

УДК 621.3(075.32)  
ББК 31.2+32.85я722  
КТК 230  
С38

**Синдеев Ю.Г.**

**С38** Электротехника с основами электроники : учеб. пособие / Ю.Г. Синдеев. — Изд. 2-е. — Ростов н/Д : Феникс, 2019. — 407 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 978-5-222-31838-6

В предлагаемом учебном пособии изложены основные разделы курса электротехники в соответствии с государственным образовательным стандартом начального профессионального образования по предмету «Электротехника».

Книга рассчитана на учащихся профессиональных лицеев и училищ, студентов колледжей и содержит материалы, соответствующие всем ступеням квалификации среднего профессионального образования.

УДК 621.3(075.32)  
ББК 31.2+32.85я722

ISBN 978-5-222-31838-6

© Синдеев Ю.Г., 2010  
© Оформление: ООО «Феникс», 2017

## Введение

Электротехника — наука о процессах, связанных с практическим применением электрических и магнитных явлений. Так же называют отрасль техники, которая применяет их в промышленности, медицине, военном деле и т. д.

Большое значение электротехники во всех областях деятельности человека объясняется преимуществами электрической энергии перед другими видами энергии, а именно:

- ◆ электрическую энергию легко преобразовать в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую, химическую и др.), и наоборот, в электрическую энергию легко преобразуются любые другие виды энергии;
- ◆ электрическую энергию можно передавать практически на любые расстояния. Это дает возможность строить электростанции в местах, где имеются природные энергетические ресурсы, и передавать электрическую энергию в места, где расположены источники промышленного сырья, но нет местной энергетической базы;
- ◆ электрическую энергию удобно дробить на любые части в электрических цепях (мощность приемников электроэнергии может быть от долей ватта до тысяч киловатт);

- ◆ процессы получения, передачи и потребления электроэнергии легко поддаются автоматизации;
- ◆ процессы, в которых используется электрическая энергия, допускают простое управление (нажатие кнопки, выключателя и т. д.).

Особо следует отметить существенное удобство применения электрической энергии при автоматизации производственных процессов, благодаря точности и чувствительности электрических методов контроля и управления. Использование электрической энергии позволило повысить производительность труда во всех областях деятельности человека, автоматизировать почти все технологические процессы в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и быту, а также создать комфорт в производственных и жилых помещениях. Кроме того, электрическую энергию широко используют в технологических установках для нагрева изделий, плавления металлов, сварки, электролиза, получения плазмы, новых материалов с помощью электрохимии, очистки материалов и газов и т. д.

В настоящее время электрическая энергия является практически единственным видом энергии для искусственного освещения. Можно сказать, что без электрической энергии невозможна нормальная жизнь современного общества.

Единственным недостатком электрической энергии является невозможность запасать ее в больших количествах и сохранять эти запасы в течение длительного времени. Запасы электрической энергии в аккумуляторах, гальванических элементах и конденсаторах достаточны лишь для работы сравнительно маломощных устройств, причем сроки ее сохранения ограничены. Поэтому электрическая энергия

должна быть произведена тогда, когда ее требует потребитель, и в том количестве, в котором она ему необходима.

Непрерывное расширение области применения электрической энергии влечет за собой глубокое внедрение электротехники во все отрасли промышленности, сельского хозяйства и быта, что требует дальнейшего подъема электровооруженности труда, широкой автоматизации производственных процессов и использования автоматизированных систем управления.

Эти обстоятельства требуют обеспечения такой профессиональной подготовки специалистов, при которой они будут располагать системой знаний, умений и навыков в актуальных для них областях электротехники.

# Глава 1

## ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ

### 1.1. Строение вещества

Все вещества, как простые, так и сложные, состоят из молекул, а молекулы из атомов.

Наименьшая частица вещества, которая еще сохраняет его свойства, называется *молекулой*. Молекула — химическая комбинация двух или более атомов. *Атом* — наименьшая частица элемента, которая сохраняет химические характеристики элемента. *Химический элемент* — составная часть вещества, построенная из одинаковых атомов.

*Простые вещества* — медь, алюминий, цинк, свинец и другие — состоят из одинаковых атомов данного вещества. Молекулы *сложных веществ* могут состоять из нескольких атомов различных химических элементов. Например, поваренная соль (хлористый натрий) состоит из атомов хлора и натрия. Молекулы воды содержат атомы водорода и кислорода.

Физическая комбинация элементов и соединений называется *смесью*. Примерами смесей являются воздух, который состоит из кислорода, азота, угле-

кислого газа и других газов, и соленая вода, состоящая из соли и воды.

Атом состоит из протонов, нейтронов и электронов. Протоны и нейтроны сгруппированы в центре атома и образуют ядро. Протоны заряжены положительно, а нейтроны не имеют электрического заряда. Электроны расположены на оболочках на различных расстояниях от ядра.

Атомы различных элементов отличаются друг от друга. Поскольку существует свыше 100 различных элементов, то есть и свыше 100 различных атомов.

Количество протонов в ядре атома называется *атомным номером* элемента, т. е. номером элемента в Периодической таблице Д.И. Менделеева. Атомные номера позволяют отличить один элемент от другого.

Каждый элемент имеет *атомную массу*, которая определяется общим числом протонов и нейтронов в ядре. Электроны почти не дают вклада в общую массу атома; масса электрона составляет только  $1/1836$  часть от массы протона, и этого недостаточно, чтобы ее учитывать.

Электроны вращаются вокруг ядра по замкнутым орбитам. Каждая орбита называется *оболочкой*. Оболочки обозначаются буквами *K, L, M, N* и т. д. и заполняются постепенно, по мере увеличения атомного номера элемента, в следующей последовательности: сначала оболочка *K*, затем *L, M, N* и т. д. В некоторых случаях этот порядок нарушается: например, оболочка *N* начинает заполняться при не полностью заполненной оболочке *M*. Максимальное количество электронов, которое может разместиться на каждой оболочке, показано в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Обозначения оболочек	Общее количество электронов
<i>K</i>	2
<i>L</i>	6
<i>M</i>	18
<i>N</i>	32
<i>O</i>	32
<i>P</i>	14
<i>Q</i>	2

В качестве примера рассмотрим строение атома алюминия, имеющего номер 13 в Периодической таблице Менделеева и атомную массу 27 (рис. 1.1).

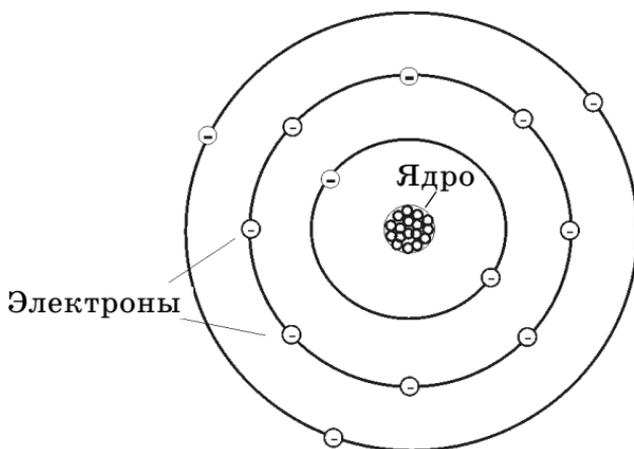


Рис. 1.1

Ядро атома алюминия содержит 13 протонов и 14 нейтронов ( $13 + 14 = 27$ ). Тринадцать электронов атома алюминия размещены на трех электронных оболочках:  $K$  — 2 электрона,  $L$  — 8 и на наиболее удаленной от ядра внешней оболочке  $M$  — 3 электрона.

Внешняя оболочка называется *валентной*, а количество электронов, которое она содержит, — *валентностью*. Чем дальше от ядра находится валентная оболочка, тем меньшее притяжение со стороны ядра испытывает каждый валентный электрон. Таким образом, потенциальная возможность атома присоединять или терять электроны увеличивается, если валентная оболочка не заполнена и расположена достаточно далеко от ядра.

Электроны валентной оболочки могут получать энергию. Если эти электроны получают достаточно энергии от внешних сил, то они могут покинуть атом и стать свободными электронами, произвольно перемещаясь от атома к атому.

Материалы, которые содержат большое количество свободных носителей заряда, называются *проводниками*. Проводниками являются все металлы, растворы электролитов, расплавы многих веществ и ионизированные газы. Самой высокой проводимостью среди металлов обладает серебро; далее в порядке убывания проводимости идут медь, золото и алюминий. И серебро, и медь, и золото имеют валентность, равную единице. Однако серебро является лучшим проводником, поскольку его свободные электроны более слабо связаны.

*Диэлектрики* (изоляторы) в противоположность проводникам препятствуют протеканию электричества. В диэлектриках свободные электроны отсутствуют благодаря тому, что валентные электроны

одних атомов присоединяются к другим атомам, заполняя их валентные оболочки и препятствуя таким образом образованию свободных электронов. Диэлектриками являются различные пластмассы, слюда, фарфор, стекло, мрамор, резина, смолы, лаки и другие материалы.

Промежуточное положение между проводниками и изоляторами занимают *полупроводники*, которые не являются ни хорошими проводниками, ни хорошими изоляторами, но играют важную роль в электронике, потому что их проводимость можно изменять от проводника до изолятора. Кремний и германий являются полупроводниковыми материалами.

Об атоме, который имеет одинаковое число электронов и протонов, говорят, что он электрически нейтрален. Атом, получивший один или более электронов, не является электрически нейтральным. Он становится отрицательно заряженным и называется *отрицательным ионом*. Если атом теряет один или более электронов, он становится положительно заряженным и называется *положительным ионом*. Процесс присоединения или потери электронов называется *ионизацией*. Ионизация играет большую роль в протекании электрического тока.

## **1.2. Электрические заряды. Закон Кулона. Электрическое поле. Принцип суперпозиции**

Еще в глубокой древности было известно, что янтарь, потертый о шерсть, приобретает способность притягивать легкие предметы. Позже было установлено, что аналогичным свойством обладают многие другие вещества. Тела, способные, подобно янтарю, после натирания притягивать легкие предметы, называют *наэлектризованными*. Теперь мы говорим,

что на телах в таком состоянии имеются электрические заряды, а сами тела называем *заряженными*.

В природе существуют только два вида зарядов — положительные и отрицательные. Заряды одного знака (одноименные) отталкиваются, разных знаков (разноименные) притягиваются. Наименьшим (элементарным) зарядом обладают элементарные частицы. Например, протон и позитрон заряжены положительно, электрон и антипротон — отрицательно. Элементарный отрицательный заряд по величине равен элементарному положительному заряду. В системе СИ заряд измеряется в *кулонах* (Кл). Величина элементарного заряда

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

В природе нигде и никогда не возникает и не исчезает электрический заряд одного знака. Появление положительного электрического заряда  $+q$  всегда сопровождается появлением равного по абсолютной величине отрицательного электрического заряда  $-q$ . Ни положительный, ни отрицательный заряды не могут исчезнуть по отдельности один от другого, они могут лишь взаимно нейтрализовать друг друга, если равны по абсолютной величине.

Этот экспериментально установленный факт называется *законом сохранения электрического заряда* и формулируется следующим образом: *в электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов остается постоянной:*

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const} \quad (1.1)$$

*Изолированной* называется система, не обменивающаяся зарядами с внешней средой.

В 1785 г. Шарль Кулон (1736–1806) экспериментально, с помощью крутильных весов, установил закон взаимодействия двух точечных зарядов, т. е.

таких заряженных тел, размерами которых в данной задаче можно пренебречь. Этот закон гласит: *сила взаимодействия двух точечных зарядов прямо пропорциональна произведению этих зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена по линии, соединяющей эти заряды*. Для вакуума этот закон имеет вид

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (1.2)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/\text{Н} \cdot \text{м}^2(\text{Ф}/\text{м})$  — электрическая постоянная.

В диэлектрике сила взаимодействия двух точечных зарядов

$$F' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{e r^2}, \quad (1.3)$$

где  $e = F/F' \geq 1$  — диэлектрическая проницаемость диэлектрика, которая показывает, во сколько раз сила кулоновского взаимодействия зарядов в диэлектрике меньше, чем в вакууме.

Взаимодействие между зарядами на расстоянии осуществляется через электрическое поле.

Электрическое поле — одна из форм материи — обладает свойством действовать на внесенные в него заряды с некоторой силой. Электрическое поле является составной частью электромагнитного поля. Поле, окружающее неподвижные заряды, называется *электростатическим*.

Представление об электрическом поле было введено в науку в 30-х гг. XIX в. **Майклом Фарадеем** (1791–1867). Согласно Фарадею, каждый электрический заряд окружен созданным им электрическим полем. За-

ряд, с помощью которого исследуют это электрическое поле, называют *пробным*.

Пусть заряд  $q$  создает электрическое поле. Будем помещать в точку  $M$  электрического поля различные пробные заряды  $q_{\text{пр}}$  (рис. 1.2).

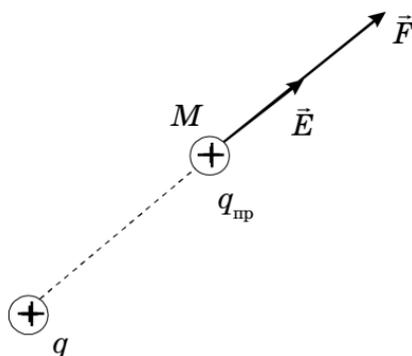


Рис. 1.2

На каждый из них электрическое поле действует с различными силами. Но если величину каждой силы разделить на соответствующий ей пробный заряд, то получим одно и то же значение, характерное для точки  $M$  этого поля. Таким образом, величина, равная силе, действующей на единичный пробный заряд в точке  $M$ , может служить силовой характеристикой электрического поля. Она называется *напряженностью электрического поля*:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}} . \quad (1.4)$$

Напряженность электрического поля — векторная величина. Направление вектора  $\vec{E}$  совпадает с направлением вектора силы  $\vec{F}$ , действующей на положительный пробный заряд, помещенный в данную

точку поля. Напряженность не зависит от наличия или отсутствия в данном поле пробных зарядов. Она зависит от свойств самого поля, которые определяются зарядом-источником, расстоянием от него до точки поля, в которой измеряется напряженность, и средой, в которой создано поле. В системе СИ напряженность электрического поля измеряется в *вольтах на метр* (В/м).

Пусть имеется положительный точечный заряд — источник поля  $Q$ . Поместим в некоторую точку поля  $M$  этого заряда положительный пробный заряд  $q_{\text{пр}}$ . На этот заряд будет действовать сила

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq_{\text{пр}}}{r^2}. \quad (1.5)$$

Тогда напряженность поля, создаваемого точечным зарядом  $Q$  в точке  $M$ ,

$$E = \frac{F}{q_{\text{пр}}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}. \quad (1.6)$$

Если заряд  $Q$  окружает среда с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , то напряженность создаваемого им поля

$$E = \frac{F}{q_{\text{пр}}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\epsilon r^2}. \quad (1.7)$$

Графически электрическое поле изображают *силовыми линиями*, которые начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных или уходят в бесконечность. На рис. 1.3 изображены линии напряженности полей положительного (*а*), отрицательного (*б*) и системы из положительного и отрицательного зарядов (*в*).

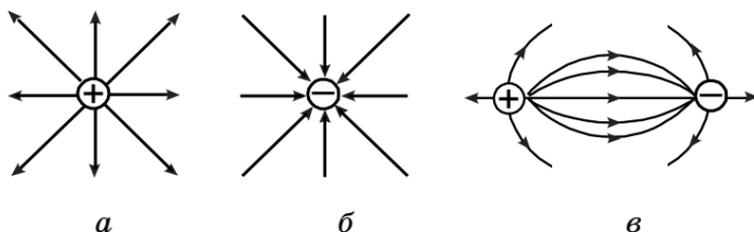


Рис. 1.3

О величине напряженности поля судят по густоте линий. Чем гуще расположены линии, тем больше величина напряженности. Густота линий — число линий, пронизывающих единичную площадку, перпендикулярную линиям. Вектор напряженности поля является касательным к силовым линиям в каждой точке поля.

Электрическое поле, напряженность которого в каждой точке одинакова по величине и направлению, называется *однородным*. Силовыми линиями однородного поля являются параллельные прямые, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга. Из рис. 1.3 видно, что электрическое поле точечного заряда является неоднородным.

Опыт показывает, что если на электрический заряд  $q$  одновременно действуют электрические поля нескольких зарядов, то результирующая сила оказывается равной геометрической сумме сил, действующих со стороны каждого поля в отдельности. Это означает, что электрические поля подчиняются *принципу суперпозиции*: если в данной точке пространства различные заряды создают электрические поля с напряженностями  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  и т. д., то вектор напряженности электрического поля в этой точке равен сумме векторов напряженностей всех электрических полей (рис. 1.4):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n. \quad (1.8)$$

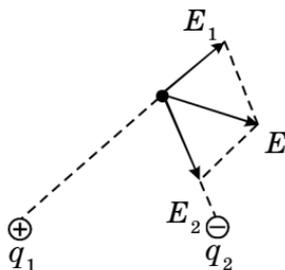


Рис. 1.4

### 1.3. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

Как уже говорилось, по электрическим свойствам тела можно разделить на проводники, диэлектрики и полупроводники. Проводники содержат электрические заряды, которые могут свободно перемещаться внутри этих тел. При внесении металлического проводника в электростатическое поле его свободные электроны перемещаются под действием кулоновских сил в направлении, противоположном направлению вектора напряженности этого поля, и скапливаются на поверхности проводника. В результате на поверхностях проводника, перпендикулярных силовым линиям, появятся заряды противоположного знака, которые называют *индуцированными*.

*Явление возникновения на поверхностях проводника, внесенного в электрическое поле, поверхностных зарядов противоположных знаков называется электростатической индукцией.*

Электрическое поле поверхностных зарядов  $\vec{E}'$  будет численно равно внешнему полю  $\vec{E}_0$ , но направлено противоположно ему. Поэтому результирующее поле внутри проводника  $\vec{E}$  будет равно нулю:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \vec{E}' = 0. \quad (1.9)$$

## Глава 5

# ТРЕХФАЗНЫЙ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

### *5.1. Принцип построения трехфазной системы*

Объединение в одной линии электропередачи нескольких цепей переменного тока с независимыми источниками электроэнергии называется *многофазной* системой. Наибольшее распространение получила *трехфазная* система, которая была изобретена и разработана во всех деталях, включая генератор трехфазного переменного тока, трехфазный трансформатор и асинхронный двигатель, выдающимся русским инженером М. О. Доливо-Добровольским в 1889–1891 гг. Благодаря своим достоинствам изобретение привлекло внимание инженеров и промышленников всего мира; трехфазная система быстро заняла ведущее положение в мировой электротехнике и сохраняет его до настоящего времени.

*Трехфазной системой переменного тока* называется совокупность трех однофазных переменных токов одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых относительно друг друга по фазе на  $1/3$  периода ( $120^\circ$ ).

Для того чтобы выяснить, как получают трехфазный переменный ток, кратко рассмотрим устройство *трехфазного генератора* (более подробно

оно будет рассмотрено ниже). Трехфазный генератор состоит из трех одинаковых изолированных друг от друга обмоток, расположенных на статоре и разнесенных в пространстве на  $120^\circ$ . В центре статора вращается электромагнит (рис. 5.1).

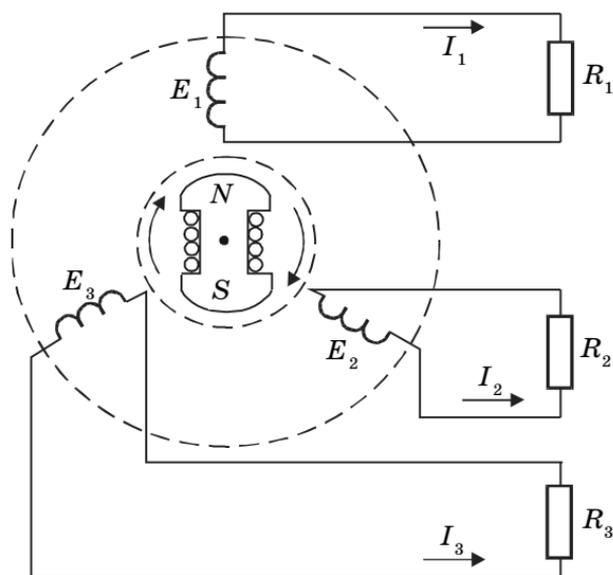


Рис. 5.1

При этом форма магнита такова, что магнитный поток, пронизывающий каждую катушку, изменяется по косинусоидальному закону. Тогда по закону электромагнитной индукции в катушках будут индуцироваться ЭДС равной амплитуды и частоты, отличающиеся друг от друга по фазе на  $120^\circ$ :

$$e_1 = E_0 \sin \omega t;$$

$$e_2 = E_0 \sin(\omega t - 120^\circ); \quad (5.1)$$

$$e_3 = E_0 \sin(\omega t - 240^\circ).$$

Эти три ЭДС можно изобразить на временной (рис. 5.2, а) и векторной (рис. 5.2, б) диаграммах:

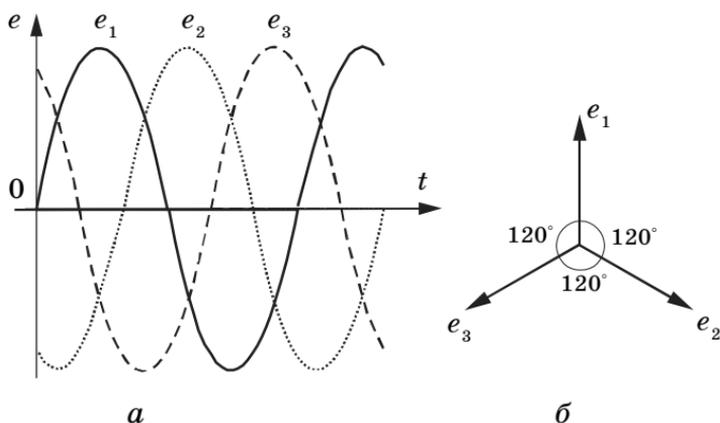


Рис. 5.2

Как видно из векторной диаграммы, сумма этих ЭДС равна нулю.

Если в трехфазной системе действуют электродвижущие силы, равные по величине и сдвинутые по фазе на  $120^\circ$ , а полные сопротивления нагрузок всех трех фаз как по величине, так и по характеру (по величине и знаку фазового сдвига) одинаковы, то режим в ней называется *симметричным*. Невыполнение одного из этих условий или двух является причиной *несимметричного* режима.

Чтобы образовать из этих независимых однофазных систем единую трехфазную, необходимо определенным образом электрически соединить отдельные обмотки.

Существуют два основных способа соединения: звездой и треугольником.

### 5.2. Соединение звездой

Отдельные фазы трехфазной системы принято обозначать латинскими буквами  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Этими же

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1. Основы электростатики</b> .....	6
1.1. Строение вещества .....	6
1.2. Электрические заряды. Закон Кулона. Электрическое поле. Принцип суперпозиции .....	10
1.3. Проводники и диэлектрики в электрическом поле.....	16
1.4. Работа по перемещению заряда в электрическом поле. Потенциал .....	18
1.5. Емкость. Конденсаторы. Соединение конденсаторов.....	22
<i>Вопросы для повторения</i> .....	26
<b>Глава 2. Постоянный электрический ток</b> .....	28
2.1. Закон Ома .....	28
2.2. Последовательное соединение резисторов .....	31
2.3. Первый закон Кирхгофа .....	33
2.4. Параллельное и смешанное соединение резисторов.....	34
2.5. Второй закон Кирхгофа.....	38
2.6. Расчет сложных электрических цепей.....	41
2.7. Работа и мощность электрического тока .....	46
2.8. Закон Ленца — Джоуля .....	50
2.9. Нагревание проводников электрическим током .....	51
2.10. Нелинейные сопротивления .....	54
<i>Вопросы для повторения</i> .....	57
2.11. Химическое действие электрического тока.....	57
2.12. Законы Фарадея .....	59
2.13. Гальванические элементы. ....	62

2.14. Аккумуляторы .....	66
<i>Вопросы для повторения</i> .....	76
<b>Глава 3. Электромагнетизм</b> .....	77
3.1. Взаимодействие токов. Магнитное поле . . .	77
3.2. Магнитные свойства веществ . . . . .	82
3.3. Электромагнитная индукция. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца . . . . .	87
3.4. Самоиндукция. Индуктивность . . . . .	90
<i>Вопросы для повторения</i> . . . . .	91
<b>Глава 4. Однофазный переменный ток</b> . . . . .	93
4.1. Получение переменного тока . . . . .	93
4.2. Действующие значения тока и напряжения . . . . .	97
4.3. Метод векторных диаграмм . . . . .	98
4.4. Цепь переменного тока с активным сопротивлением . . . . .	99
4.5. Цепь переменного тока с индуктивностью. . . . .	101
4.6. Цепь переменного тока с индуктивностью и активным сопротивлением . . . . .	103
4.7. Цепь переменного тока с емкостью . . . . .	106
4.8. Цепь переменного тока с емкостью и активным сопротивлением. . . . .	108
4.9. Последовательная цепь переменного тока. Резонанс напряжений. . . . .	110
4.10. Параллельная цепь переменного тока. Резонанс токов. . . . .	115
4.11. Мощность переменного тока . . . . .	117
<i>Вопросы для повторения</i> . . . . .	119
<b>Глава 5. Трехфазный переменный ток</b> . . . . .	121
5.1. Принцип построения трехфазной системы . . . . .	121
5.2. Соединение звездой . . . . .	123

5.3. Соединение треугольником.....	129
5.4. Мощность трехфазной системы и методы ее измерения .....	132
<i>Вопросы для повторения</i> .....	138

## **Глава 6. Электрические измерения**

<b>и приборы</b> .....	140
6.1. Классификация измерительных приборов и погрешности измерений .	140
6.2. Устройство электроизмерительных приборов .....	145
6.3. Приборы магнитоэлектрической системы .....	148
6.4. Приборы электромагнитной системы ....	151
6.5. Приборы электродинамической и ферродинамической систем .....	153
6.6. Однофазный индукционный счетчик электрической энергии .....	158
6.7. Омметр .....	162
6.8. Термоэлектрические и детекторные приборы.....	163
6.9. Цифровые измерительные приборы . ....	165
6.10. Измерение неэлектрических величин электрическими методами. Датчики .....	167
<i>Вопросы для повторения</i> . .	169

## **Глава 7. Трансформаторы** .....

7.1. Устройство и принцип работы трансформатора .....	171
7.2. Режимы работы трансформатора .....	175
7.3. Коэффициент полезного действия трансформатора.....	177
7.4. Трехфазные трансформаторы .....	179
7.5. Автотрансформатор .....	182
7.6. Измерительные трансформаторы.....	184
<i>Вопросы для повторения</i> .....	189

<b>Глава 8. Асинхронные электрические машины</b> .....	190
8.1. Классификация машин переменного тока.....	190
8.2. Устройство и принцип работы асинхронного двигателя .....	191
8.3. Создание вращающегося магнитного поля. ....	194
8.4. Скорость вращения магнитного поля. Скольжение .....	196
8.5. Асинхронный двигатель с фазным ротором .....	200
8.6. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.....	203
8.7. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей .....	206
8.8. Однофазный асинхронный двигатель .....	212
8.8.1. Однофазные двигатели с пусковой обмоткой .....	215
8.8.2. Конденсаторные двигатели .....	216
8.8.3. Однофазные двигатели с расщепленными полюсами .....	218
8.8.4. Включение трехфазных двигателей в однофазную сеть .....	219
<i>Вопросы для повторения</i> .....	220
<b>Глава 9. Синхронные электрические машины переменного тока</b> . . .	222
9.1. Устройство и принцип работы синхронного генератора .....	222
9.2. Реакция якоря .....	227
9.3. Характеристики синхронного генератора .....	229
9.4. Работа синхронной машины в режиме двигателя.....	232
9.5. Пуск и остановка синхронного двигателя .....	234

9.6. Характеристики синхронного двигателя.....	237
<i>Вопросы для повторения</i> .....	238

## **Глава 10. Электрические машины**

<b>постоянного тока</b> .....	240
10.1. Общие сведения .....	240
10.2. Устройство и принцип работы генератора постоянного тока.....	240
10.3. ЭДС и вращающий момент генератора постоянного тока.....	244
10.4. Способы возбуждения генераторов постоянного тока.....	247
10.5. Двигатели постоянного тока .....	251
10.6. Способы возбуждения двигателей постоянного тока.....	254
<i>Вопросы для повторения</i> .....	259
<b>Глава 11. Электронные приборы</b> .....	260
11.1. Общие сведения о полупроводниках.....	260
11.2. Полупроводниковые диоды. ....	269
11.3. Стабилитроны. ....	272
11.4. Тиристоры .....	276
11.5. Биполярные транзисторы. ....	285
11.6. Полевые транзисторы.....	289
11.6.1. Полевые транзисторы с <i>р-п</i> -переходом ...	289
11.6.2. Полевые транзисторы с изолированным затвором обедненного типа. ....	293
11.6.3. Полевые транзисторы с изолированным затвором обогащенного типа. ....	297
11.6.4. Особенности работы с МОП-транзисторами .....	300
11.7. Оптоэлектронные устройства.....	301
11.7.1. Светочувствительные устройства .....	302
11.7.2. Светоизлучающие устройства .....	307
11.8. Интегральные микросхемы .....	309
<i>Вопросы для повторения</i> .....	316

<b>Глава 12. Основы электроники . . . . .</b>	<b>319</b>
12.1. Основные схемы выпрямления переменного тока . . . . .	319
12.2. Сглаживающие фильтры . . . . .	330
12.3. Стабилизаторы напряжения . . . . .	336
12.4. Типы усилителей на транзисторах . . . . .	341
12.5. Генераторы синусоидальных колебаний . . . . .	356
12.5.1. LC-генераторы . . . . .	358
12.5.2. Кварцевые генераторы . . . . .	359
12.5.3. RC-генераторы . . . . .	363
12.6. Генераторы колебаний специальной формы . . . . .	364
12.7. Элементы цифровых электронных цепей . . . . .	366
12.7.1. Логические элементы . . . . .	367
12.7.2. Триггеры . . . . .	372
<i>Вопросы для повторения . . . . .</i>	<i>377</i>
<b>Глава 13. Производство и распределение   электроэнергии . . . . .</b>	<b>380</b>
13.1. Электрические станции . . . . .	380
13.2. Энергетические системы. Распределение электроэнергии между потребителями . . . . .	385
<i>Вопросы для повторения . . . . .</i>	<i>390</i>
<b>Глава 14. Элементы техники безопасности . . . . .</b>	<b>392</b>
14.1. Действие электрического тока на организм. . . . .	392
14.2. Основные причины поражения электрическим током. . . . .	394
14.3. Заземление электроустановок . . . . .	396
14.4. Оказание первой помощи пораженному электрическим током . . . . .	398
<i>Вопросы для повторения. . . . .</i>	<i>401</i>

Учебное издание

*Синдеев Юрий Георгиевич*

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**  
с основами электроники

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Ответственный редактор *О. Морозова*  
Технический редактор *Г. Логвинова*

Формат 84×108/32. Бум. тип № 2.  
Усл. п. л. 21,84. Тираж 1500 экз.  
Зак. №

ООО «Феникс»  
344011, Россия, Ростовская обл.,  
г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 150  
Тел./факс: (863) 261-89-50, 261-89-59

Изготовлено в России  
Дата изготовления: 10.2018.

Изготовитель: АО «Первая Образцовая типография»  
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»  
432980, Россия, Ульяновская обл.,  
г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14