

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Дмитриев Николай Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 02.12.2024 10:58:17
Уникальный программный ключ:
f7c6227919e4cdbfb4d7b682991f8553b37cafbd

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Иркутский государственный аграрный университет
имени А.А. Ежевского

Колледж автомобильного транспорта и агротехнологий

УТВЕРЖДАЮ:
Директор



Н.Н. Бельков

«31» __марта____ 2023 г

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

ОП.02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Специальность: 13.02.11. Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования

(программа подготовки специалистов среднего звена)

Форма обучения: очная / заочная
1 курс; 1,2 семестр / 3 курс

Молодежный 2023

1. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине **ОП.02 Электротехника и электроника**, включает:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения (промежуточной аттестации) по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции (ий).

2. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ С УКАЗАНИЕМ ЭТАПОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа дисциплины «Электротехника» определяет перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Код	Наименование компетенции (планируемые результаты освоения ОП)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенции
	Общие компетенции	В области знания и понимания (А)
ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам	Знать: – методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей; – основные законы электротехники; – основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин; – основы теории электрических машин, принцип работы типовых электрических устройств; – параметры электрических схем и единицы их измерения; – принципы выбора электрических и электронных устройств и приборов; – принципы действия, устройство, основные
ОК 02	Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности	
ОК 03	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях	
ОК 04	Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде	

ОК 05	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста	характеристики электротехнических устройств и приборов; – свойства проводников, электроизоляционных, магнитных материалов; – способы получения, передачи и использования электрической энергии;
ОК 07	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях	– устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических приборов; – составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования; – характеристики и параметры электрических и магнитных поле
ПК 1.1.	Выполнять операции по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.	уметь: – подбирать электрические приборы и оборудование с определенными параметрами и характеристиками;
ПК 1.2	Проводить диагностику и испытания электрического и электромеханического оборудования.	– правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи движения технологических машин и аппаратов;
ПК 1.3	Осуществлять оценку производственно-технических показателей работы электрического и электромеханического оборудования	– рассчитывать параметры электрических, магнитных цепей;
ПК 2.1.	Осуществлять планирование работ по эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.	– снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями; – собирать электрические схемы;
ПК 2.2.	Разрабатывать документацию по эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.	– читать принципиальные, электрические и монтажные схемы; – использовать информационные технологии в профессиональной деятельности;

В рабочей программе дисциплины **ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ** определены тематическим планом.

3. ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

При проведении промежуточной аттестации в университете используются традиционные формы аттестации:

Форма промежуточной аттестации	Шкала оценивания
ЗАЧЕТ	"зачтено", "незачтено"
ЗАЧЕТ С ОЦЕНКОЙ (дифференцированный зачет)	"отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно"
ЭКЗАМЕН	"отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно"

4. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ (ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ И (ИЛИ) ДЛЯ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИИ

4.1. Примерный перечень вопросов к экзамену для оценивания результатов обучения в виде ЗНАНИЙ. ОК1 - ОК9

ОП.02 Электротехника

Электротехника: вопросы (с ответами)

1 Электрическое поле (эп) и его основные характеристики: напряженность поля, электрическое напряжение, потенциал точки поля. Графическое изображение эп.

Каждый химический элемент (вещество) состоит из совокупности мельчайших материальных частиц — атомов. В состав атомов любого вещества входят

элементарные частицы, часть которых обладает электрическим зарядом.

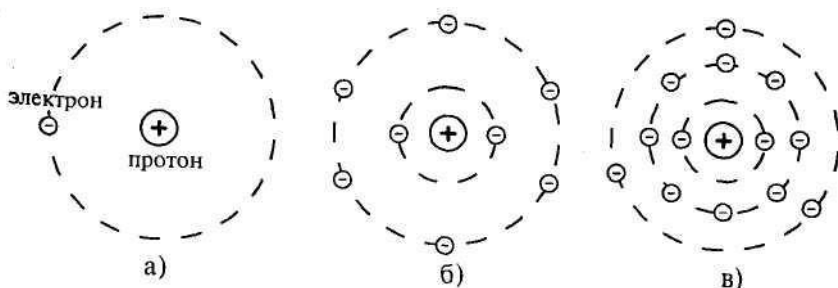


Рис. 1.1

Атом представляет собой систему, состоящую из ядра, вокруг которого вращаются электроны.

Если нарушается

равенство числа электронов и протонов, то из электрически нейтрального атом становится заряженным. Заряженный атом называется ионом.

Если в силу каких-либо причин атом теряет один или несколько электронов, то в нем нарушится равенство зарядов и такой атом становится положительным ионом, поскольку в нем преобладает положительный заряд протонов ядра. Если атом приобретает один или несколько электронов, то он становится отрицательным ионом, так как в нем преобладает отрицательный заряд.

Вещество (твердое тело, жидкость, газ) считается электрически нейтральным, если количество положительных и отрицательных зарядов в нем одинаково. Если же в нем преобладают положительные или отрицательные заряды, то оно считается соответственно положительно или отрицательно заряженным.

Электрический заряд или заряженное тело создают электрическое поле.

Электрическое поле — это пространство вокруг заряженного тела или заряда, в котором обнаруживается действие сил на пробный заряд, помещенный в это пространство.

Электрическое поле, создаваемое неподвижными зарядами, называется электростатическим.

Напряженность поля:

Обнаружить электрическое поле можно пробным зарядом, если поместить его в это поле. Пробным называется положительный заряд, внесение которого в исследуемое поле не приводит к его изменению. То есть пробный заряд не влияет ни на силу, ни на энергию, ни на конфигурацию поля.

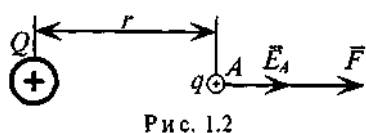


Рис. 1.2

Если в точку A электрического поля (рис. 1.2), созданного зарядом Q , расположенную на расстоянии r от него, внести пробный заряд q , то на него будет действовать сила F , причем если заряды Q и q имеют одинаковые знаки, то они отталкиваются (как это изображено на рис. 1.2), а если разные, то притягиваются.

Величина силы F , действующей на пробный заряд q , помещенный в точку A электрического поля, пропорциональна величине заряда q и интенсивности электрического поля, созданного зарядом Q в точке A

$$F = qE_A, \quad (1.1)$$

где \vec{E}_A — напряженность электрического поля, характеризующая интенсивность поля в точке A . Из (1.1) видно, что

$$\vec{E}_A = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1.2)$$

То есть напряженность каждой точки электрического поля характеризуется силой, с которой поле действует на единицу заряда, помещенного в эту точку. Таким образом, напряженность является силовой характеристикой каждой точки электрического поля.

Измеряется напряженность электрического поля в вольтах на метр $[E] = \text{В/м}$.

Напряженность электрического поля — величина векторная.

Направление вектора напряженности в любой точке электрического поля совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд, помещенный в эту точку поля (см. рис. 1.2).

Поскольку в дальнейшем будут учитываться только значения силы и напряженности, будем обозначать их F и E соответственно.

Напряженность является параметром каждой точки электрического поля и не зависит от величины пробного заряда q . Изменение величины q приводит к пропорциональному изменению силы F (1.1), а отношение F/q (1.2), т.е. напряженность E_A , остается неизменной.

Для наглядности электрическое поле изображают электрическими линиями, которые иногда называют линиями напряженности электрического поля, или силовыми линиями. Электрические линии направлены от положительного заряда к отрицательному. Линия проводится так, чтобы вектор напряженности поля в

данной точке являлся касательной к ней (рис. 1.3в).

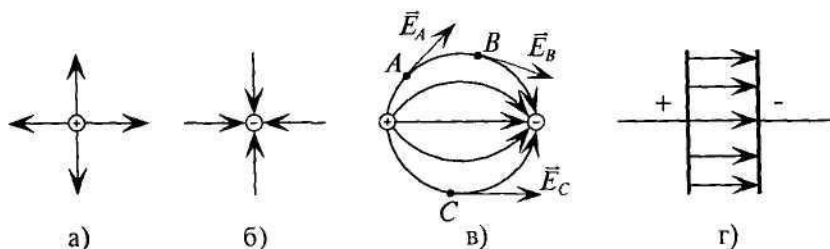


Рис. 1.3

Электрическое поле называется однородным, если напряженность его во всех точках одинакова по величине и направлению.

Однородное электрическое поле изображается параллельными линиями, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга.

Однородное поле, например, существует между пластинами плоского конденсатора (рис. 1.3г).

Потенциал и напряжение в (ЭП):

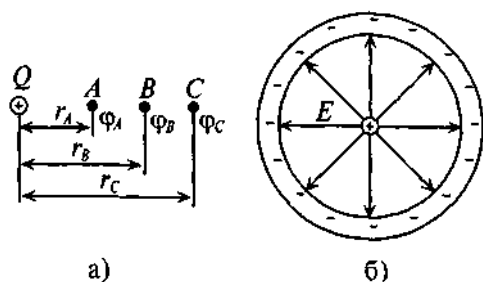


Рис. 1.7

Для энергетической характеристики каждой точки электрического поля вводится понятие «потенциал». Обозначается потенциал буквой ϕ .

Потенциал в каждой точке электрического поля характеризуется энергией W , которая

затрачивается (или может быть затрачена) полем на перемещение единицы положительного заряда q из данной точки за пределы поля, если поле создано положительным зарядом, или из-за пределов поля в данную точку, если поле создано отрицательным зарядом (рис. 1.7а).

$[\varphi] = \left[\frac{W_{Дж}}{qКл} \right] = В$ Из приведенного выше определения следует, что потенциал в точке A равен $\varphi_A = W_A/q$; потенциал в точке B — $\varphi_B = W_B/q$, а потенциал в точке C — $\varphi_C = W_C/q$.

Измеряется потенциал в вольтах

Величина потенциала в каждой точке электрического поля определяется выражением

$$\varphi_A = \frac{W_A}{q} = \frac{\int_{r_A}^{\infty} F dr}{q} = \frac{\int_{r_A}^{\infty} Eq dr}{q} = \frac{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} q \int_{r_A}^{\infty} \frac{dr}{r^2}}{q};$$

$$\varphi_A = \frac{Q}{4\pi r_A \epsilon_0 \epsilon_r}$$

(1.12)

Потенциал — скалярная величина. Если электрическое поле создано несколькими зарядами, то потенциал в каждой точке поля определяется алгебраической суммой потенциалов, созданных в этой точке каждым зарядом.

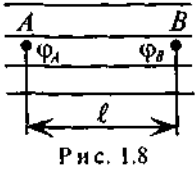
Так как (рис. 1.7а) $r_A < r_B < r_C$, то из (1.12) следует, что $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$, если поле создано положительным зарядом.

Если в точку A (рис. 1.7а) электрического поля поместить положительный пробный заряд q , то под действием сил поля он будет перемещаться из точки A в точку B , а затем в точку C , т. е. в направлении поля. Таким образом, положительный пробный заряд перемещается из точки с большим потенциалом в точку с меньшим потенциалом. Между двумя точками с равными потенциалами заряд перемещаться не будет. Следовательно, для перемещения заряда между двумя точками электрического поля должна быть разность потенциалов в этих точках.

Разность потенциалов двух точек электрического поля характеризует напряжение U между этими точками

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B; \quad U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C; \quad U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C.$$

Напряжение между двумя точками электрического поля характеризуется энергией, затраченной на перемещение единицы положительного заряда между этими точками, т. е. $U_{AB} = W_{AB}/q$; Измеряется напряжение в вольтах (В).



Между напряжением и напряженностью в однородном электрическом поле (рис. 1.8) существует зависимость

$$E = \frac{U_{AB}}{\ell}$$

откуда следует

(1.13)

Из (1.13) видно, что напряженность однородного электрического поля определяется отношением напряжения

между двумя точками поля к расстоянию между этими точками.

В общем случае для неоднородного электрического поля значение напряженности определяется отношением

$$E = \frac{dU}{d\ell}, \quad (1.14)$$

где dU — напряжение между двумя точками поля на одной электрической линии на расстоянии $d\ell$ между ними.

Единица напряженности электрического поля определяется из выражения (1.13)

Потенциалы в точках электрического поля могут иметь различные значения. Однако в электрическом поле можно выделить ряд точек с одинаковым потенциалом. Поверхность, проходящая через эти точки, называется равнопотенциальной, или эквипотенциальной. Равнопотенциальная поверхность любой конфигурации перпендикулярна к линиям Рис. 1.9 электрического поля. Обкладки цилиндрического конденсатора (рис. 1.76) и плоского конденсатора (рис. 1.9) имеют одинаковый потенциал по всей площади каждой обкладки и являются равнопотенциальными поверхностями.

2. ЭП точечного заряда. Закон Кулона. Теорема Гаусса.

Точечным считается заряд, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием, на котором рассматривается его действие.

Сила взаимодействия F двух точечных зарядов Q и q (рис. 1.2) определяется по закону Кулона:

$$F = \frac{Qq}{4\pi r^2 \epsilon_a}, \quad (1.3)$$

где r — расстояние между зарядами; ϵ_a — абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, в которой взаимодействуют заряды. Из (1.3) следует, что напряженность электрического поля заряда Q в точке A (рис. 1.2) равна

$$E_A = \frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_a}. \quad (1.4)$$

Таким образом, напряженность поля E_A , созданная зарядом Q в точке A электрического поля, зависит от величины заряда Q , создающего поле,

расстояния точки A от источника поля q и от абсолютной диэлектрической проницаемости среды ϵ_a , в которой создается поле. Диэлектрическая проницаемость характеризует электрические свойства среды, т. е. интенсивность поляризации.

Единицей измерения абсолютной диэлектрической проницаемости среды является фарад на метр

$$[\epsilon_a] = \left[\frac{Q}{4\pi r^2 E} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{В} \cdot \text{м}} = \frac{\Phi \text{ (фарад)}}{\text{м (метр)}}, \quad \text{так как } \text{Кл/В} = \Phi.$$

Различные среды имеют разные значения абсолютной диэлектрической проницаемости. Абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума (1.5) называется электрической постоянной.

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ Ф/м}$$

$$\text{или } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

Абсолютную диэлектрическую проницаемость любой среды ϵ_a удобно выражать через электрическую постоянную ϵ_0 и диэлектрическую проницаемость ϵ_r — табличную величину (Приложение 2).

$$\epsilon_r = \epsilon_a / \epsilon_0.$$

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r.$$

Диэлектрическая проницаемость ϵ_r , которую иногда называют относительной, показывает, во сколько раз абсолютная диэлектрическая проницаемость среды больше, чем электрическая постоянная, т. е.

(1-6) Из (1.6) следует (1.7)

Таким образом, напряженность электрического поля, созданного зарядом Q на расстоянии r от него, определяется выражением

$$E = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}.$$

(1.8)

Напряженность электрического поля, созданного несколькими зарядами в какой-либо точке A этого поля, определяется геометрической суммой напряженностей, созданных в этой точке каждым точечным зарядом: $E_A = E_M + E_{A2} + \dots + E_{Ak}$ (см. Q_3^A , рис. 1.4).

2. Проводники и диэлектрики в электрическом поле.
3. Поляризация диэлектрика. Диэлектрическая проницаемость.
4. **Понятие об емкости. Конденсаторы. Последовательное, параллельное и смешанное соединение конденсаторов.**

Электрическая емкость

$Q = C\phi$, Если проводник A получит какой-либо заряд Q , то этот проводник создает электрическое поле. Электрическое поле, созданное проводником A , обладает энергией, которая и характеризует потенциал проводника ϕ . Очевидно, изменение заряда проводника вызывает аналогичное изменение его потенциала. Таким образом, между зарядом проводника и его

потенциалом существует прямая пропорциональность, которую можно записать следующим уравнением:

$$C = \frac{Q}{\Phi}$$

где C - коэффициент пропорциональности, который и называется электрической емкостью проводника. Из (6.1) следует, что электрическая емкость проводника

То есть *электрическая емкость проводника характеризуется зарядом Q , который необходимо сообщить проводнику, чтобы его потенциал изменился на единицу*. Единицей измерения емкости является фарад.

$[C] = \left[\frac{Q}{\Phi} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Ф (фарад)}$. Фарад — большая единица. Например, электрическая емкость проводника под названием «земля» не превышает 0,7 Ф. Поэтому на практике емкость измеряется в микрофарадах, нанофарадах и пикофарадах.

Электрическая емкость проводника характеризует способность проводника накапливать электрический заряд, изменяющий его потенциал на единицу (на 1 В).

Емкость проводника не зависит от заряда Q , сообщенного проводнику, так как изменение заряда Q вызовет пропорциональное изменение потенциала проводника Φ , а их отношение остается неизменным (6.2). (Емкость 5-литрового баллона не зависит от количества жидкости, заполняющей баллон.)

Емкость проводника не зависит также от материала и массы проводника.

Емкость проводника зависит от:

- 1) площади поверхности проводника, так как заряды располагаются на поверхности проводника;
- 2) среды, в которой находится проводник. Например, если проводник перенести из воздуха в минеральное масло, его емкость увеличится в 2,2 раза, так как диэлектрическая проницаемость минерального масла $\epsilon_r = 2,2$ (см. Приложение 2);
- 3) близости других проводников. Если рядом с проводником в определенной среде расположен еще один проводник, то емкость системы этих двух проводников будет гораздо больше, чем сумма емкостей каждого из этих проводников в этой среде. На этом принципе устроены электрические конденсаторы.

Конденсаторы

Конденсатор представляет собой два проводника, разделенных диэлектриком.

Емкость конденсатора характеризуется зарядом, который нужно сообщить одному из проводников конденсатора для того, чтобы разность потенциалов между проводниками конденсатора (напряжение) изменилась на единицу.

$$C = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{Q}{U}. \quad (6.3)$$

Если одному из проводников конденсатора (обкладке) сообщить электрический заряд Q определенного знака (например, $+Q$), то вокруг этого проводника образуется электрическое поле, под действием которого в другом проводнике (обкладке) происходит разделение зарядов (электростатическая индукция) и заряд такого же знака и величины «уходит в землю» или на отрицательную клемму источника (рис. 6.1). В результате на проводнике, которому не сообщен заряд, остается заряд противоположного знака, «минус», по величине такой же, как и сообщенный первому проводнику, заряд, т.е. $-Q$.

Таким образом, за счет электростатической индукции проводники (обкладки) конденсатора, изолированные друг от друга, получают равные по величине, но противоположные по знаку заряды ($+Q$ и $-Q$) и разные потенциалы φ_1 и φ_2 . Следовательно, между проводниками (обкладками)

конденсатора появляется напряжение $U = \varphi_1 - \varphi_2$

Различают естественные и искусственные конденсаторы.

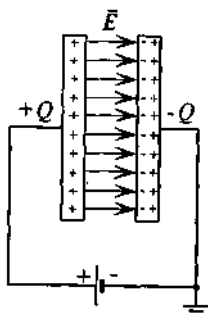


Рис. 6.1

Естественными конденсаторами являются провода электрической сети, две жилы кабеля, жила кабеля и его броня, провода воздушной линии электропередачи относительно земли, электроды электронной лампы и др. Естественные конденсаторы специально не создаются, их емкость определяется конструкцией электрических устройств, но ее необходимо учитывать при расчетах, монтаже и эксплуатации электротехнических и радиотехнических устройств.

Искусственные конденсаторы изготавливают специально. В зависимости от диэлектрика различают воздушные, бумажные, керамические, слюдяные, электролитические и другие виды конденсаторов. Каждый искусственный конденсатор обладает определенной емкостью C и рассчитан на определенное рабочее напряжение U_p (оба параметра указаны на корпусе конденсатора).

Искусственные конденсаторы нашли широкое применение в энергетике, автоматике, радиотехнике, электронике, в схемах электрических фильтров, усилителей, стабилизаторов, колебательного контура, улучшения коэффициента мощности и т. д.

Конденсаторы могут служить для накопления и сохранения электрического поля и его энергии (так как проводимость диэлектриков конденсаторов ничтожно мала).

Широко используются конденсаторы как постоянной, так и переменной емкости.

Параллельное соединение конденсаторов

Конденсаторы, как и резисторы, могут соединяться последовательно, параллельно и смешанно.

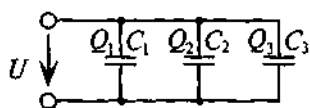


Рис. 6.2

$$Q_1 = UC_1; Q_2 = UC_2; Q_3 = UC_3.$$

Общий заряд Q всех конденсаторов

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

При параллельном соединении конденсаторов к каждому конденсатору приложено одинаковое

напряжение U , а величина заряда на обкладках каждого конденсатора Q пропорциональна его емкости (рис. 6.2).

$$\frac{Q}{U} = \boxed{C_1 + C_2 + C_3 = C.}$$

Общая емкость C , или емкость батареи, параллельно включенных конденсаторов равна сумме емкостей этих конденсаторов. Очевидно, что

параллельное подключение конденсатора к группе других точенных конденсаторов увеличивает общую емкость батареи этих конденсаторов.

Если параллельно включены m одинаковых конденсаторов емкостью C' каждый, то общая (эквивалентная) емкость батареи этих конденсаторов может быть определена выражением

$$\boxed{C = C'm.}$$

Следовательно, параллельное соединение конденсаторов применяется для увеличения емкости.

Последовательное соединение конденсаторов

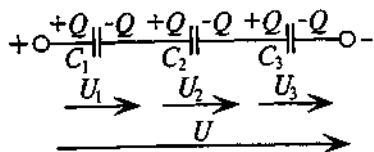


Рис. 6.3

Если последовательно соединенные конденсаторы подключить к источнику постоянного тока с напряжением U (рис. 6.3),

то напряжение источника окажется приложенным к внешним обкладкам крайних конденсаторов ($+Q$ — к левой обкладке конденсатора C_1 , а $-Q$ — к правой обкладке конденсатора C_3). На вторых пластинах (обкладках) последовательно включенных конденсаторов C_1 и C_3 тот же заряд Q , но противоположными знаками появится за счет электростатической индукции (рис. 6.1). На обкладках конденсатора C_2 появятся заряды $+Q$ и $-Q$ за счет того, что заряд $+Q$ перешел с правой обкладки конденсатора C_1 (рис. 6.1), а $-Q$ появился за счет электростатической индукции или за счет перехода электронов (заряд $-Q$) левой обкладки конденсатора C_3 .

Таким образом, на обкладках последовательно соединенных

конденсаторов, подключенных к источнику постоянного тока с

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}; U_2 = \frac{Q}{C_2} \text{ и } U_3 = \frac{Q}{C_3}.$$

напряжением U , появятся заряды одинаковые по величине с противоположными знаками.

Напряжения на конденсаторах

определяется обратно пропорционально емкостям конденсаторов.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right). \quad \text{По второму закону Кирхгофа}$$

Откуда

$$\frac{U}{Q} = \left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C} \right] \quad \text{Обратная величина общей емкости последовательно соединенных конденсаторов равна сумме обратных величин емкостей этих конденсаторов.}$$

Из выражения (6.7) следует, что емкость батареи последовательно включенных трех конденсаторов C_1 , C_2 и C_3 (см. рис. 6.3) определяется выражением

$$C_{1,2,3} = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_2 C_3 + C_1 C_3 + C_1 C_2}. \quad (6.8)$$

При последовательном включении двух конденсаторов их общая емкость определяется следующим выражением:

$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}; \quad \boxed{C_{1,2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}. \quad (6.9)$$

Если в цепь включены последовательно n одинаковых конденсаторов емкостью C' каждый, то общая емкость этих конденсаторов:

$$\boxed{C = \frac{C'}{n}}. \quad (6.1)$$

Из (6.10) видно, что, чем больше конденсаторов и соединено последовательно, тем меньше будет их общая емкость C , т. е. последовательное включение конденсаторов приводит к уменьшению общей емкости батареи конденсаторов. Зачем же последовательно включать конденсаторы, если это приводит к уменьшению общей емкости этих конденсаторов?

На практике может оказаться (пример 6.1), что допустимое рабочее напряжение U_p конденсатора меньше напряжения, на которое необходимо подключить конденсатор. Если этот конденсатор подключить на такое напряжение, то он выйдет из строя, так как будет пробит диэлектрик. Если же последовательно включить несколько конденсаторов, то напряжение распределится между ними (6.6) и на каждом конденсаторе напряжение окажется меньше его допустимого рабочего U_p . Следовательно, *последовательное соединение конденсаторов применяют для того, чтобы напряжение на каждом конденсаторе не превышало его рабочего напряжения U_p* (пример 6.1).

Смешанное соединение конденсаторов

Смешанное соединение (последовательно-параллельное) конденсаторов применяют тогда, когда необходимо увеличить емкость и рабочее напряжение

батареи конденсаторов. Рассмотрим смешанное соединение конденсаторов на нижеприведенных примерах.

Пример 6.1

К участку цепи с напряжением $U=380$ В необходимо подключить емкость $C=18$ мкФ. Имеются конденсаторы емкостью $C=8$ мкФ, рассчитанные на напряжение $U_p=100$ В каждый. Сколько нужно таких конденсаторов и как их соединить?

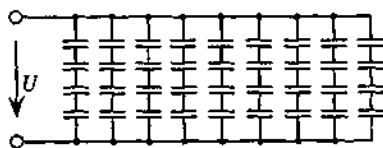
Решение:

Для того чтобы напряжение на каждом конденсаторе не превышало его рабочего U_p , на заданное напряжение $U=380$ В необходимо соединить последовательно 4 конденсатора.

$n = \frac{U}{U_p} = \frac{380}{100} \approx 4$. $C_{\text{посл}} = \frac{C'}{n} = \frac{8}{4} = 2 \text{ мкФ}$ Емкость этой группы, состоящей из 4 последовательно соединенных конденсаторов, равна

Для получения емкости $C = 18$ мкФ необходимо включить параллельно 9 таких последовательно соединенных групп.

$$m = \frac{C}{C_{\text{посл}}} = \frac{18}{2} = 9$$



Следовательно необходимо иметь $k = nm = 4 \cdot 9 = 36$ конденсаторов и соединить их смешанно (рис 6.4).

Рис. 6.4

Пример 6.2

Конденсаторы, емкости которых $C_1 = 2$ мкФ; $C_2 = 1$ мкФ; $C_3 = 2$ мкФ; $C_4 = 6$ мкФ; $C_5 = 4$ мкФ, соединены по схеме рис 6.5 и подключены к источнику с постоянным напряжением $U=100$ В. Определить общую емкость конденсаторов C , заряд и Энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи

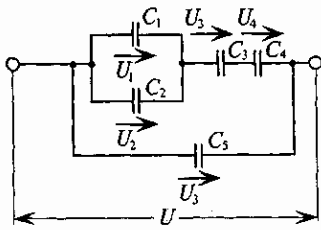


Рис. 6.5

напряжение всей цепи $U = \frac{Q_{1,2}}{C_{1-4}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-6}} = 360 \text{ В}$.

Это же напряжение можно определить по второму закону Кирхгофа: $U = U_1 + U_3 + U_4 = 120 + 180 + 60 = 360 \text{ В}$.

Такое же напряжение приложено к конденсатору C_3 , т.е. $U = U_3 = 360 \text{ В}$.

2. Электрический ток, его величина, направление, плотность тока. Удельная электрическая проводимость и удельное электрическое сопротивление. Электрическое сопротивление, его зависимость от материала и геометрических размеров проводника, температуры.

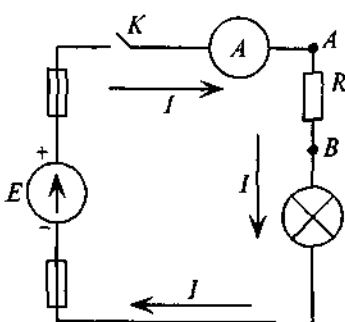


Рис. 2.1

Ток в электрической цепи

Электрический ток — это явление упорядоченного (направленного) перемещения заряженных частиц в проводнике под действием электрического поля.

Электрический ток может существовать только в замкнутой электрической цепи (ключ K замкнут — рис. 2.1).

Интенсивность направленного перемещения электрических зарядов в замкнутой электрической цепи характеризует величину тока.

$I = \frac{Q}{t}$, $i = \frac{dQ}{dt}$. Обозначается величина постоянного тока буквой I , а переменного — i (мгновенное значение). Величина тока /определяется количеством электричества (зарядов) Q , проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени t :

(2.1)

$[I] = \left[\frac{Q}{t} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = \text{А}$ (ампер) Измеряется ток в амперах, т. е. — единица измерения тока.

Постоянным называется ток, величина и направление которого не изменяется с течением времени. Постоянный ток I' изображен на графике (рис. 2.2).

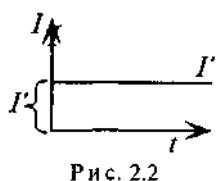


Рис. 2.2

За направление тока в замкнутой электрической цепи принимается направление от положительной клеммы источника к его отрицательной клемме по внешнему участку цепи (рис. 2.1). Таким образом, направление тока противоположно направлению перемещения электронов в замкнутой цепи. Ток в цепи направлен так, как перемещались бы положительные заряды.

В неразветвленной электрической цепи (рис. 2.1) ток на всех участках (во всех сечениях) цепи имеет одинаковое значение, в противном случае в какой-либо точке электрической цепи накапливались бы заряды, чего не может быть в замкнутой электрической цепи.

$J = \frac{I}{S}$. Отношение величины тока в проводнике I к площади его поперечного сечения S характеризует плотность тока в этом проводнике. Обозначается плотность тока буквой J .

$[J] = \left[\frac{I}{S} \right] = \text{А/м}^2$. Единицей измерения плотности тока является ампер на квадратный метр

Так как на практике площадь сечения проводов обычно выражают в мм^2 , то плотность тока выражают $[J] = \text{А/мм}^2$.

Плотность тока — величина векторная. Вектор плотности тока Направлен перпендикулярно площади сечения проводника. К Допустимая плотность тока определяет способность проводника определенного сечения выдерживать ту или иную токовую нагрузку. Так, например, допустимая плотность тока для монтажных проводов $[J] = (6 \div 8) \text{ А/мм}^2$. По допустимой плотности тока определяют сечение проводов коротких линий и проверяют сечение проводов длинных линий,

рассчитанных по допустимой потере напряжения. Допустимая плотность тока в проводах из различного материала и различных марок при разных условиях монтажа приводится в справочной литературе (Приложение 11).

Электрическое сопротивление

Как уже говорилось, обозначается электрическое сопротивление

$[R] = \text{Ом}$. Буквой R . Единицей измерения сопротивления является Ом:

Электрическое сопротивление проводника — это противодействие, которое атомы или молекулы проводника оказывают направленному перемещению зарядов.

Сопротивление R зависит от длины проводника l , площади поперечного сечения S и материала проводника ρ :

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \rho = \frac{1}{\gamma}. \quad \text{Где — удельное сопротивление проводника, зависящее от свойства материала проводника.}$$

Удельное сопротивление (ρ) — это сопротивление проводника из данного материала

длиной 1 м площадью поперечного сечения 1 мм² при температуре 20 °С. Величина удельного сопротивления некоторых проводников приведена в Приложении 4.

$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м},$$

$$[\rho] = \left[\frac{RS}{l} \right] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}. \quad \begin{array}{l} \text{Единицей измерения удельного сопротивления является} \\ \text{Поскольку} \end{array}$$

Поэтому $[\rho] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Однако на практике сечение проводников выражают в мм².

$l = \frac{RS}{\rho}$). Удельное сопротивление проводника определяет область его применения. Так, например, для соединения источника с потребителем применяются металлические провода с малым удельным сопротивлением — алюминий, медь. Для обмоток реостатов нагревательных приборов применяются сплавы с большим удельным сопротивлением — нихром, фехраль (при этом уменьшается длина проводника

$$g = \frac{1}{R}. \quad \text{Величину, обратную сопротивлению, называют проводимостью}$$

$[g] = \text{См (сименс)}$. Единицей проводимости является сименс

Элементы электрической цепи, характеризующиеся сопротивлением R , называют резистивными, а промышленные изделия, предназначенные для выполнения роли сопротивления электрическому току, называются резисторами. Резисторы бывают

регулируемые и нерегулируемые, проволочные и непроволочные, пленочные, композиционные и др.

Сопротивление проводников зависит от их температуры.

$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1)$ Сопротивление проводника при любой температуре (с достаточной степенью точности при изменении температуры в пределах 0-;-100 °С) можно определить выражением

где R_2 — сопротивление проводника при конечной температуре t_2 ; R_1 — сопротивление проводника при начальной температуре t_1 , α — температурный коэффициент сопротивления.

Температурный коэффициент сопротивления определяет относительное изменение сопротивления проводника при изменении его температуры на 1°С. Единицей измерения температурного коэффициента сопротивления является

$[\alpha] = \frac{1}{^\circ\text{C}} = ^\circ\text{C}^{-1}$. Для различных проводников температурный коэффициент сопротивления имеет различные значения (Приложение 4).

Для металлических проводников (Приложение 4) температурный коэффициент сопротивления α положителен, т. е. с ростом температуры сопротивление металлических проводников увеличивается (2.9). Объясняется это тем, что при нагревании увеличивается подвижность атомов и молекул металла, а следовательно, и число столкновений с ними электрических зарядов увеличивается. Таким образом, возрастает противодействие направленному перемещению этих зарядов, т. е. увеличивается сопротивление металлического проводника.

Для проводников второго рода (электролитов) и угля температурный коэффициент сопротивления α отрицателен, т. е. с ростом температуры их сопротивление уменьшается (2.9). Объясняется это тем, что с повышением температуры ослабевают связи между положительно и отрицательно заряженными частицами, что приводит к усилению ионизации, обуславливающей электропроводность, т. е. уменьшается сопротивление электролитов и угля.

Для большинства электролитов $\alpha \approx -0,02^\circ\text{C}^{-1}$, а для угля

$$\alpha = -0,005^\circ\text{C}^{-1}$$

Температурный коэффициент сопротивления проводников определяет их применение. Например, такие сплавы, как константан и манганин, имеют малый температурный коэффициент сопротивления (Приложение 4), т. е. их сопротивление почти не зависит от температуры, поэтому их применяют в качестве материала для изготовления шунтов и добавочных сопротивлений, служащих для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров, на точность которых не должна влиять температура. При понижении температуры

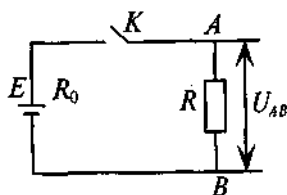
некоторых металлов и сплавов до очень низких значений, порядка нескольких градусов Кельвина

($0^{\circ}\text{K} \approx -273^{\circ}\text{C}$), возникает явление сверхпроводимости.

Сверхпроводником называют проводник, сопротивление которого L практически равно нулю.

В сверхпроводнике совершенно не выделяется тепло при прохождении тока, так как электроны при направленном движении не встречают препятствий. В нем невозможно существование магнитного поля.

Следует ожидать широкого применения сверхпроводников в электротехнике в будущем.



всей

Рис. 2.3

2. Понятие об ЭДС.

Источник электрической энергии осуществляет направленное перемещение электрических зарядов по замкнутой цепи (рис. 2.3).

Энергия W , которую затрачивает или может затратить источник на перемещение единицы положительного заряда по всей замкнутой цепи, характеризует - электродвижущую силу источника E ЭДС):

$$E = \frac{W_{\text{ист.}}}{q}$$

'а

$$[E] = \left[\frac{W}{q} \right] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В (вольт)}$$

является

источника тока, а не силовой, как можно было бы решить по названию «электродвижущая сила». Единицей измерения ЭДС является вольт:

2. Работа, мощность и кпд. Закон Джоуля-Ленца.

Мерой количества энергии является **работа**. Работа W , совершаемая электрическим током за время t при известном напряжении U силе тока I , равна произведению напряжения на силу тока и на время его действия:

$$W = UI t \quad (29)$$

Работа, совершаемая электрическим током силой 1 А при напряжении 1 В в течение 1 с, принята за единицу электрической энергии. Эта единица называется джоулем (Дж). Джоуль, который называют также ватт-секундой ($\text{Вт} \cdot \text{с}$), — очень маленькая единица измерения, поэтому на практике для измерения электрической энергии приняты более крупные единицы — ватт-час ($1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж}$), киловатт-час ($1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$), мегаватт-час ($1 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^9 \text{ Дж}$).

Электрическая мощность. Энергия, получаемая приемником или отдаваемая источником тока в течение 1 с, называется мощностью. Мощность P при неизменных значениях U и I равна произведению напряжения U на силу тока I :

$$P = UI \quad (30)$$

или

$$P = U^2/R = U^2G \quad (32)$$

Следовательно, электрическая мощность равна произведению квадрата силы тока на сопротивление, или электрическая мощность квадрату напряжения, поделенному на сопротивление, либо квадрату напряжения, умноженному на проводимость.

Мощность, которая создается силой тока 1 А при напряжении 1 В, принята за единицу измерения мощности и называется ватт (Вт). В технике мощность измеряют более крупными единицами: киловаттами (1 кВт = 1000 Вт) и мегаваттами (1 МВт = 1 000 000 Вт).

коэффициент полезного действия. При превращении электрической энергии в другие виды энергии или наоборот не вся энергия превращается в требуемый вид энергии, часть ее непроизводительно затрачивается (теряется) на преодоление трения в подшипниках машин, нагревание проводов и пр. Эти потери энергии неизбежны в любой машине и любом аппарате. Отношение мощности, отдаваемой источником или приемником электрической энергии, к получаемой им мощности, называется коэффициентом полезного действия источника или приемника. Коэффициент полезного действия (к. п. д.)

$$\eta = P_2/P_1 = P_2/(P_2 + \Delta P) \quad (33)$$

где

P_2 — отдаваемая (полезная) мощность; P_1 — получаемая мощность; ΔP — потери мощности.

К. п. д. всегда меньше единицы, так как в любой машине и любом аппарате имеются потери энергии. Иногда к. п. д. выражают в процентах. Так, тяговые двигатели электровозов и тепловозов имеют к. п. д. 86—92 %, мощные трансформаторы — 96—98 %, тяговые подстанции — 94—96 %, контактная сеть электрифицированных железных дорог — около 90 %, генераторы тепловозов — 92—94 %. Рассмотрим в качестве примера распределение энергии в электрической цепи (рис. 31). Генератор 1, питающий эту цепь, получает от первичного двигателя 2 (например, дизеля) механическую мощность $P_{\text{мх}} = 28,9$ кВт, а отдает электрическую мощность $P_{\text{эл}} = 26$ кВт (2,9 кВт составляют потери мощности в генераторе). Поэтому он имеет к. п. д. $\eta_{\text{ген}} = P_{\text{эл}}/P_{\text{мх}} = 26/28,9 = 0,9$.

Мощность $P_{эл} = 26$ кВт, отдаваемая генератором, расходуется на питание электрических ламп (6 кВт), на нагрев электрических плиток (7,2 кВт) и на питание электродвигателя (10,8 кВт). Часть мощности $P_{пр} = 2$ кВт теряется на бесполезный нагрев проводов, соединяющих генератор с потребителями

Энергия и мощность электрического тока

$E = U + U_0$. В замкнутой электрической цепи источник затрачивает электрическую энергию $W_{кст}$ на перемещение единицы положительной заряда по всей замкнутой цепи, т. е. на внутреннем и внешнем участках ((2.3) и рис. 2.3).

$E = \frac{W_{ист}}{q}$. ЭДС источника определяется выражением

$W_{ист} = Eq = EIt$, из этого выражения следует, что энергия, затраченная источником, равна

$W = Uq = UIt$ Как как $q = It$, что вытекает из определения величины тока $I = q/t$ Энергия источника расходуется на потребителе (полезная энергия)

и на внутреннем сопротивлении источника (потери):

$W_0 = U_0q = U_0It$. Потерей энергии в проводах, при незначительной их длине, можно пренебречь.

Электротехника: вопросы (с ответами)

1 Электрическое поле (эп) и его основные характеристики: напряженность поля, электрическое напряжение, потенциал точки поля. Графическое изображение эп.

Каждый химический элемент (вещество) состоит из совокупности мельчайших материальных частиц — атомов. В состав атомов любого вещества входят

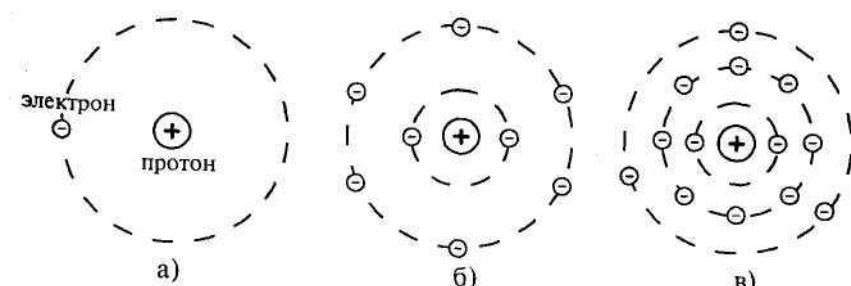


Рис. 1.1

элементарные частицы, часть которых обладает электрическим зарядом.

Атом представляет собой систему, состоящую из ядра, вокруг которого вращаются электроны.

Если нарушается равенство числа электронов и протонов, то из электрически нейтрального атом становится заряженным. Заряженный атом называется ионом.

Если в силу каких-либо причин атом теряет один или несколько электронов, то в нем нарушится равенство зарядов и такой атом становится положительным ионом, поскольку в нем преобладает положительный заряд протонов ядра. Если

атом приобретает один или несколько электронов, то он становится отрицательным ионом, так как в нем преобладает отрицательный заряд.

Вещество (твердое тело, жидкость, газ) считается электрически нейтральным, если количество положительных и отрицательных зарядов в нем одинаково. Если же в нем преобладают положительные или отрицательные заряды, то оно считается соответственно положительно или отрицательно заряженным.

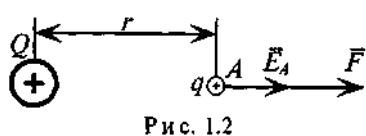
Электрический заряд или заряженное тело создают электрическое поле.

Электрическое поле — это пространство вокруг заряженного тела или заряда, в котором обнаруживается действие сил на пробный заряд, помещенный в это пространство.

Электрическое поле, создаваемое неподвижными зарядами, называется электростатическим.

Напряженность поля:

Обнаружить электрическое поле можно пробным зарядом, если поместить его в это поле. Пробным называется положительный заряд, внесение которого в исследуемое поле не приводит к его изменению. То есть пробный заряд не влияет ни на силу, ни на энергию, ни на конфигурацию поля.



Если в точку A электрического поля (рис. 1.2), созданного зарядом Q , расположенную на расстоянии r от него, внести пробный заряд q , то на него будет действовать сила F , причем если заряды Q и q имеют одинаковые знаки, то они отталкиваются (как это изображено на рис. 1.2), а если разные, то притягиваются.

Величина силы F , действующей на пробный заряд q , помещенный в точку A электрического поля, пропорциональна величине заряда q и интенсивности электрического поля, созданного зарядом Q в точке A

$$F = qE_A, \quad (1.1)$$

где \vec{E}_A — напряженность электрического поля, характеризующая интенсивность поля в точке A . Из (1.1) видно, что

$$\vec{E}_A = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1.2)$$

То есть напряженность каждой точки электрического поля характеризуется силой, с которой поле действует на единицу заряда, помещенного в эту точку. Таким образом, напряженность является силовой характеристикой каждой точки электрического поля.

Измеряется напряженность электрического поля в вольтах на метр $[E] = \text{В/м}$.

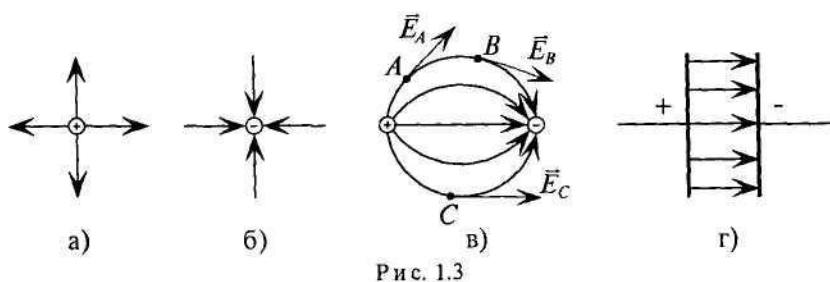
Напряженность электрического поля — величина векторная.

Направление вектора напряженности в любой точке электрического поля совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд, помещенный в эту точку поля (см. рис. 1.2).

Поскольку в дальнейшем будут учитываться только значения силы и напряженности, будем обозначать их F и E соответственно.

Напряженность является параметром каждой точки электрического поля и не зависит от величины пробного заряда q . Изменение величины q приводит к пропорциональному изменению силы F (1.1), а отношение F/q (1.2), т.е. напряженность E_A , остается неизменной.

Для наглядности электрическое поле изображают электрическими линиями, которые иногда называют линиями напряженности электрического поля, или силовыми линиями. Электрические линии направлены от положительного заряда к отрицательному. Линия проводится так, чтобы вектор напряженности поля в данной точке являлся касательной к ней (рис. 1.3в).

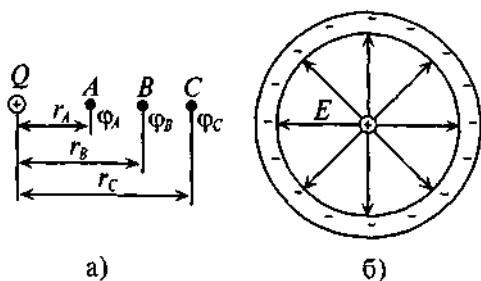


Электрическое поле называется однородным, если напряженность его во всех точках одинакова по величине и направлению. Однородное электрическое поле

изображается параллельными линиями, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга.

Однородное поле, например, существует между пластинами плоского конденсатора (рис. 1.3г).

Потенциал и напряжение в (ЭП):



Для энергетической характеристики каждой точки электрического поля вводится понятие «потенциал». Обозначается потенциал буквой ϕ .

Потенциал в каждой точке электрического поля характеризуется энергией W , которая затрачивается (или может быть затрачена) полем на перемещение единицы положительного заряда q из данной точки за пределы поля, если поле создано положительным зарядом, или из-за пределов поля в данную точку, если поле создано отрицательным зарядом (рис. 1.7а).

$[\varphi] = \left[\frac{W_{Дж}}{qКл} \right] = В$ Из приведенного выше определения следует, что потенциал в точке A равен $\varphi_A = W_A/q$; потенциал в точке B — $\varphi_B = W_B/q$, а потенциал в точке C — $\varphi_C = W_C/q$.

Измеряется потенциал в вольтах

Величина потенциала в каждой точке электрического поля определяется выражением

$$\varphi_A = \frac{W_A}{q} = \frac{\int_{r_A}^{\infty} F dr}{q} = \frac{\int_{r_A}^{\infty} Eq dr}{q} = \frac{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} q \int_{r_A}^{\infty} \frac{dr}{r^2}}{q};$$

$$\varphi_A = \frac{Q}{4\pi r_A \epsilon_0 \epsilon_r}$$

(1.12)

Потенциал — скалярная величина. Если электрическое поле создано несколькими зарядами, то потенциал в каждой точке поля определяется алгебраической суммой потенциалов, созданных в этой точке каждым зарядом.

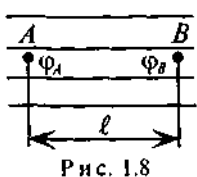
Так как (рис. 1.7а) $r_A < r_B < r_C$, то из (1.12) следует, что $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$, если поле создано положительным зарядом.

Если в точку A (рис. 1.7а) электрического поля поместить положительный пробный заряд q , то под действием сил поля он будет перемещаться из точки A в точку B , а затем в точку C , т. е. в направлении поля. Таким образом, положительный пробный заряд перемещается из точки с большим потенциалом в точку с меньшим потенциалом. Между двумя точками с равными потенциалами заряд перемещаться не будет. Следовательно, для перемещения заряда между двумя точками электрического поля должна быть разность потенциалов в этих точках.

Разность потенциалов двух точек электрического поля характеризует напряжение U между этими точками

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B; \quad U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C; \quad U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C.$$

Напряжение между двумя точками электрического поля характеризуется энергией, затраченной на перемещение единицы положительного заряда между этими точками, т. е. $U_{AB} = W_{AB}/q$; Измеряется напряжение в вольтах (В).



Между напряжением и напряженностью в однородном электрическом поле (рис. 1.8) существует зависимость

$$E = \frac{U_{AB}}{l}$$

откуда следует

(1.13)

Из (1.13) видно, что напряженность однородного электрического поля определяется отношением напряжения

между двумя точками поля к расстоянию между этими точками.

В общем случае для неоднородного электрического поля значение напряженности определяется отношением

$$\boxed{E = \frac{dU}{d\ell}}, \quad (1.14)$$

где dU — напряжение между двумя точками поля на одной электрической линии на расстоянии $d\ell$ между ними.

Единица напряженности электрического поля определяется из выражения (1.13)

Потенциалы в точках электрического поля могут иметь различные значения. Однако в электрическом поле можно выделить ряд точек с одинаковым потенциалом. Поверхность, проходящая через эти точки, называется равнопотенциальной, или эквипотенциальной. Равнопотенциальная поверхность любой конфигурации перпендикулярна к линиям Рис. 1.9 электрического поля. Обкладки цилиндрического конденсатора (рис. 1.76) и плоского конденсатора (рис. 1.9) имеют одинаковый потенциал по всей площади каждой обкладки и являются равнопотенциальными поверхностями.

3. ЭП точечного заряда. Закон Кулона. Теорема Гаусса.

Точечным считается заряд, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием, на котором рассматривается его действие.

Сила взаимодействия F двух точечных зарядов Q и q (рис. 1.2) определяется по закону Кулона:

$$F = \frac{Qq}{4\pi r^2 \epsilon_a}, \quad (1.3)$$

где r — расстояние между зарядами; ϵ_a — абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, в которой взаимодействуют заряды. Из (1.3) следует, что напряженность электрического поля заряда Q в точке A (рис. 1.2) равна

$$E_A = \frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_a}. \quad (1.4)$$

Таким образом, напряженность поля E_A , созданная зарядом Q в точке A электрического поля, зависит от величины заряда Q , создающего поле, расстояния точки A от источника поля r и от абсолютной диэлектрической проницаемости среды ϵ_a , в которой создается поле. Диэлектрическая проницаемость характеризует электрические свойства среды, т. е. интенсивность поляризации.

Единицей измерения абсолютной диэлектрической проницаемости среды является фарад на метр

$$[\epsilon_a] = \left[\frac{Q}{4\pi r^2 E} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{В} \cdot \text{м}} = \frac{\Phi \text{ (Фарад)}}{\text{м (метр)}}, \quad \text{так как Кл/В} = \Phi.$$

Различные среды имеют разные значения абсолютной диэлектрической проницаемости. Абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума (1.5) называется электрической постоянной.

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \Phi/\text{м}$$

$$\text{или } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi/\text{м}$$

Абсолютную диэлектрическую проницаемость любой среды ϵ_a удобно выражать через электрическую постоянную ϵ_0 и диэлектрическую проницаемость ϵ_r — табличную величину (Приложение 2).

$$\epsilon_r = \epsilon_a / \epsilon_0.$$

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r.$$

Диэлектрическая проницаемость ϵ_r , которую иногда называют относительной, показывает, во сколько раз абсолютная диэлектрическая проницаемость среды больше, чем электрическая постоянная, т.е.

(1-6) Из (1.6) следует (1.7)

Таким образом, напряженность электрического поля, созданного зарядом Q на расстоянии r от него, определяется выражением

$$E = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}.$$

(1.8)

Напряженность электрического поля, созданного несколькими зарядами в какой-либо точке A этого поля, определяется геометрической суммой напряженностей, созданных в этой точке каждым точечным зарядом: $E_A = E_{A1} + E_{A2} + \dots + E_{Ak}$ (см. Q_3^A и рис. 1.4).

5. Проводники и диэлектрики в электрическом поле.
6. Поляризация диэлектрика. Диэлектрическая проницаемость.
7. **Понятие об электроемкости. Конденсаторы. Последовательное, параллельное и смешанное соединение конденсаторов.**

Электрическая емкость

$Q = C\phi$, Если проводник A получит какой-либо заряд Q , то этот проводник создает электрическое поле. Электрическое поле, созданное проводником A , обладает энергией, которая и характеризует потенциал проводника ϕ . Очевидно, изменение заряда проводника вызывает аналогичное изменение его потенциала. Таким образом, между зарядом проводника и его потенциалом существует прямая пропорциональность, которую можно записать следующим уравнением:

$$C = \frac{Q}{\phi}.$$

где C — коэффициент пропорциональности, который и называется электрической емкостью проводника. Из (6.1) следует, что электрическая емкость проводника

То есть *электрическая емкость проводника характеризуется зарядом Q , который необходимо сообщить проводнику, чтобы его потенциал изменился на единицу*. Единицей измерения емкости является фарад.

$[C] = \left[\frac{Q}{\Phi} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Ф (Фарад)}$. Фарад — большая единица. Например, электрическая емкость проводника под названием «земля» не превышает 0,7 Ф. Поэтому на практике емкость измеряется в микрофарадах, нанофарадах и пикофарадах.

Электрическая емкость проводника характеризует способность проводника накапливать электрический заряд, изменяющий его потенциал на единицу (на 1 В).

Емкость проводника не зависит от заряда Q , сообщенного проводнику, так как изменение заряда Q вызовет пропорциональное изменение потенциала проводника Φ , а их отношение остается неизменным (6.2). (Емкость 5-литрового баллона не зависит от количества жидкости, заполняющей баллон.)

Емкость проводника не зависит также от материала и массы проводника.

Емкость проводника зависит от:

- 1) площади поверхности проводника, так как заряды располагаются на поверхности проводника;
- 2) среды, в которой находится проводник. Например, если проводник перенести из воздуха в минеральное масло, его емкость увеличится в 2,2 раза, так как диэлектрическая проницаемость минерального масла $\epsilon_r = 2,2$ (см. Приложение 2);
- 3) близости других проводников. Если рядом с проводником в определенной среде расположен еще один проводник, то емкость системы этих двух проводников будет гораздо больше, чем сумма емкостей каждого из этих проводников в этой среде. На этом принципе устроены электрические конденсаторы.

Конденсаторы

Конденсатор представляет собой два проводника, разделенных диэлектриком.

Емкость конденсатора характеризуется зарядом, который нужно сообщить одному из проводников конденсатора для того, чтобы разность потенциалов между проводниками конденсатора (напряжение) изменилась на единицу.

$$C = \frac{Q}{\Phi_1 - \Phi_2} = \frac{Q}{U}. \quad (6.3)$$

Если одному из проводников конденсатора (обкладке) сообщить электрический заряд Q определенного знака (например, $+Q$), то вокруг этого проводника

образуется электрическое поле, од действием которого в другом проводнике (обкладке) происходит разделение зарядов (электростатическая индукция) и заряд такого же знака и величины «уходит в землю» или на отрицательную клемму источника (рис. 6.1). В результате на проводнике, которому не сообщен заряд, остается заряд противоположного знака, «минус», по величине такой же, как и сообщенный первому проводнику, заряд, т.е. $-Q$.

Таким образом, за счет электростатической индукции проводники (обкладки) конденсатора, изолированные друг от друга, получают равные по величине, но противоположные по знаку заряды ($+Q$ и $-Q$) и разные потенциалы ϕ_1 и ϕ_2 . Следовательно, между проводниками (обкладками)

конденсатора появляется напряжение $U = \phi_1 - \phi_2$

Различают естественные и искусственные конденсаторы.

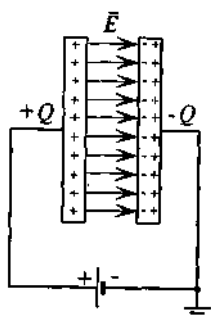


Рис. 6.1

Естественными конденсаторами являются провода электрической сети, две жилы кабеля, жила кабеля и его броня, провода воздушной линии электропередачи относительно земли, электроды электронной лампы и др. Естественные конденсаторы специально не создаются, их емкость определяется конструкцией электрических устройств, но ее необходимо учитывать при расчетах, монтаже и эксплуатации электротехнических и радиотехнических устройств.

Искусственные конденсаторы изготавливают специально. В зависимости от диэлектрика различают воздушные, бумажные, керамические, слюдяные, электролитические и другие виды конденсаторов. Каждый искусственный конденсатор обладает определенной емкостью C и рассчитан на определенное рабочее напряжение U_p (оба параметра указаны на корпусе конденсатора). Искусственные конденсаторы нашли широкое применение в энергетике, автоматике, радиотехнике, электронике, в схемах электрических фильтров, усилителей, стабилизаторов, колебательного контура, улучшения коэффициента мощности и т. д.

Конденсаторы могут служить для накопления и сохранения электрического поля и его энергии (так как проводимость диэлектриков конденсаторов ничтожно мала).

Широко используются конденсаторы как постоянной, так и переменной емкости.

Параллельное соединение конденсаторов

Конденсаторы, как и резисторы, могут соединяться последовательно, параллельно и смешанно.

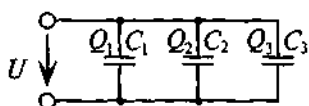


Рис. 6.2

$$Q_1 = UC_1; Q_2 = UC_2; Q_3 = UC_3.$$

Общий заряд Q всех конденсаторов

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

При параллельном соединении

конденсаторов к каждому конденсатору приложено одинаковое напряжение U , а величина заряда на обкладках каждого конденсатора Q пропорциональна его емкости (рис. 6.2).

$$\frac{Q}{U} = \boxed{C_1 + C_2 + C_3 = C.}$$

Общая емкость C , или емкость батареи, параллельно включенных конденсаторов равна сумме емкостей этих конденсаторов. Очевидно, что

параллельное подключение конденсатора к группе других точечных конденсаторов увеличивает общую емкость батареи этих конденсаторов.

Если параллельно включены m одинаковых конденсаторов емкостью C' каждый, то общая (эквивалентная) емкость батареи этих конденсаторов может быть определена выражением

$$\boxed{C = C'm.}$$

Следовательно, параллельное соединение конденсаторов применяется для увеличения емкости.

Последовательное соединение конденсаторов

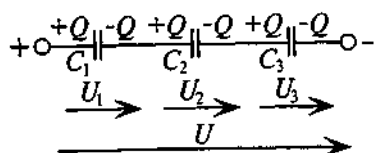


Рис. 6.3

Если последовательно соединенные конденсаторы подключить к источнику постоянного тока с напряжением U (рис. 6.3),

то напряжение источника окажется приложенным к внешним обкладкам крайних конденсаторов ($+Q$ — к левой обкладке конденсатора C_1 , а $-Q$ — к правой обкладке конденсатора C_3). На вторых пластинах (обкладках) последовательно включенных конденсаторов C_1 и C_3 тот же заряд Q , но противоположными знаками появится за счет электростатической индукции (рис. 6.1). На обкладках конденсатора C_2 появятся заряды $+Q$ и $-Q$ за счет того, что заряд $+Q$ перешел с правой обкладки конденсатора C_1 (рис. 6.1), а $-Q$ появился за счет электростатической индукции или за счет перехода электронов (заряд $-Q$) левой обкладки конденсатора C_3 .

Таким образом, на обкладках последовательно соединенных

конденсаторов, подключенных к источнику постоянного тока с

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{Q}{C_2} \quad \text{и} \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}.$$

напряжением U , появятся заряды одинаковые по величине с противоположными знаками.

Напряжение на конденсаторах

определяется обратно пропорционально емкостям конденсаторов.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right).$$

По второму закону Кирхгофа

Откуда

$$\frac{U}{Q} = \boxed{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C}}. \quad \text{Обратная величина общей емкости последовательно соединенных конденсаторов равна сумме обратных величин емкостей этих конденсаторов.}$$

Из выражения (6.7) следует, что емкость батареи последовательно включенных трех конденсаторов C_1 , C_2 и C_3 (см. рис. 6.3) определяется выражением

$$C_{1,2,3} = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_2 C_3 + C_1 C_3 + C_1 C_2}. \quad (6.8)$$

При последовательном включении двух конденсаторов их общая емкость определяется следующим выражением:

$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}; \quad \boxed{C_{1,2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}. \quad (6.9)$$

Если в цепь включены последовательно n одинаковых конденсаторов емкостью C' каждый, то общая емкость этих конденсаторов:

$$\boxed{C = \frac{C'}{n}}. \quad (6.1)$$

Из (6.10) видно, что, чем больше конденсаторов и соединено последовательно, тем меньше будет их общая емкость C , т. е. последовательное включение конденсаторов приводит к уменьшению общей емкости батареи конденсаторов. Зачем же последовательно включать конденсаторы, если это приводит к уменьшению общей емкости этих конденсаторов?

На практике может оказаться (пример 6.1), что допустимое рабочее напряжение U_p конденсатора меньше напряжения, на которое необходимо подключить конденсатор. Если этот конденсатор подключить на такое напряжение, то он выйдет из строя, так как будет пробит диэлектрик. Если же последовательно включить несколько конденсаторов, то напряжение распределится между ними (6.6) и на каждом конденсаторе напряжение окажется меньше его допустимого рабочего U_p . Следовательно, *последовательное соединение конденсаторов применяют для того, чтобы напряжение на каждом конденсаторе не превышало его рабочего напряжения U_p* (пример 6.1).

Смешанное соединение конденсаторов

Смешанное соединение (последовательно-параллельное) конденсаторов применяют тогда, когда необходимо увеличить емкость и рабочее напряжение батареи конденсаторов. Рассмотрим смешанное соединение конденсаторов на нижеприведенных примерах.

Пример 6.1

К участку цепи с напряжением $U=380$ В необходимо подключить емкость $C= 18$ мкФ. Имеются конденсаторы емкостью $C=8$ мкФ, рассчитанные на напряжение $U_p=100$ В каждый. Сколько нужно таких конденсаторов и как их соединить?

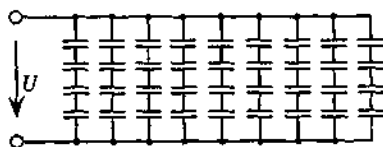
Решение:

Для того чтобы напряжение на каждом конденсаторе не превышало его рабочего U_p , на заданное напряжение $U= 380$ В необходимо соединить последовательно 4 конденсатора.

$n = \frac{U}{U_p} = \frac{380}{100} \approx 4$. $C_{\text{послед}} = \frac{C'}{n} = \frac{8}{4} = 2 \text{ мкФ}$ Емкость этой группы, состоящей из 4 последовательно соединенных конденсаторов, равна

Для получения емкости $C = 18$ мкФ необходимо включить параллельно 9 таких последовательно соединенных групп.

$$m = \frac{C}{C_{\text{послед}}} = \frac{18}{2} = 9$$



Следовательно необходимо иметь $k = nm = 4 \cdot 9 = 36$ конденсаторов и соединить их смешанно (рис 6.4).

Пример 6.2

Рис. 6.4

Конденсаторы, емкости которых $C_1 = 2$ мкФ; $C_2 = 1$ мкФ; $C_3=2$ мкФ; $C_4 = 6$ мкФ; $C_5 = 4$ мкФ, соединены по схеме рис 6.5 и подключены к источнику с постоянным напряжением $U= 100$ В. Определить общую емкость конденсаторов C , заряд и Энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи

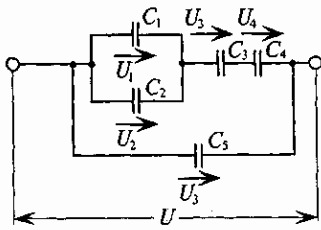


Рис. 6.5

напряжение всей цепи $U = \frac{Q_{1,2}}{C_{1-4}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-6}} = 360 \text{ В}$.

Это же напряжение можно определить по второму закону Кирхгофа: $U = U_1 + U_3 + U_4 = 120 + 180 + 60 = 360 \text{ В}$.

Такое же напряжение приложено к конденсатору C_3 , т.е. $U = U_3 = 360 \text{ В}$.

3. **Электрический ток, его величина, направление, плотность тока. Удельная электрическая проводимость и удельное электрическое сопротивление. Электрическое сопротивление, его зависимость от материала и геометрических размеров проводника, температуры.**

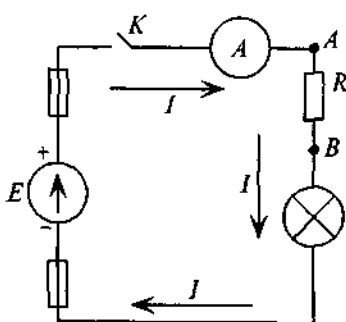


Рис. 2.1

Ток в электрической цепи

Электрический ток — это явление упорядоченного (направленного) перемещения заряженных частиц в проводнике под действием электрического поля.

Электрический ток может существовать только в замкнутой электрической цепи (ключ K замкнут — рис. 2.1).

Интенсивность направленного перемещения электрических зарядов в замкнутой электрической цепи характеризует величину тока.

$I = \frac{Q}{t}$, $i = \frac{dQ}{dt}$. Обозначается величина постоянного тока буквой I , а переменного — i (мгновенное значение). Величина тока /определяется количеством электричества (зарядов) Q , проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени t :

(2.1)

$[I] = \left[\frac{Q}{t} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = \text{А (ампер)}$ Измеряется ток в амперах, т. е. — единица измерения тока.

Постоянным называется ток, величина и направление которого не изменяется с течением времени. Постоянный ток I' изображен на графике (рис. 2.2).

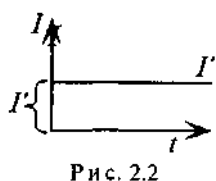


Рис. 2.2

За направление тока в замкнутой электрической цепи принимается направление от положительной клеммы источника к его отрицательной клемме по внешнему участку цепи (рис. 2.1). Таким образом, направление тока противоположно направлению перемещения электронов в замкнутой цепи. Ток в цепи направлен так, как перемещались бы положительные заряды.

В неразветвленной электрической цепи (рис. 2.1) ток на всех участках (во всех сечениях) цепи имеет одинаковое значение, в противном случае в какой-либо точке электрической цепи накапливались бы заряды, чего не может быть в замкнутой электрической цепи.

$J = \frac{I}{S}$. Отношение величины тока в проводнике I к площади его поперечного сечения S характеризует плотность тока в этом проводнике. Обозначается плотность тока буквой J .

$[J] = \left[\frac{I}{S} \right] = \text{А/м}^2$. Единицей измерения плотности тока является ампер на квадратный метр

Так как на практике площадь сечения проводов обычно выражают в мм^2 , то плотность тока выражают $[J] = \text{А/мм}^2$.

Плотность тока — величина векторная. Вектор плотности тока Направлен перпендикулярно площади сечения проводника. K Допустимая плотность тока определяет способность проводника определенного сечения выдерживать ту или иную токовую нагрузку. Так, например, допустимая плотность тока для монтажных проводов $[J] = (6 \div 8) \text{ А/мм}^2$. По допустимой плотности тока определяют сечение проводов коротких линий и проверяют сечение проводов длинных линий,

рассчитанных по допустимой потере напряжения. Допустимая плотность тока в проводах из различного материала и различных марок при разных условиях монтажа приводится в справочной литературе (Приложение 11).

Электрическое сопротивление

Как уже говорилось, обозначается электрическое сопротивление

$[R] = \text{Ом}$. Буквой R . Единицей измерения сопротивления является Ом:

Электрическое сопротивление проводника — это противодействие, которое атомы или молекулы проводника оказывают направленному перемещению зарядов.

Сопротивление R зависит от длины проводника l , площади поперечного сечения S и материала проводника ρ :

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \rho = \frac{1}{\gamma}. \quad \text{Где — удельное сопротивление проводника, зависящее от свойства материала проводника.}$$

Удельное сопротивление (ρ) — это сопротивление проводника из данного материала

длиной 1 м площадью поперечного сечения 1 мм² при температуре 20 °С. Величина удельного сопротивления некоторых проводников приведена в Приложении 4.

$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м},$$

Единицей измерения удельного сопротивления является

$$[\rho] = \left[\frac{RS}{l} \right] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}.$$

Поскольку

Поэтому $[\rho] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Однако на практике сечение проводников выражают в мм².

$l = \frac{RS}{\rho}$). Удельное сопротивление проводника определяет область его применения. Так, например, для соединения источника с потребителем применяются металлические провода с малым удельным сопротивлением — алюминий, медь. Для обмоток реостатов нагревательных приборов применяются сплавы с большим удельным сопротивлением — нихром, фехраль (при этом уменьшается длина проводника

$$g = \frac{1}{R}. \quad \text{Величину, обратную сопротивлению, называют проводимостью}$$

$[g] = \text{См (сименс)}$. Единицей проводимости является сименс

Элементы электрической цепи, характеризующиеся сопротивлением R , называют резистивными, а промышленные изделия, предназначенные для выполнения роли сопротивления электрическому току, называются резисторами. Резисторы бывают

регулируемые и нерегулируемые, проволочные и непроволочные, пленочные, композиционные и др.

Сопротивление проводников зависит от их температуры.

$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1)$ Сопротивление проводника при любой температуре (с достаточной степенью точности при изменении температуры в пределах 0-;-100 °С) можно определить выражением

где R_2 — сопротивление проводника при конечной температуре t_2 ; R_1 — сопротивление проводника при начальной температуре t_1 , α — температурный коэффициент сопротивления.

Температурный коэффициент сопротивления определяет относительное изменение сопротивления проводника при изменении его температуры на 1°С. Единицей измерения температурного коэффициента сопротивления является

$[\alpha] = \frac{1}{^\circ\text{C}} = ^\circ\text{C}^{-1}$. Для различных проводников температурный коэффициент сопротивления имеет различные значения (Приложение 4).

Для металлических проводников (Приложение 4) температурный коэффициент сопротивления α положителен, т. е. с ростом температуры сопротивление металлических проводников увеличивается (2.9). Объясняется это тем, что при нагревании увеличивается подвижность атомов и молекул металла, а следовательно, и число столкновений с ними электрических зарядов увеличивается. Таким образом, возрастает противодействие направленному перемещению этих зарядов, т. е. увеличивается сопротивление металлического проводника.

Для проводников второго рода (электролитов) и угля температурный коэффициент сопротивления α отрицателен, т. е. с ростом температуры их сопротивление уменьшается (2.9). Объясняется это тем, что с повышением температуры ослабляются связи между положительно и отрицательно заряженными частицами, что приводит к усилению ионизации, обуславливающей электропроводность, т. е. уменьшается сопротивление электролитов и угля.

Для большинства электролитов $\alpha \approx -0,02^\circ\text{C}^{-1}$, а для угля

$$\alpha = -0,005^\circ\text{C}^{-1}$$

Температурный коэффициент сопротивления проводников определяет их применение. Например, такие сплавы, как константан и манганин, имеют малый температурный коэффициент сопротивления (Приложение 4), т. е. их сопротивление почти не зависит от температуры, поэтому их применяют в качестве материала для изготовления шунтов и добавочных сопротивлений, служащих для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров, на точность которых не должна влиять температура. При понижении температуры

некоторых металлов и сплавов до очень низких значений, порядка нескольких градусов Кельвина

($0^\circ\text{K} \approx -273^\circ\text{C}$), возникает явление сверхпроводимости.

Сверхпроводником называют проводник, сопротивление которого L практически равно нулю.

В сверхпроводнике совершенно не выделяется тепло при прохождении тока, так как электроны при направленном движении не встречают препятствий. В нем невозможно существование магнитного поля.

Следует ожидать широкого применения сверхпроводников в электротехнике в будущем.

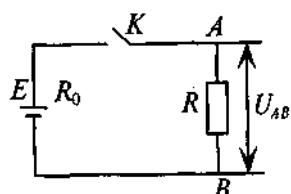


Рис. 2.3

всей

3. Понятие об ЭДС.

Источник электрической энергии осуществляет направленное перемещение электрических зарядов по замкнутой цепи (рис. 2.3).

Энергия W , которую затрачивает или может затратить источник на перемещение единицы положительного заряда по всей замкнутой цепи, характеризует - электродвижущую силу источника E ЭДС):

$$E = \frac{W_{\text{ист.}}}{q}$$

'а

$$[E] = \left[\frac{W}{q} \right] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В (вольт)}$$

является

источника тока, а не силовой, как можно было бы решить по названию «электродвижущая сила». Единицей измерения ЭДС является вольт:

Из определения следует, что ЭДС энергетической характеристикой

3. Работа, мощность и КПД. Закон Джоуля-Ленца.

Мерой количества энергии является **работа**. Работа W , совершаемая электрическим током за время t при известном напряжении U силе тока I , равна произведению напряжения на силу тока и на время его действия:

$$W = UI t \quad (29)$$

Работа, совершаемая электрическим током силой 1 А при напряжении 1 В в течение 1 с, принята за единицу электрической энергии. Эта единица называется джоулем (Дж). Джоуль, который называют также ватт-секундой (Вт*с), — очень маленькая единица измерения, поэтому на практике для измерения электрической энергии приняты более крупные единицы — ватт-час ($1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж}$), киловатт-час ($1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$), мегаватт-час ($1 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^9 \text{ Дж}$).

Электрическая мощность. Энергия, получаемая приемником или отдаваемая источником тока в течение 1 с, называется мощностью. Мощность P при неизменных значениях U и I равна произведению напряжения U на силу тока I :

$$P = UI \quad (30)$$

или

$$P = U^2/R = U^2G \quad (32)$$

Следовательно, электрическая мощность равна произведению квадрата силы тока на сопротивление, или электрическая мощность квадрату напряжения, поделенному на сопротивление, либо квадрату напряжения, умноженному на проводимость.

Мощность, которая создается силой тока 1 А при напряжении 1 В, принята за единицу измерения мощности и называется ватт (Вт). В технике мощность измеряют более крупными единицами: киловаттами (1 кВт = 1000 Вт) и мегаваттами (1 МВт = 1 000 000 Вт).

коэффициент полезного действия. При превращении электрической энергии в другие виды энергии или наоборот не вся энергия превращается в требуемый вид энергии, часть ее непроизводительно затрачивается (теряется) на преодоление трения в подшипниках машин, нагревание проводов и пр. Эти потери энергии неизбежны в любой машине и любом аппарате. Отношение мощности, отдаваемой источником или приемником электрической энергии, к получаемой им мощности, называется коэффициентом полезного действия источника или приемника. Коэффициент полезного действия (к. п. д.)

$$\eta = P_2/P_1 = P_2/(P_2 + \Delta P) \quad (33)$$

где

P_2 — отдаваемая (полезная) мощность; P_1 — получаемая мощность; ΔP — потери мощности.

К. п. д. всегда меньше единицы, так как в любой машине и любом аппарате имеются потери энергии. Иногда к. п. д. выражают в процентах. Так, тяговые двигатели электровозов и тепловозов имеют к. п. д. 86—92 %, мощные трансформаторы — 96—98 %, тяговые подстанции — 94—96 %, контактная сеть электрифицированных железных дорог — около 90 %, генераторы тепловозов — 92—94 %. Рассмотрим в качестве примера распределение энергии в электрической цепи (рис. 31). Генератор 1, питающий эту цепь, получает от первичного двигателя 2 (например, дизеля) механическую мощность $P_{\text{мх}} = 28,9$ кВт, а отдает электрическую мощность $P_{\text{эл}} = 26$ кВт (2,9 кВт составляют потери мощности в генераторе). Поэтому он имеет к. п. д. $\eta_{\text{ген}} = P_{\text{эл}}/P_{\text{мх}} = 26/28,9 = 0,9$.

Мощность $P_{эл} = 26$ кВт, отдаваемая генератором, расходуется на питание электрических ламп (6 кВт), на нагрев электрических плиток (7,2 кВт) и на питание электродвигателя (10,8 кВт). Часть мощности $P_{пр} = 2$ кВт теряется на бесполезный нагрев проводов, соединяющих генератор с потребителями

Энергия и мощность электрического тока

$E = U + U_0$. В замкнутой электрической цепи источник затрачивает электрическую энергию $W_{кст}$ на перемещение единицы положительной заряда по всей замкнутой цепи, т. е. на внутреннем и внешнем участках ((2.3) и рис. 2.3).

$E = \frac{W_{ист}}{q}$. ЭДС источника определяется выражением

$W_{ист} = Eq = EIt$, из этого выражения следует, что энергия, затраченная источником, равна

$W = Uq = UIt$ Как как $q = It$, что вытекает из определения величины тока $I = q/t$ Энергия источника расходуется на потребителе (полезная энергия)

и на внутреннем сопротивлении источника (потери):

$W_0 = U_0q = U_0It$. Потерей энергии в проводах, при незначительной их длине, можно пренебречь.

Электротехника: вопросы (с ответами)

1 Электрическое поле (эп) и его основные характеристики: напряженность поля, электрическое напряжение, потенциал точки поля. Графическое изображение эп.

Каждый химический элемент (вещество) состоит из совокупности мельчайших материальных частиц — атомов. В состав атомов любого вещества входят

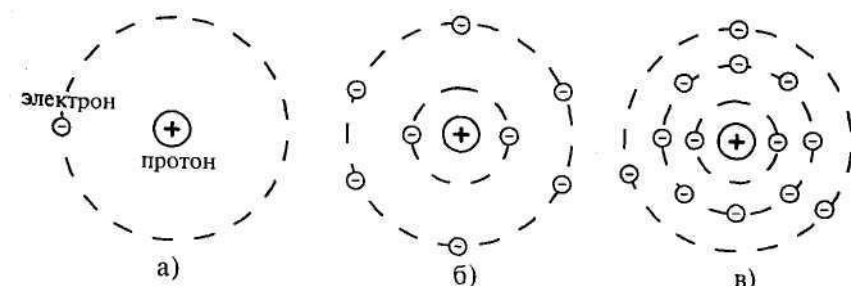


Рис. 1.1

элементарные частицы, часть которых обладает электрическим зарядом.

Атом представляет собой систему, состоящую из ядра, вокруг которого вращаются электроны.

Если нарушается равенство числа электронов и протонов, то из электрически нейтрального атом становится заряженным. Заряженный атом называется ионом.

Если в силу каких-либо причин атом теряет один или несколько электронов, то в нем нарушится равенство зарядов и такой атом становится положительным ионом, поскольку в нем преобладает положительный заряд протонов ядра. Если

атом приобретает один или несколько электронов, то он становится отрицательным ионом, так как в нем преобладает отрицательный заряд.

Вещество (твердое тело, жидкость, газ) считается электрически нейтральным, если количество положительных и отрицательных зарядов в нем одинаково. Если же в нем преобладают положительные или отрицательные заряды, то оно считается соответственно положительно или отрицательно заряженным.

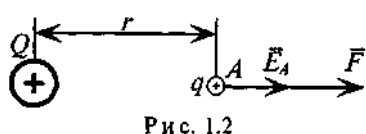
Электрический заряд или заряженное тело создают электрическое поле.

Электрическое поле — это пространство вокруг заряженного тела или заряда, в котором обнаруживается действие сил на пробный заряд, помещенный в это пространство.

Электрическое поле, создаваемое неподвижными зарядами, называется электростатическим.

Напряженность поля:

Обнаружить электрическое поле можно пробным зарядом, если поместить его в это поле. Пробным называется положительный заряд, внесение которого в исследуемое поле не приводит к его изменению. То есть пробный заряд не влияет ни на силу, ни на энергию, ни на конфигурацию поля.



Если в точку A электрического поля (рис. 1.2), созданного зарядом Q , расположенную на расстоянии r от него, внести пробный заряд q , то на него будет действовать сила F , причем если заряды Q и q имеют одинаковые знаки, то они отталкиваются (как это изображено на рис. 1.2), а если разные, то притягиваются.

Величина силы F , действующей на пробный заряд q , помещенный в точку A электрического поля, пропорциональна величине заряда q и интенсивности электрического поля, созданного зарядом Q в точке A

$$F = qE_A, \quad (1.1)$$

где \vec{E}_A — напряженность электрического поля, характеризующая интенсивность поля в точке A . Из (1.1) видно, что

$$\vec{E}_A = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1.2)$$

То есть напряженность каждой точки электрического поля характеризуется силой, с которой поле действует на единицу заряда, помещенного в эту точку. Таким образом, напряженность является силовой характеристикой каждой точки электрического поля.

Измеряется напряженность электрического поля в вольтах на метр $[E] = \text{В/м}$.

Напряженность электрического поля — величина векторная.

Направление вектора напряженности в любой точке электрического поля совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд, помещенный в эту точку поля (см. рис. 1.2).

Поскольку в дальнейшем будут учитываться только значения силы и напряженности, будем обозначать их F и E соответственно.

Напряженность является параметром каждой точки электрического поля и не зависит от величины пробного заряда q . Изменение величины q приводит к пропорциональному изменению силы F (1.1), а отношение F/q (1.2), т.е. напряженность E_A , остается неизменной.

Для наглядности электрическое поле изображают электрическими линиями, которые иногда называют линиями напряженности электрического поля, или силовыми линиями. Электрические линии направлены от положительного заряда к отрицательному. Линия проводится так, чтобы вектор напряженности поля в данной точке являлся касательной к ней (рис. 1.3в).

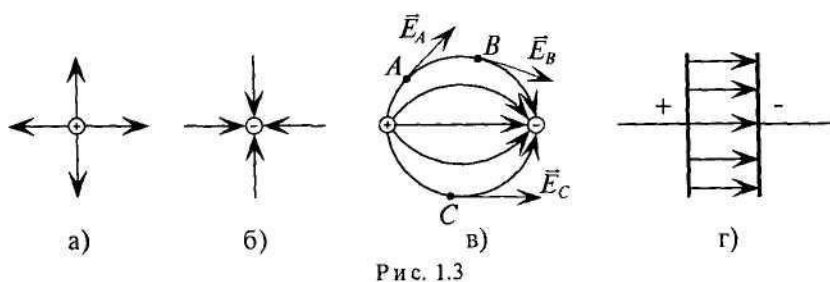


Рис. 1.3

Электрическое поле называется однородным, если напряженность его во всех точках одинакова по величине и направлению. Однородное электрическое поле

изображается параллельными линиями, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга.

Однородное поле, например, существует между пластинами плоского конденсатора (рис. 1.3г).

Потенциал и напряжение в (ЭП):

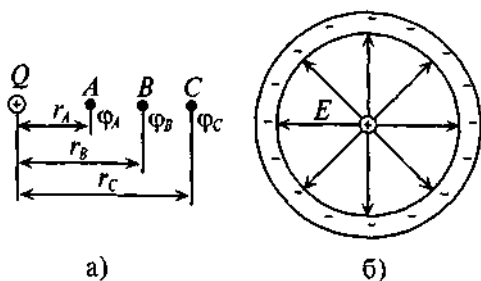


Рис. 1.7

Для энергетической характеристики каждой точки электрического поля вводится понятие «потенциал». Обозначается потенциал буквой ϕ .

Потенциал в каждой точке электрического поля характеризуется энергией W , которая затрачивается (или может быть затрачена) полем на перемещение единицы положительного заряда q из данной точки за пределы поля, если поле создано положительным зарядом, или из-за пределов поля в данную точку, если поле создано отрицательным зарядом (рис. 1.7а).

$[\varphi] = \left[\frac{W_{Дж}}{qКл} \right] = \text{В}$ Из приведенного выше определения следует, что потенциал в точке A равен $\varphi_A = W_A/q$; потенциал в точке B — $\varphi_B = W_B/q$, а потенциал в точке C — $\varphi_C = W_C/q$.

Измеряется потенциал в вольтах

Величина потенциала в каждой точке электрического поля определяется выражением

$$\varphi_A = \frac{W_A}{q} = \frac{\int_{r_A}^{\infty} F dr}{q} = \frac{\int_{r_A}^{\infty} Eq dr}{q} = \frac{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} q \int_{r_A}^{\infty} \frac{dr}{r^2}}{q};$$

$$\varphi_A = \frac{Q}{4\pi r_A \epsilon_0 \epsilon_r}$$

(1.12)

Потенциал — скалярная величина. Если электрическое поле создано несколькими зарядами, то потенциал в каждой точке поля определяется алгебраической суммой потенциалов, созданных в этой точке каждым зарядом.

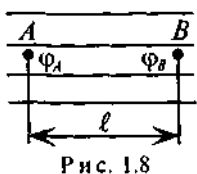
Так как (рис. 1.7а) $r_A < r_B < r_C$, то из (1.12) следует, что $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$, если поле создано положительным зарядом.

Если в точку A (рис. 1.7а) электрического поля поместить положительный пробный заряд q , то под действием сил поля он будет перемещаться из точки A в точку B , а затем в точку C , т. е. в направлении поля. Таким образом, положительный пробный заряд перемещается из точки с большим потенциалом в точку с меньшим потенциалом. Между двумя точками с равными потенциалами заряд перемещаться не будет. Следовательно, для перемещения заряда между двумя точками электрического поля должна быть разность потенциалов в этих точках.

Разность потенциалов двух точек электрического поля характеризует напряжение U между этими точками

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B; \quad U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C; \quad U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C.$$

Напряжение между двумя точками электрического поля характеризуется энергией, затраченной на перемещение единицы положительного заряда между этими точками, т. е. $U_{AB} = W_{AB}/q$; Измеряется напряжение в вольтах (В).



Между напряжением и напряженностью в однородном электрическом поле (рис. 1.8) существует зависимость

$$E = \frac{U_{AB}}{l}$$

откуда следует

(1.13) Из (1.13) видно, что напряженность однородного электрического поля определяется отношением напряжения

между двумя точками поля к расстоянию между этими точками.

В общем случае для неоднородного электрического поля значение напряженности определяется отношением

$$\boxed{E = \frac{dU}{d\ell}}, \quad (1.14)$$

где dU — напряжение между двумя точками поля на одной электрической линии на расстоянии $d\ell$ между ними.

Единица напряженности электрического поля определяется из выражения (1.13)

Потенциалы в точках электрического поля могут иметь различные значения. Однако в электрическом поле можно выделить ряд точек с одинаковым потенциалом. Поверхность, проходящая через эти точки, называется равнопотенциальной, или эквипотенциальной. Равнопотенциальная поверхность любой конфигурации перпендикулярна к линиям Рис. 1.9 электрического поля. Обкладки цилиндрического конденсатора (рис. 1.76) и плоского конденсатора (рис. 1.9) имеют одинаковый потенциал по всей площади каждой обкладки и являются равнопотенциальными поверхностями.

4. ЭП точечного заряда. Закон Кулона. Теорема Гаусса.

Точечным считается заряд, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием, на котором рассматривается его действие.

Сила взаимодействия F двух точечных зарядов Q и q (рис. 1.2) определяется по закону Кулона:

$$F = \frac{Qq}{4\pi r^2 \epsilon_a}, \quad (1.3)$$

где r — расстояние между зарядами; ϵ_a — абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, в которой взаимодействуют заряды. Из (1.3) следует, что напряженность электрического поля заряда Q в точке A (рис. 1.2) равна

$$E_A = \frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_a}. \quad (1.4)$$

Таким образом, напряженность поля E_A , созданная зарядом Q в точке A электрического поля, зависит от величины заряда Q , создающего поле, расстояния точки A от источника поля r и от абсолютной диэлектрической проницаемости среды ϵ_a , в которой создается поле. Диэлектрическая проницаемость характеризует электрические свойства среды, т. е. интенсивность поляризации.

Единицей измерения абсолютной диэлектрической проницаемости среды является фарад на метр

$$[\epsilon_a] = \left[\frac{Q}{4\pi r^2 E} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{В} \cdot \text{м}} = \frac{\Phi \text{ (Фарад)}}{\text{м (метр)}}, \quad \text{так как } \text{Кл/В} = \Phi.$$

Различные среды имеют разные значения абсолютной диэлектрической проницаемости. Абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума (1.5) называется электрической постоянной.

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \Phi/\text{м}$$

$$\text{или } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi/\text{м}$$

Абсолютную диэлектрическую проницаемость любой среды ϵ_a удобно выражать через электрическую постоянную ϵ_0 и диэлектрическую проницаемость ϵ_r — табличную величину (Приложение 2).

$$\epsilon_r = \epsilon_a / \epsilon_0.$$

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r.$$

Диэлектрическая проницаемость ϵ_r , которую иногда называют относительной, показывает, во сколько раз абсолютная диэлектрическая проницаемость среды больше, чем электрическая постоянная, т.е.

(1-6) Из (1.6) следует (1.7)

Таким образом, напряженность электрического поля, созданного зарядом Q на расстоянии r от него, определяется выражением

$$E = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}.$$

(1.8)

Напряженность электрического поля, созданного несколькими зарядами в какой-либо точке A этого поля, определяется геометрической суммой напряженностей, созданных в этой точке каждым точечным зарядом: $E_A = E_{A1} + E_{A2} + \dots + E_{Ak}$ (см. Q_3^A и рис. 1.4).

8. Проводники и диэлектрики в электрическом поле.
9. Поляризация диэлектрика. Диэлектрическая проницаемость.
10. Понятие об электроемкости. Конденсаторы. Последовательное, параллельное и смешанное соединение конденсаторов.

Электрическая емкость

$Q = C\phi$, Если проводник A получит какой-либо заряд Q , то этот проводник создает электрическое поле. Электрическое поле, созданное проводником A , обладает энергией, которая и характеризует потенциал проводника ϕ . Очевидно, изменение заряда проводника вызывает аналогичное изменение его потенциала. Таким образом, между зарядом проводника и его потенциалом существует прямая пропорциональность, которую можно записать следующим уравнением:

$$C = \frac{Q}{\phi}.$$

где C — коэффициент пропорциональности, который и называется электрической емкостью проводника. Из (6.1) следует, что электрическая емкость проводника

То есть *электрическая емкость проводника характеризуется зарядом Q , который необходимо сообщить проводнику, чтобы его потенциал изменился на единицу*. Единицей измерения емкости является фарад.

$[C] = \left[\frac{Q}{\Phi} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Ф (Фарад)}$. Фарад — большая единица. Например, электрическая емкость проводника под названием «земля» не превышает 0,7 Ф. Поэтому на практике емкость измеряется в микрофарадах, нанофарадах и пикофарадах.

Электрическая емкость проводника характеризует способность проводника накапливать электрический заряд, изменяющий его потенциал на единицу (на 1 В).

Емкость проводника не зависит от заряда Q , сообщенного проводнику, так как изменение заряда Q вызовет пропорциональное изменение потенциала проводника ϕ , а их отношение остается неизменным (6.2). (Емкость 5-литрового баллона не зависит от количества жидкости, заполняющей баллон.)

Емкость проводника не зависит также от материала и массы проводника.

Емкость проводника зависит от:

- 1) площади поверхности проводника, так как заряды располагаются на поверхности проводника;
- 2) среды, в которой находится проводник. Например, если проводник перенести из воздуха в минеральное масло, его емкость увеличится в 2,2 раза, так как диэлектрическая проницаемость минерального масла $\epsilon_r = 2,2$ (см. Приложение 2);
- 3) близости других проводников. Если рядом с проводником в определенной среде расположен еще один проводник, то емкость системы этих двух проводников будет гораздо больше, чем сумма емкостей каждого из этих проводников в этой среде. На этом принципе устроены электрические конденсаторы.

Конденсаторы

Конденсатор представляет собой два проводника, разделенных диэлектриком.

Емкость конденсатора характеризуется зарядом, который нужно сообщить одному из проводников конденсатора для того, чтобы разность потенциалов между проводниками конденсатора (напряжение) изменилась на единицу.

$$C = \frac{Q}{\phi_1 - \phi_2} = \frac{Q}{U}. \quad (6.3)$$

Если одному из проводников конденсатора (обкладке) сообщить электрический заряд Q определенного знака (например, $+Q$), то вокруг этого проводника

образуется электрическое поле, од действием которого в другом проводнике (обкладке) происходит разделение зарядов (электростатическая индукция) и заряд такого же знака и величины «уходит в землю» или на отрицательную клемму источника (рис. 6.1). В результате на проводнике, которому не сообщен заряд, остается заряд противоположного знака, «минус», по величине такой же, как и сообщенный первому проводнику, заряд, т.е. $-Q$.

Таким образом, за счет электростатической индукции проводники (обкладки) конденсатора, изолированные друг от друга, получают равные по величине, но противоположные по знаку заряды ($+Q$ и $-Q$) и разные потенциалы ϕ_1 и ϕ_2 . Следовательно, между проводниками (обкладками)

конденсатора появляется напряжение $U = \phi_1 - \phi_2$

Различают естественные и искусственные конденсаторы.

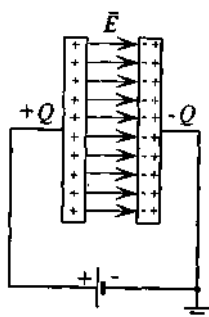


Рис. 6.1

Естественными конденсаторами являются провода электрической сети, две жилы кабеля, жила кабеля и его броня, провода воздушной линии электропередачи относительно земли, электроды электронной лампы и др. Естественные конденсаторы специально не создаются, их емкость определяется конструкцией электрических устройств, но ее необходимо учитывать при расчетах, монтаже и эксплуатации электротехнических и радиотехнических устройств.

Искусственные конденсаторы изготавливают специально. В зависимости от диэлектрика различают воздушные, бумажные, керамические, слюдяные, электролитические и другие виды конденсаторов. Каждый искусственный конденсатор обладает определенной емкостью C и рассчитан на определенное рабочее напряжение U_p (оба параметра указаны на корпусе конденсатора). Искусственные конденсаторы нашли широкое применение в энергетике, автоматике, радиотехнике, электронике, в схемах электрических фильтров, усилителей, стабилизаторов, колебательного контура, улучшения коэффициента мощности и т. д.

Конденсаторы могут служить для накопления и сохранения электрического поля и его энергии (так как проводимость диэлектриков конденсаторов ничтожно мала).

Широко используются конденсаторы как постоянной, так и переменной емкости.

Параллельное соединение конденсаторов

Конденсаторы, как и резисторы, могут соединяться последовательно, параллельно и смешанно.

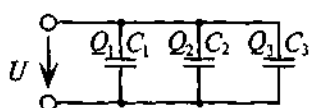


Рис. 6.2

$$Q_1 = UC_1; Q_2 = UC_2; Q_3 = UC_3.$$

Общий заряд Q всех конденсаторов

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

При параллельном соединении

конденсаторов к каждому конденсатору приложено одинаковое напряжение U , а величина заряда на обкладках каждого конденсатора Q пропорциональна его емкости (рис. 6.2).

$$\frac{Q}{U} = \boxed{C_1 + C_2 + C_3 = C.}$$

Общая емкость C , или емкость батареи, параллельно включенных конденсаторов равна сумме емкостей этих конденсаторов. Очевидно, что

параллельное подключение конденсатора к группе других точечных конденсаторов увеличивает общую емкость батареи этих конденсаторов.

Если параллельно включены m одинаковых конденсаторов емкостью C' каждый, то общая (эквивалентная) емкость батареи этих конденсаторов может быть определена выражением

$$\boxed{C = C'm.}$$

Следовательно, параллельное соединение конденсаторов применяется для увеличения емкости.

Последовательное соединение конденсаторов

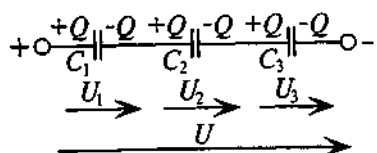


Рис. 6.3

Если последовательно соединенные конденсаторы подключить к источнику постоянного тока с напряжением U (рис. 6.3),

то напряжение источника окажется приложенным к внешним обкладкам крайних конденсаторов ($+Q$ — к левой обкладке конденсатора C_1 , а $-Q$ — к правой обкладке конденсатора C_3). На вторых пластинах (обкладках) последовательно включенных конденсаторов C_1 и C_3 тот же заряд Q , но противоположными знаками появится за счет электростатической индукции (рис. 6.1). На обкладках конденсатора C_2 появятся заряды $+Q$ и $-Q$ за счет того, что заряд $+Q$ перешел с правой обкладки конденсатора C_1 (рис. 6.1), а $-Q$ появился за счет электростатической индукции или за счет перехода электронов (заряд $-Q$) левой обкладки конденсатора C_3 .

Таким образом, на обкладках последовательно соединенных

конденсаторов, подключенных к источнику постоянного тока с

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{Q}{C_2} \quad \text{и} \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}.$$

напряжением U , появятся заряды одинаковые по величине с противоположными знаками.

Напряжение на конденсаторах

определяется обратно пропорционально емкостям конденсаторов.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right).$$

По второму закону Кирхгофа

Откуда

$$\frac{U}{Q} = \boxed{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C}}. \quad \text{Обратная величина общей емкости последовательно соединенных конденсаторов равна сумме обратных величин емкостей этих конденсаторов.}$$

Из выражения (6.7) следует, что емкость батареи последовательно включенных трех конденсаторов C_1 , C_2 и C_3 (см. рис. 6.3) определяется выражением

$$C_{1,2,3} = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_2 C_3 + C_1 C_3 + C_1 C_2}. \quad (6.8)$$

При последовательном включении двух конденсаторов их общая емкость определяется следующим выражением:

$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}; \quad \boxed{C_{1,2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}. \quad (6.9)$$

Если в цепь включены последовательно n одинаковых конденсаторов емкостью C' каждый, то общая емкость этих конденсаторов:

$$\boxed{C = \frac{C'}{n}}. \quad (6.1)$$

Из (6.10) видно, что, чем больше конденсаторов и соединено последовательно, тем меньше будет их общая емкость C , т. е. последовательное включение конденсаторов приводит к уменьшению общей емкости батареи конденсаторов. Зачем же последовательно включать конденсаторы, если это приводит к уменьшению общей емкости этих конденсаторов?

На практике может оказаться (пример 6.1), что допустимое рабочее напряжение U_p конденсатора меньше напряжения, на которое необходимо подключить конденсатор. Если этот конденсатор подключить на такое напряжение, то он выйдет из строя, так как будет пробит диэлектрик. Если же последовательно включить несколько конденсаторов, то напряжение распределится между ними (6.6) и на каждом конденсаторе напряжение окажется меньше его допустимого рабочего U_p . Следовательно, *последовательное соединение конденсаторов применяют для того, чтобы напряжение на каждом конденсаторе не превышало его рабочего напряжения U_p* (пример 6.1).

Смешанное соединение конденсаторов

Смешанное соединение (последовательно-параллельное) конденсаторов применяют тогда, когда необходимо увеличить емкость и рабочее напряжение батареи конденсаторов. Рассмотрим смешанное соединение конденсаторов на нижеприведенных примерах.

Пример 6.1

К участку цепи с напряжением $U=380$ В необходимо подключить емкость $C= 18$ мкФ. Имеются конденсаторы емкостью $C=8$ мкФ, рассчитанные на напряжение $U_p=100$ В каждый. Сколько нужно таких конденсаторов и как их соединить?

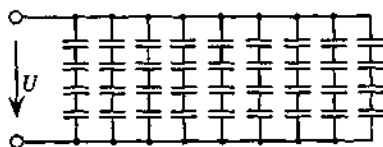
Решение:

Для того чтобы напряжение на каждом конденсаторе не превышало его рабочего U_p , на заданное напряжение $U= 380$ В необходимо соединить последовательно 4 конденсатора.

$n = \frac{U}{U_p} = \frac{380}{100} \approx 4$. $C_{\text{послед}} = \frac{C'}{n} = \frac{8}{4} = 2 \text{ мкФ}$ Емкость этой группы, состоящей из 4 последовательно соединенных конденсаторов, равна

Для получения емкости $C = 18$ мкФ необходимо включить параллельно 9 таких последовательно соединенных групп.

$$m = \frac{C}{C_{\text{послед}}} = \frac{18}{2} = 9$$



Следовательно необходимо иметь $k = nm = 4 \cdot 9 = 36$ конденсаторов и соединить их смешанно (рис 6.4).

Пример 6.2

Рис. 6.4

Конденсаторы, емкости которых $C_1 = 2$ мкФ; $C_2 = 1$ мкФ; $C_3=2$ мкФ; $C_4 = 6$ мкФ; $C_5 = 4$ мкФ, соединены по схеме рис 6.5 и подключены к источнику с постоянным напряжением $U= 100$ В. Определить общую емкость конденсаторов C , заряд и Энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи

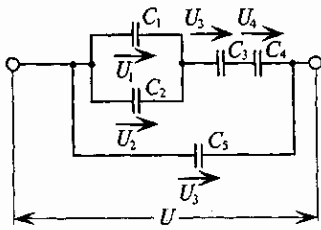


Рис. 6.5

напряжение всей цепи $U = \frac{Q_{1,2}}{C_{1-4}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-6}} = 360 \text{ В}$.

Это же напряжение можно определить по второму закону Кирхгофа: $U = U_1 + U_3 + U_4 = 120 + 180 + 60 = 360 \text{ В}$.

Такое же напряжение приложено к конденсатору C_3 , т.е. $U = U_3 = 360 \text{ В}$.

4. **Электрический ток, его величина, направление, плотность тока. Удельная электрическая проводимость и удельное электрическое сопротивление. Электрическое сопротивление, его зависимость от материала и геометрических размеров проводника, температуры.**

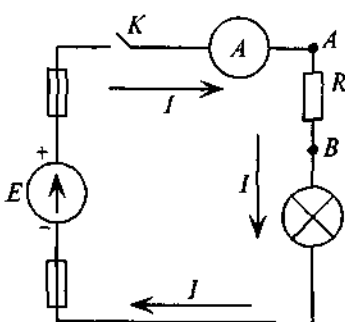


Рис. 2.1

Ток в электрической цепи

Электрический ток — это явление упорядоченного (направленного) перемещения заряженных частиц в проводнике под действием электрического поля.

Электрический ток может существовать только в замкнутой электрической цепи (ключ K замкнут — рис. 2.1).

Интенсивность направленного перемещения электрических зарядов в замкнутой электрической цепи характеризует величину тока.

$I = \frac{Q}{t}$, $i = \frac{dQ}{dt}$. Обозначается величина постоянного тока буквой I , а переменного — i (мгновенное значение). Величина тока /определяется количеством электричества (зарядов) Q , проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени t :

(2.1)

$[I] = \left[\frac{Q}{t} \right] = \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = \text{А (ампер)}$ Измеряется ток в амперах, т. е. — единица измерения тока.

Постоянным называется ток, величина и направление которого не изменяется с течением времени. Постоянный ток I' изображен на графике (рис. 2.2).

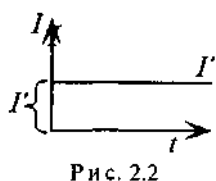


Рис. 2.2

За направление тока в замкнутой электрической цепи принимается направление от положительной клеммы источника к его отрицательной клемме по внешнему участку цепи (рис. 2.1). Таким образом, направление тока противоположно направлению перемещения электронов в замкнутой цепи. Ток в цепи направлен так, как перемещались бы положительные заряды.

В неразветвленной электрической цепи (рис. 2.1) ток на всех участках (во всех сечениях) цепи имеет одинаковое значение, в противном случае в какой-либо точке электрической цепи накапливались бы заряды, чего не может быть в замкнутой электрической цепи.

$J = \frac{I}{S}$. Отношение величины тока в проводнике I к площади его поперечного сечения S характеризует плотность тока в этом проводнике. Обозначается плотность тока буквой J .

$[J] = \left[\frac{I}{S} \right] = \text{А/м}^2$. Единицей измерения плотности тока является ампер на квадратный метр

Так как на практике площадь сечения проводов обычно выражают в мм^2 , то плотность тока выражают $[J] = \text{А/мм}^2$.

Плотность тока — величина векторная. Вектор плотности тока Направлен перпендикулярно площади сечения проводника. К Допустимая плотность тока определяет способность проводника определенного сечения выдерживать ту или иную токовую нагрузку. Так, например, допустимая плотность тока для монтажных проводов $[J] = (6 \div 8) \text{ А/мм}^2$. По допустимой плотности тока определяют сечение проводов коротких линий и проверяют сечение проводов длинных линий,

рассчитанных по допустимой потере напряжения. Допустимая плотность тока в проводах из различного материала и различных марок при разных условиях монтажа приводится в справочной литературе (Приложение 11).

Электрическое сопротивление

Как уже говорилось, обозначается электрическое сопротивление

$[R] = \text{Ом}$. Буквой R . Единицей измерения сопротивления является Ом:

Электрическое сопротивление проводника — это противодействие, которое атомы или молекулы проводника оказывают направленному перемещению зарядов.

Сопротивление R зависит от длины проводника l , площади поперечного сечения S и материала проводника ρ :

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \rho = \frac{1}{\gamma}. \quad \text{Где — удельное сопротивление проводника, зависящее от свойства материала проводника.}$$

Удельное сопротивление (ρ) — это сопротивление проводника из данного материала

длиной 1 м площадью поперечного сечения 1 мм² при температуре 20 °С. Величина удельного сопротивления некоторых проводников приведена в Приложении 4.

$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м},$$

$$[\rho] = \left[\frac{RS}{l} \right] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}. \quad \begin{array}{l} \text{Единицей измерения удельного сопротивления является} \\ \text{Поскольку} \end{array}$$

Поэтому $[\rho] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Однако на практике сечение проводников выражают в мм².

$l = \frac{RS}{\rho}$). Удельное сопротивление проводника определяет область его применения. Так, например, для соединения источника с потребителем применяются металлические провода с малым удельным сопротивлением — алюминий, медь. Для обмоток реостатов нагревательных приборов применяются сплавы с большим удельным сопротивлением — нихром, фехраль (при этом уменьшается длина проводника

$$g = \frac{1}{R}. \quad \text{Величину, обратную сопротивлению, называют проводимостью}$$

$[g] = \text{См (сименс)}$. Единицей проводимости является сименс

Элементы электрической цепи, характеризующиеся сопротивлением R , называют резистивными, а промышленные изделия, предназначенные для выполнения роли сопротивления электрическому току, называются резисторами. Резисторы бывают

регулируемые и нерегулируемые, проволочные и непроволочные, пленочные, композиционные и др.

Сопротивление проводников зависит от их температуры.

$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1)$ Сопротивление проводника при любой температуре (с достаточной степенью точности при изменении температуры в пределах 0-;-100 °С) можно определить выражением

где R_2 — сопротивление проводника при конечной температуре t_2 ; R_1 — сопротивление проводника при начальной температуре t_1 , α — температурный коэффициент сопротивления.

Температурный коэффициент сопротивления определяет относительное изменение сопротивления проводника при изменении его температуры на 1°С. Единицей измерения температурного коэффициента сопротивления является

$[\alpha] = \frac{1}{^\circ\text{C}} = ^\circ\text{C}^{-1}$. Для различных проводников температурный коэффициент сопротивления имеет различные значения (Приложение 4).

Для металлических проводников (Приложение 4) температурный коэффициент сопротивления α положителен, т. е. с ростом температуры сопротивление металлических проводников увеличивается (2.9). Объясняется это тем, что при нагревании увеличивается подвижность атомов и молекул металла, а следовательно, и число столкновений с ними электрических зарядов увеличивается. Таким образом, возрастает противодействие направленному перемещению этих зарядов, т. е. увеличивается сопротивление металлического проводника.

Для проводников второго рода (электролитов) и угля температурный коэффициент сопротивления α отрицателен, т. е. с ростом температуры их сопротивление уменьшается (2.9). Объясняется это тем, что с повышением температуры ослабевают связи между положительно и отрицательно заряженными частицами, что приводит к усилению ионизации, обуславливающей электропроводность, т. е. уменьшается сопротивление электролитов и угля.

Для большинства электролитов $\alpha \approx -0,02^\circ\text{C}^{-1}$, а для угля

$$\alpha = -0,005^\circ\text{C}^{-1}$$

Температурный коэффициент сопротивления проводников определяет их применение. Например, такие сплавы, как константан и манганин, имеют малый температурный коэффициент сопротивления (Приложение 4), т. е. их сопротивление почти не зависит от температуры, поэтому их применяют в качестве материала для изготовления шунтов и добавочных сопротивлений, служащих для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров, на точность которых не должна влиять температура. При понижении температуры

некоторых металлов и сплавов до очень низких значений, порядка нескольких градусов Кельвина

($0^\circ\text{K} \approx -273^\circ\text{C}$), возникает явление сверхпроводимости.

Сверхпроводником называют проводник, сопротивление которого L практически равно нулю.

В сверхпроводнике совершенно не выделяется тепло при прохождении тока, так как электроны при направленном движении не встречают препятствий. В нем невозможно существование магнитного поля.

Следует ожидать широкого применения сверхпроводников в электротехнике в будущем.

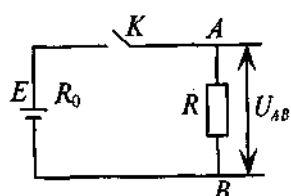


Рис. 2.3

всей

4. Понятие об ЭДС.

Источник электрической энергии осуществляет направленное перемещение электрических зарядов по замкнутой цепи (рис. 2.3).

Энергия W , которую затрачивает или может затратить источник на перемещение единицы положительного заряда по всей замкнутой цепи, характеризует - электродвижущую силу источника E ЭДС):

$$E = \frac{W_{\text{ист.}}}{q}$$

'а

$$[E] = \left[\frac{W}{q} \right] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В (вольт)}$$

является

источника тока, а не силовой, как можно было бы решить по названию «электродвижущая сила». Единицей измерения ЭДС является вольт:

4. Работа, мощность и КПД. Закон Джоуля-Ленца.

Мерой количества энергии является **работа**. Работа W , совершаемая электрическим током за время t при известном напряжении U силе тока I , равна произведению напряжения на силу тока и на время его действия:

$$W = UI t \quad (29)$$

Работа, совершаемая электрическим током силой 1 А при напряжении 1 В в течение 1 с, принята за единицу электрической энергии. Эта единица называется джоулем (Дж). Джоуль, который называют также ватт-секундой ($\text{Вт} \cdot \text{с}$), — очень маленькая единица измерения, поэтому на практике для измерения электрической энергии приняты более крупные единицы — ватт-час ($1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж}$), киловатт-час ($1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$), мегаватт-час ($1 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^9 \text{ Дж}$).

Электрическая мощность. Энергия, получаемая приемником или отдаваемая источником тока в течение 1 с, называется мощностью. Мощность P при неизменных значениях U и I равна произведению напряжения U на силу тока I :

$$P = UI \quad (30)$$

или

$$P = U^2/R = U^2G \quad (32)$$

Следовательно, электрическая мощность равна произведению квадрата силы тока на сопротивление, или электрическая мощность квадрату напряжения, поделенному на сопротивление, либо квадрату напряжения, умноженному на проводимость.

Мощность, которая создается силой тока 1 А при напряжении 1 В, принята за единицу измерения мощности и называется ватт (Вт). В технике мощность измеряют более крупными единицами: киловаттами (1 кВт = 1000 Вт) и мегаваттами (1 МВт = 1 000 000 Вт).

коэффициент полезного действия. При превращении электрической энергии в другие виды энергии или наоборот не вся энергия превращается в требуемый вид энергии, часть ее непроизводительно затрачивается (теряется) на преодоление трения в подшипниках машин, нагревание проводов и пр. Эти потери энергии неизбежны в любой машине и любом аппарате. Отношение мощности, отдаваемой источником или приемником электрической энергии, к получаемой им мощности, называется коэффициентом полезного действия источника или приемника. Коэффициент полезного действия (к. п. д.)

$$\eta = P_2/P_1 = P_2/(P_2 + \Delta P) \quad (33)$$

где

P_2 — отдаваемая (полезная) мощность; P_1 — получаемая мощность; ΔP — потери мощности.

К. п. д. всегда меньше единицы, так как в любой машине и любом аппарате имеются потери энергии. Иногда к. п. д. выражают в процентах. Так, тяговые двигатели электровозов и тепловозов имеют к. п. д. 86—92 %, мощные трансформаторы — 96—98 %, тяговые подстанции — 94—96 %, контактная сеть электрифицированных железных дорог — около 90 %, генераторы тепловозов — 92—94 %. Рассмотрим в качестве примера распределение энергии в электрической цепи (рис. 31). Генератор 1, питающий эту цепь, получает от первичного двигателя 2 (например, дизеля) механическую мощность $P_{\text{мх}} = 28,9$ кВт, а отдает электрическую мощность $P_{\text{эл}} = 26$ кВт (2,9 кВт составляют потери мощности в генераторе). Поэтому он имеет к. п. д. $\eta_{\text{ген}} = P_{\text{эл}}/P_{\text{мх}} = 26/28,9 = 0,9$.

Мощность $P_{эл} = 26$ кВт, отдаваемая генератором, расходуется на питание электрических ламп (6 кВт), на нагрев электрических плиток (7,2 кВт) и на питание электродвигателя (10,8 кВт). Часть мощности $P_{пр} = 2$ кВт теряется на бесполезный нагрев проводов, соединяющих генератор с потребителями

Энергия и мощность электрического тока

$E = U + U_0$. В замкнутой электрической цепи источник затрачивает электрическую энергию $W_{кст}$ на перемещение единицы положительной заряда по всей замкнутой цепи, т. е. на внутреннем и внешнем участках ((2.3) и рис. 2.3).

$E = \frac{W_{ист}}{q}$. ЭДС источника определяется выражением

$W_{ист} = Eq = EIt$, из этого выражения следует, что энергия, затраченная источником, равна

$W = Uq = UIt$ Как как $q = It$, что вытекает из определения величины тока $I = q/t$
Энергия источника расходуется на потребителе (полезная энергия)

и на внутреннем сопротивлении источника (потери):

$W_0 = U_0q = U_0It$. Потерей энергии в проводах, при незначительной их длине, можно пренебречь.

2 КУРС 4 СЕМЕСТР

4.1. Примерный перечень вопросов к контрольной работе для оценивания результатов обучения в виде ЗНАНИЙ. ОК1 - ОК9

1. ЭДС и вращающий момент генератора постоянного тока.
2. Способы возбуждения генераторов постоянного тока.
3. Двигатели постоянного тока.
4. Способы возбуждения двигателей постоянного тока.
5. Устройство и принцип работы асинхронного двигателя
6. Создание вращающегося магнитного поля
7. Скорость вращения магнитного поля. Скольжение
8. Асинхронный двигатель с фазным ротором
9. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
10. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей

11. Однофазные двигатели с пусковой обмоткой
12. Конденсаторные двигатели
13. Однофазные двигатели с расщепленными полюсами
14. Включение трехфазных двигателей в однофазную сеть
15. Устройство и принцип работы синхронного генератора
16. Реакция якоря
17. Характеристики синхронного генератора
18. Работа синхронной машины в режиме двигателя
19. Пуск и остановка синхронного двигателя
20. Характеристики синхронного двигателя
21. Электрические станции
22. Энергетические системы. Распределение электроэнергии между потребителями
23. Действие электрического тока на организм
24. Основные причины поражения электрическим током
25. Оказание первой помощи пораженному электрическим током

4.2. Примерный перечень вопросов к контрольной работе для оценивания результатов обучения в виде УМЕНИЙ. ПК1.1; ПК1.2; ПК2.2; ПК2.3

1. Чему равен ток в нулевом проводе в симметричной трёхфазной цепи при соединении нагрузки в звезду?

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| а) Номинальному току одной фазы | б) Нулю |
| в) Сумме номинальных токов двух фаз | г) Сумме номинальных токов трёх фаз |

2. Симметричная нагрузка соединена треугольником. При измерении фазного тока амперметр показал 10 А. Чему будет равен ток в линейном проводе?

- | | |
|------------|-----------|
| а) 10 А | б) 17,3 А |
| в) 14,14 А | г) 20 А |

3. Почему обрыв нейтрального провода четырехпроводной системы является аварийным режимом?

- а) На всех фазах приёмника энергии напряжение падает.

11. Угол сдвига между тремя синусоидальными ЭДС, образующими трехфазную симметричную систему составляет:

а) 150°

б) 120°

в) 240° г) 90°

12. Может ли ток в нулевом проводе четырехпроводной цепи, соединенной звездой быть равным нулю?

а) Может

б) Не может

в) Всегда равен нулю г) Никогда не равен нулю.

13. Нагрузка соединена по схеме четырехпроводной цепи. Будут ли меняться фазные напряжения на нагрузке при обрыве нулевого провода: 1)

симметричной нагрузки 2) несимметричной нагрузки?

а) 1) да 2) нет

б) 1) да 2) да

в) 1) нет 2) нет г) 1) нет 2) да

ФОСП составлен в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования (ФГОС СПО) по специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования

ФОСП составил:

Преподаватель высшей квалификационной категории



В.М.Набока

(подпись)

ФОСП одобрен

на заседании предметно-цикловой комиссии социально-экономических и естественнонаучных дисциплин

Протокол № 8 от « 29 » марта 2023 г.

Председатель ПЦК



(подпись)

Хуснудинова Е.А.

(Ф.И.О.)

ФОСП рассмотрена и рекомендована к утверждению внешним экспертом



Д.т.н., профессор ФГБОУ ВО ИрГАУ
(должность, звание, квалификационная категория)

Кудряшев Геннадий Сергеевич
(Ф.И.О.)