

## ВВЕДЕНИЕ

---

**Э**лектротехника – область технических наук, изучающая электрические и магнитные явления и законы, а также результаты исследований в этой области для решения прикладных проблем электроэнергетики и электромеханики.

Электротехника включает в себя такие области техники, как электроэнергетика, электроника, системы управления, обработка сигналов, связь и телекоммуникации. Основное отличие от электроники заключается в том, что электротехника изучает проблемы, связанные с силовыми крупногабаритными электронными компонентами: линии электропередачи, электрические приводы, в то время как в электронике основными компонентами являются компьютеры и интегральные схемы.

Преимущество электрической энергии перед другими видами энергии объясняет широкую распространенность электротехники как науки. К таким преимуществам относятся: простота преобразования в другой вид энергии, передачи на любые расстояния, «разделения» энергии, а также управления электрическими приборами.

Единственный недостаток электроэнергии – невозможность сохранять ее запасы в течение долгого времени. Аккумуляторы и гальванические элементы способны содержать в себе энергию, которая годна лишь для работы маломощных устройств. В связи с этим электроэнергия производится в том количестве и тогда, когда она необходима потребителю.

Цель учебного пособия – формирование у будущих инженеров-строителей определенного круга знаний, умений и профессиональной компетенции на основе научно-теоретических и практических знаний в электротехнической области, чтобы они знали принципы действия, конструкцию, свойства, области применения и потенциальные возможности основных электротехнических и электронных устройств, применяемых в строительстве; могли определять параметры и характеристики типовых электротехнических устройств; знали технологию управления электротехническими аппаратами и машинами, могли контролировать их эффективную и безопасную работу.

# **1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

---

**Н**аука о практическом использовании электрического тока – электротехника – базируется на трех основных положениях:

1 Протекание электрического тока связано с различными явлениями (нагрев, свечение, механическая работа и т.п.). Но в электротехнике рассматриваются только электромагнитные процессы.

2 Электромагнитные процессы в общем случае описываются уравнениями Максвелла в интегральной или дифференциальной форме. И решение этих уравнений достаточно сложное. Но так как в электротехнике рассматриваются синусоидальные колебания частотой до 50 кГц, то в пределах электрической цепи набега фазы (изменения фазы) практически не происходит. В этом случае электромагнитные процессы в электрической цепи можно описывать алгебраическими уравнениями, составленными по законам Ома и Кирхгофа.

3 Все электротехнические устройства могут быть представлены эквивалентными схемами замещения в виде графического изображения электрической цепи идеализированными элементами, которые учитывают явления, происходящие в реальной цепи.

## **1.1 Основные понятия**

**Электрическая энергия** – это способность электромагнитного поля производить работу, преобразовываясь в другие виды энергии. Электроэнергия – наиболее совершенный и универсальный вид, сравнительно легко преобразующийся в другие виды энергии: механическую, тепловую, световую, химическую и др.

Совершение работы связано с перемещением зарядов через элементы, обладающие сопротивлением. Единица измерения электроэнергии (работы) – джоуль (Дж). Она соответствует работе по перемещению заряда в один кулон между точками цепи с напряжением в один вольт:  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ Кл}$ .

Основной электрической единицей тока в Международной системе единиц (СИ) является ампер (А). Определение эталонного значения величины ампера установлено на основании измерения

силы электродинамического взаимодействия двух проводников с током.

*Электрическим током  $I$*  называется направленное движение электрических зарядов (ионов – в электролитах, электронов проводимости в металлах).

Необходимым условием для протекания электрического тока является замкнутость электрической цепи.

Электрический ток измеряется в амперах (А).

Производные единицы измерения тока:

1 килоампер (кА) = 1000 А;

1 миллиампер (мА) = 0,001 А;

1 микроампер (мкА) = 0,000001 А.

Человек начинает ощущать проходящий через его тело ток в 0,005 А. Ток больше 0,05 А опасен для жизни человека.

*(Приведем несколько примеров действия тока, дающих представление о том, что такое ампер. Рабочий ток наиболее распространенных обычных ламп накаливания 0,1–1 А, бытовой люминесцентной лампы – 0,02–0,15 А. Электрические плитки в зависимости от мощности потребляют ток примерно 1,5–5 А. Ток электродвигателей средней мощности равен 5–25 А, а в электрометаллургических установках он достигает 50 кА и более.)*

При преобразовании других видов энергии в электрическую в преобразователях энергии возникает *электродвижущая сила* (ЭДС), потенциально способная совершать работу по перемещению в электрической цепи электрических зарядов. ЭДС измеряется в вольтах (В) и обозначается латинской буквой  $\epsilon$ .

Если источник ЭДС подключить к замкнутой цепи, то она окажется под воздействием электромагнитного поля, а на ее участках установятся разности электрических потенциалов или напряжения.

*Электрическим напряжением  $U$*  называется разность потенциалов между двумя точками электрического поля.

Физическая скалярная величина, характеризующая энергетическое состояние поля, называется *потенциалом* данной точки поля. В поле помещается заряд  $q$ , он обладает потенциальной энергией  $W$ . Потенциал – это характеристика электростатического поля.

Единицей разности электрических потенциалов является вольт (В).  $1 \text{ В} = 1 \text{ Вт} : 1 \text{ А}$ .

Производные единицы измерения напряжения:

1 киловольт (кВ) = 1000 В;

1 милливольт (мВ) = 0,001 В;

1 микровольт (мкВ) = 0,00000 1 В.

*Сопротивлением* участка электрической цепи называется величина, зависящая от материала проводника, его длины и поперечного сечения.

Электрическое сопротивление измеряется в омах (Ом).

1 Ом = 1 В : 1 А.

Производные единицы измерения сопротивления:

1 килоОм (кОм) = 1000 Ом;

1 мегаОм (МОм) = 1 000 000 Ом;

1 миллиОм (мОм) = 0,001 Ом;

1 микроОм (мкОм) = 0,00000 1 Ом.

Электрическое сопротивление тела человека в зависимости от ряда условий колеблется от 100 до 1000 Ом.

*Удельным электрическим сопротивлением*  $\rho$  называется сопротивление проволоки длиной 1 м и сечением 1 мм<sup>2</sup> при температуре 20 °С.

Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной электрической проводимостью  $\gamma$ .

*Электропроводность* – способность тела проводить электрический ток, а также физическая величина, характеризующая эту способность. В Международной системе единиц (СИ) единицей измерения электрической проводимости является сименс (См). 1 См = 1/Ом.

*Мощностью*  $P$  называется величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование энергии, или скорость, с которой совершается работа.

Мощностью генератора называется величина, характеризующая скорость, с которой механическая или другая энергия преобразуется генератором в электрическую.

Мощностью потребителя называется величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование электрической энергии в отдельных участках цепи в другие полезные виды энергии.

Системной единицей мощности в СИ является ватт (Вт). Он равен мощности, при которой за 1 секунду выполняется работа в 1 джоуль: 1 Вт = 1 Дж/1 с.

Производными единицами измерения электрической мощности:

1 киловатт (кВт) = 1000 Вт;

1 мегаватт (МВт) = 1000 кВт = 1 000 000 Вт;

1 милливатт (мВт) = 0,001 Вт;

1 лошадиная сила (л. с.) = 736 Вт = 0,736 кВт.

Единицы измерения электрической энергии:

1 ватт-секунда (Вт·с) = 1 Дж = (1 Н) (1 м);

1 киловатт-час (кВт·ч) =  $3,6 \cdot 10^6$  Вт·с.

Так как основная единица работы и энергии в системе СИ – джоуль (Дж) – сама по себе мала, то в электроэнергетических цепях практической единицей для измерения работы, совершаемой электрическим током, обычно служит более крупная единица – киловатт-час (кВт·ч). 1 кВт·ч – работа, совершаемая током при непрерывном протекании его в течение одного часа с выделением на протяжении этого времени мощности 1 кВт. Следовательно, 1 кВт·ч = 3 600 000 Дж.

*Пример. Ток, потребляемый электродвигателем, присоединенным к сети 220 В, составлял 10 А в течение 15 минут. Определим энергию, потребленную двигателем  $W = Pt = UIt = 220 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 60 = 1980000$  (Вт·с). Разделив эту величину на 1000 и 3600, получим энергию в киловатт-часах:  $W = 1980000 / (1000 \cdot 3600) = 0,55$  кВт·ч).*

## 1.2 Основные законы электротехники

Основными законами электротехники являются законы Ома, Джоуля–Ленца, Ампера, Фарадея.

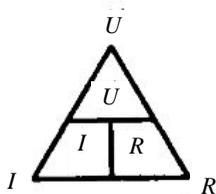
**Закон Ома** (по имени немецкого физика Г. Ома (1787–1854)): сила тока  $I$  в однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению  $U$ , приложенному к участку, и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению этого участка  $R$ :

$$I = U / R, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока, А;

$U$  – напряжение, В;

$R$  – сопротивление, Ом.



Закон Ома является главным законом электротехники. Взаимосвязь между падением напряжения на проводнике, его сопротивлением и силой тока легко запоминается в виде треугольника, в вершинах которого расположены символы  $U, I, R$ .

**Закон Джоуля–Ленца** – физический закон, дающий количественную оценку теплового действия электрического

тока. Открыт в 1840 году независимо Джеймсом Джоулем и Эмилием Ленцом. Позволяет определить количество тепловой энергии, которая выделяется в проводнике при протекании по нему электрического тока. В случае постоянной силы тока и сопротивления мощность тепла  $W$ , выделяемого в единице объёма среды при протекании электрического тока, пропорциональна произведению квадрата электрического тока на величину электрического сопротивления и на время протекания тока:

$$W = I^2 R t, \quad (2)$$

где  $t$  – время протекания тока.

**Магнитное поле** – это особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами. Оно характеризуется тем, что создается движущимися заряженными частицами и телами, проводниками с током, постоянными магнитами; действует на движущиеся заряженные частицы и тела, на проводники с током, на постоянные магниты, на рамку с током; является вихревым, так как не имеет источника.

*Магнитные силы* – это силы, с которыми проводники с током действуют друг на друга.

**Закон магнитной индукции Ампера** устанавливает взаимосвязь между током  $I$  в проводнике и силой  $F_m$ , действующей на этот проводник, если он находится в равномерном магнитном поле с индукцией  $B$ :

$$F_m = I B l \sin \alpha, \quad (3)$$

где  $l$  – длина проводника;

$\alpha$  – угол между током и магнитной индукцией (рисунок 1).

Сила Ампера направлена перпендикулярно плоскости, в которой лежат векторы  $dl$  и  $B$ .

*Магнитная индукция* – это силовая характеристика магнитного поля. Для определения направления силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле, применяется правило левой руки (см.

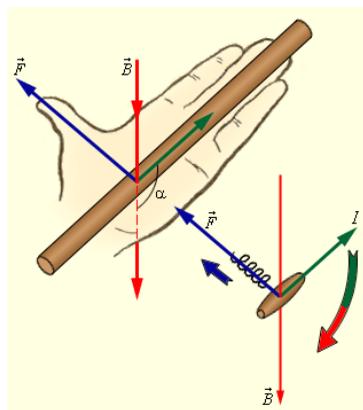


Рисунок 1 – Правило левой руки и правило буравчика

(<http://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter1/section/paragraf16/theory.html>)

рисунок 1).

*Магнитная индукция* – векторная физическая **величина**, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля.

*Электромагнитная индукция* – это **явление** возникновения электрического тока в проводящем контуре при изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром.

**Закон электромагнитной индукции Фарадея** является основным законом электродинамики, касающимся принципов работы трансформаторов, дросселей, многих видов электродвигателей и генераторов, и устанавливает связь между индуктированием ЭДС  $e$  в электрических цепях и изменением магнитного потока  $\Phi$ :

$$e = -d\Phi/dt. \quad (4)$$

Или другими словами: генерируемая ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока. Знак « $\leftarrow$ » показывает, что ЭДС направлена таким образом, чтобы препятствовать изменению магнитного потока.

### 1.3 Генерирование электрической энергии

Прежде чем перейти к изучению теоретических и практических основ электротехники, определимся, как генерируется электрический ток. С этой целью используются **генераторы** – устройства, преобразующие энергию того или иного вида в электрическую энергию.

К генераторам относятся гальванические элементы, электростатические машины, термобатареи (в термобатареях используется свойство двух контактов разнородных материалов создавать ЭДС за счет разности температур контактов), солнечные батареи и т. п. Исследуются возможности создания принципиально новых типов генераторов.

Область применения каждого из перечисленных типов генераторов электроэнергии определяется их характеристиками. Так, электростатические машины создают высокую разность потенциалов, но неспособны создать в цепи сколько-нибудь значительную силу тока. Гальванические элементы могут дать большой ток, но продолжительность их действия невелика.

Преобладающую роль в наше время играют электромеханические

индукционные генераторы переменного тока. В этих генераторах механическая энергия превращается в электрическую. Их действие основано на явлении электромагнитной индукции. Такие генераторы имеют сравнительно простое устройство и позволяют генерировать большие токи при достаточно высоком напряжении.

В дальнейшем, говоря о генераторах, мы будем иметь в виду именно индукционные электромеханические генераторы.

#### **1.4 Виды тока**

Среди видов электрического тока различают:

– постоянный ток: обозначение (–) или DC (Direct Current = = постоянный ток).

– переменный ток: обозначение (~) или AC (Alternating Current = = переменный ток).

<http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-153-stroitel'naya-tehnika/76.htm>

*При постоянном токе (–) ток течет в одном направлении.*

Постоянный ток поставляют, например, сухие батарейки, солнечные батареи и аккумуляторы для приборов с небольшим потреблением электрического тока. Для электролиза алюминия, при дуговой электросварке и при работе электрифицированных железных дорог требуется постоянный ток большой силы. Он создается с помощью выпрямления переменного тока или с помощью генераторов постоянного тока.

В качестве технического направления тока принято, что он течет от контакта со знаком «+» к контакту со знаком «–».

В случае переменного тока (~) различают однофазный переменный, трехфазный переменный и высокочастотный токи.

*При переменном токе ток постоянно изменяет свою величину и свое направление.* В нашей энергосети ток за секунду меняет свое направление 50 раз. Частота изменения колебаний в секунду называется частотой тока. Единица частоты – герц (Гц). Однофазный переменный ток требует наличия проводника, проводящего напряжение, и обратного проводника.

Переменный ток применяется на стройплощадке и в промышленности для работы электрических машин, например ручных шлифовальных устройств, электродрелей и круговых пил, а также для освещения стройплощадок и оборудования стройплощадок.

Генераторы трехфазного переменного тока вырабатывают на каждой из своих трех намоток переменное напряжение частотой 50 Гц. Этим напряжением можно снабжать три отдельные сети и при этом использовать для прямых и обратных проводников всего шесть проводов. Если объединить обратные проводники, то можно ограничиться только четырьмя проводами.

Общим обратным проводом будет нейтральный проводник ( $N$ ). Как правило, он заземляется. Три других проводника (внешние проводники) имеют краткое обозначение  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ . В единой энергосистеме, нашей страны напряжение между внешним проводником и нейтральным проводником, или землей, составляет 220 В, напряжение между двумя внешними проводниками, например между  $L1$  и  $L2$ , – 380 В.

О высокочастотном токе говорят, когда частота колебаний значительно превышает 50 Гц (от 15 кГц до 250 МГц). С помощью высокочастотного тока можно нагревать токопроводящие материалы и даже плавить их, например металлы и некоторые синтетические материалы.

## 1.5 Классификация электротехнических материалов

**Материал** – это объект, обладающий определенным составом, структурой и свойствами, предназначенный для выполнения определенных функций. Это может быть обеспечение протекания тока – в проводниковых материалах, сохранение определенной формы при механических нагрузках – в конструкционных материалах, обеспечение непротекания тока, изоляция – в диэлектрических материалах, превращение электрической энергии в тепловую – в резистивных материалах. Обычно материал выполняет несколько функций, например, диэлектрик обязательно испытывает какие-то механические нагрузки, а значит, является конструкционным материалом.

Основные материалы, применяемые в энергетике и электротехнике, можно разделить на несколько классов: *проводниковые, магнитные, диэлектрические*. Общим для них является то, что они эксплуатируются в условиях действия напряжения, а значит, и электрического поля. В них протекают

электрические токи, выделяется тепловая энергия, происходят потери электрической энергии, нагревание материалов. Более специфичны магнитные материалы, в них запасается магнитная энергия, происходят ее потери, выделяется тепло при работе в переменном электрическом поле.

От правильного выбора электротехнических материалов, а также их качества и применения зависит экономичность работы электрических приборов, электроустановок, машин, аппаратов их надежность и долговечность.

По способности проводить электрический ток электротехнические материалы классифицируют на *проводниковые, полупроводниковые и электроизоляционные материалы* (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация электротехнических материалов

Группа	Вид материала	Вид электропроводности
Проводники	Металлы и сплавы. Электролиты. Ионизированные газы	Электронная, ионная
Полупроводники	Германий, кремний, селен и др.	Электронная
Диэлектрики	Стекло, слюда, фарфор, каучук, пластмассы, газы и др.	Электронная и ионная

### 1.5.1 Проводники

Способность материала проводить ток, как известно, характеризуется удельным электрическим сопротивлением.

Небольшим удельным сопротивлением (порядка  $10^{-6}$ – $10^{-8}$  Ом·м) обладают **проводниковые материалы** (таблица 2). Они используются в электроустановках как токоведущие части.

Для характеристики степени противодействия проводников протеканию зарядов используют понятие сопротивления. Его значение зависит от материала, из которого изготовлен проводник, а также от его геометрических формы и размеров.

Таблица 2 – Проводниковые материалы

Материал	Назначение	Удельное сопротивление
Медь. Алюминий. Серебро. Железо. Натрий. Бронза. Латунь	Провода, кабели, токопроводящие детали, контактные элементы и др.	Низкое
Нихром. Фехраль. Константан. Манганин.	Нагревательные элементы, реостаты, резисторы и др.	Высокое
Свинец, олово. Никель, вольфрам. Электротехнический уголь.	Аккумуляторы, припои, электрошкетки и др.	Определяется назначением

О качестве проводников судят по их свойствам. Электрические свойства проводников определяются в основном удельной проводимостью и удельным сопротивлением (таблица 3).

Таблица 3 – Электротехнические характеристики металлов и сплавов (при температуре 21 °С)

Материал	Удельное сопротивление $\rho$ , Ом·м	Удельная электропроводимость $\gamma$ , См/м
Серебро Ag	$0,016 \cdot 10^{-6}$	$62,5 \cdot 10^6$
Медь Cu	$0,018 \cdot 10^{-6}$	$55,0 \cdot 10^6$
Алюминий Al	$0,027 \cdot 10^{-6}$	$35,0 \cdot 10^6$
Бронза	$(0,021-0,052) \cdot 10^{-6}$	$(47,6-19,2) \cdot 10^6$
Сталь	$(0,103-0,107) \cdot 10^{-6}$	$(9,7-7,29) \cdot 10^6$
Чугун	$0,501 \cdot 10^{-6}$	$1,90 \cdot 10^6$

Изделия из проводников многочисленны и имеют самую различную конструкцию, но по некоторым характерным признакам их можно подразделить на две основные группы:

– *проводники* – провода и кабели, шнуры и шинопроводы, для них характерна значительная длина по сравнению с поперечным сечением. Области применения – весьма разнообразны;

– *токопроводящие детали* – элементы в электрических аппаратах, машинах и других устройствах: зажимы, контакты, связывающие элементы и др.

В зависимости от предназначения и места монтажа токопроводящие детали могут быть *изолированными* и *неизолированными* и иметь различную конструкцию. Их изготавливают из меди или алюминия, а при необходимости большей механической

прочности и износоустойчивости – из латуни, бронзы, металлокерамики и др.

Соединения между токопроводящими деталями должны быть выполнены так, чтобы обеспечивалась хорошая электропроводимость.

Неразборные соединения изготовляют *прессованием, сваркой или пайкой*.

*Сварка* используется, главным образом, при создании крупных изделий. В зависимости от материала проводника и его размеров сварка может быть электродуговой, контактной или газопламенной.

*Пайку* используют для создания изделий с небольшими размерами. Нагревая изделия, подлежащие пайке, и используя соответствующие флюсы и припои, получают механически крепкие с малым переходным сопротивлением соединения.

С возрастанием температуры сопротивление металлических проводников растет.

### 1.5.2 Диэлектрики

**Диэлектриками** называют **электроизоляционные материалы**, которые практически не проводят электричество. Они располагают большим удельным сопротивлением (порядка  $10^6$ – $10^{17}$  Ом·м). Используются в электроустановках как изолирующие части для токоведущих частей. Удельное сопротивление некоторых диэлектриков при температуре воздуха 21 °С представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Удельное сопротивление некоторых диэлектриков (21 °С)

Вещество	Удельное сопротивление $\rho$ , Ом·м
Бакелит	$10^{11}$ – $10^{12}$
Каучук	$10^{14}$
Полистирол	$10^{15}$ – $10^{17}$
Полиэтилен	$10^{14}$ – $10^{15}$
Резины для отвода статических зарядов	$10$ – $10^5$
Полихлорвинил	$10^{14}$
Стекло	$10^6$ – $10^{15}$
Эбонит	$10^{13}$ – $10^{15}$
Бензин	$10^{10}$
Вода	$10^3$ – $10^4$
Воздух (сухой)	$10^{14}$ – $10^{15}$

Однако при увеличении напряжения свыше некоторого определенного для данного изоляционного материала значение его сопротивления резко понижается и материал полностью теряет изоляционные свойства. Причина этого явления состоит в том, что в материале образуется канал большой проводимости. Появление канала в газообразных и жидких диэлектриках называют *разрядом*, а в твердых – *пробоем*. После снятия напряжения газообразные и жидкие диэлектрики восстанавливают свои электроизоляционные свойства. Пробой в твердых диэлектриках – необратимый процесс.

Способность изоляционных материалов выдерживать напряжение до определенного значения без пробоя (разряда) называют **электрической** или **пробивной прочностью**.

Пробой может быть чисто *электрическим* или *электротепловым*. Причина электрического пробоя – ионизационные процессы в диэлектрике. Тепловой пробой происходит тогда, когда теплота, образующаяся в диэлектрике вследствие диэлектрических потерь, не успевает рассеяться в окружающей среде. В этом случае температура диэлектрика резко увеличивается и наступает пробой.

**Изоляционные материалы** по теплоустойчивости подразделяют на семь классов. Самый низкий класс соответствует максимально допустимой температуре 90 °С, самый высокий – температуре свыше 180 °С.

Свойства изоляционных материалов в большой степени зависят от воздействия окружающей среды: влажности, загрязнения, низких и высоких температур, химической активности, механических воздействий и др. Все это тем или иным способом ухудшает изоляционные качества материалов и приводит к их быстрому старению.

Электроизоляционные материалы используют:

- для изоляции токопроводящих частей оборудования между собой, по отношению к земле и другим нетокопроводящим элементам;

- в качестве диэлектрика в конденсаторах;

- для гашения электрической дуги в коммутационных устройствах.

При неправильном выборе изоляционного материала, например по электрической прочности, может произойти электрический пробой и оборудование выйдет из строя. Если ошибка произошла в выборе назначения материала, это может привести к серьезным нарушениям в электроснабжении и тяжелым авариям. Излишнее количество

изоляции приводит к удорожанию электротехнического оборудования, поэтому требуется хорошо знать основные свойства наиболее часто применяемых диэлектриков и области их применения в электроизоляционных конструкциях.

При конструировании и создании электрического оборудования очень важно правильно выбрать вид и характеристики изоляционного материала (рисунок 2).

Диэлектрики делятся по химическому составу на два типа: *органические и неорганические*.

К *органическим диэлектрическим материалам* относятся пластмассы (термопластичные и термореактивные), электроизоляционные компаунды, клеи, волокнистые материалы.



Рисунок 2 – Классификация диэлектрических материалов

*Неорганические диэлектрики* представлены двумя классами материалов: электроизоляционные стекла и керамические материалы.

*Активные диэлектрики* представляют собой материалы с нелинейной кривой поляризации. К ним относятся сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, жидкие кристаллы.

Электроизоляционные материалы отличаются также по фазовому состоянию: *твердые и жидкие*.

*Электроизоляционные компаунды* имеют высокие электроизоляционные свойства. Сам состав во время применения бывает жидкий, а после отвердевает и становится более устойчивым. Пропиточные компаунды используют в пропитке обмоток трансформаторов, электрических аппаратов и машин. Заливочные применяют для заливки полостей с целью герметизации в электромашинах и т.п.

*Электроизоляционные лаки и эмали.* Лак, по своей сути, это раствор для образования плёночно-защитного вещества. Его задача заключается в создании защитной лаковой плёнки, способствует этому его физико-химический процесс. Разделяются электроизоляционные лаки на три типа: клеящие, пропиточные и покровные.

*Непротитанные, волокнистые электроизоляционные материалы* – это рулонные и листовые материалы, изготовленные из волокон неорганического и органического происхождения.

Также к композиционным материалам относятся: пластические массы, слоистые электроизоляционные пластмассы, намотанные электроизоляционные изделия, минеральные электроизоляционные материалы, слюдяные электроизоляционные материалы, слюдопластовые электроизоляционные материалы, электрокерамические материалы и стекла, магнитные материалы и т.д.

### **1.5.3 Полупроводники**

По сравнению с диэлектриками и проводниками у полупроводниковых материалов удельное электрическое сопротивление изменяется в значительном интервале –  $10^5$ – $10^8$  Ом·м, отчего полупроводники имеют особые свойства в электричестве.

Протекание тока в полупроводнике обусловлено не только перемещением электронов, но и перемещением дырок (положительно заряженных вакансий). Это отличает механизм электропроводности полупроводников от проводников. В полупроводниках под действием электрического тока в одном направлении перемещаются свободные электроны, а в другом – дырки.

Проводимость полупроводниковых материалов лежит между проводимостью изоляторов и проводников. Чистыми полупроводниковыми элементами являются углерод (C), германий (Ge) и кремний (Si). Германий и кремний — атомарные полупроводники и наиболее подходят для применения в электронике.

Германий – хрупкий серовато-белый элемент, открытый в 1886 году. Порошкообразную двуокись германия получают из золы

некоторых сортов угля. Из этого порошка получают твердый чистый германий.

Кремний был открыт в 1823 году. Он широко распространен в земной коре в виде двуокси кремния, которым богат песок, кварц, агат и кремень. Из  $\text{SiO}_2$  химическим путем получают чистый кремний, который является наиболее широко используемым полупроводниковым материалом.

Полупроводниковый материал после получения должен быть модифицирован, чтобы он приобрел качества, необходимые для полупроводниковых устройств.

Полупроводниковые устройства используются в радиоэлектронных устройствах, усилителях электрических сигналов, выпрямителях переменного тока, а также в различных других областях.

#### **1.5.4 Магнитные и другие материалы**

Применяемые в электронной технике магнитные материалы подразделяют на две основные группы: магнитотвердые и магнитомягкие. В отдельную группу выделяют материалы специального назначения.

К магнитотвердым относят материалы с большой коэрцитивной силой ( $H_s > 4000$  А/м). Они перемагничиваются лишь в очень сильных магнитных полях и служат для изготовления постоянных магнитов.

К магнитомягким относят материалы с малой коэрцитивной силой ( $H_s < 4000$  А/м) и высокой магнитной проницаемостью. Они обладают способностью намагничиваться до насыщения в слабых магнитных полях, характеризуются узкой петлей гистерезиса и малыми потерями на перемагничивание. Магнитомягкие материалы используются в основном в качестве различных магнитопроводов: сердечников дросселей, трансформаторов, электромагнитов, магнитных систем электроизмерительных приборов и т. п.

Из электротехнических материалов конструкционного типа изготавливают конструктивные элементы электроустановок. К ним непосредственно имеют отношения различные электроизоляционные и проводниковые материалы. Например, из керамики изготавливают основания электронагревательных приборов и реостатов; из стали – конструкции, на которые крепят токоведущие части, также корпуса электрических машин, электрощиты; из пластмассы – ручки рубильников, щитки, различного типа корпуса электроизмерительных приборов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Электроизмерительные приборы  
(<http://www.sibopt.ru/jelektroizmeritelnye-pribory-phaza.html>)