

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Строительно-политехнический колледж

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ*

*к выполнению практических работ*

*для студентов специальности*

*27.02.07 «Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)»*

*на базе основного общего образования*

*всех форм обучения*

Воронеж 2021

УДК 621.3(07)  
ББК 31.2я723

**Составитель:**  
*преподаватель А. А. Саранцева*

**Электротехника:** методические указания к выполнению практических работ для студентов специальности 27.02.07 «Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)» на базе основного общего образования всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. А. Саранцева. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 22 с.

Методические указания содержат задания, необходимые для освоения курса «Электротехника», а также соответствующие теоретические сведения для выполнения данных практических работ.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 27.02.07 «Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ПР Электротехника.pdf.

Ил. 22; Табл. 4; Библиогр. 4 назв.

**УДК 621.3(07)**  
**ББК 31.2я723**

**Рецензент** - *А. Н. Жданов, преподаватель СПК  
Воронежского государственного технического университета*

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## ВВЕДЕНИЕ

Цель изучения основ электротехники - дать обучающимся знания и навыки применения ее основных законов, устройств и принципа действия электроизмерительных приборов, электрических аппаратов и машин, электронных приборов и устройств.

Для достижения этой цели учащимся необходимо усвоить физическую сущность электрических и магнитных явлений, их взаимную связь и количественные соотношения, овладеть необходимым математическим аппаратом для расчетов характеристик электротехнических цепей и устройств, нахождения их основных параметров. Решение задач служит одним из средств овладения системой знаний по электротехнике, поможет учащимся более глубоко и всесторонне усвоить программный материал по предмету. Описание каждой работы содержит: цель работы; содержание отчета, требуемое оборудование, порядок выполнения работ.

Практическое занятие проводится в учебном кабинете. Практические задания разбиты по разделам и темам в соответствии с программой курса «Электротехника». К задачам при необходимости прилагаются схемы или графики.

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 РАСЧЕТ ВЕЛИЧИН СОПРОТИВЛЕНИЯ, ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ И ЭДС ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И СМЕШАННОМ СОЕДИНЕНИИ

**Цель работы:** закрепить знания по теме, сформировать умения и навыки нахождения величин, вывод величин из формул.

#### Теория:

*Сопротивление* проводника, Ом, где  $\rho$  – удельное сопротивление, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\gamma$  – удельная проводимость, м/(Ом·мм<sup>2</sup>);  $l$  – длина проводника, м;  $S$  – сечение проводника, мм<sup>2</sup>.

#### Соединение элементов электрической цепи

##### *Соединение сопротивлений*

Электрическая цепь может содержать несколько приемников энергии, имеющих различные сопротивления.

А) последовательное соединение (рис.1.1)

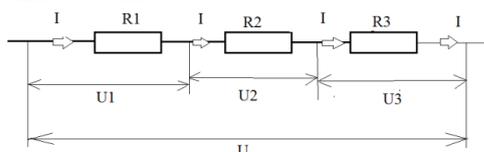


Рис. 1.1. Последовательное соединение

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Для  $n$  последовательно включённых проводников:  $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

Б) Параллельное соединение (рис. 1.2).

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

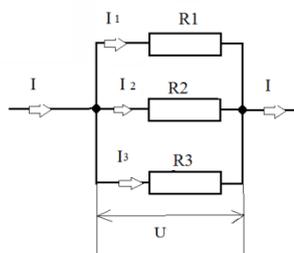


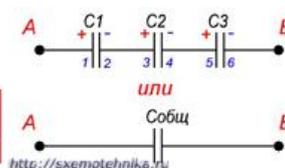
Рис. 1.2. Параллельное соединение

Если имеем  $n$  параллельно соединённых проводников, имеющих одинаковое сопротивление  $R_1$ , то общее сопротивление цепи:

### Соединение конденсаторов

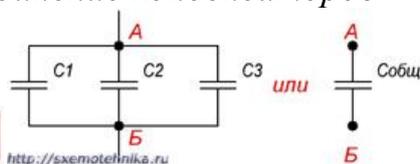
А) последовательное

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$



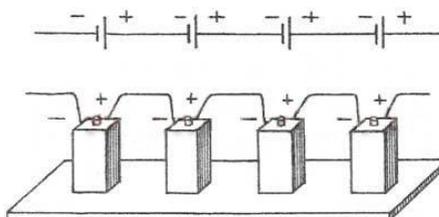
Б) Параллельное соединение конденсаторов

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



### Соединение источников тока

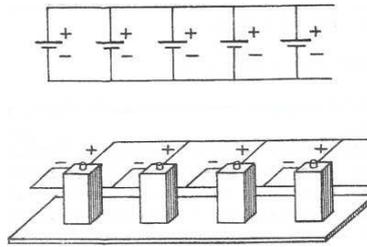
А) Последовательное соединение источников:



$$E = E n, \text{ а } r_0 = r n .$$

Б) Параллельное соединение

ЭДС батареи при параллельном соединении равна ЭДС одного аккумулятора:



Ток, отдаваемый батареей в сеть, будет  $E_6 = E_1 = E_2 = E_3 = \dots$

**Решить задачи:**

1. Три проволочных сопротивления соединены последовательно:  $R_1 = 180 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 80 \text{ Ом}$ . Определить ток в цепи и падение напряжения на каждом сопротивлении, если к ним присоединен источник тока с напряжением  $U = 40 \text{ В}$ . Внутреннее сопротивление батареи  $r_0 = 0$ .

2. Определить эквивалентное сопротивление на зажимах АВ схемы рис. 1.3, где  $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 9 \text{ Ом}$ .

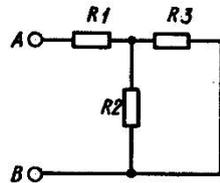


Рис. 2.2

**Рис. 1.3. Схема**

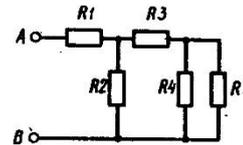


Рис. 2.3

**Рис. 1.4. Схема**

3. Определить эквивалентное сопротивление электрической цепи, представленной на рис. 1.4, если  $R_1 = 2,5 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 1,5 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 3 \text{ Ом}$ .

4. На рис. 1.5 представлена схема электрической цепи, где  $R_1 = R_2 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_6 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = R_5 = 17,5 \text{ Ом}$ ,  $R_7 = 12 \text{ Ом}$ . Определить эквивалентное сопротивление цепи между зажимами.

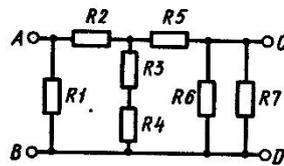


Рис. 2.4

**Рис. 1.5. Схема**

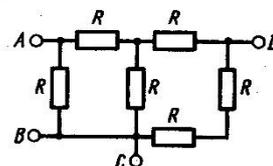


Рис. 2.5

**Рис. 1.6. Схема**

5. Определить в общем виде сопротивление электрической цепи, представленной на рис. 1.6, относительно зажимов АВ, ВС, CD.

6. В схеме рис. 1.7 значения сопротивлений резисторов одинаковы и равны  $R$ . Определить в общем виде значения сопротивлений между зажимами АВ, АС, АД, CD, EE.

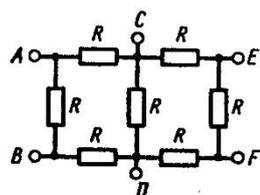


Рис. 2.6

Рис. 1.7. Схема

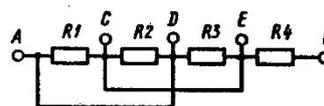


Рис. 2.7

Рис. 1.8. Схема

7. Для электрической цепи, представленной на рис. 1.8, определить сопротивление на участках цепи АВ, DE и АЕ в общем виде,  $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ .

8. При заданных проводимостях четырех параллельных ветвей  $G_1=0,11 \text{ Ом}^{-1}$ ;  $G_2=0,03 \text{ Ом}^{-1}$ ;  $G_3=0,07 \text{ Ом}^{-1}$ ;  $G_4=0,04 \text{ Ом}^{-1}$  определить эквивалентную проводимость и эквивалентное сопротивление цепи.

9. Для электрической цепи, представленной на рис. 1.9, определить общую проводимость цепи, если  $R_1=25 \text{ Ом}$ ,  $R_2=50 \text{ Ом}$ ,  $R_3=40 \text{ Ом}$  и  $R_4=60 \text{ Ом}$ .

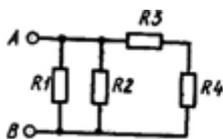


Рис. 1.9. Схема

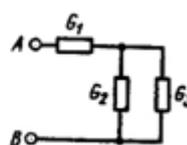


Рис. 1.10. Схема

10. В схеме электрической цепи, представленной на рис. 1.10, задано значение эквивалентной проводимости цепи  $G=0,025 \text{ Ом}^{-1}$ . Определить проводимость  $G_1$ , если  $G_2=0,01 \text{ Ом}^{-1}$ ,  $G_3=0,04 \text{ Ом}^{-1}$ .

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

### РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКОНОВ ОМА И КИРХГОФА

#### Вопросы для подготовки к занятиям

1. Сформулировать закон Ома для участка и для замкнутого контура.
2. Нарисовать схемы с последовательным и параллельным соединением пассивных элементов, указать основные свойства этих соединений, схему со смешанным соединением пассивных элементов; дать порядок расчета этих схем.
3. Нарисовать схемы соединения пассивных элементов звездой и треугольником и объяснить порядок их расчета.
4. Сформулировать первый и второй законы Кирхгофа, объяснить правила знаков.
5. Сформулировать уравнение баланса мощностей.
6. Как составляется система уравнений для расчета сложных схем при помощи уравнений Кирхгофа?

## Расчет цепи с одним источником питания

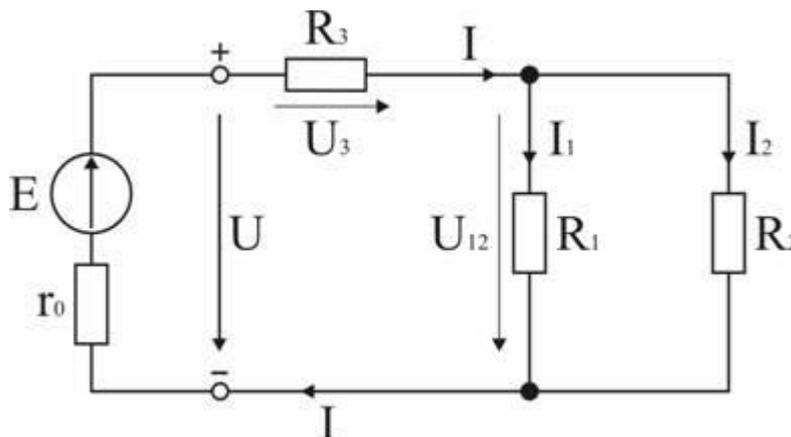


Рис. 2.1. Электрическая цепь

Задача 1. В цепи, схема которой приведена на рис. 2.1, ЭДС аккумуляторной батареи  $E = 78$  В, ее внутреннее сопротивление  $r_0 = 0,5$  Ом. Сопротивления резисторов  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 5$  Ом,  $R_3 = 4$  Ом. Вычислить токи во всех ветвях цепи и напряжения на зажимах батареи и на каждом из резисторов.

### Анализ и решение задачи 1

1. Обозначение токов и напряжений на участках цепи.

Резистор  $R_3$  включен последовательно с источником, поэтому ток  $I$  для них будет общим, токи в резисторах  $R_1$  и  $R_2$  обозначим соответственно  $I_1$  и  $I_2$ . Аналогично обозначим напряжения на участках цепи.

2. Определение эквивалентного сопротивления цепи:

$$R_3 = r_0 + R_3 + R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 0,5 + 4 + 5 * 10 / (5 + 10) = 7,8 \text{ Ом}$$

3. Ток в цепи источника рассчитываем по закону Ома:

$$I = E / R_3 = 78 / 7,8 = 10 \text{ А.}$$

4. Определение напряжений на участках цепи:

$$U_{12} = R_{12} I = 3,3 * 10 = 33 \text{ В}; U_3 = R_3 I = 4 * 10 = 40 \text{ В};$$

$$U = E - r_0 I = 78 - 0,5 * 10 = 73 \text{ В.}$$

5. Определение токов и мощностей всех участков:

$$I_1 = U_{12} / R_1 = 33 / 10 = 3,3 \text{ А}; I_2 = U_{12} / R_2 = 33 / 5 = 6,6 \text{ А};$$

$$P_1 = R_1 I_1^2 = U_{12} I_1 = 108,9 \text{ Вт}; P_2 = R_2 I_2^2 = U_{12} I_2 = 217,8 \text{ Вт};$$

$$P_3 = R_3 I^2 = U_3 I = 400 \text{ Вт.}$$

Мощность потерь на внутреннем сопротивлении источника

$$P = r_0 I^2 = 50 \text{ Вт.}$$

Мощность источника  $P = E I = 780 \text{ Вт.}$

### Дополнительные вопросы к задаче 1

1. Как проверить правильность решения задачи?

Правильность вычисления токов можно проверить, составив уравнение на основании первого закона Кирхгофа:  $I = I_1 + I_2$ .

Правильность расчета мощностей проверяют по уравнению баланса мощностей:  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P$ .

2. Каким будет напряжение на зажимах источника, при обрыве в цепи резистора  $R_3$ ?

Это будет режим холостого хода источника ЭДС, при котором  $U = E$ , т.к. ток  $I$  равен 0 и  $I_{r_0} = 0$ .

3. Каким будет ток в цепи источника при коротком замыкании на его зажимах?

В режиме короткого замыкания  $U = 0$  и ток источника ограничивается только его внутренним сопротивлением

$$I_{кз} = E / r_0 = 78 / 0,5 = 156 \text{ A.}$$

4. Как изменятся токи в схеме при увеличении  $R_1$ ?

При увеличении  $R_1$  увеличивается сопротивление параллельного участка схемы  $R_{12}$ , поэтому увеличивается сопротивление  $R_{экв}$ , что приводит к уменьшению тока  $I$ . При уменьшении  $I$  уменьшаются падения напряжения  $I R_3$  и  $I r_0$  и, в соответствии со вторым законом Кирхгофа, напряжение на разветвлении  $U_{12} = E - I (R_3 + r_0)$  возрастает, что приводит к увеличению тока в резисторе  $R_2$ . Т.к. ток  $I$  уменьшается, а ток  $I_2$  возрастает, ток  $I_1 = I - I_2$  уменьшается.

### Расчет сложных цепей при помощи уравнений Кирхгофа

Задача 2. Рассчитать схему рис. 2.2, составив систему уравнений на основании законов Кирхгофа.

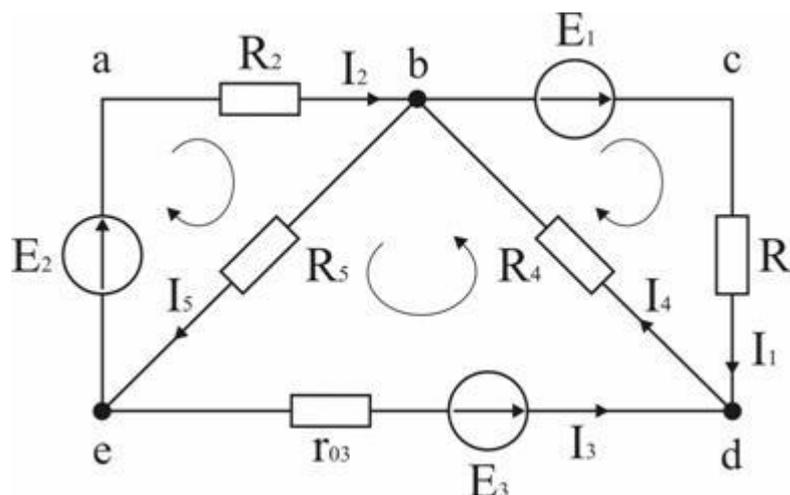


Рис. 2.2. Электрическая цепь

Исходные данные к задаче:

$$E_1 = 60 \text{ В}; E_2 = 80 \text{ В}; E_3 = 70 \text{ В};$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}; R_2 = 50 \text{ Ом}; r_{03} = 5 \text{ Ом}; R_4 = 65 \text{ Ом}; R_5 = 85 \text{ Ом}.$$

### Анализ и решение задачи 2

1. Определение необходимого числа уравнений.

В схеме рис. 2.2 пять ветвей и для расчета токов в них надо составить пять уравнений. По первому закону Кирхгофа составляются уравнения для всех узлов, кроме одного (уравнение для него будет следствием предыдущих), по второму – для независимых контуров (в каждый последующий контур входит хотя бы одна ветвь, не вошедшая в ранее рассмотренные). Для данной схемы надо составить два уравнения по первому закону и три – по второму.

## 2. Составление и решение системы уравнений.

Для составления уравнений задаемся произвольно направлениями токов в ветвях и направлениями обхода контуров (рис. 1.30).

Уравнение для узла d:  $I_1 + I_3 - I_4 = 0$ .

Уравнение для узла e:  $-I_2 - I_3 + I_5 = 0$ .

Уравнение для контура bcd:  $I_1 R_1 + I_4 R_4 = E_1$ .

Уравнение для контура abe:  $I_2 R_2 + I_5 R_5 = E_2$ .

Уравнение для контура bde:  $I_3 r_{03} + I_4 R_4 + I_5 R_5 = E_3$ .

Подставив в уравнения численные значения величин, получим алгебраическую систему уравнений:

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

$$I_2 - I_3 + I_5 = 0;$$

$$20 I_1 + 65 I_4 = 60;$$

$$50 I_2 + 85 I_5 = 80;$$

$$5 I_3 + 65 I_4 + 85 I_5 = 70.$$

Решение системы дает значения токов:  $I_1 = 1,093$  А;  $I_2 = 0,911$  А;  $I_3 = -0,506$  А;  $I_4 = 0,587$  А;  $I_5 = 0,405$  А.

### Дополнительные вопросы к задаче 2

1. Что означает минус перед численным значением тока  $I_3$ ?

Знак « $\rightarrow$ » говорит о том, что реальное направление тока в данной ветви противоположно принятому в начале расчета.

2. В каких режимах работают элементы схемы, содержащие источники ЭДС?

В ветвях с  $E_1$  и  $E_2$  токи совпадают по направлению с ЭДС, т.е. данные элементы работают источниками, отдавая энергию в схему; в ветви с ЭДС  $E_3$  ток направлен против ЭДС, т.е. данный элемент работает потребителем (например, машина постоянного тока в режиме двигателя).

3. Как проверить правильность решения задачи?

Для проверки правильности расчета можно на основании законов Кирхгофа написать уравнения для узлов и контуров схемы, которые не использовались при составлении исходной системы. Независимой проверкой является уравнение баланса мощностей: сумма мощностей источников равна сумме мощностей, расходуемых в резистивных элементах схемы. Т.к. элемент схемы с ЭДС может работать как в режиме источника, так и в режиме потребителя, соответствующее слагаемое в левой части уравнения берется с плюсом, если  $E$  и  $I$  совпадают по направлению (источник), и с минусом, если направления противоположны (потребитель).

Мощности элементов схемы с ЭДС:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 - E_3 I_3 = 60 * 1 * 1,093 + 80 * 0,911 - 70 * 0,506 = 104,04 \text{ Вт.}$$

Мощности, расходуемые в резистивных элементах схемы:

$$I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 r_{03} + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = 1,093^2 * 20 + 0,911^2 * 50 + 0,506^2 * 5 + 0,587^2 * 65 + 0,405^2 * 85 = 103,01 \text{ Вт}$$

$EI = P$  Баланс мощностей сошелся, следовательно, задача решена верно.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

### РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ КОНДЕНСАТОРОВ

**Цель работы:** изучить методы соединения конденсаторов в электрических цепях постоянного тока. Рассчитать эквивалентную емкость, напряжение и заряд батареи конденсаторов при смешанном соединении конденсаторов.

**Ход работы:**

1. Изучить свойства конденсаторов, способы соединения, формулы для определения основных величин.
2. Рассчитать эквивалентную емкость, напряжение и заряд батареи конденсаторов при смешанном соединении конденсаторов по заданному варианту.
3. Оформить отчет.

#### Теоретическая часть

Сообщение электрического заряда проводнику называется электризацией. Чем больший заряд принял проводник, тем больше его электризация, или, иначе говоря, тем выше его электрический потенциал.

Между количеством электричества и потенциалом данного уединенного проводника существует линейная зависимость: отношение заряда проводника к его потенциалу есть величина постоянная:

$$\frac{q}{\varphi} = C \quad (3.1)$$

Для какого-либо другого проводника отношение заряда к потенциалу есть также величина постоянная, но отличная от этого отношения для первого проводника.

Одной из причин, влияющих на эту разницу, являются размеры самого проводника. Один и тот же заряд, сообщенный различным проводникам, может создать различные потенциалы. Чтобы повысить потенциал какого-либо проводника на одну единицу потенциала, необходим определенный заряд.

Свойство проводящих тел накапливать и удерживать электрический заряд, измеряемое отношением заряда уединенного проводника к его потенциалу, называется электрической емкостью, или просто емкостью, и обозначается буквой  $C$ .

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (3.2)$$

Приведенная формула позволяет установить единицу емкости.

$$\text{Единица емкости} = \frac{\text{единица заряда}}{\text{единица потенциала}}$$

Практически заряд измеряется в кулонах, потенциал в вольтах, а емкость в фарадах:

$$1 \text{ фарада} = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ вольт}}$$

Емкостью в 1 фараду обладает проводник, которому сообщают заряд в 1 кулон и при этом потенциал проводника увеличивается на 1 вольт.

Единица емкости — фарада (обозначается ф или F) очень велика. Поэтому чаще пользуются более мелкими единицами — микрофарадой (мкф или  $\mu F$ ), составляющей миллионную часть фарады:

$$1 \text{ мкф} = 10^{-6} \text{ ф}$$

и пикофарадой (пФ), составляющей миллионную часть микрофарады:

$$1 \text{ пФ} = 10^{-5} \text{ мкф} = 10^{-12} \text{ ф.}$$

Найдем выражение практической единицы – фарады в абсолютных единицах:

$$\frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ вольт}} = \frac{3 \cdot 10^9}{1/300} = 9 \cdot 10^{11} \text{ абс. ед. емкости (сантиметров)}$$

Устройство, предназначенное для накопления электрических зарядов, называется электрическим конденсатором. Конденсатор состоит из двух металлических пластин (обкладок), разделенных между собой слоем диэлектрика. Чтобы зарядить конденсатор, нужно его обкладки соединить с полюсами электрической машины. Разноименные заряды, скопившиеся на обкладках конденсатора, связаны между собой электрическим полем. Близко расположенные пластины конденсатора, влияя одна на другую, позволяют получить на обкладках большой электрический заряд при относительно невысокой разности потенциалов между обкладками. Емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к разности потенциалов между его обкладками:

$$C = \frac{Q}{U} \text{ или } Q = CU \quad (3.3)$$

При параллельном соединении конденсаторов напряжение на обкладках каждого конденсатора одно и то же. Поэтому можно написать:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U \quad (3.4)$$

Количество электричества (заряд) каждого конденсатора:

$$q_1 = C_1 U; q_2 = C_2 U; q_3 = C_3 U \quad (3.5)$$

Общий заряд батареи конденсаторов:

$$q = q_1 + q_2 + q_3;$$

$$q = C_1U + C_2U + C_3U = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

Обозначая емкость батареи конденсаторов через  $C$ , получаем:

$$q = CU,$$

тогда

$$CU = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

или окончательно

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3.6)$$

Следовательно, при параллельном соединении конденсаторов общая емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов. При параллельном соединении каждый конденсатор окажется включенным на полное напряжение сети.

Рассмотрим последовательное соединение конденсаторов:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q$$

Напряжение, приложенное ко всей батарее конденсаторов, равно сумме напряжений на обкладках каждого конденсатора:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (3.7)$$

для всей батареи

$$U = \frac{q}{C} \quad (3.8)$$

Теперь можно написать:

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} \quad (3.9)$$

или, сокращая на  $q$ , получим окончательно:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (3.10)$$

### Практическое задание

Определить заряд, напряжение, энергию электрического поля каждого конденсатора, эквивалентную емкость цепи.

Номер варианта	Номер рисунка схемы	Заданные величины						
		U, кВ	C1, мкФ	C2, мкФ	C3, мкФ	C4, мкФ	C5, мкФ	C6, мкФ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	2.1	1	10	20	30	40	50	60
01	2.2	10	20	30	40	50	60	10
02	2.3	9	30	40	50	60	10	20
03	2.4	8	40	50	60	10	20	30
04	2.5	7	50	60	10	20	30	40
05	2.1	2	60	10	20	30	40	50
06	2.2	9	10	20	30	40	50	60
07	2.3	8	20	30	40	50	60	10
08	2.4	7	30	40	50	60	10	20
09	2.5	6	40	50	60	10	20	30
10	2.1	3	50	60	10	20	30	40
11	2.2	8	60	10	20	30	40	50
12	2.3	7	10	20	30	40	50	60
13	2.4	6	20	30	40	50	60	10
14	2.5	5	30	40	50	60	10	20
15	2.1	4	40	50	60	10	20	30
16	2.2	7	50	60	10	20	30	40
17	2.3	6	60	10	20	30	40	50
18	2.4	5	10	20	30	40	50	60
19	2.5	4	20	30	40	50	60	10
20	2.1	5	30	40	50	60	10	20

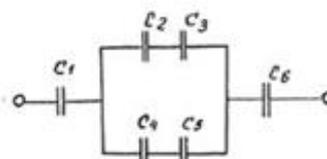


Рис. 2.3

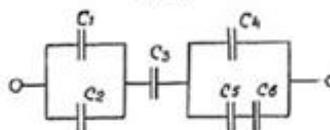


Рис. 2.4

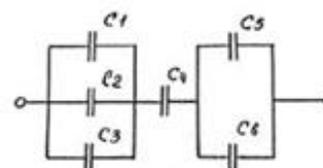


Рис. 2.5

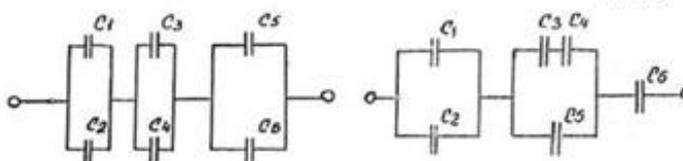


Рис. 3.1

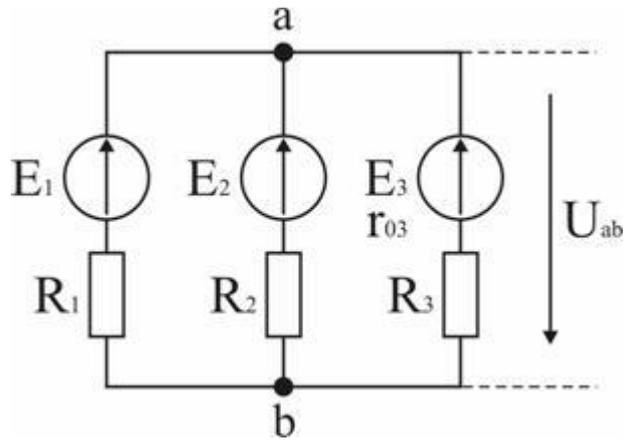
## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4 МЕТОДЫ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ

### Вопросы для подготовки к занятиям

1. Назовите основные режимы работы электрических цепей и укажите на их особенности.
2. Поясните, что такое активный и пассивный двухполюсники?
3. В каком случае источники питания можно представить в виде «источника ЭДС» или «источника тока»?
4. Чем объясняется наклон внешних характеристик источников ЭДС и тока при работе под нагрузкой?
5. В каком случае целесообразно использовать для расчета метод узлового напряжения и в чем его особенности?
6. Что такое «метод эквивалентного генератора»?
7. Как определить параметры эквивалентного генератора (активного двухполюсника) расчетным и экспериментальным путем?

### Расчет цепи методом узлового напряжения

Задача 1. В схеме рис. 4.1  $E_1 = 60$  В,  $E_2 = 48$  В,  $E_3 = 6$  В,  $R_1 = 200$  Ом,  $R_2 = 100$  Ом,  $r_{03} = 0,5$  Ом,  $R_3 = 9,5$  Ом. Определить токи в ветвях схемы.



**Рис. 4.1.** Электрическая схема

### Анализ и решение задачи 1

1. Вычисление узлового напряжения. Для схемы с двумя узлами напряжение между ними можно подсчитать по формуле:

$$U_{ab} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3},$$

где  $E_i$  – ЭДС  $i$ -й ветви,

$g_i$  – ее проводимость  $g_i = \frac{1}{R_i}$ .

Подставляем числовые значения:

$$U_{ab} = \frac{60/200 + 48/100 + 6/(0,5 + 9,5)}{1/200 + 1/100 + 1/(0,5 + 9,5)} = 12 \text{ В.}$$

### 2. Расчет токов в ветвях

Токи определяем на основании закона Ома для ветви с источником: напряжение на зажимах источника равно его ЭДС минус падение напряжения на его внутреннем сопротивлении:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{60 - 12}{200} = 0,24 \text{ А;}$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = \frac{48 - 12}{100} = 0,36 \text{ А;}$$

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{ab}}{r_{03} + R_3} = \frac{6 - 12}{0,5 + 9,5} = -0,6 \text{ А.}$$

### Дополнительные вопросы к задаче 1

1. Как повлияет на порядок расчета изменение полярности ЭДС в одной из ветвей схемы?

В формуле узлового напряжения и при расчете тока в этой ветви данную ЭДС надо брать со знаком «минус».

2. В каких режимах работают источники схемы?

По результатам расчета  $U_{ab} < E_1$ ,  $U_{ab} < E_2$ , т.е. эти элементы схемы работают источниками; т.к.  $U_{ab} > E_3$ , т.к. в третьей ветви направлен против  $E_3$  и принятого перед началом расчета направления  $I_3$ , т.е. этот элемент схемы работает в режиме потребления энергии.

3. В каких режимах будут работать источники, если за счет изменения величины ЭДС  $E_3$  увеличить узловое напряжение  $U_{ab}$  до 48 В?

Увеличением  $E_3$  можно установить  $U_{ab} = 48 \text{ В} = E_2$ , при этом ток  $I_2$  будет равен нулю (режим холостого хода), источник  $E_1$  вырабатывает энергию,  $E_3$  – потребляет. Ток в схеме и необходимую величину  $E_3$  определим на основании второго закона Кирхгофа:

$$I_1 = -I_3 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{60 - 48}{200} = 0,06 \text{ А};$$

$$E_3 = U_{ab} + I_3 (r_{03} + R_3) = 48 - 0,06 * 10 = 47,4 \text{ В}.$$

### Расчет цепей методом эквивалентного генератора

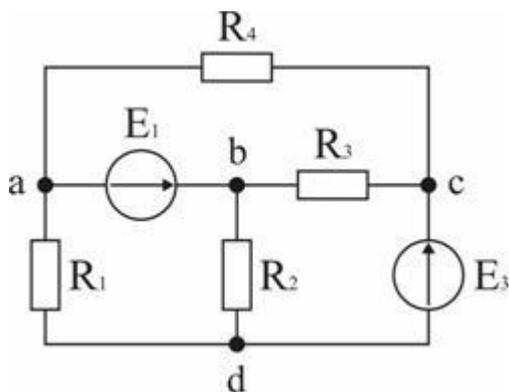


Рис. 4.2. Электрическая схема

Задача 2. В схеме рис. 4.2  $E_1 = 10 \text{ В}$ ,  $E_2 = 25 \text{ В}$ ,  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 40 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 6,36 \text{ Ом}$ . Определить ток в ветви с резистором  $R_4$ .

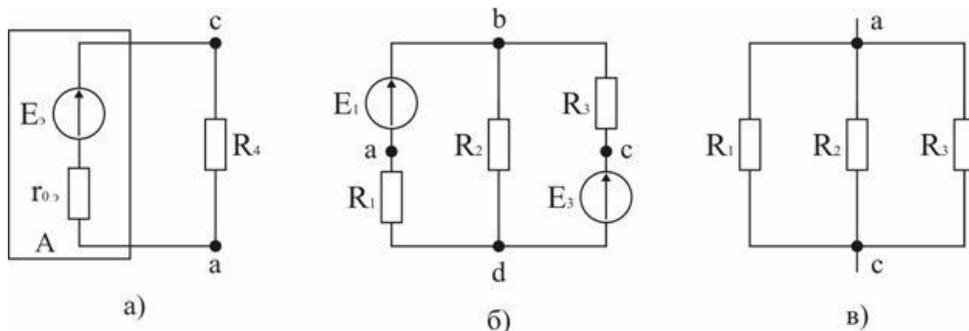


Рис. 4.3. Электрические схемы

## Анализ и решение задачи 2

1. Заменяем по отношению к ветви с резистором  $R_4$  всю остальную схему эквивалентным генератором (активным двухполюсником) с ЭДС  $E_3$  и внутренним сопротивлением  $r_{03}$  (рис. 4.3, а). ЭДС  $E_3$  определяется по результатам расчета режима холостого хода генератора как напряжение между точками «а» и «с» схемы рис. 4.3 при разомкнутой ветви с резистором  $R_4$ .

После размыкания ветви с  $R_4$  получается схема с двумя узлами рис. 4.3, б. Узловое напряжение

$$U_{bd} = \frac{E_1/R_1 + E_3/R_3}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3} = \frac{10/20 + 25/5}{1/20 + 1/40 + 1/5} = 20 \text{ В.}$$

Ток в ветви с ЭДС  $E_3$

$$I_3 = (E_3 - U_{bd}) / R_3 = (25 - 20) / 5 = 1 \text{ А.}$$

2. Для расчета внутреннего сопротивления генератора в схеме рис. 4.3, б закорачиваются все ЭДС (рис. 4.3, в) и определяется сопротивление по отношению к точкам «а» и «с»:

$$\frac{1}{r_{03}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; r_{03} = 3,64 \text{ Ом}$$

3. Ток в ветви с резистором  $R_4$  (схема рис. 4.3, а)

$$I_4 = E_3 / (r_{03} + R_4) = 20 / (3,64 + 6,36) = 2 \text{ А.}$$

## Дополнительные вопросы к задаче 2

1. Как экспериментально определить параметры эквивалентного генератора?

Исходя из эквивалентности схем рис. 4.2, а и рис. 4.3, а,  $E_3$  и  $r_{03}$  можно рассчитать по результатам двух опытов. Разомкнув ветвь с  $R_4$ , измеряем напряжение между точками «с» и «а»  $U_{xx}$ , равное ЭДС  $E_3$ , (опыт холостого хода). Для определения  $r_{03}$  проводится (если это допустимо) опыт короткого замыкания: заданная ветвь замыкается накоротко и измеряется ток в ней ( $I_k$ ). При этом  $r_{03} = E_3 / I_k$ .

2. Выбрать величину сопротивления резистора  $R_4$  так, чтобы в нем выделялась максимально возможная мощность.

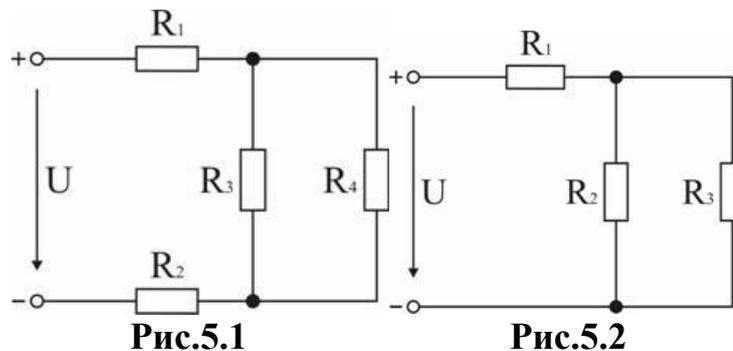
Для схемы рис. 4.3, а  $P_4 = I_4^2 R_4 = \frac{E_3^2 R_4}{(r_{03} + R_4)^2}$ . Максимум мощности  $P_4$  определяется решением уравнения  $\frac{dP_4}{dR_4} = 0$  :  $R_{н.экстр} = r_{03}$ , при этом  $P_{4max} = \frac{E_3^2}{4r_{03}} = \frac{15^2}{4 \times 3,64} = 17,5 \text{ Вт.}$

Режим, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника, называется согласованным, он часто используется в маломощных электронных устройствах, когда КПД установки (50 %) не имеет существенно-

го значения, но важно передать в нагрузку максимальную мощность (усилители напряжения, маломощные усилители мощности, линии связи и т.д.). При этом все устройство по отношению к нагрузке представляется в виде эквивалентного генератора, параметры которого определяются по результатам анализа работы и расчета устройства.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

В процессе выполнения самостоятельной работы студент должен решить нижеприведенные задачи, используя результаты первого и второго практических занятий. Отчет о проделанной работе должен быть представлен преподавателю по форме, указанной в методических указаниях. В отчете привести ответы на вопросы, приведенные в первом и втором практических занятиях и решения нижеприведенных задач.



**Задача 1.** В схеме слева  $R_1 = R_3 = 40 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 30 \text{ Ом}$ ,  $I_3 = 5 \text{ А}$ . Вычислить напряжение источника  $U$  и ток  $I_4$ .

**Задача 2.** В схеме (рис. 5.1) напряжение  $U = 65 \text{ В}$ , напряжение на зажимах резистора  $R_4$  равно  $20 \text{ В}$ . Определить все токи в схеме, если  $R_2 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 30 \text{ Ом}$ .

**Задача 3.** В схеме (рис. 5.1) –  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $I_3 = 2 \text{ А}$ . Найти напряжение источника  $U$ .

**Задача 4.** К схеме (рис. 5.1) приложено напряжение  $U = 45 \text{ В}$ , при этом ток источника  $I_1 = 1,25 \text{ А}$ . Сопротивления ветвей параллельной части схемы равны:  $R_2 = 40 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ . Найти  $R_1$  и токи  $I_2$ ,  $I_3$ .

**Задача 5.** В схеме (рис. 5.2) –  $R_1 = 50 \text{ Ом}$ , ток источника  $I = 0,6 \text{ А}$ , ток в резисторе  $R_3$  равен  $I_3 = 0,4 \text{ А}$ , мощность, расходуемая в резисторе  $R_4$ :  $P_4 = 0,4 \text{ Вт}$ ; напряжение на резисторе  $R_2$ :  $U_2 = 36 \text{ В}$ . Определить напряжение источника  $U$ .

**Задача 6.** Мощности, расходуемые в сопротивлениях схемы (рис. 5.3):  $P_1 = 15 \text{ Вт}$ ,  $P_2 = 20 \text{ Вт}$ ,  $P_3 = 10,8 \text{ Вт}$ ,  $P_4 = 7,2 \text{ Вт}$ . Определить напряжения на

участках схемы и токи в ее ветвях, если приложенное к ней напряжение  $U = 106$  Вт.

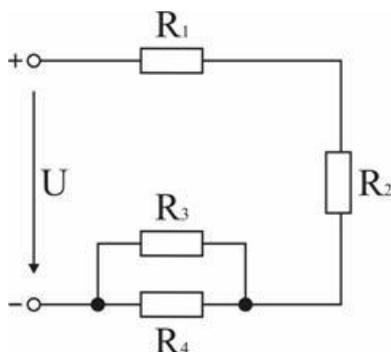


Рис.5.3

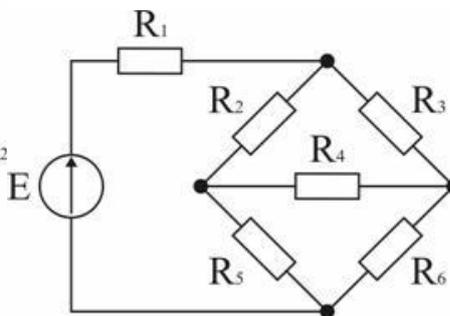


Рис.5.4

**Задача 7.** Для схемы дано:  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом,  $R_3 = 10$  Ом,  $R_4 = 60$  Ом,  $R_5 = 22$  Ом,  $R_6 = 5$  Ом,  $E = 12$  В. Вычислить ток в диагонали моста  $R_4$ , используя преобразование треугольника резисторов  $R_2, R_3, R_4$  в эквивалентную звезду. Ответ:  $I_4 = 0,077$  А.

**Задача 8.** В схеме определить ток источника, используя преобразование звезды резисторов  $R_2, R_4, R_5$  в эквивалентный треугольник, если  $R_2 = 6$  Ом,  $R_3 = 42$  Ом,  $R_4 = 12$  Ом,  $R_5 = 24$  Ом,  $R_6 = 28$  Ом,  $I_3 = 0,5$  А. Ответ:  $I = 2,75$  А.

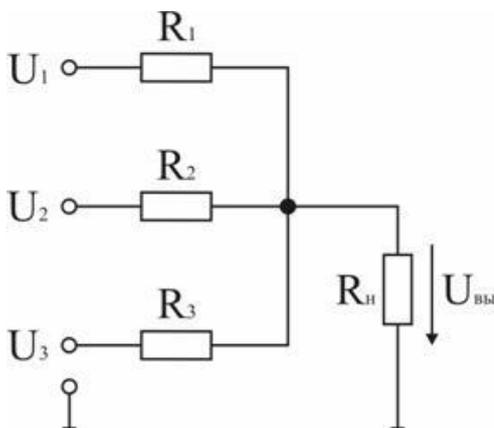


Рис. 5.5

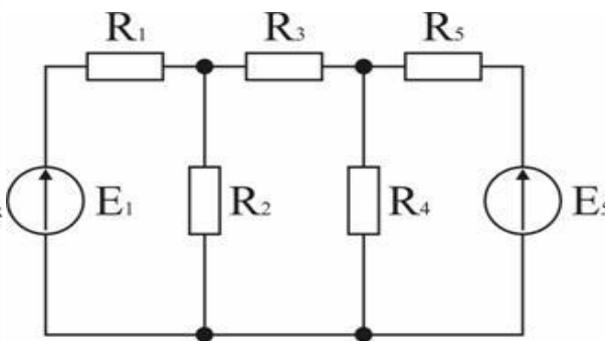


Рис. 5.6

**Задача 9.** Для схемы входные напряжения:  $U_1 = +10$  В,  $U_2 = -15$  В,  $U_3 = +20$  В,  $R_1 = R_2 = R_3 = 500$  Ом,  $R_n = 1000$  Ом. Методом узлового напряжения определить выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ . Ответ:  $U_{\text{вых}} = 4,3$  В.

**Задача 10.** В схеме  $E_1 = 120$  В,  $E_5 = 140$  В,  $R_1 = 70$  Ом,  $R_2 = 30$  Ом,  $R_3 = 135$  Ом,  $R_4 = 210$  Ом,  $R_5 = 140$  Ом. Определить методом эквивалентного генератора величину и направление тока в резисторе  $R_3$ . Ответ:  $I_3 = 0,2$  А.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6 РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ

**Цель работы:** научиться производить расчет сопротивления проводника по его параметрам; производить выбор сечений проводов по току.

### Пояснения к работе

Электрическое сопротивление  $R$  – это параметр элементов электрической цепи, который характеризует способность элемента поглощать электрическую энергию и преобразовывать ее в другие виды энергии.

За единицу сопротивления принят ом (Ом).

$$1 \text{ Ом} = 1 \text{ В}/1 \text{ А}.$$

Величина электрического сопротивления  $R$  зависит от геометрических размеров и свойств материала проводника.

При прокладке силовых коммуникаций основной возникающий вопрос – выбор типа и сечения провода, который нужно использовать. При этом тип провода, определяющий материал и количество изоляционных оболочек (различные виды пластика и других материалов), а также материал (медь или алюминий) и тип (одно- и многожильный) проводника, выбирается исходя из условий, в которых будет проложен провод. Сечение же провода определяется исходя из максимального тока, который будет протекать по проводу продолжительное время. Помочь в выборе сечения провода вам помогут таблицы 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Сечение провода для передачи переменного тока в сетях 220/380 Вольт

Ток, А		6	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80
Мощность, кВт	220 В	1,2	2,2	2,9	3,5	4,4	5,5	7,0	8,8	11,0	13,9	17,6
	380 В	2,3	3,8	4,9	6,0	7,6	9,5	12,2	15,2	19,0	23,9	30,4
Сечение, мм <sup>2</sup>	Cu	0,5	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	4,0	4,0	6,0	10,0	10,0
	Al	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0	4,0	6,0	10,0	16,0	25,0

Таблица 6.2

Сечение медного провода для передачи постоянного тока  
при напряжении 12 Вольт

Ток, А	16,5	21,5	25,0	32,0	43,5	58,5	77,0	103,0	142,5
Мощность, кВт	0,20	0,26	0,30	0,38	0,52	0,70	0,92	1,24	1,71
Сечение, мм <sup>2</sup>	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	10,0	16,0

Таблица 6.3

## Данные для расчета по вариантам

Вариант	Данные для расчета
1.	Определите сопротивление алюминиевого провода, длина которого 1800 м и площадь поперечного сечения $10 \text{ мм}^2$ .
2.	Площадь сечения медной проволоки равна $2 \text{ мм}^2$ , а длина 55м. Определить ее сопротивление.
3.	Никелиновая проволока имеет сопротивление 200 Ом и длину 100 м. Определить площадь поперечного сечения.
4.	Сколько метров медного провода сечением $2 \text{ мм}^2$ необходимо, чтобы сопротивление было равно 1 Ом?
5.	Электрическая плитка имеет нагревательный элемент, изготовленный из константановой проволоки длиной 0,5м и сечением $0,2 \text{ мм}^2$ . Каково сопротивление спирали?
6.	Нужно изготовить реостат с сопротивлением 50 Ом. Имеется манганиновая проволока сечением $0,2 \text{ мм}^2$ . Сколько метров проволоки потребуется?
7.	Каково сопротивление алюминиевого провода сечением $2,5 \text{ мм}^2$ и длиной 300м?
8.	Сопротивление нагревательной спирали 24Ом. Какой длины должен быть провод из нихрома, если сечение его $0,3 \text{ мм}^2$ ?
9.	Провод сечением $4 \text{ мм}^2$ и длиной 200м имеет сопротивление 6,5 Ом. Определить материал провода.
10.	Нужно изготовить реостат с сопротивлением 20 Ом из манганинового провода. Определить сечение провода, если его длина 5м.

1. Определить сечение провода по таблицам, исходя из данных, приведенных в таблице 6.4.

Таблица 6.4

## Данные для определения сечения по проводам

№ варианта	Род тока	Напряжение, В	Материал провода	Мощность приемников, кВт
1	постоянный	12	медь	0,20
2	переменный	220	медь	1,2
3	переменный	220	алюминий	2,2
4	переменный	380	медь	2,3
5	переменный	380	алюминий	3,8
6	постоянный	12	медь	0,30
7	переменный	220	медь	2,9
8	переменный	220	алюминий	3,5
9	переменный	380	медь	4,9
10	переменный	380	алюминий	6,0
11	постоянный	12	медь	0,52
12	переменный	220	медь	4,4
13	переменный	220	алюминий	5,5
14	переменный	380	медь	7,6
15	переменный	380	алюминий	9,5
16	постоянный	12	медь	0,70

17	переменный	220	медь	7,0
18	переменный	220	алюминий	8,8
19	переменный	380	медь	12,2
20	переменный	380	алюминий	15,2
21	постоянный	12	медь	0,92
22	переменный	220	медь	11,0
23	переменный	220	алюминий	13,9
24	переменный	380	медь	19,0
25	переменный	380	алюминий	23,9
26	постоянный	12	медь	1,24
27	переменный	220	медь	17,6
28	переменный	220	алюминий	1,2
29	переменный	380	медь	30,4
30	переменный	380	алюминий	7,6

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Формула сопротивления и анализ формулы.
4. Расчеты по формуле сопротивления.
5. Таблица с результатами определения сечения провода.

№ варианта	Род тока	Напряжение, В	Материал провода	Мощность приемников, кВт	Ток, А	Сечение провода, мм <sup>2</sup>
------------	----------	---------------	------------------	--------------------------	--------	----------------------------------

6. Вывод.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алиев И.И., Электротехника и электрооборудование: базовые основы: Учебное пособие Для СПО / Алиев И. И. - 5-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2021. - 291 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-04256-6: 819.00. URL: <https://urait.ru/bcode/472684>
2. Данилов И.А., Электротехника в 2 ч. Часть 2 : Учебное пособие Для СПО / Данилов И. А. - 2-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2021. - 251 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-09565-4 : 589.00. URL: <https://urait.ru/bcode/474700>
3. Данилов И.А., Электротехника в 2 ч. Часть 1 : Учебное пособие Для СПО / Данилов И. А. - 2-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2021. - 426 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-09567-8 : 919.00. URL: <https://urait.ru/bcode/474699>
4. Миленина С.А., Электротехника: Учебник и практикум Для СПО / Миленина С. А. ; под ред. Миленина Н.К. - 2-е изд. ; пер. и доп. - Москва : Юрайт, 2021. - 263 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-05793-5 : 759.00. URL: <https://urait.ru/bcode/472057>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Практическая работа № 1. Расчет величин сопротивления, емкости и ЭДС при параллельном, последовательном и смешанном соединении.....	3
Практическая работа № 2. Расчет электрических цепей с использованием законов Ома и Кирхгофа.....	6
Практическая работа № 3. Расчет электрической цепи со смешанным соединением конденсаторов.....	10
Практическая работа № 4. Методы расчета сложных цепей.....	13
Практическая работа № 5. Самостоятельная работа студента.....	17
Практическая работа № 6. Расчет сопротивления проводников и выбор сечений проводов.....	19
Библиографический список.....	22

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению практических работ  
для студентов специальности  
27.02.07 «Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)»  
на базе основного общего образования  
всех форм обучения

**Составитель:**  
**Саранцева Анна Андреевна**

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 25.11.2021.  
Уч.-изд.л. 1,38

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский проспект 14