

В.С. Попов

**Общая электротехника с
основами электроники**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.39
ББК 32
В11

В11 **В.С. Попов**
Общая электротехника с основами электроники / В.С. Попов – М.: Книга
по Требованию, 2024. – 506 с.

ISBN 978-5-458-29402-7

ISBN 978-5-458-29402-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

кация всей страны» неуклонно осуществляется под руководством КПСС.

Электротехника наряду с производством и передачей электрической энергии рассматривает вопросы применения электрической энергии для практических целей.

Широкое применение электрической энергии во всех областях народного хозяйства и быта, или, как говорят, их электрификация сопровождается внедрением в производство передовой техники и комплексной механизацией и автоматизацией производственных процессов. Применение электричества изменяет многие технологические процессы, например электросварка, электролиз, закалка токами высокой частоты и т. д. Изобилие дешевой электроэнергии позволяет по-новому решать вопросы технологии производства и внедрять в жизнь достижения передовой науки, обеспечивающие рост производительности труда.

Электроника рассматривает принцип действия, устройство и применение электронных, ионных и полупроводниковых приборов, т. е. приборов, основанных на явлениях прохождения электрически заряженных частиц в вакууме, газах и полупроводниках, а также применение этих приборов в науке, различных областях промышленности и техники. Например, нашли широкое применение в энергетике мощные ионные и полупроводниковые вентили для преобразования переменного тока в постоянный, необходимый для электрической тяги, электрохимического и других производств.

Автоматизация производственных и технологических процессов немыслима без широчайшего применения электронных, ионных и полупроводниковых приборов для контроля, регулирования и управления указанными процессами.

Бурное развитие электронной вычислительной техники позволяет не только поднять на новый уровень работу автоматических и телемеханических устройств, но и решать экономические задачи важного народнохозяйственного значения.

Общеизвестно использование электронных, ионных и полупроводниковых приборов в устройствах беспроводной связи, телевидении, радиолокации и других областях.

Современная техника позволяет в настоящее время использовать в сложных электрических устройствах огромное количество миниатюрных приборов (диодов, транзисторов, резисторов, индуктивностей, конденсаторов и др.), выполняемых как пленочные микросхемы. Для производства этих микросхем используется электроннолучевая и лазерная техника. С помощью электронной технологии осуществляется получение таких материалов, как, например, вольфрам, молибден, тантал, ниобий в сверхчистом состоянии, необходимом для современной техники.

Естественно, что даже для ознакомления с современной техникой надо прочно овладеть основами прикладных наук, и в частности, важнейшими из них — электротехникой и электроникой.

Часть первая

Общая электротехника

Глава первая

Электрическое поле

1-1. Основные понятия

Во всяком теле содержится большое количество элементарных частиц вещества, обладающих электрическими зарядами¹, например: протоны — положительными зарядами, электроны — отрицательными. Одни из элементарных заряженных частиц входят в состав атомов и молекул вещества, другие находятся в свободном состоянии. В заряженном теле преобладают положительные или отрицательные заряды, в электрически нейтральном теле число тех и других зарядов одинаково.

Движущиеся электрические заряды неразрывно связаны с окружающим их электромагнитным полем, которое представляет собой один из видов материи. Электромагнитное поле состоит из двух взаимно связанных сторон — составляющих: магнитного поля и электрического поля, выявляемых по силовому действию на заряженные элементарные частицы или тела.

Разноименно заряженные тела притягиваются друг к другу, одноименно заряженные — отталкиваются. Каждый заряд неразрывно связан с окружающим его электрическим полем, так что взаимодействие заряженных тел происходит при посредстве электрического поля.

Так как электрическое поле оказывает силовое действие на внесенное в него электрически заряженное тело или

¹ Под электрическим зарядом понимается свойство частиц вещества или тел, характеризующее их взаимосвязь с собственным электромагнитным полем и их взаимодействие с внешним электромагнитным полем. Электрический заряд содержит определенное количество электричества.

частицы, оно способно совершить работу. Следовательно, электрическое поле обладает энергией, которую называют *электрической энергией*.

Электрически заряженные частицы вещества и их электрическое поле представляют собой две неразрывно связанные формы материи.

Каждая точка электрического поля характеризуется *напряженностью поля* $\mathcal{E}$.

Напряженность электрического поля определяется отношением силы F , с которой поле действует на точечный пробный заряд q , помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда, следовательно, можно написать:

$$\mathcal{E} = F/q. \quad (1-1)$$

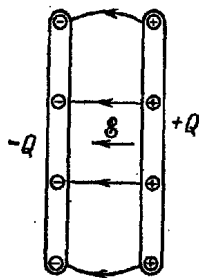


Рис. 1-1. Электрическое поле между двумя параллельными пластинами, заряженными разноименными зарядами.

Точечным пробным зарядом называется заряженное тело, линейные размеры которого весьма малы и заряд которого вследствие малости практически не искажает рассматриваемое поле.

При q , равном единице (одному куло-ну), $\mathcal{E}$ численно равно F , следовательно, *напряженность электрического поля численно равна силе поля, действующей на единичный заряд*, т. е. электрический заряд, равный единице (одному кулону).

Напряженность поля характеризуется не только величиной, но и направлением, которое совпадает с направлением силы поля, действующей на положительный заряд, находящийся в данной точке поля. Следовательно, *напряженность поля — векторная величина*.

На рис. 1-1 показан вектор напряженности $\mathcal{E}$ электрического поля между двумя параллельными пластинами с зарядами $+Q$ и $-Q$.

Электрическое поле графически изображается *линиями напряженности* электрического поля. Линия напряженности проводится так, чтобы в каждой точке ее вектор напряженности поля был направлен вдоль касательной к ней в этой точке. Линия напряженности электрического поля начинается на положительном заряде и оканчивается на отрицательном электрическом заряде, таким образом, она является не замкнутой.

Если через каждую единичную площадку (например, 1 см^2), перпендикулярную к направлению линии, провести

число линий, равное или пропорциональное напряженности поля в этой части, то плотность линий напряженности можно использовать для оценки величины напряженности поля.

Поле называется однородным, если во всех точках его векторы напряженности равны друг другу. Примером может служить электрическое поле между параллельными пластинами (рис. 1-1) в области, достаточно удаленной от краев пластин.

1-2. Электрическое напряжение. Потенциал

Допустим, что пробный положительный заряд q переместился в однородном электрическом поле под действием сил этого поля из точки M в точку N на расстояние l (рис. 1-2) в направлении поля.

Совершенная при этом силами поля работа за счет потенциальной энергии поля равна:

$$A = Fl,$$

или, приняв во внимание (1-1),

$$A = Fl = \mathcal{E}ql. \quad (1-2)$$

Величина, определяемая отношением работы по перемещению заряда q между двумя точками поля к величине заряда, называется электрическим напряжением¹ между указанными точками M и N .

Следовательно, напряжение

$$U = A/q.$$

Таким образом, напряжение между двумя точками численно равно работе сил поля при перемещении между этими точками положительного единичного заряда.

Так как работа $A = \mathcal{E}ql$, то напряжение

$$U = A/q = \mathcal{E}ql/q = \mathcal{E}l. \quad (1-3)$$

В Международной системе единиц СИ приняты единицы: длины — метр (м); массы — килограмм (кг); времени — секунда (с); силы — ньютон (Н); работы — джоуль (Дж);

¹ Обычно вместо термина «электрическое напряжение» применяют термин «напряжение».



Рис. 1-2. Перемещение электрического заряда $+q$ в однородном поле.

электрического заряда — кулон (Кл); электрического напряжения — вольт (В).

Из выражения (1-3) следует

$$1В = 1 \text{ Дж/1 Кл.}$$

Напряженность электрического поля согласно (1-3) определяется выражением

$$\mathcal{E} = U/l, \quad (1-4)$$

откуда напряженность поля измеряется в вольтах на метр

$$|\mathcal{E}| = В/м.$$

Напряжение между данной точкой M электрического поля и другой произвольно выбранной точкой поля, потенциал которой условно принят равным нулю, называется потенциалом φ данной точки поля. Часто потенциал любой точки земли считают равным нулю.

Потенциал численно равен работе, которая может быть совершена силами электрического поля при перемещении положительного единичного заряда из данной точки поля в точку, потенциал которой принят равным нулю.

При перемещении единичного положительного заряда из точки M , имеющей потенциал φ_M , в точку N с потенциалом φ_N работа, производимая силами поля, т. е. напряжение между указанными точками равно разности потенциалов

$$U_{MN} = \varphi_M - \varphi_N, \quad (1-5)$$

т. е. *напряжение между двумя точками электрического поля равно разности потенциалов этих точек.* Потенциал измеряется в вольтах, т. е. тех же единицах, что и напряжение.

1-3. Электропроводность

Атомы химических элементов, входящих в состав любого вещества, состоят из положительно заряженного ядра и движущихся вокруг него отрицательно заряженных электронов. Атомы обычно электрически нейтральны, так как заряд ядра равен сумме зарядов окружающих его электронов.

Если от нейтрального атома (молекулы) отделяется электрон, то атом превращается в *положительный ион*. Отделившийся от атома электрон присоединяется к другому нейтральному атому, образуя *отрицательный ион*, или остается свободным. Такие свободные электроны называют

электронами проводимости, а процесс образования ионов — ионизацией. Количество свободных электронов или ионов в единице объема вещества называется концентрацией носителей электрического заряда (n).

В веществе, помещенном в электрическом поле, под действием сил поля возникает направленное движение электронов проводимости или ионов, называемое электрическим током. Свойство вещества создавать электрический ток под действием электрического поля называется электропроводностью вещества. Степень электропроводности оценивается удельной электрической проводимостью материала (см. § 2-3). Электрическая проводимость вещества (тела) зависит от концентрации носителей заряда. При высокой концентрации проводимость вещества больше, чем при малой. Все вещества в зависимости от электрической проводимости делятся на проводники, диэлектрики (электроизоляционные материалы) и полупроводники.

Проводники обладают высокой проводимостью, к ним относятся металлы и их сплавы, уголь, электролиты (водные растворы солей, кислоты щелочей) и расплавы.

Диэлектрики, наоборот, обладают ничтожной проводимостью. К ним относятся газы, минеральные масла, лаки и большое число твердых неметаллических тел.

Полупроводники обладают промежуточной проводимостью между проводниками и диэлектриками. К ним относятся такие металлы, как кремний, германий, селен, окислы металлов и др.

Каждый электрон в атоме может обладать только определенными значениями энергии, т. е. находиться только в разрешенных энергетических состояниях или уровнях, так как изменение энергии электрона может происходить только определенными порциями — квантами. Переход электрона на более высокий энергетический уровень, т. е. на более удаленную орбиту, требует затраты энергии на преодоление притяжения электрона к ядру. Таким образом, более удаленные от ядра электроны обладают большими энергиями. Переход электрона на более низкий уровень сопровождается излучением энергии атомом.

В твердых веществах, образованных совокупностью атомов, вследствие взаимного влияния соседних атомов энергетические уровни несколько изменяются, образуя энергетические зоны. Эти зоны отделяются областями,

в которых электроны не могут находиться, называемыми **запрещенными зонами**.

Энергетические зоны, соответствующие разрешенным уровням, делятся на заполненную и свободную. Для возникновения электропроводности необходимо части электронов заполненной зоны перейти в свободную зону. Возможность такого перехода определяется шириной запрещенной зоны, пропорциональной энергии, которую необходимо затратить для указанного перехода электронов.

Различие электрической проводимости проводников, полупроводников и диэлектриков вызывается особенностями их строения. Согласно зонной теории твердого тела у металлических проводников высокая электрическая прово-

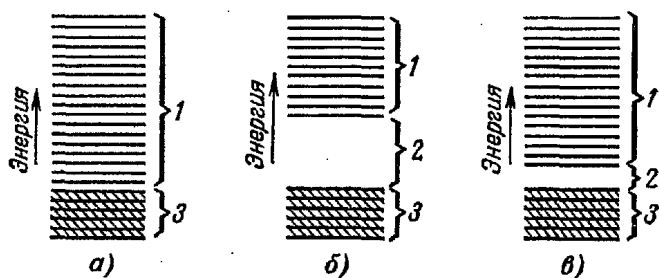


Рис. 1-3. Энергетические уровни.

а — проводник; *б* — диэлектрик; *в* — полупроводник; 1 — свободная зона; 2 — запрещенная зона; 3 — заполненная зона.

димость обуславливается тем, что заполненная зона вплотную прилегает к свободной зоне (рис. 1-3, *а*). Вследствие этого электроны в металле могут переходить с уровней заполненной зоны на уровни свободной зоны. Иначе говоря, электроны могут с менее удаленных от ядра орбит переходить на более удаленные орбиты или покидать пределы атома проводника, становясь свободными. Легко возникающая значительная концентрация электронов и обеспечивает большую электрическую проводимость проводников.

При электрическом напряжении, приложенном к концам металлического проводника, в нем возникает электрическое поле. Под влиянием сил этого поля движение свободных электронов упорядочивается, и они дрейфуют в направлении, противоположном направлению поля (так как имеют отрицательный заряд), т. е. в проводнике возникает электрический ток.

Если у данного вещества свободная зона отделена от заполненной (рис. 1-3, *б*) достаточно широкой запрещенной

зоной, то последняя делает практически невозможным переход электронов в свободную зону. Таким образом, как концентрация свободных электронов, так и проводимость вещества будут ничтожно малы и, следовательно, это будет диэлектрик.

У полупроводников ширина запрещенной зоны значительно уже, чем у диэлектриков (рис. 1-3, в). Следовательно, для перехода электронов в свободную зону требуется небольшое возбуждение, например за счет усиления теплового движения атомов при повышении температуры, в связи с чем полупроводники обладают проводимостью, имеющей промежуточное значение между проводимостью проводников и диэлектриков.

Проводники, в которых электрический ток создается перемещением одних электронов, называются проводниками с электронной проводимостью или проводниками первого рода. Основными представителями их являются металлы и их сплавы.

Проводники, в которых электрический ток создается перемещением положительных и отрицательных ионов, называются проводниками с ионной проводимостью или проводниками второго рода — это электролиты, к которым относятся водные растворы кислот, солей и щелочей.

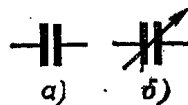
1-4. Электрическая емкость. Конденсаторы

Система из двух проводников (обкладок), разделенных диэлектриком, представляет собой электрический конденсатор.

Примерами естественных конденсаторов могут служить два провода электрической сети, две жилы кабеля, жила

Рис. 1-4. Условные обозначения конденсаторов.

а — с постоянной емкостью; б — с переменной емкостью.



кабеля — броня, проходной изолятор (изолирующий провод от стены или стенки металлического кожуха). Широко применяются изготавливаемые промышленностью конденсаторы различного устройства, в частности, плоские, образуемые параллельно расположенными металлическими изолированными друг от друга пластинами (обкладками).

Условные обозначения конденсаторов показаны на рис. 1-4.

Конденсаторы обладают свойством накапливать и удерживать на своих обкладках равные по величине и разные по знаку электрические заряды. Величина электрического заряда Q каждой из обкладок конденсатора пропорциональна напряжению U между обкладками, так что можно написать

$$Q = CU.$$

Величина C , равная отношению заряда одной из обкладок конденсатора к напряжению между ними, называется электрической емкостью конденсатора и является одним из его параметров.

Таким образом, емкость

$$C = Q/U. \quad (1-6)$$

Так как в системе СИ единицей заряда служит кулон, а единицей напряжения — вольт, то единица измерения емкости равна кулону, деленному на вольт. Она носит название фарада (Ф)

$$1\text{Ф} = 1\text{Кл}/1\text{В}.$$

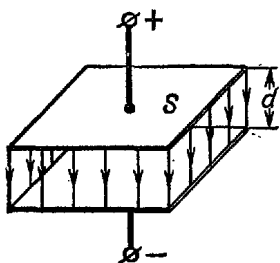


Рис. 1-5. Плоский конденсатор.

Обычно пользуются более мелкими единицами — микрофарадой ($1\text{ мкФ} = 10^{-6}\text{ Ф}$) или пикофарадой ($1\text{ пФ} = 10^{-12}\text{ Ф}$).

Емкость конденсатора зависит от формы и размеров его обкладок — электродов, их взаимного расположения и расстояния между ними и свойств диэлектрика, разделяющего обкладки.

Например, емкость плоского конденсатора, обкладки которого (рис. 1-5) расположены в вакууме,

$$C = \epsilon_0 S/d,$$

где S — поверхность каждой из обкладок, м^2 ; d — расстояние между обкладками, м ; ϵ_0 — электрическая постоянная.

Единица измерения электрической постоянной

$$|\epsilon_0| = \left| \frac{Cd}{S} \right| = \frac{\text{Ф} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Ф}}{\text{м}}.$$