin{vmatrix} (-\varepsilon_1 - \varepsilon_2) & R_2 & \mathbf{0} \\ \varepsilon_2 & R_2 & -R_3 \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & R_3 \end{vmatrix} = \\
&= (-\varepsilon_3 - \varepsilon_2)(-R_3 R_4) + (\varepsilon_3 + \varepsilon_2)R_2 R_4 - (\varepsilon_3 + \varepsilon_2)R_2 R_3
\end{aligned}$$

Аналогично составляются и решаются определители для ΔI_2 и ΔI_3 .

Окончательно токи вычисляются по формулам:

$$I_1 = \frac{\Delta I_1}{\Delta}; I_2 = \frac{\Delta I_2}{\Delta}; I_3 = \frac{\Delta I_3}{\Delta}; I_4 = \frac{\Delta I_4}{\Delta}.$$



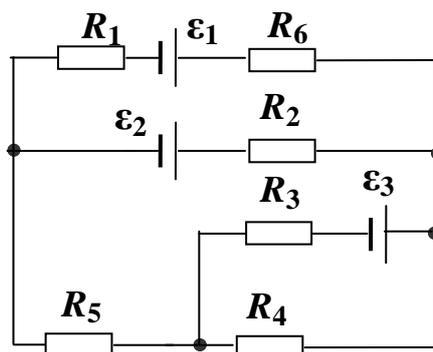
Задания для самопроверки к разделу 6

1. Для каких элементов схемы применяется первое правило Кирхгофа?

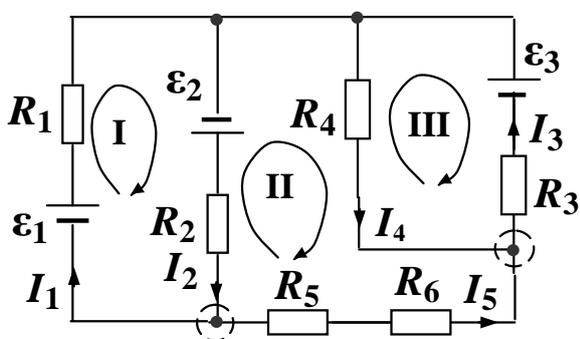
- | | | |
|-----------|-------------|------------------|
| а) контур | б) узел | в) источник тока |
| г) ветвь | д) резистор | е) участок цепи |

2. Сколько уравнений для данной схемы нужно составить по первому правилу Кирхгофа?

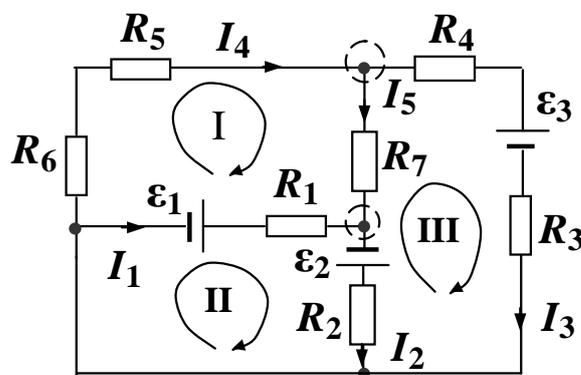
- | | | |
|------|------|------|
| а) 1 | б) 2 | в) 3 |
| г) 4 | д) 5 | е) 6 |



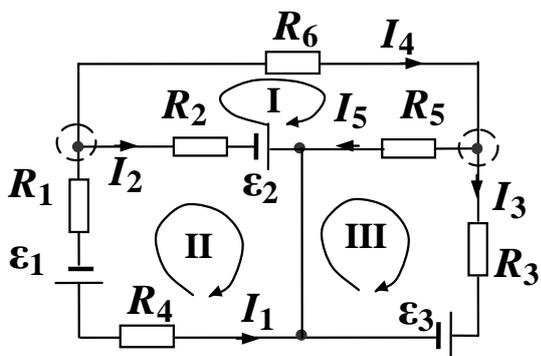
3. Используя первое и второе правила Кирхгофа, составить систему уравнений для данных схем при заданных направлениях тока. Контуры обходить по направлению часовой стрелки:



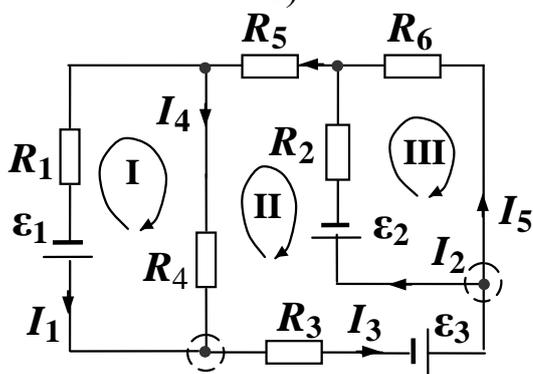
а)



б)



в)



г)

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Сопротивление проволоки 81 Ом. Её разрезали на несколько равных частей и соединили эти части параллельно, вследствие чего сопротивление стало равным 1 Ом. На сколько частей разрезали проволоку?

(9)

2. Две проволоки – нихромовая и стальная - имеют одинаковые массы. Длина стальной проволоки в 20 раз больше длины нихромовой. Удельное сопротивление нихрома в 10 раз больше удельного сопротивления стали, а плотность нихрома в 1,07 раза больше плотности стали. Во сколько раз отличаются их сопротивления?

$$\left(\frac{R_{\text{нихр}}}{R_{\text{стали}}} = 0,02675 \right)$$

3. Два цилиндрических проводника одинаковой длины и площади поперечного сечения, один из алюминия ($\rho = 26 \text{ нОм}\cdot\text{м}$), а другой из серебра ($\rho = 2,16 \text{ нОм}\cdot\text{м}$) соединены параллельно. Определить отношение мощностей P_1/P_2 .

(0,62)

4. Алюминиевая и медная проволоки имеют равные массы и одинаковые площади сечения. Какая из проволок имеет большее сопротивление и во сколько раз? ($\rho_{\text{Al}} = 1,65\rho_{\text{Cu}}$; плотность меди в 3,3 раза больше плотности алюминия).

(Сопротивление алюминиевой проволоки в 5,5 раз больше, чем сопротивление медной проволоки)

5. Найти сопротивление железного стержня диаметром $d = 1 \text{ см}$, если масса стержня $m = 1 \text{ кг}$ (плотность железа $\rho' = 7,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; удельное сопротивление железа $\rho = 8,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

$$\left(R = \frac{16\rho \cdot m}{\pi^2 d^4 \rho'} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \right)$$

6. Электросопротивление нити электрической лампы при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ равно 13 Ом, в накаленном состоянии

144 Ом. До какой температуры нагревается вольфрамовая нить, если температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}$ град⁻¹?

(2,24·10³ °C)

7. Электрическая цепь состоит из батареи, реостата и потребителя. При силе тока $I_1 = 3$ А во внешней цепи батареи выделяется мощность $P_1 = 18$ Вт, при силе тока $I_2 = 1$ А – мощность $P_2 = 10$ Вт. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

(2 Ом; 12 В)

8. Обмотка электрокипятильника имеет две секции. Если включена одна секция, то вода закипает через $t_1 = 15$ минут; если включена вторая секция, то вода закипает через $t_2 = 30$ минут. Через сколько минут закипит вода, если включить обе секции параллельно?

(10 мин.)

9. Найти разность потенциалов на медном проводе длиной $l = 500$ м и диаметром $d = 2$ мм, если ток в нём $I = 2$ А (удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м).

(5,4 В)

10. По проводнику сопротивлением $R = 3$ Ом течет равномерно нарастающий от нуля ток. Количество теплоты, выделившееся в проводнике за $t = 8$ с, $Q = 200$ Дж. Определить количество электричества q , протекшее за это время по проводнику.

(20 Кл)

11. Для нагревания 4,5 литров воды от температуры $t_1 = 23^{\circ}$ С до температуры кипения нагреватель потребляет $Q = 0,5$ кВт·ч электрической энергии. Чему равен КПД нагревателя?

(81%)

12. Цена деления прибора $z = 1,5 \cdot 10^{-5}$ А/дел. Шкала прибора составляет $N = 200$ делений, его внутреннее сопротивление $R = 100$ Ом. Какие сопротивления нужно подключить к этому прибору и каким образом, чтобы можно было измерять напряжение до $U = 200$ В или ток до $I = 4$ А?

(Последовательно 67 кОм, параллельно 0,075 Ом)

13. * Определить плотность тока j в железном проводнике длиной $\ell = 10$ м, если провод находится под напряжением $U = 6$ В.

(6,1 МА/м²)

14. * Вычислить сопротивление R графитового проводника, изготовленного в виде прямого кругового усеченного конуса высотой $h = 20$ см и радиусами оснований $r_1 = 12$ мм и $r_2 = 8$ мм. Температура t проводника равна 20 °С.

(2,58 мОм)

15. * Зашунтированный амперметр измеряет токи силой до $I = 10$ А. Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление амперметра $R_A = 0,02$ Ом и сопротивление шунта $R_{ш} = 5$ мОм?

(2А)

16. Элемент, имеющий ЭДС $\mathcal{E} = 1,1$ В и внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом, замкнут на внешнее сопротивление $R = 9$ Ом. Найти ток в цепи, напряжение на внешнем элементе и напряжение на внутреннем сопротивлении источника.

(0,11 А; 0,99 В; 0,11 В)

17. При сопротивлении внешней цепи $R_1 = 1$ Ом напряжение на зажимах источника $U_1 = 1,5$ В, а при сопротивлении $R_2 = 2$ Ом напряжение $U_2 = 2$ В. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

(1 Ом, 3 В)

18. При подключении к источнику тока сопротивления $R_1 = 16$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 1$ А, а при подключении сопротивления $R_2 = 8$ Ом сила тока в цепи $I_2 = 1,8$ А. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

(18 В, 2 Ом)

19. Источник тока с ЭДС, 10 В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом, питает внешнюю цепь сопротивлением $R = 99$ Ом. Какое количество теплоты Q выделится во всей цепи за $t = 30$ минут?

(180 Дж)

20. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 12$ В, ток короткого замыкания $I_{кз} = 5$ А. Какую наибольшую мощность может дать батарея во внешней цепи?

(15 Вт)

21. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 20$ В. Сопротивление внешней цепи $R_1 = 2$ Ом, а ток $I = 4$ А. С каким КПД η_1 работает батарея? При каком внешнем сопротивлении R_2 КПД будет $\eta_2 = 99\%$?

(40 %, 297 Ом)

22. *Две группы из трех последовательно соединенных одинаковых источников питания соединены параллельно. ЭДС каждого элемента $\mathcal{E} = 1,2$ В, внутреннее сопротивление $r = 0,2$ Ом. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $R = 1,5$ Ом. Найти силу тока I во внешней цепи.

(2А)

23. ** Найти сопротивление проволочного каркаса, имеющего форму куба (рис.15), при включении его в цепь между точками:

- а) 1–7;
б) 1—2;
в) 1—3.

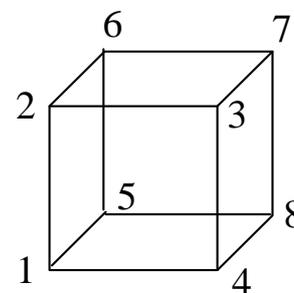


Рис. 15

Сопротивление каждого ребра каркаса равно R .

$$\left(\text{а) } \frac{5R}{6}; \quad \text{б) } \frac{7R}{12}; \quad \text{в) } \frac{7R}{4} \right)$$

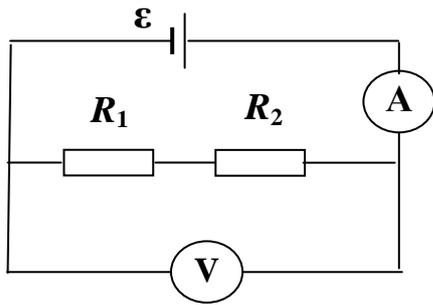


Рис.16.

24. Найти показания приборов (рис. 16), если $R_V = 1000 \text{ Ом}$; $\varepsilon = 110 \text{ В}$; $R_1 = 400 \text{ Ом}$; $R_2 = 600 \text{ Ом}$. Сопротивление амперметра и источника тока не учитывать

(55 мА; 55 В)

25. Для схем, данных на рис. 17, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1,2 \text{ В}$; $r_1 = r_2 = 0,4 \text{ Ом}$. Определить силу тока в цепи и разность потенциалов между точками А и В.

(а) $I = 0$; $\varphi_A - \varphi_B = -1,2 \text{ В}$;

б) $I = 3 \text{ А}$; $\varphi_A - \varphi_B = 0$

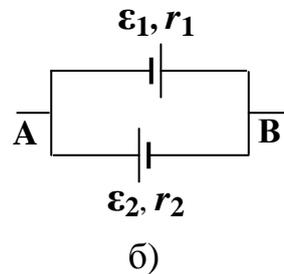
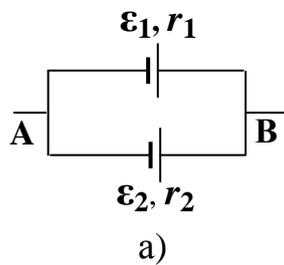


Рис. 17.

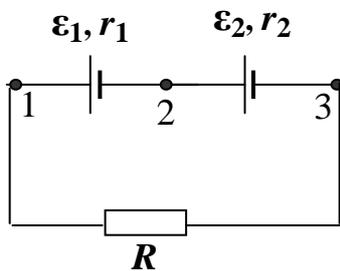


Рис. 18.

26. Для заданной электрической схемы (рис. 18) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2 \text{ В}$; $r_1 = 1 \text{ Ом}$; $r_2 = 1,5 \text{ Ом}$; $R = 0,5 \text{ Ом}$. Определить разность потенциалов на зажимах каждого элемента

($\varphi_1 - \varphi_2 = 0,67 \text{ В}$; $\varphi_2 - \varphi_3 = 0$).

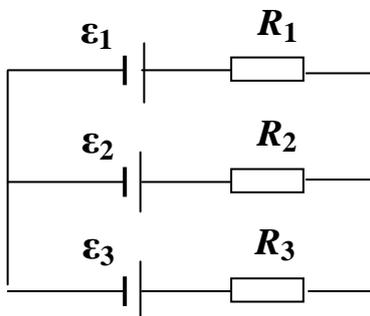


Рис. 19

27. Для заданной электрической схемы (рис. 19) $\varepsilon_1 = 11 \text{ В}$; $\varepsilon_2 = 4 \text{ В}$; $\varepsilon_3 = 6 \text{ В}$; $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$. Определить токи в ветвях.

(2,6 А; 0,6 А; 2 А)

28. Найти значение и направление тока через сопротивление R в электрической схеме (рис. 20), если $\varepsilon_1 = 1,5$ В, $\varepsilon_2 = 3,7$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом и $R = 5$ Ом. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы.

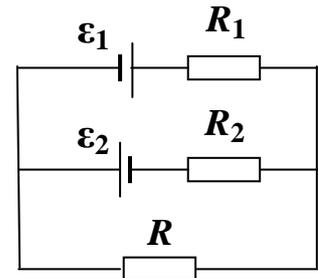


Рис. 20

(направление тока слева направо $I = \frac{R_1\varepsilon_2 - R_2\varepsilon_1}{RR_1 + R_1R_2 + R_2R} = 0,02$ А)

29. В электрической схеме (рис. 21) $\varepsilon_1 = 1,5$ В, $\varepsilon_2 = 2,0$ В, $\varepsilon_3 = 2,5$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 30$ Ом. Внутренние сопротивления источников пренебрежимо малы. Найти:

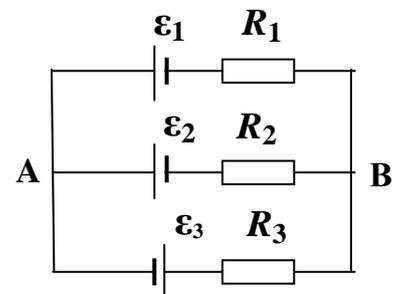


Рис. 21.

- а) ток через сопротивление R_1 ;
 б) разность потенциалов ($\varphi_A - \varphi_B$) в между точками А и В.

$$\left(\begin{array}{l} \text{а) } I_1 = \frac{R_3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + R_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} = 0,06 \text{ А} \\ \text{б) } \varphi_A - \varphi_B = \varepsilon_1 - I_1R = 0,9 \text{ В} \end{array} \right)$$

Ответы к заданиям для самопроверки

К разделу 1

1. В цепи должны быть свободные носители заряда и должна поддерживаться постоянная разность потенциалов. Ответ в)
2. Электрический ток в металлах создается движением электронов. Ответ в).
3. См. [1] §34. Ответ г).
4. Для решения использовать формулу (6). Ответ в): $R_2 = 4R_1$.
5. Для решения использовать формулу (6) и определение плотности. Ответ б): $m_1 = 2m_2$.

6. Для решения использовать формулы (10) и (11).

Сначала вычислим сопротивление каждой ветви, состоящей из двух последовательно соединенных сопротивлений:

$$R_{\text{посл}} = R_1 + R_2 = 20 + 20 = 40 \text{ Ом.}$$

Затем вычислим сопротивление цепи, состоящей из четырех параллельно соединенных проводников по 40 Ом:

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{40} + \frac{1}{40} + \frac{1}{40} + \frac{1}{40} = \frac{4}{40} \Rightarrow R_{\text{пар}} = \frac{40}{4} = 10 \text{ Ом}$$

Ответ г).

7. См. рекомендации к п. 6.

а) $2,75R$; б) $4,25R$; в) $2R$; г) $3,5R$; д) $2,5R$

К разделу 3

1. $j = \gamma E = \frac{1}{\rho} E$. При увеличении температуры удельное сопротивление увеличивается. График 1. Ответ д).
2. Для решения использовать закон Ома в дифференциальной форме, определение плотности тока и связь удельной проводимости с удельным сопротивлением $F = \frac{I \rho \bar{e}}{S}$. Ответ а).
3. См. рекомендации к п. 4. Ответ б): 2А

4. Для решения использовать закон Ома для замкнутого контура:

$$I = \frac{-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3}{R_1 + R_2 + R_3} \text{ и закон Ома для участка цепи АВ:}$$

$$I = \frac{\varphi_A - \varphi_B + \varepsilon_2}{R_1 + R_2}.$$

Ответ г) – 4,4 В

5. См. рекомендации к п. 4. Ответ а) :0.

К разделу 4

1. При последовательном соединении ток во всех сопротивлениях одинаков. Из формулы (22) выражаем сопротивления и выводим их отношение. Ответ б): $P_1: P_2: P_3 = 1:2:3$

2. См. рекомендации к п. 1. Ответ г): R_4

3. Из формулы (22). Ответ а):

4. Так как лампочки соединены параллельно, то напряжение на них одинаково. Ответ г). $P_1=3 P_2$

5. Ответ г): уменьшатся в 100 раз

6. Полезная мощность

$$P = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}.$$

После математических преобразований получим квадратное уравнение:

$$PR^2 + (2Pr - \varepsilon^2)R + Pr^2 = 0.$$

Корни этого уравнения:

$$R = \frac{\varepsilon^2 - 2Pr \pm \varepsilon \sqrt{\varepsilon^2 - 4Pr}}{2P}.$$

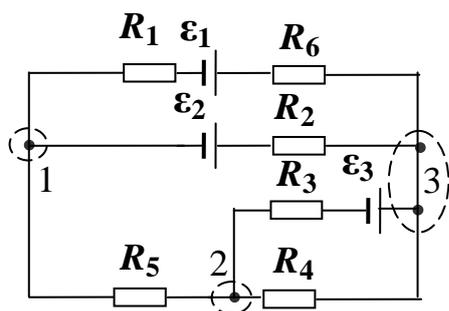
Так как под знаком корня не может быть отрицательного числа, то должно выполняться условие: $\varepsilon^2 - 4Pr \geq 0$ или $P \leq \varepsilon^2 / 4r$. Максимальная мощность $P_{\max} = \varepsilon^2 / 4r$. Сравнивая это выражение с первым выражением, находим, что $R = r$.
Ответ б)

7. Ответ а).

8. $\eta = \frac{R_H}{(R_H + r)}$ Ответ д).

9. При коротком замыкании $R_H = 0. \Rightarrow \eta = 0$ Ответ б).

К разделу 6



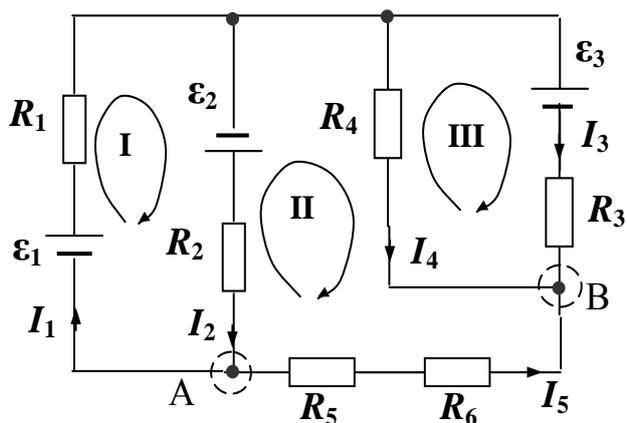
1. Ответ б)

2. Ответ б), так как в схеме три узла

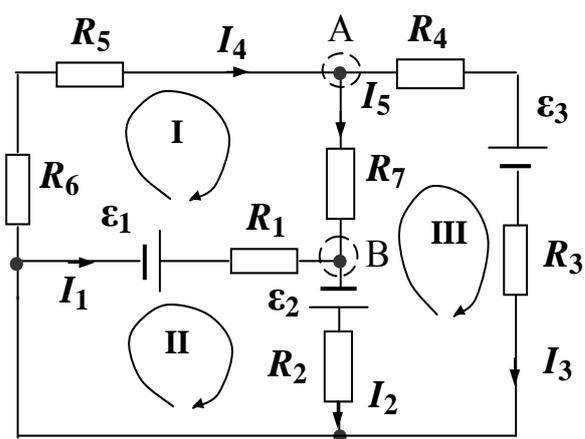
3.

$-I_1 + I_2 - I_5 = 0$	(узел А)
$I_4 - I_3 + I_5 = 0$	(узел В)
$I_1 R_1 + I_2 R_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$	(контур I)
$I_4 R_4 - I_2 R_2 - I_6 (R_5 + R_6) = -\varepsilon_2$	(контур II)
$-I_4 R_4 + I_3 R_3 = -\varepsilon_3$	(контур III)

$-I_3 + I_4 - I_5 = 0$	(узел А)
$I_1 - I_2 + I_5 = 0$	(узел В)
$-I_1 R_1 + I_4 (R_5 + R_6) + I_5 R_7 = -\varepsilon_1$	(контур I)
$I_1 R_1 + I_2 R_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$	(контур II)
$-I_2 R_2 - I_5 R_7 + I_3 (R_3 + R_4) = -\varepsilon_2 - \varepsilon_3$	(контур III)



а)

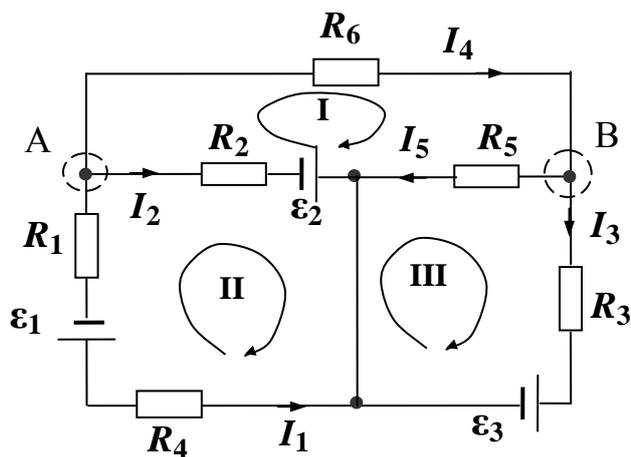


б)

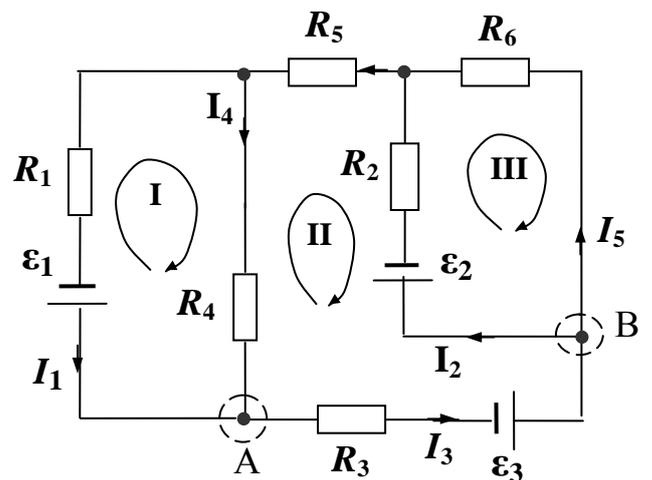
$$\begin{aligned}
 \text{в) } -I_1 - I_2 - I_4 &= 0 && (\text{узел А}) \\
 I_4 - I_3 - I_5 &= 0 && (\text{узел В}) \\
 I_4 R_6 + I_5 R_5 - I_2 R_2 &= -\varepsilon_2 && (\text{контур I}) \\
 I_2 R_2 - I_1 (R_1 + R_4) &= \varepsilon_2 - \varepsilon_1 && (\text{контур II}) \\
 -I_5 R_5 + I_3 R_3 &= -\varepsilon_3 && (\text{контур III})
 \end{aligned}$$

г) В этой схеме по резистору R_5 течет такой же ток, что и по R_3 , поэтому его можно перенести в ветвь АВ.

$$\begin{aligned}
 I_1 + I_4 - I_3 &= 0 && (\text{узел А}) \\
 I_3 - I_2 - I_5 &= 0 && (\text{узел В}) \\
 -I_1 R_1 + I_4 R_4 &= -\varepsilon_1 && (\text{контур I}) \\
 -I_4 R_4 - I_2 R_2 - I_3 (R_3 + R_5) &= -\varepsilon_2 - \varepsilon_3 && (\text{контур II}) \\
 I_2 R_2 - I_5 R_6 &= -\varepsilon_2 && (\text{контур III})
 \end{aligned}$$



б)



г)

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1982. 98 – 113 с.

Трофимова Т. И. Курс физики: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 154 – 161 с.: ил.

Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по физике, 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 237 – 247 с.

Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи физики: Справочник. Киев: Наукова думка, 1977. 305 – 345 с.

Дополнительная

Иродов И. Е. Задачи по общей физике. М.: Наука, 1979. 117 – 127 с.

Ивлиев А. Д. Физика: Учебное пособие. Екатеринбург.: Изд-во ГОУ ВПО „УГТУ–УПИ“, 2004. 132 – 189 с.

Новодворская Е. М., Дмитриев Э. М. Методика проведения упражнений по физике во втузе. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1981. 186 – 202 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
<i>Задания для самопроверки</i>	8
2. СТОРОННИЕ СИЛЫ, ЭДС ИСТОЧНИКА ТОКА	10
3. ЗАКОН ОМА	12
<i>Задания для самопроверки</i>	14
4 ЗАКОН ДЖОУЛЯ - ЛЕНЦА. МОЩНОСТЬ. КПД	15
<i>Задания для самопроверки</i>	17
<i>Примеры решения задач</i>	19
5. ШУНТЫ И ДОБАВОЧНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ	22
<i>Примеры решения задач</i>	23
6 РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ ПО ПРАВИЛАМ КИРХГОФА	24
<i>Примеры решения задач</i>	26
<i>Задания для самопроверки</i>	29
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ	30
Ответы к заданиям для самопроверки	36
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	40