

Тема: ВВЕДЕНИЕ. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

1. Получение и применение электрической энергии
2. История становления электротехники
3. Понятие электрического поля и его характеристики
4. Проводники в электрическом поле
5. Диэлектрики в электрическом поле
6. Электроизоляционные материалы

1. Получение и применение электрической энергии

Практически во всех областях деятельности современного общества применяется электрическая энергия.

Энергия — общая количественная мера различных форм движения материи. Для любого вида энергии можно назвать материальный объект, который является ее носителем. Так, механической энергией обладают вода, ветер, заведенная пружина; тепловой — нагретый газ, пар, горячая вода. Носителем электрической энергии является особая форма материи — электромагнитное поле.

Электрическая энергия получается путем преобразования других видов энергии (механической, тепловой, химической, ядерной и др.) и обладает ценными свойствами: относительно несложно, с малыми потерями передается на большие расстояния, легко дробится и преобразуется в нужный вид энергии (механическую, тепловую, световую, химическую и др.).

Наибольшая часть электроэнергии для нужд народного хозяйства вырабатывается на тепловых электростанциях (ТЭС). Здесь химическая энергия органического топлива (ТЭС). Здесь химическая энергия органического топлива (угля, мазута, торфа, газа) при его сжигании в паровых котлах превращается в тепловую энергию нагретого водяного пара. Пар под высоким давлением поступает в паровую турбину, где его энергия преобразуется в механическую. Турбины приводят в действие электрические генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую.

Следует отметить, что тепловые электростанции являются основным источником загрязнения атмосферы диоксидом серы, выбрасываемым вместе с дымовыми газами. Сернистые соединения распространяются на значительные расстояния, приводя к возникновению кислотных дождей, наносящих ущерб лесам, сельскохозяйственной продукции (особенно овощам), а также историческим памятникам, зданиям.

Учитывая быстрое истощение запасов органического топлива и неблагоприятное воздействие ТЭС на окружающую среду, их доля в объеме производства электроэнергии постепенно уменьшается.

В нашей стране на втором месте по объему производства электроэнергии находятся гидроэлектростанции (ГЭС), на которых с помощью гидротурбин и гидрогенераторов энергия рек и водопадов преобразовывается в электроэнергию. Хотя ГЭС не загрязняют атмосферу, но они оказывают неблагоприятное влияние на природу. Достаточно отметить, что плотины ГЭС нарушают миграцию рыб во время нереста, а повышение уровня водохранилищ приводит к подпору грунтовых вод, что способствует заболачиванию местности.

Важную роль в энергетике играют атомные электростанции (АЭС). На АЭС ядерная энергия превращается в тепловую, а далее схема получения электроэнергии аналогична схеме получения ее на ТЭС. Следует отметить, что если первая атомная электростанция в СССР (1954 г.) обладала мощностью 5000 кВт, то в настоящее время имеются АЭС мощностью 4 млн кВт и более.

Электрическую энергию производят также ветроэлектростанции, использующие энергию ветра, приливные — работающие за счет морских приливов, геотермальные — использующие тепло земных недр, солнечные — преобразующие солнечную радиацию в электроэнергию. В общем

2. История становления электротехники

объеме производства электроэнергии эти электростанции занимают незначительную долю. Однако они являются экологически чистыми и используемые ими источники энергии практически неисчерпаемы. Поэтому в перспективе их число будет увеличиваться.

В радиотехнике, космической технике, на транспорте, в быту находят применение маломощные источники электрической энергии, такие как батареи аккумуляторов, сухие электрохимические элементы, термоэлементы, фотоэлементы, в которых происходит прямое преобразование химической, тепловой, световой энергии в электрическую.

Для передачи электроэнергии на расстояния и распределения ее между электроприемниками используются линии электропередач, трансформаторы, аппаратура управления, контроля, защиты.

Электрическая энергия широко используется в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в быту. В настоящее время промышленность СССР потребляет примерно 75 %, сельское хозяйство — 7 %, транспорт — 7,3 % всей вырабатываемой электроэнергии.

Производственное оборудование на фабриках и заводах имеет в подавляющем большинстве электропривод, т. е. приводится в движение при помощи электрических двигателей, осуществляющих преобразование электрической энергии в механическую.

В ряде технологических процессов осуществляют преобразование электрической энергии в тепловую и химическую. Так, с помощью электронагрева и электролиза получают цветные металлы и химические продукты, восстанавливают изношенные детали машин, защищают черные металлы от коррозии, получают металлические копии с неметаллических изделий.

Широкое применение получили электросварка, электрическое освещение, измерения неэлектрических величин (температуры, давления, влажности и т. д.) электрическими приборами и устройствами. Радиотехника, электроника, телевидение, техника связи (телефон, телеграф) стали возможны только благодаря применению электроэнергии.

Электрические и магнитные явления были известны в глубокой древности, однако началом развития науки о них принято считать 1600 год, когда английский физик У. Гильберт опубликовал результаты исследований этих явлений. Важным этапом в развитии науки об электромагнитных явлениях были исследования атмосферного электричества, выполненные русскими учеными М. В. Ломоносовым, Г. В. Рихманом и американским ученым Б. Франклином.

Современная электротехника начинается с открытия английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. закона электромагнитной индукции. В первой половине 19 в. был создан химический источник постоянного тока, исследованы химические, световые, магнитные проявления тока. Большие заслуги в этом принадлежат русским ученым В. В. Петрову (1761—1834), Э. Х. Ленцу (1804—1865), Б. С. Якоби (1801—1874), А. Г. Столетову (1839—1896), зарубежным ученым А. Вольта (1745—1827), А. М. Амперу (1775—1836), Х. К. Эрстеду (1777—1851) и другим.

Развивая идеи Фарадея, Дж. Максвелл (1831—1879) создал теорию электромагнитного поля, предсказал существование электромагнитных волн и выдвинул идею электромагнитной природы света, которые были подтверждены экспериментально работами русского физика П. Н. Лебедева, опытами немецкого физика Г. Р. Герца

в 1886—1889 гг., а также изобретением радио А. С. Поповым в 1895 г.

Вместе с развитием теории происходило и быстрое расширение практического применения электротехники. Большой вклад в это внесли выдающиеся русские электротехники. Так, Б. С. Якоби создал электродвигатель (1834 г.) и применил его для привода судна (1838 г.), а также изобрел гальванопластику (1838 г.); П. Н. Яблочков (1847—1894), создавший электрическую свечу, положил начало первой практически применимой системе освещения; А. Н. Лодыгин (1847—1923) изобрел угольную лампу накаливания и является одним из основателей электротермии; М. О. Доливо-Добровольский (1861—1919) создал трехфазный асинхронный электродвигатель (1889 г.) и осуществил первую в мире электропередачу трехфазного тока (1891 г.); в 1885 г. Н. Г. Славянов и Н. Н. Бенардос изобрели электросварку.

Во всем мире происходит широкое внедрение электротехники во многие сферы человеческой деятельности.

Электрификация народного хозяйства СССР началась в первые годы Советской власти. По инициативе В. И. Ленина был разработан план электрификации нашей страны — план ГОЭЛРО (Государственной комиссии по электрификации России). Этот план был выполнен за 10 лет, а к 1935 г. мощность построенных электростанций достигла 4,3 млн кВт, что в 2,5 раза превысило плановые задания.

В последующие годы непрерывно увеличивалось производство электроэнергии в СССР: с 10,7 млрд кВт·ч в 1931 г. до 292 млрд кВт·ч в 1960 г., 740 млрд кВт·ч — в 1970 г., 1295 млрд кВт·ч — в 1980 г. и 1545 млрд кВт·ч — в 1985 г.

В соответствии с Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года выработка электроэнергии в 1990 г. должна составить 1840—1880 млрд кВт·ч.

Для ускорения научно-технического прогресса большое значение имеет автоматизация производственных процессов, осуществляемая на базе электротехники и электроники. К 2000 г. предусматривается резко повысить уровень автоматизации производства (в среднем в 2 раза). В промышленности намечено ввести 5 тыс. автоматизированных систем управления технологическими процессами. Предполагается создание и освоение новых

8

поколений электронных вычислительных машин (ЭВМ) всех классов — от супер-ЭВМ до персональных для школьного обучения. Применение микропроцессоров и микроЭВМ позволяет создавать гибкие автоматизированные системы управления технологическими процессами, обеспечивать оптимальное выполнение производственных программ.

3. Понятие электрического поля и его характеристики

При изучении электротехники и электроники нам придется неоднократно обращаться к таким понятиям, как электрический заряд, электрическое поле, напряженность электрического поля, электрическое напряжение, емкость и др.

Известно, что наэлектризованные предметы взаимодействуют друг с другом на расстоянии. Это взаимодействие имеет электромагнитную природу и обусловлено находящимися на телах электрическими зарядами.

Электрический заряд — физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитных взаимодействий, подобно тому как масса определяет интенсивность гравитационных взаимодействий. Заряд обозначается буквой $Q(q)$ и измеряется в кулонах (Кл). Различают положительные и отрицательные заряды. Разноименно заряженные тела притягиваются друг к другу, а одноименно заряженные — отталкиваются.

Элементарными носителями электрического заряда являются электроны и протоны, входящие в структуру атомов и молекул вещества. Заряд протона $+1,6 \times 10^{-19}$ Кл называют положительным, а заряд электрона $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — отрицательным.

Число электронов атомов равно числу протонов, поэтому атомы в обычном состоянии электрически нейтральны.

Какой заряд приобретает нейтральное тело, потерявшее электрон: а) положительный? б) отрицательный?

При избытке электронов тело приобретает отрицательный заряд, при их недостатке — положительный.

Электрический заряд является источником электромагнитного поля, которое окружает заряженные тела.

10

Электromагнитное поле — это особая форма материи, его специфической особенностью является способность воздействовать как на неподвижные заряды, так и на движущиеся электрически заряженные частицы (1).

Электromагнитное поле является материальным «посредником», через который передается силовое действие одного заряда на другой.

Частными формами проявления электromагнитного поля являются электрическое и магнитное поля.

Какое поле оказывает воздействие на неподвижную электрически заряженную частицу: в) электрическое? г) магнитное? д) электрическое и магнитное?

Электрическое поле как одна из составляющих электromагнитного поля обладает способностью воздействовать как на неподвижные, так и на движущиеся заряды (2).

Магнитное поле является одной из составляющих электromагнитного поля и обладает способностью воздействовать на движущиеся заряды (3). Магнитное поле создается намагниченными телами (постоянными магнитами) и электрическими токами.

Электрическое и магнитное поля получили широкое применение на практике. Так, с помощью электрического поля при очистке дымовых газов приводятся в движение и удаляются частицы дыма и пыли, в водоочистке — ускоряется слипание коллоидных частиц, в геологоразведке — определяется состав горных пород и выявляются полезные ископаемые (путем изучения естественного электрического поля, самопроизвольно возникающего в разрезе буровой скважины), в космической технике — осуществляется коррекция траектории и ориентация космических кораблей, в дефектоскопии — выявляются трещины и другие дефекты неэлектропроводных материалов путем измерения неоднородностей электрического поля, в медицине — вводятся лекарства через кожу (электрофорез) и т. д.

Кроме того, электрическое поле «работает» в электрических цепях, создавая электрический ток (наличие электрического поля является главным условием образования тока).

При проектировании и эксплуатации установок, использующих электрические поля, при сопоставлении полей оперируют такими количественными характеристиками электрического поля, как напряженность, потенциал, напряжение. Рассмотрим их для электростатиче-

ского поля, т. е. поля, создаваемого неподвижными заряженными телами.

Поместим в электрическое поле неподвижного заряда Q (рис. 1.1) на расстоянии R от него настолько малый положительный заряд q (назовем его пробным), что он своим присутствием не вызовет сколько-нибудь заметного искажения электрического поля.

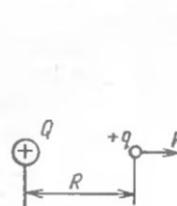


Рис. 1.1

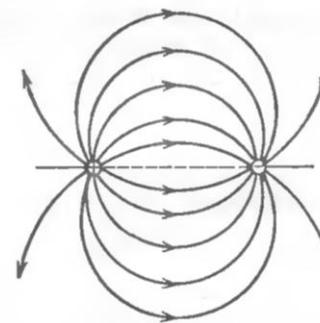


Рис. 1.2

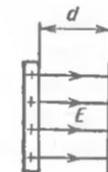


Рис. 1.3

В соответствии с законом Кулона на пробный заряд в вакууме действует сила

$$F = Qq/(4\pi R^2 \epsilon_0), \quad (1.1)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная.

Является ли эта сила характеристикой электрического поля? — е) да; ж) нет.

Из формулы (1.1) следует, что сила F характеристикой поля служить не может, так как она зависит от численного значения пробного заряда. Интенсивность электрического поля в данной точке оценивается отношением F/q , называемым напряженностью поля:

$$E = F/q. \quad (1.2)$$

Напряженность электрического поля в данной точке численно равна силе, с которой поле действует на помещенный в эту точку единичный положительный заряд (4). Подобно силе, напряженность — векторная величина. Единица напряженности — вольт на метр (В/м).

Для наглядного изображения электрического поля пользуются линиями напряженности (рис. 1.2), которые проводят таким образом, чтобы векторы напряженности поля совпадали с касательными в каждой точке этих линий. Электрическое поле, напряженность которого одинакова во всех точках пространства, называется одно-

родным. Таким является поле между параллельными разноименно заряженными пластинами (рис. 1.3) при достаточном удалении от их краев. Линии напряженности однородного поля параллельны и распределены в пространстве равномерно.

Внесенный в поле пробный заряд q , подобно поднятому над землей телу, обладает потенциальной энергией. Она может быть определена как работа A , совершенная силами поля по переносу заряда из данной точки поля в бесконечность.

Является ли эта работа характеристикой точки поля? — з) да; и) нет.

Так как работа A зависит от значения заряда q , то характеристикой поля служить не может. Энергетические способности поля в данной точке оцениваются отношением A/q , которое называется потенциалом:

$$\varphi = A/q. \quad (1.3)$$

Потенциал электрического поля в данной точке численно равен работе, совершаемой силами поля при перемещении единичного положительного заряда из этой точки в бесконечность (в точку, потенциал которой равен нулю) (5). Потенциал — скалярная величина.

Практическое значение имеет не сам потенциал в точке, а изменение потенциала вдоль пути из одной точки поля в другую, т. е. разность потенциалов, называемая также напряжением и обозначаемая U :

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = A_{1-2}/q. \quad (1.4)$$

Напряжение (разность потенциалов) между двумя точками поля численно равно работе, совершаемой силами поля при перемещении единичного положительного заряда между этими точками (6).

Единица напряжения и потенциала — вольт (В). Применяют также: 1 киловольт (кВ) = 10^3 В — для измерения больших напряжений; 1 милливольт (мВ) = 10^{-3} В — для измерения малых напряжений.

Между напряженностью электрического поля и разностью потенциалов существует определенная взаимосвязь.

Какой формулой связаны U и E в однородном поле (рис. 1.3) при расстоянии между пластинами d : к) $U = Ed$? л) $U = E/d$?

При переносе пробного заряда от одной пластины к другой электрическое поле совершает работу, равную

произведению силы на путь, т. е. $A = Fd$. Поэтому $U = A/q = Fd/q = Ed$. Из этого следует, что

$$E = U/d. \quad (1.5)$$

Напряженность однородного поля численно равна напряжению, приходящемуся на единицу длины линии напряженности (7).

4. Проводники в электрическом поле

Проводники — это вещества, характеризующиеся наличием в них большого количества свободных носителей зарядов, способных перемещаться под действием электрического поля. К проводникам относятся металлы, электролиты, уголь.

В металлах носителями свободных зарядов являются электроны внешних оболочек атомов, которые при взаимодействии атомов полностью утрачивают связи со «своими» атомами и становятся собственностью всего проводника в целом. Свободные электроны участвуют в тепловом движении подобно молекулам газа и могут перемещаться по металлу в любом направлении.

В металлическом теле (рис. 1.4) под действием внешнего электрического поля, имеющего напряженность E , свободные электроны перемещаются навстречу линиям напряженности.

При этом все свободные электроны смещаются к одной поверхности тела? — а) да; б) нет.

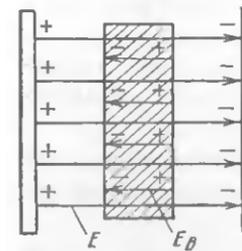


Рис. 1.4

Явление разделения зарядов проводника внешним электрическим полем называется электростатической индукцией.

В результате разделения зарядов в проводнике создается внутреннее электрическое поле с напряженностью $E_в$, направленное противоположно внешнему. Под действием внешнего поля смещается только

часть электронов проводника, необходимая для создания $E_в$, уравнивающего E .

При этом результирующая напряженность поля внутри проводника: в) равна нулю? г) больше нуля?

Если бы результирующая напряженность поля внутри проводника была больше нуля, продолжалось бы разделение зарядов под ее действием. Внутри проводника электрическое поле отсутствует. Это свойство на практике используется для электростатического экранирования, т. е. защиты какого-либо устройства, например измерительного механизма прибора, от влияния внешних электрических полей. Прибор помещают в металлический кожух, называемый экраном.

5. Диэлектрики в электрическом поле

Диэлектрики в электрическом поле. В диэлектриках практически отсутствуют свободные носители зарядов. Все носители зарядов диэлектриков входят в состав их молекул, связаны между собой и под действием внешнего поля могут смещаться лишь на очень малые расстояния: в пределах молекулы или атома.

Многие диэлектрики имеют полярные молекулы. При электрической нейтральности молекулы в целом ее положительный и отрицательный заряды расположены асимметрично, что позволяет представить полярные молекулы так называемыми электрическими диполями, т. е. как пару разноименных зарядов, находящихся на небольшом расстоянии друг от друга.

Как под действием внешнего электрического поля ведут себя диполи диэлектрика? Перемещаются к поверхности тела? — д) да; е) нет.

При отсутствии внешнего поля молекулы диэлектрика ориентированы произвольно. Во внешнем поле (рис. 1.5)

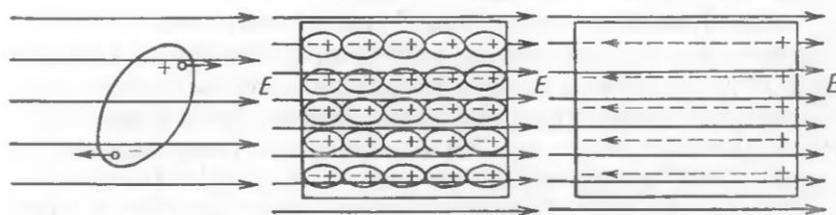


Рис. 1.5

на каждый диполь действуют две силы, стремящиеся его повернуть. Смещение зарядов или ориентация диполей под действием электрического поля называется поляризацией диэлектрика.

Результатом поляризации диэлектрика является образование в нем собственного электрического поля, направленного встречно внешнему (рис. 1.5).

При этом результирующая напряженность поля внутри диэлектрика равна нулю? — ж) да; з) нет.

Диэлектрик ослабляет электрическое поле. Величина, показывающая, во сколько раз уменьшится напряженность поля, если вместо вакуума применить диэлектрик, называется относительной диэлектрической проницаемостью ϵ .

Диэлектрическая проницаемость — одна из важнейших характеристик диэлектриков. Ее значения для различных материалов приводятся в справочниках. Так, для слюды $\epsilon = 4-6$, фарфора $5-7,5$, бумаги $2-3$, стекла $5,5-10$, воздуха 1 и т. д.

Под действием электрического поля в диэлектрике наблюдается рассеяние части энергии поля, которая превращается в теплоту. Значение этой энергии в единицу времени (мощность) принято называть диэлектрическими потерями. Диэлектрические потери в постоянном электрическом поле обусловлены протекающим через диэлектрик током (в реальном диэлектрике всегда содержится небольшое количество свободных носителей зарядов, создающих ток). В переменном поле к ним добавляются потери, связанные с поляризацией диэлектрика.

Диэлектрические потери вызывают нагрев изоляционных конструкций электроустановок и ухудшают условия их работы.

С другой стороны, нагревание некоторых веществ за счет диэлектрических потерь используется для их сушки или ускорения химических реакций.

Диэлектрики сохраняют свои электроизоляционные свойства до определенных значений напряженности поля. При испытаниях диэлектриков, повышая напряженность электрического поля, достигают таких ее значений, при которых наступает пробой диэлектрика (разрушение его действием сильного электрического поля). Напряженность поля, при которой наступает пробой диэлектрика, называется пробивной напряженностью $E_{пр}$ или электрической прочностью диэлектрика, а напряжение при пробое — пробивным напряжением $U_{пр}$.

Электрическая прочность — основное свойство диэлектриков. Электрическая прочность воздуха в однород-

ном поле — 30 кВ/см, фарфора — 150 кВ/см, слюды — 500 кВ/см и т. д.

При каком значении $U_{пр}$ произойдет электрический пробой пластинки слюды толщиной 0,2 мм: и) 2,5 кВ? к) 10 кВ? л) 1 кВ? (для ответа необходимо использовать формулу (1.5)).

Рабочие напряженности диэлектриков принимают в несколько раз (например, в 3 раза) меньше их электрической прочности исходя из требований надежности.

6. Электроизоляционные материалы

Электроизоляционные материалы. Отдельные части электрических устройств, имеющие разные потенциалы (провода электрических линий, обмотки трансформаторов, полюсы генераторов и т. д.) изолируются друг от друга и от земли специальными материалами, которые называются электроизоляционными. В качестве электроизоляционных материалов применяются газообразные, жидкие и твердые диэлектрики.

Из газообразных диэлектриков наибольшее значение имеет воздух, обладающий малыми электропроводностью и диэлектрическими потерями. Однако электрическая прочность воздуха значительно ниже, чем у большинства жидких и твердых диэлектриков.

Жидкие диэлектрики (нефтяные масла, синтетические жидкости) имеют хорошие электроизоляционные свойства, с их помощью осуществляется гашение дуги в высоковольтных выключателях и охлаждение маслонаполненных аппаратов (за счет циркуляции масла). Недостатком жидких диэлектриков является резкое снижение электроизоляционных свойств при увлажнении и загрязнении.

Из твердых диэлектриков в электрических устройствах применяют:

волокнистые электроизоляционные материалы (ткань, стеклоткань, картон, бумага и др.) — для электроизоляции проводов, кабелей, электрических машин, аппаратов, при производстве лакотканей, гибких трубок, слоистых пластиков и т. д.;

слоистые пластики, получаемые прессованием с различными связующими бумаги (гетинакс), тканей (текстолит, стеклотекстолит) — для изготовления панелей, оснований печатных схем, корпусов, прокладок и других деталей;

слюду и слюдяные изделия — как основной диэлектрик конденсаторов и межэлектродной изоляции в электронных лампах, а также для изоляции электрических машин

в тех случаях, если необходима повышенная надежность; *резину* — для электроизоляции проводов и кабелей, изготовления гибких трубок, прокладок;

пластмассы — для изготовления фасонных деталей и узлов, требующих сочетания хороших электрических и механических свойств, электрических аппаратов и приборов, мелких электрических машин и трансформаторов;

керамические материалы — для изготовления высоковольтных изоляторов, конденсаторов, каркасов катушек, штепсельных разъемов.

Особую группу твердых диэлектриков составляют сегнетоэлектрики и электреты. *Сегнетоэлектрики* (сегнетовая соль, титанат бария) в отличие от обычных диэлектриков обладают способностью самопроизвольно (без внешнего электрического поля) поляризоваться. Они имеют сильную зависимость диэлектрической проницаемости от напряженности поля, давления и температуры, а также большие значения относительной диэлектрической проницаемости.

Электреты интересны тем, что способны длительное время находиться в наэлектризованном состоянии после снятия внешнего воздействия, вызвавшего поляризацию. Они являются электрическими аналогами постоянных магнитов. Электреты получают из восков и смол, полимеров, неорганических диэлектриков, охлаждая их в сильном электрическом поле (термоэлектреты) или облучая светом фотопроводящие диэлектрики в сильном электрическом поле (фотоэлектреты). Применяются электреты в качестве источников постоянного электрического поля в технике связи (микрофоны и телефоны), как чувствительные датчики в дозиметрии, как пьезодатчики и т. д.

Ответы: б, в, е, з, к.

? 1. Почему алюминий — проводник, а фарфор — изолятор? 2. В чем сущность электростатической защиты приборов? Как она осуществляется? 3. Может ли фарфор быть экраном для защиты от внешних электрических полей? 4. Что такое электрическая прочность? диэлектрические потери? относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика? 5. Какие электроизоляционные материалы вы знаете? Где они применяются?

1.3. КОНДЕНСАТОРЫ

Электрические конденсаторы предназначены для создания электрического поля и хранения его энергии.

Электрический конденсатор представляет собой

два проводника (обкладки), разделенные слоем диэлектрика. Промышленностью выпускаются бумажные, электролитические, керамические и другие конденсаторы. В бумажном конденсаторе проводниками являются две длинные ленты алюминиевой фольги, а диэлектриком — ленты парафинированной бумаги. В электролитическом конденсаторе роль диэлектрика выполняет тонкий слой окиси на поверхности обкладки из алюминиевой фольги.

Конструкция плоского конденсатора показана на рис. 1.6, а; его условное обозначение — на рис. 1.6, б. Конденсатор обладает свойством накапливать и удерживать на своих обкладках равные по величине и разные по знаку электрические заряды. Под зарядом q конденсатора понимают абсолютное значение заряда одной из обкладок.

Можно ли считать, что значение заряда q является параметром, характеризующим «вместимость» конденсатора? — а) да; б) нет.

Конденсатор можно сравнить с газовым баллоном. Баллон заполняется газом под давлением, а конденсатор заряжается под действием напряжения (рис. 1.7).

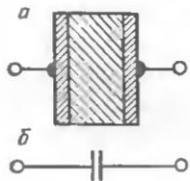


Рис. 1.6

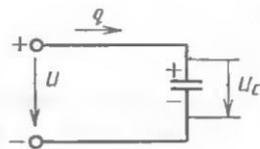


Рис. 1.7

Чем больше напряжение, тем больше заряд конденсатора, поэтому «вместимость» конденсатора оценивается не зарядом, а отношением q/U , которое называется емкостью конденсатора:

$$C = q/U. \quad (1.6)$$

Как изменится емкость конденсатора при увеличении напряжения на нем: в) увеличится? г) уменьшится? д) не изменится?

Изменение напряжения влечет за собой пропорциональное изменение заряда конденсатора, поэтому емкость конденсатора от напряжения не зависит. Емкость конденсатора численно равна заряду при напряжении один вольт (1).

Единица емкости — фарад (Ф). На практике поль-

зуются более мелкими единицами — микрофарад ($1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$) или пикофарад ($1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$).

Емкость плоского конденсатора определяется по формуле

$$C = \epsilon \epsilon_0 S/d, \quad (1.7)$$

где S — площадь обкладок; d — расстояние между обкладками. Для создания конденсаторов большой емкости применяют диэлектрики с большой диэлектрической проницаемостью ϵ .

Следует отметить, что емкостью обладают не только конденсаторы, но и другие элементы электрических устройств, на которых накапливается электрический заряд (провода электрических линий, электроды электронных ламп и др.). Однако нередко емкость этих устройств пренебрегают.

При зарядке конденсатора (рис. 1.7) по проводникам, которыми подключены его обкладки к источнику напряжения, протекает электрический ток. После зарядки ток отсутствует. Почему? Поступающие в процессе зарядки на обкладки конденсатора заряды отталкивают от себя одноименные вновь прибывающие заряды, т. е. оказывают им противодействие. Возрастающее при зарядке напряжение конденсатора U_c направлено встречно току и стремится уравновесить действие напряжения источника U (2).

Зарядка конденсатора продолжается до тех пор, пока $U_c < U$, и прекращается при

$$U = U_c$$

(действие равно противодействию).

Источник напряжения, доставляя заряды на обкладки конденсатора (рис. 1.7), производит работу, значение которой определяется из формулы (1.4): $A = Uq$. Эта работа численно равна площади графика $q(U)$ (рис. 1.8).

Зависимость заряда q на обкладках конденсатора от напряжения U имеет вид, показанный на рис. 1.9. Площадь графика этой зависимости (по аналогии с рис. 1.8) численно равна энергии электрического поля конденсатора W_3 , которая может быть определена как площадь прямоугольного треугольника:

$$W_3 = qU/2. \quad (1.8)$$

На создание электрического поля конденсатора рас-

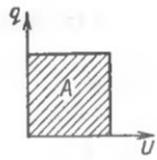


Рис. 1.8



Рис. 1.9

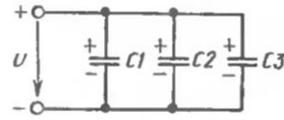


Рис. 1.10

ходуется только половина работы источника $A = qU$. Вторая половина этой работы расходуется на нагрев проводов, по которым заряды проходят на обкладки конденсатора.

Из формулы (1.6) $q = CU$. Подставив это выражение в (1.8), получаем еще одну формулу для энергии конденсатора:

$$W_3 = CU^2/2. \quad (1.9)$$

Во многих случаях для получения нужной емкости конденсаторы приходится соединять в группу, которая называется батареей. Различают параллельное и последовательное соединение конденсаторов.

Какое соединение конденсаторов применяют при необходимости увеличить емкость батареи: е) параллельное? ж) последовательное?

При параллельном подключении C_1, C_2, C_3 к источнику напряжения (рис. 1.10) все конденсаторы зарядятся до одинакового напряжения, равного напряжению источника $U = U_1 = U_2 = U_3$ (так как каждый конденсатор присоединен к полюсам источника). При этом энергия батареи $W_{3,6}$, в соответствии с законом сохранения энергии,

$$W_{3,6} = W_{3_1} + W_{3_2} + W_{3_3}. \quad (1.10)$$

Используя формулы (1.9) и (1.10), получаем (учитывая равенство напряжений)

$$C_6 = C_1 + C_2 + C_3.$$

Емкость батареи параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов (3).

Рассмотрим последовательное соединение конденсаторов (рис. 1.11).

Какие обкладки конденсаторов зарядятся под действием напряжения источника: з) все обкладки конденсаторов? и) только внешние обкладки 1 и 4?

На обкладки 1 и 4 заряды поступают от источника питания. Заряды на внутренних обкладках 2 и 3 появляются

ся за счет электростатической индукции. В результате зарядятся все обкладки конденсаторов.

Какой заряд будет получен при разрядке батареи (рис. 1.12): к) $q_6 = q_1 + q_2$? л) $q_6 = q_1 = q_2$?

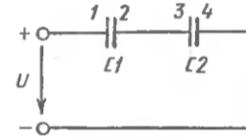


Рис. 1.11

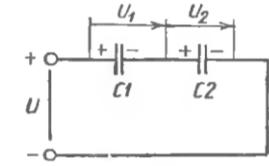


Рис. 1.12

Разряжаясь, батарея отдает заряды с внешних обкладок. Заряды внутренних обкладок нейтрализуют друг друга, поэтому

$$q_6 = q_1 = q_2.$$

При последовательном соединении конденсаторов заряд батареи и каждого конденсатора в отдельности один и тот же (4).

Из формулы (1.6) $U = q/C$, т. е. при последовательном соединении конденсаторов, напряжения на них распределяются обратно пропорционально емкостям отдельных конденсаторов.

Используя уравнения (1.10) и (1.8) и учитывая равенство зарядов, получаем

$$U = U_1 + U_2$$

(действие равно сумме противодействий)

Напряжение батареи последовательно соединенных конденсаторов равно сумме напряжений отдельных конденсаторов (5). Поэтому на практике последовательное соединение конденсаторов применяется в тех случаях, когда напряжение источника превышает рабочее напряжение конденсаторов.

Из положения (5) следует, что $q/C_6 = q/C_1 + q/C_2$, т. е.

$$1/C_6 = 1/C_1 + 1/C_2. \quad (1.11)$$

По этой формуле рассчитывается емкость батареи последовательно соединенных конденсаторов. При последовательном соединении n одинаковых конденсаторов емкость батареи на основании формулы (1.11)

$$C_6 = C/n.$$