

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

СТАХАНОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

КАФЕДРА ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине
«ФИЗИКА»**

**для студентов направления подготовки
Профессиональное обучение (по отраслям),**

профили «Экономика и управление», «Информационные технологии и системы», «Электроснабжение», «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Электромеханическое оборудование, автоматизация процессов добычи полезных ископаемых и руд», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Профессиональная психология», «Управление персоналом» (в 3-х частях). **Часть 2. Электричество.**

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом
ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»
(протокол № ___ от _____ 20__ г.)

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «**Физика**» для студентов направления подготовки **Профессиональное обучение (по отраслям)**, профили: «Экономика и управление», «Информационные технологии и системы», «Электроснабжение», «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Электромеханическое оборудование, автоматизация процессов добычи полезных ископаемых и руд», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Профессиональная психология», «Управление персоналом» (в 2-х частях). **Часть 2. Электричество.** /Сост.: В.И. Сафонов. – **Стаханов:** ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023. – 30 с.

В методических указаниях приведен минимальный объём теоретических сведений, необходимых для подготовки к лабораторным работам по разделу «Электричество» общего курса физики, цель работы, состав лабораторного оборудования, порядок выполнения работы, контрольные вопросы.

Предназначены для студентов профиля «Экономика и управление», «Информационные технологии и системы», «Электроснабжение», «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Электромеханическое оборудование, автоматизация процессов добычи полезных ископаемых и руд», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Профессиональная психология», «Управление персоналом».

Составитель: доц. Сафонов В.И.

Ответственный за выпуск: доц. Сафонов В.И.

Рецензент: доц. Петров А.Г.

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа 2.1 Изучение электрического конденсатора.....	5
Теоретические сведения.....	5
Порядок выполнения работы.....	6
Контрольные вопросы.....	7
Лабораторная работа 2.2 Изучение электрического сопротивления.....	7
Теоретические сведения.....	7
Порядок выполнения работы.....	8
Контрольные вопросы.....	9
Лабораторная работа 2.3 Исследование зависимости электрического сопротивления лампы накаливания от температуры её нити.....	9
Теоретические сведения.....	9
Порядок выполнения работы.....	11
Контрольные вопросы.....	12
Лабораторная работа 2.4 Расчеты разветвлённых электрических цепей.....	12
Теоретические сведения.....	12
Порядок выполнения работы.....	13
Контрольные вопросы.....	14
Лабораторная работа 2.5 Определение параметров трехэлектродной электронной вакуумной лампы.....	14
Теоретические сведения.....	14
Порядок выполнения работы.....	15
Контрольные вопросы.....	16
Лабораторная работа 2.6 Изучение параметров полупроводникового диода.....	16
Теоретические сведения.....	16
Порядок выполнения работы.....	19
Контрольные вопросы.....	20
Лабораторная работа 2.7 Изучение параметров переменного тока.....	20
Теоретические сведения.....	20
Порядок выполнения работы.....	22
Контрольные вопросы.....	23
Лабораторная работа 2.8 Изучение явления электрического резонанса.....	23
Теоретические сведения.....	23
Порядок выполнения работы.....	25
Контрольные вопросы.....	26
Лабораторная работа 2.9 Определение индуктивности катушки.....	26
Теоретические сведения.....	26
Порядок выполнения работы.....	28
Контрольные вопросы.....	28
Литература.....	29

Введение

Физика – наука опытная, поэтому главная роль в установлении физических закономерностей принадлежит эксперименту. Эксперимент – система логически связанных целенаправленных действий. В физике в основе опытов лежат методы измерений величин и поэтому центральным является понятие методики проведения измерений.

При измерениях физических величин выполняются три последовательные операции: 1 – создание экспериментальных условий, 2 – наблюдение, 3 – отсчет.

Создание экспериментальных условий, при которых проводятся измерения (постоянная величина напряжения или давления, значительный перепад температур, малые крутильные колебания и т.д.), осуществляется с помощью приборов, специализированных установок, электрических схем и т.п.

Отсчет следует за наблюдением и производится, как правило, по шкале с некоторым масштабом. В результате появляются «первичные экспериментальные данные». Обработка результатов эксперимента и позволяет определить измеряемую величину.

Лабораторная работа 2.1 Изучение электрического конденсатора.

Цель работы: изучить электрические конденсаторы различных конструкций, способы их соединений в батарее, проверить экспериментальные данные расчетным путем.

Приборы и оборудование: набор конденсаторов (от 1 нФ до 10 мкФ), мультиметр с измерителем ёмкости, комплект соединительных проводов.

Теоретические сведения

Конденсатор (от лат. condensare – «уплотнять», «сгущать» или от лат. condensatio – «накопление») – электронный компонент, представляющий собой двухполюсник с постоянным или переменным значением ёмкости и малой проводимостью; устройство для накопления заряда и энергии электрического поля.

Конденсатор является пассивным электронным компонентом. В системе СИ ёмкость конденсатора измеряется в фарадах (Ф).

Конденсатор является пассивным электронным компонентом. В простейшем варианте конструкция состоит из двух электродов в форме пластин (называемых обкладками), разделённых диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размерами обкладок. Практически применяемые конденсаторы имеют много слоёв диэлектрика и многослойные электроды, или ленты чередующихся диэлектрика и электродов, свёрнутые в цилиндр или параллелепипед со скруглёнными четырьмя рёбрами (из-за намотки).

Основной характеристикой конденсатора является его ёмкость, характеризующая способность конденсатора накапливать электрический заряд. В обозначении конденсатора фигурирует значение номинальной ёмкости, в то время как реальная ёмкость может значительно меняться в зависимости от многих факторов. Реальная ёмкость конденсатора определяет его электрические свойства. Так, по определению ёмкости, заряд на обкладке пропорционален напряжению между обкладками ($q = CU$). Типичные значения ёмкости конденсаторов составляют от единиц пикофарад до тысяч микрофарад.

Для получения больших ёмкостей конденсаторы соединяют параллельно. При этом напряжение между обкладками всех конденсаторов одинаково. Общая ёмкость батареи параллельно соединённых конденсаторов равна сумме ёмкостей всех конденсаторов, входящих в батарею.

Если у всех параллельно соединённых конденсаторов расстояние между обкладками и свойства диэлектрика одинаковы, то эти конденсаторы можно представить как один большой конденсатор, разделённый на фрагменты меньшей площади.

При последовательном соединении конденсаторов заряды всех конденсаторов одинаковы, так как от источника питания они поступают только на внешние электроды, а на внутренних электродах они получают только за счёт разделения зарядов, ранее нейтрализовавших друг друга. Эта ёмкость всегда меньше минимальной ёмкости конденсатора, входящего в батарею. Однако при последовательном соединении на каждый конденсатор приходится лишь часть разницы потенциалов источника напряжения. Если площадь обкладок всех конденсаторов, соединённых последовательно, одинакова, то эти конденсаторы можно

представить в виде одного большого конденсатора, между обкладками которого находится стопка из пластин диэлектрика всех составляющих его конденсаторов.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить табл. 1.1 для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 1.1 – Результаты проведенных опытов и вычислений

№ п/п	Вид соединения конденсаторов в батарее	Ёмкость, $\Phi \cdot 10^{-9}$				Погрешность, %		
		заявленная (з) измеренная (и)			рассчи- танная	измерен- ная	абсо- лютная	относи- тельная
		C_1	C_2	C_3				
1	Параллельное	з	з	–	з			
		и	и	–	и			
2	Последовательное	з	з	–	з			
		и	и	–	и			
3	Смешанное	з	з	з	з			
		и	и	и	и			

2. Подключить к измерительному прибору два конденсатора известной (заявленной, т.е. обозначенной на корпусе) емкости параллельно (в первом опыте), последовательно (во втором опыте), а затем три конденсатора – смешанно (в третьем опыте) (см. рис. 1.1), и измерить полученные ёмкости при различных соединениях. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

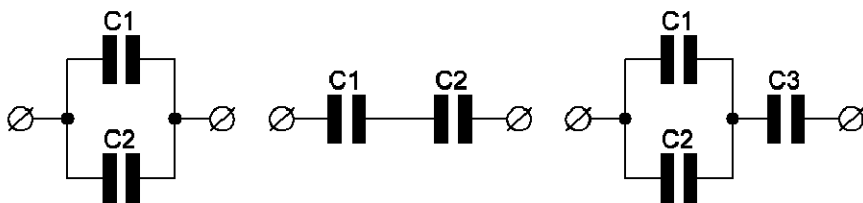


Рис. 1.1 – Схемы соединения конденсаторов.

6. Ёмкость батареи конденсаторов при различных их соединениях вычисляется по формулам:

$$C_{\text{ПАРАЛ.}} = C_1 + C_2;$$

$$C_{\text{ПОСЛ.}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2};$$

$$C_{\text{СМЕШ.}} = \frac{C_{\text{ПАРАЛ.}} \cdot C_3}{C_{\text{ПАРАЛ.}} + C_3}$$

Сравнить результаты вычислений и измерений, определив абсолютную и относительную погрешности. За истинные значения емкостей при вычислении погрешностей принять их измеренные значения.

Сделать выводы по проделанной работе.

Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое электрический конденсатор?
2. Что такое электрическая ёмкость?
3. Устройство простейшего электрического конденсатора.
4. Чем отличается конденсатор от источника электрического тока?

Лабораторная работа 2.2 Изучение электрического сопротивления.

Цель работы: изучить электрические резисторы, способы их соединений в батарею, проверить экспериментальные данные расчетным путем.

Приборы и оборудование: набор сопротивлений (от 10 Ом до 100 кОм), мультиметр с измерителем сопротивлений, комплект соединительных проводов.

Теоретические сведения

Электрическое сопротивление характеризует способность электрического проводника препятствовать прохождению электрического тока.

Электрическое сопротивление обозначается, как правило, буквой R . Единицей сопротивления является ом (Ом).

Как следует из закона Ома, сила тока (I) прямо пропорциональна напряжению (U), т.е. $I = \frac{U}{R}$. Это означает следующее: во сколько раз изменяется напряжение, во столько раз изменяется и сила тока (или сила тока (I) обратно пропорциональна электрическому сопротивлению). Поэтому чем больше сопротивление, тем меньше сила тока, протекающего в проводнике.

Причиной электрического сопротивления является тепловое движение образующих материал атомов или молекул. Частицы колеблются около своих мест и мешают перемещению электронов. Это можно сравнить с длинным коридором, в котором одновременно перемещается много людей. И насколько быстро можно двигаться вперед, зависит от различных причин. Электрическое сопротивление характерно для всех веществ и зависит от:

- материала проводника тока (для каждого материала характерно его удельное сопротивление, которое можно найти в таблице удельных сопротивлений);
- длины проводника (чем длиннее проводник, тем больше его электрическое сопротивление);
- площади поперечного сечения проводника (чем больше площадь поперечного сечения проводника, тем меньше его электрическое сопротивление).

Удельное сопротивление металлов небольшое, а изоляторов – очень большое. В цепях, в которых электрический ток должен производить большую теплоту (например, в обогревателях), используют проводники с большим удельным сопротивлением, например, никром. В этом случае току труднее течь, увеличивается тепловое движение частиц, в результате проводник нагревается. У меди и алюминия низкое удельное сопротивление, поэтому его можно использовать для передачи электроэнергии.

Чтобы электрическая цепь обеспечивала необходимую силу тока, в неё включают резисторы.

Резистор – прибор с постоянным сопротивлением.

Резисторы имеются во всех телевизорах, компьютерах, радиоприёмниках и т.д.

Чтобы оперативно изменять (регулировать) силу тока в электрической цепи, используются реостаты. Реостат – прибор с регулируемым сопротивлением.

В составе реостата имеется подвижный контакт, при помощи которого изменяется длина участка проводника, включённого в цепь.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить табл. 2.1 для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 2.1 – Результаты проведенных опытов и вычислений

№ п/п	Вид соединения резисторов в батарею	Сопротивление R , Ом				Погрешность, %		
		заявленное (z) измеренное ($и$)			рассчитанное	измеренное	абсолютная	относительная
		R_1	R_2	R_3				
1	Параллельное	z	z	–				
		$и$	$и$	–				
2	Последовательное	z	z	–				
		$и$	$и$	–				
3	Смешанное	z	z	z				
		$и$	$и$	$и$				

Прим. Буквы « z » и « $и$ » в таблице являются подсказкой. На их месте должны быть записаны значения сопротивлений заявленного (написанного на корпусе резистора) и измеренного (с помощью омметра) сопротивлений соответственно.

2. Включить в электрическую цепь два резистора известного сопротивления (заявленного, т.е. обозначенного на корпусе) параллельно (в первом опыте), последовательно (во втором опыте), а затем три резистора смешанно (в третьем опыте) (см. рис. 2.1), и измерить полученные сопротивления. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.1.

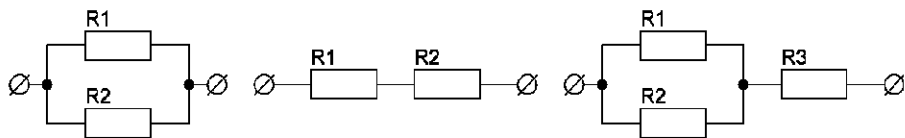


Рис. 2.1 – Схемы соединения резисторов.

6. Сопротивление батареи резисторов при различных их соединениях вычисляется по формулам:

$$R_{\text{ПАРАЛ.}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2};$$

$$R_{\text{ПОСЛ.}} = R_1 + R_2;$$

$$R_{\text{СМЕШ.}} = R_{\text{ПАРАЛ.}} + R_3.$$

Сравнить результаты вычислений и измерений, определив абсолютную и относительную погрешности. За истинные значения сопротивлений при вычислении погрешностей принять их измеренные значения.

Сделать выводы по проделанной работе.

Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое резистор?
2. Что такое электрическое сопротивление?
3. Устройство резисторов.

Лабораторная работа 2.3 Исследование зависимости электрического сопротивления лампы накаливания от температуры её нити

Цель работы: при условиях свечения нити накаливания электрической лампы определить ее температуру.

Приборы и оборудование: лабораторная установка.

Теоретические сведения

Экспериментальная проверка наиболее распространенных бытовых ламп накаливания мощностью 25, 40, 60, 75, 100 Вт показывает, что их сопротивление в холодном состоянии при 0 °С составляет 155,5; 103,5; 61,5; 51,5; 40 Ом, а в рабочем — 1936; 1210; 815; 650; 490 Ом, соответственно.

В результате лампы накаливания при включении работают в экстремальных условиях при токах, которые превышают номинальный, что приводит к ускоренному износу нити накала и преждевременному выходу лампы из строя, особенно при превышениях напряжения в питающей сети. Последнее обстоятельство при длительных превышениях напряжения относительно номинального приводит к резкому сокращению срока службы лампы.

При продолжительной работе лампы накаливания ее нить накала под воздействием высокой температуры нагрева постепенно испаряется, уменьшаясь в

диаметре и перегорает.

Чем выше температура нагрева нити накала, тем больше света излучает лампа. При этом интенсивнее протекает процесс испарения нити, и сокращается срок службы лампы. Поэтому для ламп накаливания устанавливается такая температура накала нити, при которой обеспечивается необходимая светоотдача лампы и определенная продолжительность ее службы.

Согласно классической электронной теории металлические проводники имеют кристаллическую структуру. В узлах кристаллической решётки находятся положительные ионы, а в пространстве между ионами имеются свободные электроны, которые составляют «электронный газ», заполняющий кристаллическую решётку. Свободные электроны, как и молекулы газа, совершают хаотическое беспорядочное движение, скорость которых зависит от температуры.

Вследствие беспорядочности теплового движения количество электронов, движущихся в любом направлении, в среднем всегда равно числу электронов, перемещающихся в противоположном направлении. Поэтому, в отсутствие внешнего поля, суммарный заряд, переносимый электронами в любом направлении, равен нулю, т.е. в металле нет электрического тока. При создании разности потенциалов на концах металлического проводника, в проводнике появляется электрическое поле, под действием которого электроны обретут частично упорядоченное движение в направлении, противоположном направлению поля (т.к. электроны обладают отрицательным зарядом). Поэтому при наличии внешнего поля фактическое движение электронов представляет собой сумму беспорядочного и упорядоченного движений, что приводит к появлению преимущественного направления движения. Количество электронов, движущихся противоположно полю, будет больше количества электронов, перемещающихся в направлении поля, следовательно, возникает перенос электрического заряда в направлении, противоположном полю, который и называют электрическим током.

При своем движении электрон сталкивается с ионами кристаллической решетки. В момент удара электрон отдает часть или всю энергию ионам. После этого снова под действием сил электрического поля ускоряется, увеличивает свою скорость и снова при следующем соударении с ионом отдает свою энергию остову кристаллической решетки

Энергия, переданная ионам кристаллической решетки, превращается в энергию беспорядочного колебательного движения ионов, т.е. в тепло. Эти столкновения приводят к затруднению направленного движения электронов, к созданию сопротивления. С точки зрения классической электронной теории два фактора – первый – участие электронов в хаотическом движении (наряду с направленным) и второй – наличие соударений электронов с ионами кристаллической решетки воспринимается как электрическое сопротивление проводника электрическому току.

С увеличением температуры возрастает скорость хаотического движения, а также число соударений электронов, что должно привести к увеличению сопротивления проводника.

Экспериментально установлено, что для металлов увеличение сопротивления с температурой выражается зависимостью:

$$R(t) = R_0 (1 + \alpha t),$$

где R_0 – сопротивление проводника при некоторой известной (например, комнатной) температуре, °С;

R_t – сопротивление проводника при температуре t ;

α – термический коэффициент сопротивления данного металла, он показывает на какую часть изменится сопротивление проводника при нагреве его на 1 °С. Для вольфрама, из которого изготавливаются нити накаливания ламп, равен $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Из последней формулы можно определить температуру раскалённой нити, если известны её сопротивление R_t при этой температуре и сопротивление нити R_0 при известной температуре:

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0}.$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой, получить консультацию у преподавателя.
2. Определить сопротивление нити накаливания при комнатной температуре R_0 , проведя опыт № 0 (при напряжении на лампе 0,001 В её нить практически не нагревается и имеет температуру, близкую к комнатной, которую необходимо определить по термометру, установленному в лаборатории).
3. Включить установку. Определить силу тока в цепи лампы I при различных напряжениях U . Вычислить Мощность P , потребляемую лампой, сопротивление нити накала R_t , температуру нагрева нити накаливания t . Результаты измерений занести в табл. 3.1.

Расчетные формулы:

$$P = U \cdot I;$$

$$R_t = \frac{U}{I};$$

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0}.$$

4. По полученным данным построить график $R(t)$ (см. рис. 3.1).

Таблица 3.1. Результаты измерений

№ опыта	Напряжение U , В	Сила тока в цепи лампы I , А	Мощность, потребляемая лампой P , Вт	Сопротивление нити накала R_t , Ом	Температура нагрева нити, t , °С
0	0,001			($R_0 =$)	
1	0,1				
2	0,2				
3	0,3				
4	0,5				
5	0,7				

6	1,0				
7	1,5				
8	2,0				
9	3,0				
10	5,0				
11	7,0				

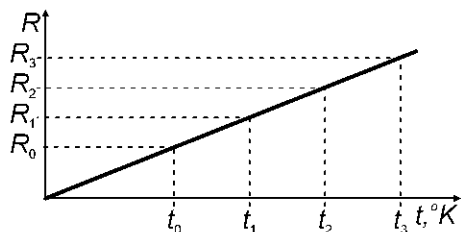


Рис. 3.1 – График зависимости $R(t)$

График удовлетворяет линейной зависимости температуры нити накаливания от напряжения на ее зажимах $t(U) \approx U$. Преобразуем выражение (2) с учетом

$$R_t = \frac{U}{I}. \text{ Получим:}$$

$$t(U) = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0} = \frac{R_t}{\alpha R_0} - \frac{1}{\alpha} = \frac{U}{\alpha R_0 I} - \frac{1}{\alpha} \approx U.$$

Контрольные вопросы

1. Почему электрическое сопротивление металлов зависит от температуры?
2. Каковы основные источники погрешностей измерений в данном эксперименте?
3. Почему в данной работе электрическое сопротивление нити лампы при комнатной температуре можно считать приблизительно равным ее электрическому сопротивлению при 0°C ?

Лабораторная работа 2.4 Расчеты разветвлённых электрических цепей

Цель работы: ознакомиться с методом расчетов разветвленной цепи; найти токи в участках цепи.

Приборы и оборудование: два источника напряжения, вольтметр постоянного тока, три магазина сопротивлений.

Теоретические сведения

При расчетах разветвленных электрических цепей применяют правило Кирхгофа. Любая точка разветвления цепи, в которой сходятся не меньше трех проводников с токами, называется узлом. При этом ток, который входит в узел,

полагается положительным, а ток, который выходит – отрицательным.

Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, которые сходятся в узле, равна нулю: $\sum I_k = 0$.

Для узла *B* схемы (см. рис. 4.1) первое правило Кирхгофа запишется так:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

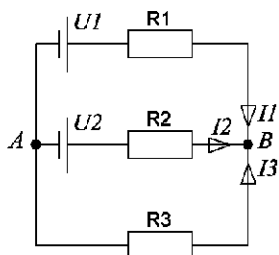


Рис. 4.1 – Схема лабораторной установки

Первое правило Кирхгофа является следствием закона сохранения электрического заряда.

Второе правило Кирхгофа: в произвольном замкнутом контуре разветвленного контура алгебраическая сумма произведений сил токов I_i на сопротивления R_i соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил ε_k , включенных в этот контур, т.е. $\sum (I_i R_i) = \sum \varepsilon_k$.

По второму правилу Кирхгофа составим уравнение для контура AR_1BR_2A и для контура AR_1BR_3A (см. рис. 4.1). За положительное направление примем направление обхода контуров по часовой стрелке.

Получаем:

$$I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2;$$

$$I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 = \varepsilon_1.$$

Второе правило Кирхгофа является обобщением закона Ома.

Для контроля правильности расчетов контура составим баланс мощностей $\sum \varepsilon_i \cdot I_i = \sum I_k^2 \cdot R_k$ – сумма мощностей, которые отдаются источниками, равна сумме мощностей, которые рассеиваются на сопротивлениях (см. рис. 4.1):

$$\varepsilon_1 \cdot I_1 + \varepsilon_2 \cdot I_2 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3.$$

Порядок выполнения работы

1. Измерить вольтметром ЭДС источников ε_1 и ε_2 .
2. Для трех комбинаций сопротивлений R_1, R_2, R_3 (значение которых задает преподаватель) измерить соответствующие значения U_1, U_2, U_3 .

3. Вычислить токи $I_k = \frac{U_k}{R_k}$.

4. Результаты занести в таблицу:

	R_1	U_1	I_1	R_2	U_2	I_2	R_3	U_3	I_3
1									
2									
3									

5. Проверить, удовлетворяют ли найденные токи уравнением.
6. Составить баланс мощностей.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте правила Кирхгофа. Из каких законов они вытекают?
2. Составьте уравнение по правилам Кирхгофа для схемы, изображённой на рис. 4.1.
3. Составьте баланс мощностей. Из какого закона он вытекает?

Лабораторная работа 2.5 Определение параметров трехэлектродной электронной вакуумной лампы

Цель работы: снять анодно-сеточную характеристику триода, определить основные параметры триода.

Приборы и оборудование: лабораторная установка для исследования анодно-сеточной характеристики электронно-вакуумного триода.

Теоретические сведения

Термоэлектронной эмиссией называют излучение электронов веществом при ее нагревании. Электроны, которые излучаются нагретым телом, называют термоэлектронами, а излучающее электроны тело – эмиттером. При термоэлектронной эмиссии электроны вылетают за счет тепловой энергии. Количество термоэлектронов зависит от свойств эмиттера и его температуры. В электрических схемах эмиттером является катод. Если напряжение между анодом и катодом настолько велико ($U \geq U_H$), что все излучаемые электроны доходят до анода, то плотность термотока определяется формулой Ричардсона-Дешмана:

$$j_H = BT^2 \cdot e^{-\frac{A}{kT}},$$

где A – работа выхода вещества катода; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; B – постоянная Ричардсона.

При малых напряжениях ($U < U_H$) плотность тока описывается законом Ленгмюра:

$$j = C \cdot U^{\frac{3}{2}},$$

где C – константа, которая определяется формой электродов. Нелинейная зависимость j от U объясняется тем, что возле поверхности катода образуется отрицательный пространственный заряд – электронная облако. Это облако создает электрическое поле, направленное навстречу приложенному полю.

Электронными лампами называются вакуумные приборы, работа которых основано на явлении термоэлектронной эмиссии. Двухэлектродная лампа (имеет два электрода – катод и анод) называется диодом. Диоды обладают проводимостью и могут быть использованы для выпрямления переменного тока.

Для управления термоэлектронным током в лампы вводят дополнительные

электроды – сетки. В зависимости от общего количества электродов такие лампы называют триодами (анод, катод и сетка), тетрами (анод, катод и две сетки) и т.д.

В триоде управляющая сетка расположена близко от катода. В этом случае даже при малом напряжении U_C между сеткой и катодом близ катода создается сильное электрическое поле, меняя которое можно регулировать движение электронов в лампе. Анодный ток I_A является функцией сеточного U_C и анодного U_A напряжений. Его характеризуют двумя семействами кривых, которые называются сеточными ($U_A = \text{const}$) и анодными ($U_C = \text{const}$) (рис. 5.1). Триоды характеризуют крутизной S и внутренним сопротивлением R :

$$S = \left(\frac{\partial I_A}{\partial U_C} \right)_{U_A = \text{const}}, R = \left(\frac{\partial U_A}{\partial I_A} \right)_{U_C = \text{const}}$$

На прямолинейных участках:

$$S = \left(\frac{\Delta I_A}{\Delta U_C} \right)_{U_A = \text{const}}, R = \left(\frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} \right)_{U_C = \text{const}}$$

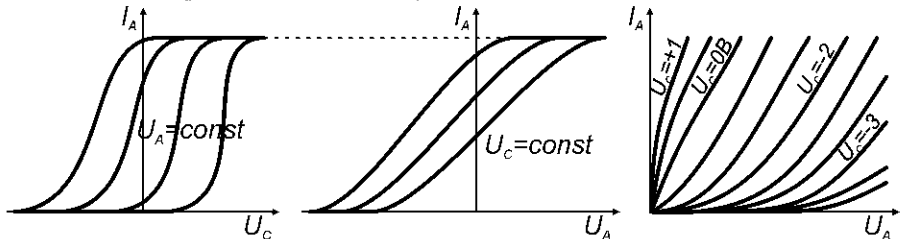


Рис. 5.1 – Характеристики вакуумного триода: а – сеточные характеристики $I_A(U_C)$; б – анодные характеристики $I_A(U_A)$; семейство анодно-сеточных характеристик $I_A(U_C; U_A)$

Триоды служат для усиления электрических сигналов. Напряжение, которую нужно усилить, прикладывают между сеткой и катодом. Коэффициент усиления (в режиме холостого хода): $K_V = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_C}$. Для снятия анодно-сеточной ха-

рактеристики трехэлектродной лампы и определения её параметров воспользуемся установкой, собранной по схеме (рис. 5.2).

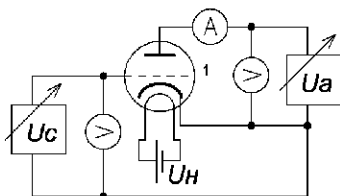


Рис. 5.2 – Схема лабораторной установки для исследования анодно-сеточных характеристик триода: U_C – регулируемый источник сеточного напряжения в пределах ± 5 В; U_A – регулируемый источник анодного напряжения в пределах $0 \dots 160$ В; U_H – источник накального напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Начертить таблицу для занесения результатов измерений.

Таблица 5.1. Результаты измерений

$U_C, \text{ В}$	Ток анода $I_A, \text{ мА}$, при напряжении на аноде $U_A, \text{ В}$								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
-5									
-4									
-3									
-2									
-1									
0									
+1									
+2									
+3									
+4									
+5									

2. Установить на сетке лампы напряжение -5 В . Изменяя анодное напряжение от 0 до 160 В ступенями по 20 В измерить анодный ток при каждом из установленных напряжений анода. Результаты измерений занести в табл. 5.1.

3. Повторить п. 2 при напряжении на сетке лампы $-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5 \text{ В}$. Результаты измерений занести в табл. 5.1.

4. Построить семейство анодно-сеточных характеристик триода $I_A(U_A)$ при напряжении на сетке лампы $-5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5 \text{ В}$.

5. Сделать выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение термоэлектронной эмиссии
2. Запишите и объясните формулы (1) и (2).
3. Запишите и объясните формулы (3), (4), (5).

Лабораторная работа 2.6 Изучение параметров полупроводникового диода

Цель работы: ознакомиться с методом измерений параметров полупроводникового диода, построить вольтамперную характеристику (ВАХ) его прямой ветви.

Приборы и оборудование: лабораторная установка.

Теоретические сведения

Полупроводниковым диодом называется двухэлектродный прибор, основу которого составляет структура из двух слоев полупроводника различных типов проводимости. На внешних границах слоев формируются невыпрямляющие (омические) контакты, выводы от которых используются для подключения диода в электрическую цепь. Область раздела слоев полупроводника представляет

собой зону, обедненную свободными носителями зарядов, так называемый р-п переход. Существуют полупроводниковые диоды, состоящие из одного слоя полупроводника (диоды Ганна), содержащие выпрямляющий контакт полупроводник-металл (диоды Шоттки) или имеющие несколько слоев полупроводника с разными свойствами (р-і-п диоды).

Вывод от «р» слоя полупроводника в диоде с р-п переходом называется анодом, а соответствующий вывод от «п» слоя – катодом. Условная структура полупроводникового диода и его обозначение на принципиальных схемах представлены на рис. 6.1.

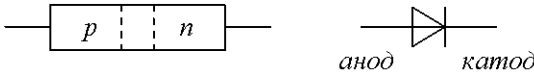


Рис. 6.1. Структура и условное обозначение полупроводникового диода.

При подаче на анод отрицательного, а на катод положительного напряжения, основные носители (дырки в р и электроны в п полупроводнике) оттянутся к внешним краям диода, и ширина р-п перехода возрастет. В этом случае ток через диод отсутствует, так как свободных носителей внутри р-п перехода нет. Сам переход в данной ситуации выполняет роль изолятора, а диод можно представить в виде конденсатора, обкладками которого служат слои полупроводника, а диэлектриком – р-п переход. В реальных диодах при приложенном запирающем (обратном) напряжении протекает не равный нулю обратный ток I_{OBR} и увеличивающийся с ростом этого напряжения.

При уменьшении запирающего (обратного) напряжения толщина перехода будет уменьшаться, а при смене полярности и некоторой величине прямого (отпирающего) напряжения она станет равной нулю, и области с большими концентрациями свободных носителей сомкнутся. Через диод потечет прямой ток, величина которого зависит от приложенного напряжения и свойств полупроводниковых материалов.

Таким образом, диод имеет проводимость в прямом направлении и практически не имеет её – в обратном.

Величина прямого тока через диод связана с приложенным напряжением следующим образом:

$$I_{пр.} \approx I_0 \left[e^{\frac{U}{\Phi_T}} - 1 \right],$$

где I_0 – ток насыщения; U – прямое напряжение; Φ_T – температурный потенциал,

$$\Phi_T = \frac{KT}{e},$$

K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; e – заряд электрона.

При температуре $T=293^\circ\text{K}$ $\Phi_T=25$ мВ.

Конструкции диодов

Точечные диоды

Точечные диоды обычно состоят из стеклянного корпуса, в котором находится тонкое острие (анод), спаянное с германиевым или кремниевым кристал-

лом с n-проводимостью (катод) (рис. 6.2).

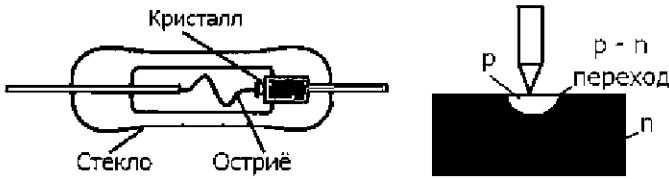


Рис. 6.2 – Конструкция точечного диода

Ток может проходить только от анода к катоду через p-n переход. Размер перехода примерно равен одной точке, откуда и произошло название диода - точечный.

Эти диоды, имея малую межэлектродную емкость (1... 2 пФ) применяются в высокочастотных цепях, где небольшие напряжения (20... 60 В) и токи (10... 50 мА).

Плоскостные диоды

Плоскостные диоды предназначены для выпрямления больших напряжений и токов. Основной частью диода является пластинка с n-проводимостью. В нее вплавлен индий, создающий область с p-проводимостью. На границе слоев образуется p-n переход. К индию припаян вывод анода, а к кристаллу – корпус диода для отвода тепла через радиатор при работе с большими токами. Корпус и будет являться катодом (рис. 6.3).

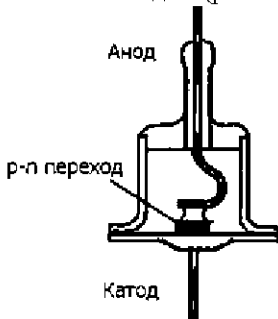


Рис. 6.3 – Конструкция плоскостного диода

Полупроводниковые диоды характеризуются рядом параметров, описывающих особенности прямой и обратной ветвей их вольтамперных характеристик в статическом, установившемся состоянии. Одним из таких параметров является прямое падение напряжения $U_{пр}$ при заданном прямом токе $I_{пр}$. Следует отметить, что $U_{пр}$ зависит от температуры перехода и при этом имеет температурный коэффициент напряжения $\phi_T \approx -2,1 \text{ мВ}/^\circ\text{С}$.

Важными статическими параметрами полупроводникового диода являются:

- максимально допустимый ток в прямом направлении. Это наибольший допустимый ток, протекающий через диод. При его превышении наступит пробой диода.

- максимально допустимое постоянное обратное напряжение. Это наибольшее напряжение в обратном направлении. При его превышении диод выходит из строя.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) диодов показывает зависимость величины тока от величины прямого и обратного напряжения, подаваемого на диод.

Графики характеристик расположены на оси координат, где на горизонтальной оси абсцисс показано прямое и обратное постоянное напряжение, подаваемое на диод, а на вертикальной оси ординат – прямой и обратный ток.

Типичная ВАХ диода приведена на рис. 6.4.

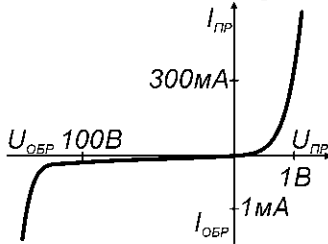


Рис. 6.4 – ВАХ диода Д226А

Описание лабораторного стенда.

Лабораторный стенд содержит в своем составе источник питания с выходным регулируемым напряжением от 0 до 4 В. Схема стенда приведена на рис. 6.5. Тумблер включения В источника и ручка регулировки напряжения размещены на лицевой панели. В качестве исследуемого диода используется низкочастотный кремниевый или германиевый выпрямительный диод типа Д226 или Д7 (КД105, КД202, Д242 или Д302... Д306, Д310, Д311 и др.).

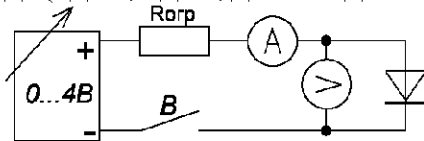


Рис. 6.5 – Схема лабораторного стенда для измерения ВАХ диода.

Порядок выполнения работы

1. Повернуть ручку регулировки напряжения в среднее положение. Включить тумблер. Приборы покажут некоторое напряжение и ток.
2. Поворачивая ручку регулировки напряжения установить такую его величину, чтобы амперметр показал значение 1 мА. После чего считать показания вольтметра и занести показания «U» и «I» в таблицу.

Параметры	Измеренные значения								
	при $t^{\circ} = t_{л}^{\circ}$								при $t^{\circ} > t_{л}^{\circ}$
$I_{пр.}, \text{ мА}$	1	2	5	10	20	50	100	200	10
$U_{пр.}, \text{ мВ}$									
$R_{дин.}$								–	

3. Повторять п. 2 для значений тока 2, 5, 10, 20, 50, 100 мА.

4. Вычислить динамическое сопротивление диода по формуле

$$R_{дин.} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{i+1} - U_i}{I_{i+1} - I_i},$$

где U_{i+1} , U_i , I_{i+1} , I_i – последующее и предыдущее значения соответственно на

пряжения и тока.

5. Построить график зависимости $I_{\text{пр.}}(U_{\text{пр.}})$, взяв масштаб по оси токов 10 мА/см, по оси напряжений 0,1 В/см.

6. Подключить к лабораторной установке кремниевый диод с помощью длинных проводников. Определить по лабораторному термометру температуру в лаборатории $t_{\text{л}}$. При этом полагаем, что температура перехода диода также равна $t_{\text{л}}$. Установить ток, равный 10 мА, и определить показания вольтметра $U_{\text{пр1}}$. Опустить диод в горячую воду, температура которой заранее измерена, вновь установить ток, равный 10 мА, и определить новые показания вольтметра $U_{\text{пр2}}$. Рассчитать температуру воды по формуле:

$$T^{\circ}_{\text{в}} = t^{\circ}_{\text{л}} + (U_{\text{пр1}} - U_{\text{пр2}}) \varphi_{\text{т}}.$$

Сравнить рассчитанные показания с измеренным значением температуры воды.

7. Сделать выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Как устроен полупроводниковый диод?
2. Опишите ВАХ диода.

Лабораторная работа 2.7 Изучение параметров переменного тока

Цель работы: ознакомиться с методом измерений параметров переменного тока с помощью осциллографа.

Приборы и оборудование: осциллограф, генератор переменного напряжения низкой частоты, вольтметр и амперметр переменного тока.

Теоретические сведения

Переменный ток, в противоположность постоянному току, периодически меняет свое направление. Кривая (функция) переменного тока или напряжения, соответственно, может иметь различную форму. На рис. 7.1 показана форма и основные параметры периодического синусоидального переменного тока как функция времени. Кроме того, различают переменные напряжения и токи прямоугольной, треугольной, пилообразной и др. форм, однофазные и многофазные. Например, электроснабжение массовых потребителей осуществляется, как правило, посредством трехфазного синусоидального тока.

Переменный ток характеризуется двумя параметрами – периодом и амплитудой, зная которые мы можем судить, какой это переменный ток, и построить график тока.

Промежуток времени, на протяжении которого совершается полный цикл изменения тока, называется периодом. Период обозначается буквой T и измеряется в секундах.

Промежуток времени, на протяжении которого совершается половина полного цикла изменения тока, называется полупериодом. Следовательно, период изменения тока (ЭДС или напряжения) состоит из двух полупериодов. Совершенно очевидно, что все периоды одного и того же переменного тока равны ме-

жду собой.

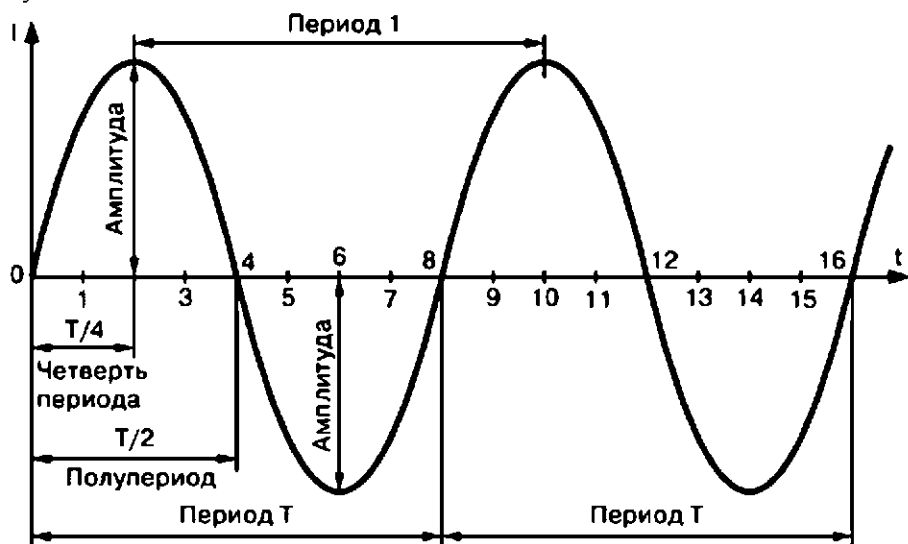


Рис. 7.1 – Основные параметры периодического синусоидального переменного тока

Как видно из графика, в течение одного периода своего изменения ток достигает дважды максимального значения.

Максимальное значение переменного тока (ЭДС или напряжения) называется его амплитудой или амплитудным значением тока. I_m , E_m и U_m – общепринятые обозначения амплитуд тока, ЭДС и напряжения.

Кроме амплитудного значения существует бесчисленное множество промежуточных его значений, меньших амплитудного.

Значение переменного тока (ЭДС, напряжения), соответствующее любому выбранному моменту времени, называется его мгновенным значением. i , e и u – общепринятые обозначения мгновенных значений тока, ЭДС и напряжения.

Мгновенное значение тока, как и амплитудное его значение, легко определить с помощью графика. Для этого из любой точки на горизонтальной оси, соответствующей интересующему нас моменту времени, проведем вертикальную линию до точки пересечения с кривой тока; полученный отрезок вертикальной прямой определит значение тока в данный момент, т. е. мгновенное его значение.

Очевидно, что мгновенное значение тока по истечении времени $T/2$ от начальной точки графика будет равно нулю, а по истечении времени $T/4$ – его амплитудному значению.

Итак, график показывает, как с течением времени меняется ток в цепи, и что каждому моменту времени соответствует только одно определенное значение как величины, так и направления тока. При этом значение тока в данный момент времени в одной точке цепи будет точно таким же в любой другой точке этой цепи.

Число полных периодов, совершаемых током в 1 секунду, называется частотой переменного тока и обозначается латинской буквой f .

Чтобы определить частоту переменного тока, т.е. определить, сколько периодов своего изменения ток совершил в течение 1 секунды, необходимо 1 секунду разделить на время одного периода $f = 1/T$. Частота переменного тока измеряется единицей, называемой герцем. Зная частоту переменного тока, можно определить период: $T = 1/f$.

При определении сопротивления различных цепей переменному току использовать еще одна вспомогательную величину, характеризующую переменный ток, так называемую угловую или круговую частоту ω . Круговая частота связана с частотой $\omega = 2\pi f$.

В течение одного периода T напряжение последовательно оказывается равным нулю, положительному максимуму (амплитудное значение) U_m , затем нулю, отрицательному максимуму и снова нулю.

Аналогично выглядит график изменения тока, но в общем случае он может быть сдвинут во времени относительно напряжения (отставать от напряжения или опережать его).

Мгновенные значения синусоидальных напряжения u и тока i выражаются так:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u);$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i),$$

где φ_u и φ_i – начальные фазы напряжения и тока.

Разность фаз напряжения и тока (фазовый сдвиг):

$$j = \varphi_u - \varphi_i.$$

Другие параметры синусоидальных величин и формулы для их вычисления приведены ниже.

Частота f в Герцах (Гц) выражается как число периодов в секунду,

$$f = 1 / T.$$

Угловая частота ω в рад/с равна

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f.$$

Действующие значения синусоидальных тока и напряжения равны

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.2), подключите генератор низкочастотного синусоидального напряжения ($U = 1 \dots 5 \text{ В}$, $f = 0,2 \dots 10 \text{ кГц}$).

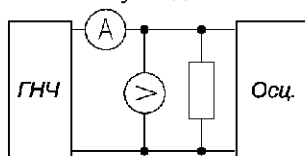


Рис. 2.3 – Схема лабораторной установки.

2. Установите параметры развёртки осциллографа так, чтобы на экране было изображение примерно двух периодов напряжения.

3. Определите по осциллографу все указанные ниже величины:

- амплитудное значение напряжения U_m ;
- амплитудное значение тока I_m ;
- действующее значение напряжения U ;
- действующее значение тока I ;
- период T ;
- частоту f ;
- угловую частоту ω ;
- фазовый сдвиг j ;
- мгновенное значение напряжения u в момент времени $t=T/3$.

Примечание: ωt – угол, измеряемый в радианах.

4. Запишите результаты измерений и вычислений в табл. 7.1.

Таблица 7.1 Результаты измерений и вычислений

Средства измерения	U_m , В	I_m , мА	U , В	I , мА	T , мс	f , В	ω , 1/с	j , град	$u(T/3)$, В
Осциллограф									

5. Сделать выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры переменного тока.
2. Как взаимосвязаны амплитудное и действующее значение синусоидального напряжения?
3. Как взаимосвязаны амплитудное и действующее значение синусоидального тока?

Лабораторная работа 2.8 Изучение явления электрического резонанса

Цель работы. Изучение и экспериментальное исследование явления резонанса токов.

Приборы и оборудование: лабораторная установка.

Теоретические сведения

Резонансом называется такой режим электрической цепи, при котором входной ток совпадает по фазе с входным напряжением, несмотря на наличие в цепи реактивных элементов.

Резонансный режим наступает тогда, когда частота внешних воздействий на систему равна собственной частоте системы

$$\omega = 2\pi f = \omega_0 = 2\pi f_0,$$

т.е. частоте преобразования энергии внутри системы из одной формы в другую (энергии магнитного поля в энергию электрического поля и наоборот). Резонанс, таким образом, возникает при наличии в цепи индуктивности и емкости.

Одна из ценных особенностей резонансов – это значительное увеличение напряжений или токов при весьма экономичном использовании электрической энергии.

Резонанса в электрической цепи можно достичь, изменяя либо частоту источника питания, либо индуктивность, либо емкость.

Цепь, находящаяся в резонансном режиме, характеризуется следующим:

- входные реактивные сопротивления X_{BX} или проводимости γ_{BX} равны нулю;
- угол сдвига фаз φ_{BX} между входным током и входным напряжением равен нулю, а коэффициент мощности $\cos \varphi_{BX}$ максимален;
- входная мощность чисто активная, т.е. $\hat{S}_{BX} = P_{BX}$.

Резонанс токов

Резонанс параллельно соединённых индуктивности и емкости при взаимной компенсации их реактивных составляющих токов в параллельных ветвях, называют резонансом токов.

Если к цепи, изображенной на рис. 8.1, приложено переменное синусоидальное напряжение

$$U_{BX} = \sqrt{2}U_{BX} \sin \omega t,$$

то ток равен

$$i_{BX} = \sqrt{2}U_{BX} \sqrt{g^2 + b^2} \sin(\omega t \pm \varphi) = \sqrt{2}I_{BX} \sin(\omega t \pm \varphi),$$

где $\varphi = \arctg \frac{b}{g}$, $g = \frac{R}{R^2 + (\omega L)^2}$, $b = b_L - b_C = \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} - \omega C$.

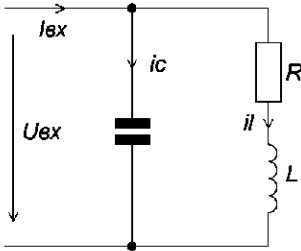


Рис. 8.1 – Параллельный колебательный контур для исследования резонанса токов

Из приведенного выражения видно, что ток i_{BX} будет совпадать с приложенным напряжением при условии $b=0$ или

$$\frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} - \omega C = 0, \text{ т.е. } b_L = b_C.$$

Таким образом, при резонансе токов входная реактивная проводимость цепи b_{BX} равна нулю, а полная проводимость γ имеет наименьшее значение, поэтому ток в неразветвленной части цепи минимален.

При резонансе токов в параллельных ветвях реактивные составляющие токов равны между собой:

$$I_L = I_C$$

и могут во много раз превышать ток в неразветвленной части цепи, что характеризуется величиной добротности

$$Q_g = \frac{I_C}{I_{BX}} = \frac{P}{R} \approx 1 \dots 500,$$

где ρ – волновое или характеристическое сопротивление контура,

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Нерезонансные режимы.

Режимы вне резонанса можно получить, если вывести систему из резонанса, т.е. нарушить условие $\frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} - \omega C = 0$, изменяя собственную частоту контура с помощью индуктивности L при постоянной емкости C , или изменяя емкость C при постоянной индуктивности L , или изменив частоту ω при неизменных L и C . Для последнего случая можно построить частотные характеристики параллельного контура, которые представлены на рис. 8.2.

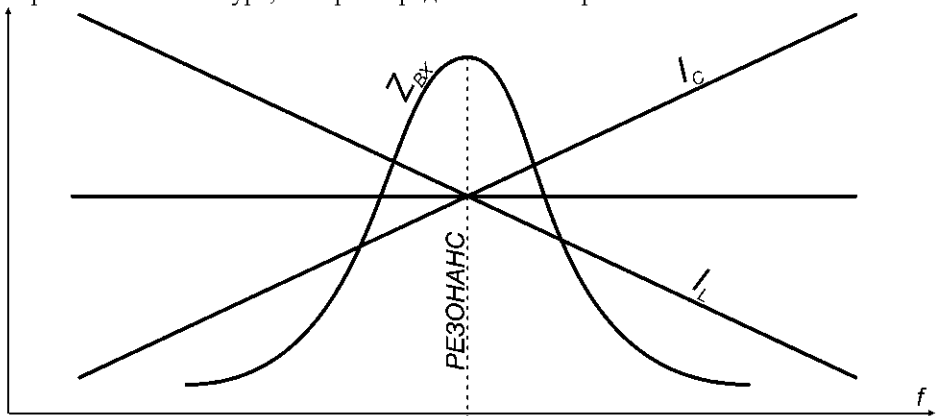


Рис. 8.2 – Частотные характеристики параллельного колебательного контура

Острота частотной характеристики $Z_{BX}(f)$ зависит от добротности цепи Q_{Σ} . Чем выше значение добротности, тем более острыми получается пик кривой и лучше избирательные качества цепи.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему для исследования параллельной цепи (см. рис. 8.1). В качестве источника входного напряжения U_{BX} используется генератор низкой частоты (ГНЧ).

2. Включаем источники питания тумблерами. Изменяя частоту настройки ГНЧ, устанавливаем резонансный режим, который определяется по минимальному показанию амперметра. Показания приборов занести в таблицу I.

3. Изменяя частоту настройки ГНЧ, установить дорезонансный режим (I_{BX} уменьшается), затем послерезонансный режим (I_{BX} увеличивается). Показания приборов для одной точки дорезонансного режима и одной точки послерезонансного режима занести в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Результаты измерений

Режимы цепи	Данные измерений				
	f , Гц	U_{BX} , В	I_{BX} , А	I_C , А	I_L , А
Резонанс					
Дорезонансный	$f_1=$ $f_2=$ $f_3=$				
Послерезонансный	$f_1=$ $f_2=$ $f_3=$				

4. По данным табл. 8.1 построить векторные диаграммы цепи для трех режимов: резонансного, дорезонансного и послерезонансного.

Контрольные вопросы

1. Что такое резонанс?
2. Каким способом регулируется собственная частота цепи?
3. Чем определяется величина усиления токов?
4. Как строятся векторные диаграммы цепи для режимов до и после резонанса, для режима резонанса?
6. Почему резонансные режимы весьма экономичны?
7. Где используются резонансы токов?

Лабораторная работа 2.9 Определение индуктивности катушки.

Цель работы: определение коэффициента самоиндукции катушки.

Приборы и оборудование: лабораторная установка.

Теоретические сведения.

Английский физик Г. Фарадей в 1831 г. открыл явление электромагнитной индукции. В формулировке Фарадея это явление заключается в том, что при любом изменении магнитного потока Φ , сцепленного с замкнутым контуром, в контуре возникает индукционный ток (возникает ЭДС электромагнитной индукции):

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Максвелл обобщил закон электромагнитной индукции: переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое поле. Таким образом, контур играет лишь вспомогательную роль, являясь индикатором.

Рассмотрим контур, в котором протекает ток. Ток создает магнитное поле, линии индукции которого пересекают поверхность, охваченную этим же контуром. Магнитный поток, сцепленный с контуром:

$$\Phi = L \cdot I, \quad (2)$$

где L – индуктивность (коэффициент самоиндукции) контура.

Из (1) и (2) получаем:

$$\varepsilon_i = -\frac{d}{dt}(LI) = -L \cdot \frac{dI}{dt} - I \cdot \frac{dL}{dt}.$$

Если контур не деформируется и находится в неферромагнитной среде, то $L = const$ и тогда

$$\varepsilon_i = -L \frac{dI}{dt},$$

где ε – самоиндукция (эффект возникновения электромагнитной ЭДС в электрической цепи вследствие изменения в контуре силы тока). Возникающий при этом ток самоиндукции препятствует изменению основного тока (оказывает сопротивление).

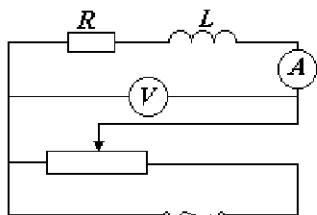


Рис. 9.1

Рассмотрим цепь переменного тока, которая содержит активное сопротивление R и индуктивность L (рис. 9.1). Для описания процессов воспользуемся методом вращающегося вектора амплитуды. Начальную фазу тока примем равной нулю:

$$I = I_0 \cdot \cos \omega t,$$

где ω – циклическая частота переменного тока.

Напряжение на сопротивлении R : $U_1 = IR = I_0 \cdot R \cdot \cos \omega t = U_{01} \cos \omega t$.

Напряжение на индуктивности:

$$U_2 = L \cdot \frac{dI}{dt} = \omega L I_0 \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_{02} \cdot \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}).$$

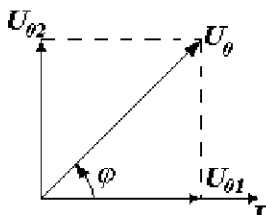


Рис. 9.2

Показываем векторы амплитуд (рис. 9.2, U_0 – результирующий вектор амплитуды напряжения).

$$U_0^2 = U_{01}^2 + U_{02}^2 = (I_0 R)^2 + (I_0 \cdot \omega L)^2.$$

Отсюда получаем:

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}, \quad (3)$$

где I_0 , U_0 – амплитудные (максимальные) значения силы тока и напряжения.

Действующим (эффективным) значением периодического тока (напряжения) называется среднее за период значение силы тока (напряжения):

$$I_{эф} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt}.$$

Для синусоидального тока:

$$I_{эф} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U_{эф} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Из (3) и (4) получаем:

$$I_{\text{ЭФ}} = \frac{U_{\text{ЭФ}}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad (5)$$

где $X_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление цепи;

$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ – полное сопротивление.

Угол φ сдвига фаз между напряжением U и током I (см. рис.2):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R}.$$

Из (5) окончательно получаем расчетную формулу:

$$L = \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{\text{ЭФ}}}{I_{\text{ЭФ}}}\right)^2 - R^2} \quad (6)$$

Порядок выполнения работы

1. Получите консультацию в преподавателя.
2. Включите установку в сеть. Вытяните сердечник из катушки.
3. Меняя потенциометром напряжение, трижды измерьте $U_{\text{ЭФ}}$ и $I_{\text{ЭФ}}$.
4. По формуле (6) определите L_1, L_2, L_3 . Вычислите $L_{\text{СР}}$, абсолютную и относительную погрешности.
5. Вставьте сердечник в катушку и проделайте п.п. 3 и 4 для катушки с сердечником.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение явления электромагнитной индукции в трактовке Фарадея и Максвелла.
2. В чем заключается явление самоиндукции?
3. Выведите и объясните формулы (3), (4), (5).
4. Выведите формулу (6).

Литература

1. Старостина И.А., Краткий курс физики для бакалавров: учебное пособие / И.А. Старостина, Е.В. Бурдова, Р.С. Сальманов - Казань: Издательство КНИТУ, 2016. - 364 с. - ISBN 978-5-7882-2035-2 - Текст: электронный // ЭБС «Консультант студента»: [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788220352.html>
2. Полянская Е.Е., Зайковский О.И. Курс физики. 2-е изд., испр. и доп. – Оренбург: Изд-во ОГПУ, 2016. – 148 с. – ISBN 978-5-85859-643-1. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/2170493/>
3. Варава А.Н., Общая физика: учебное пособие для вузов / Варава А.Н. - М.: Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01085-3 - Текст: электронный // ЭБС «Консультант студента»: [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010853.html>
4. Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Курс физики с примерами решения задач. В 2 томах. Том 1. М.: КноРус, 2015. – 568 с. – ISBN 978-5-406-04253-3. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1991197/>
5. Повзнер А.А., Андреева А.Г., Шумихина К.А. Физика. Базовый курс. Часть 1. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 168 с. – ISBN 978-5-7996-1701-1. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/2061058/>
6. Повзнер А.А., Андреева А.Г., Шумихина К.А. Физика. Базовый курс. Часть 2. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 144 с. – ISBN 978-5-7996-1948-0. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/2242224/>
7. Конспект лекций по дисциплине «Физика» в 3-х частях. Часть 1: Механика. Молекулярная физика. Термодинамика для студентов направления подготовки 44.03.04 (образовательно-квалификационный уровень бакалавр). /Сост.: В.И.Сафонов – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2020. -62 с.
8. Конспект лекций по дисциплине «Физика» для студентов направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям). В 3-х частях. Часть 2. «Электростатика. Электрический ток. Магнетизм». /Сост.: В.И.Сафонов. – Стаханов: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2021. – 52 с.
9. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика» для студентов направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям). В 9-и частях. Часть 1. Механика. /В.И. Сафонов. – Стаханов: СИПИМ, 2021. -103 с.
10. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика» для студентов направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям). В 9-и частях. Часть 2. Молекулярная физика. /В.И. Сафонов. – Стаханов: СИПИМ, 2021. -40 с.
11. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика» для студентов направления подготовки Профессиональное обучение (по отраслям), профили: «Экономика и управление», «Информационные технологии и системы», «Электроснабжение», «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Электромеханическое оборудование, автоматизация процессов добычи полезных ископаемых и руд», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Профессиональная психология», «Управление

ние персоналом», в 9-и частях. Часть 3. Термодинамика. /Сост.: В.И. Сафонов. – Стаханов: изд-во ЛГУ им. В.Даля, 2022. – 43 с.

12. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика» для студентов направления подготовки Профессиональное обучение (по отраслям), профили: «Экономика и управление», «Информационные технологии и системы», «Электроснабжение», «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Электромеханическое оборудование, автоматизация процессов добычи полезных ископаемых и руд», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Профессиональная психология», «Управление персоналом» (в 9-и частях). Часть 4. Электричество. /Сост.: В.И. Сафонов. – Стаханов: ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля».

13. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика» для студентов направления подготовки Профессиональное обучение (по отраслям), профили: «Экономика и управление», «Информационные технологии и системы», «Электроснабжение», «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Электромеханическое оборудование, автоматизация процессов добычи полезных ископаемых и руд», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Профессиональная психология», «Управление персоналом», в 9-и частях. Часть 5. Магнетизм. /Сост.: В.И. Сафонов. – Стаханов: изд-во ЛГУ им. В.Даля, 2022. – 86 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физика» для студентов направления подготовки Профессиональное обучение (по отраслям), профили: «Экономика и управление», «Информационные технологии и системы», «Электроснабжение», «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Электромеханическое оборудование, автоматизация процессов добычи полезных ископаемых и руд», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Профессиональная психология», «Управление персоналом» (в 2-х частях). Часть 2. Электричество.

С о с т а в и т е л ь:
Валентин Иванович Сафонов

Печатается в авторской редакции.
Компьютерная верстка и оригинал-макет автора.

Подписано в печать _____
Формат 60x84¹/₁₆. Бумага типограф. Гарнитура Times
Печать офсетная. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____
Тираж 100 экз. Изд. № _____. Заказ № _____. Цена договорная.

Издательство Луганского государственного
университета имени Владимира Даля

*Свидетельство о государственной регистрации издательства
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015 г.*

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а
Телефон: 8 (0642) 41-34-12, **факс:** 8 (0642) 41-31-60
E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com **http:** //izdat.dahluniver.ru/