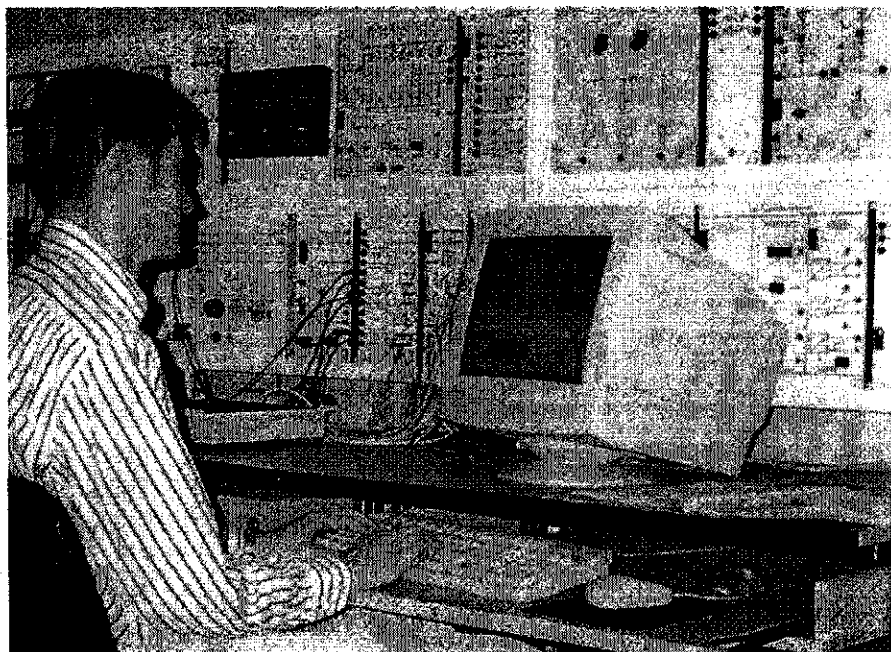


ООО «Учебная техника»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Руководство по выполнению базовых экспериментов
ЭЦПОТ.002 РБЭ (901.1)**



2005

Беглецов Н.Н., Галишников Ю.П., Сенигов П.Н. Электрические цепи постоянного тока. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭЦПОТ.002 РБЭ (901.1). -Челябинск: ООО «Учебная техника», 2005. - 68 с.

Описаны состав и отдельные компоненты типового комплекта оборудования для проведения лабораторных работ по учебному разделу «Электрические цепи постоянного тока». Представлены общие сведения, схемы экспериментов и их описания, перечни аппаратуры и указания по проведению и оформлению результатов базовых экспериментов.

Руководство предназначено для использования при подготовке к проведению лабораторных занятий в высших и средних профессиональных образовательных учреждениях.

Содержание

Введение	6
1. Описание комплекта типового лабораторного оборудования «Теоретические основы электротехники»	9
1.1 <i>Общие сведения</i>	9
1.1.1 Компоновка оборудования	9
1.1.2 Блок генераторов напряжений	10
1.1.3 Наборная панель	11
1.1.4 Набор миниблоков по теории электрических цепей и основам электроники ..	12
1.1.5 Набор трансформаторов	13
1.1.6 Блок мультиметров	13
1.1.7 Ваттметр	15
1.1.8 Набор миниблоков по теории электромагнитного поля	15
1.1.9 Набор планшетов для моделирования электрических и магнитных полей	18
1.1.10 Набор устройств для моделирования поверхностного эффекта и эффекта близости	20
1.2 <i>Экспериментальная часть</i>	21
2. Электрическая цепь	23
2.1. <i>Общие сведения</i>	23
2.2. <i>Экспериментальная часть</i>	24
3. Закон Ома	25
3.1. <i>Общие сведения</i>	25
2.1. <i>Экспериментальная часть</i>	25
4. Цепи с резисторами	28
4.2. <i>Линейные резисторы</i>	29
4.2.1. Общие сведения	29
4.2.2. Экспериментальная часть	29
4.3. <i>Терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом (термисторы)</i>	31
4.3.1. Общие сведения	31
4.3.2. Экспериментальная часть	31
4.4. <i>Терморезисторы с положительным температурным коэффициентом</i>	33
4.4.1. Общие сведения	33
4.4.2. Экспериментальная часть	33
4.5. <i>Резисторы с зависимостью от напряжения (варисторы)</i>	35
4.5.1. Общие сведения	35
4.5.2. Экспериментальная часть	35
4.6. <i>Резисторы с зависимостью от освещенности (фоторезисторы)</i>	37
4.6.1. Общие сведения	37
4.6.2. Экспериментальная часть	37
4.7. <i>Последовательное соединение резисторов</i>	38
4.7.1. Общие сведения	38
4.7.2. Экспериментальная часть	38
4.8. <i>Параллельное соединение резисторов</i>	40
4.8.1. Общие сведения	40
4.8.2. Экспериментальная часть	40

4.9. Цепь со смешанным последовательно-параллельным соединением резисторов.....	42
4.9.1. Общие сведения	42
4.9.2. Экспериментальная часть	42
4.10. Делитель напряжения при работе вхолостую	44
4.10.1. Общие сведения	44
4.10.2. Экспериментальная часть.....	44
4.11. Делитель напряжения под нагрузкой	46
4.11.1. Общие сведения.....	46
4.11.2. Экспериментальная часть	46
5. Эквивалентный источник напряжения (ЭДС).....	48
5.1. Общие сведения	48
5.2. Экспериментальная часть.....	49
6. Последовательное соединение источников напряжения (ЭДС).....	51
6.1. Общие сведения	51
6.2. Экспериментальная часть.....	52
7. Параллельное соединение источников напряжения (ЭДС)	53
7.1. Общие сведения.....	53
7.2. Экспериментальная часть	54
8. Электрическая мощность и работа.....	56
8.1. Общие сведения.....	56
8.2. Экспериментальная часть	56
9. Коэффициент полезного действия электрической цепи	59
9.1. Общие сведения	59
9.2. Экспериментальная часть	59
10. Согласование источника и нагрузки по напряжению, току и мощности	60
10.1. Общие сведения.....	60
10.2. Экспериментальная часть	60
11. Процессы заряда и разряда конденсатора.....	62
11.1 Общие сведения.....	62
11.2. Экспериментальная часть	63
12. Процессы включения под напряжение и короткого замыкания катушки индуктивности	65
12.1 Общие сведения.....	65
12.2. Экспериментальная часть.....	66
Литература	68

Введение

Комплект типового лабораторного оборудования «Теория электрических цепей и основы электроники» предназначен для проведения лабораторного практикума по одноимённым разделам курсов «Теоретические основы электротехники», «Теория электрических цепей», «Электротехника и основы электроники», «Общая электротехника» и т.п. в профессиональных высших и средних учебных учреждениях.

Основными компонентами «ручного» (т.е. некомпьютеризованного) варианта комплекта «Теория электрических цепей и основы электроники» являются:

- блок генераторов напряжений;
- наборная панель;
- набор миниблоков;
- набор трансформаторов;
- блок мультиметров;
- ваттметр;
- соединительные провода и перемычки, питающие кабели.

В зависимости от варианта исполнения в комплект может входить также либо лабораторный стол с выдвигаемыми ящиками и рамой для установки оборудования (стендовый вариант), либо просто настольная рама, которая может быть установлена на любой стол (настольный вариант).

Эти же компоненты наряду с другими входят в комплект «Электротехника и основы электроники»

Комплект типового лабораторного оборудования «Теоретические основы электротехники», кроме перечисленных выше компонентов, содержит:

- дополнительный набор миниблоков для исследования электромагнитных полей;
- набор планшетов для моделирования электрических и магнитных полей;
- набор устройств для исследования поверхностного эффекта и эффекта близости.

В первой главе данного руководства описано устройство составных частей комплекта «Теоретические основы электротехники», даны рекомендации по их использованию и приведены некоторые технические характеристики. В последующих главах описаны базовые эксперименты по разделу «Электрические цепи постоянного тока».

Для осуществления в полном объёме всех экспериментов, описанных в данном руководстве и в руководствах по другим разделам кроме перечисленного выше оборудования необходим двухканальный осциллограф, имеющий режим X - Y.

Описание каждого эксперимента содержит

- Общие сведения,
- Экспериментальную часть.

Раздел «Общие сведения» содержит краткое введение в теорию соответствующего эксперимента. Для более глубокого изучения теоретического материала учащемуся следует обратиться к учебникам и компьютерным программам тестирования для проверки усвоения теории и оценки готовности к лабораторно-практическим занятиям.

В разделе «Экспериментальная часть» сформулированы конкретные задачи эксперимента, представлены схемы электрических цепей, таблицы и графики для регистрации и представления экспериментальных данных. В ряде случаев поставлены вопросы для более полного осмысления результатов эксперимента.

Настоящее руководство предназначено для быстрого освоения комплекса преподавателями кафедр и разработки ими необходимых материалов для проведения лабора-

торного практикума в соответствии с рабочими планами и традициями кафедр. На первом этапе внедрения рассматриваемых комплектов типового лабораторного оборудования в учебный процесс данное руководство или его отдельные фрагменты могут непосредственно использоваться студентами при выполнении лабораторных работ.

Условные обозначения основных элементов электрических цепей приведены в табл. В.1. В табл. В.2 представлены базовые электрические величины и их единицы измерения.

Таблица В.1

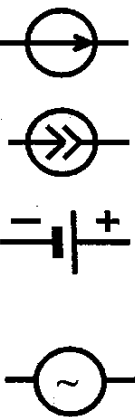

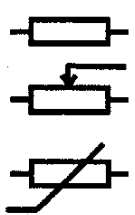

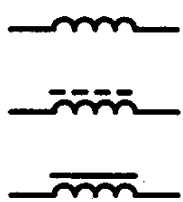
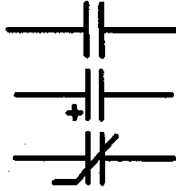
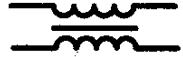
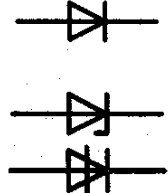
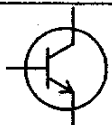
Наименование элемента	Условное обозначение	Наименование элемента	Условное обозначение
Источники электрической энергии: источник напряжения (ЭДС) постоянного тока (идеальный) источник постоянного тока (идеальный) гальванический элемент или аккумулятор источник напряжения (ЭДС) синусоидального тока		Проводники электрической цепи: одиночный пересекающиеся, несоединенные пересекающиеся, соединенные	
Резисторы: Постоянный линейный Переменный линейный Нелинейный		Выключатели: однополюсные двухполюсные	
Индуктивности: Линейная С разомкнутым магнитопроводом С магнитопроводом		Конденсаторы Общее обозначение Полярный (электролитический) Нелинейный	
Трансформатор		Диоды и тиристоры: Выпрямительный диод Стабилитрон Диодный тиристор	
Транзисторы: Биполярный			

Таблица В.2

Величина	Обозначение	Единица измерения	Другие используемые величины
Заряд	Q	1 К = 1 Кулон	мК
Ток	I	1 А = 1 Ампер	мА, мкА
Напряжение/ЭДС	U/E	1 В = 1 Вольт	мВ, кВ
Сопротивление	R	1 Ом	кОм, МОм
Проводимость	G	1 См = 1 Сименс	
Индуктивность	L	1 Гн = 1 Генри	мГн, мкГн
Ёмкость	C	1 Ф = 1 Фарада	мкФ, нФ, пФ

1. Описание комплекта типового лабораторного оборудования «Теоретические основы электротехники»

1.1 Общие сведения

1.1.1 Компоновка оборудования

Общая компоновка типового комплекта оборудования в стендовом исполнении показано на рис. 1.1. На лабораторном столе закреплена рама, в которой устанавливаются отдельные блоки. Расположение блоков жёстко не фиксировано. Оно может изменяться для удобства проведения того или иного конкретного эксперимента. Наборная панель, на которой собирается электрическая цепь из миниблоков может устанавливаться и непосредственно на столе.

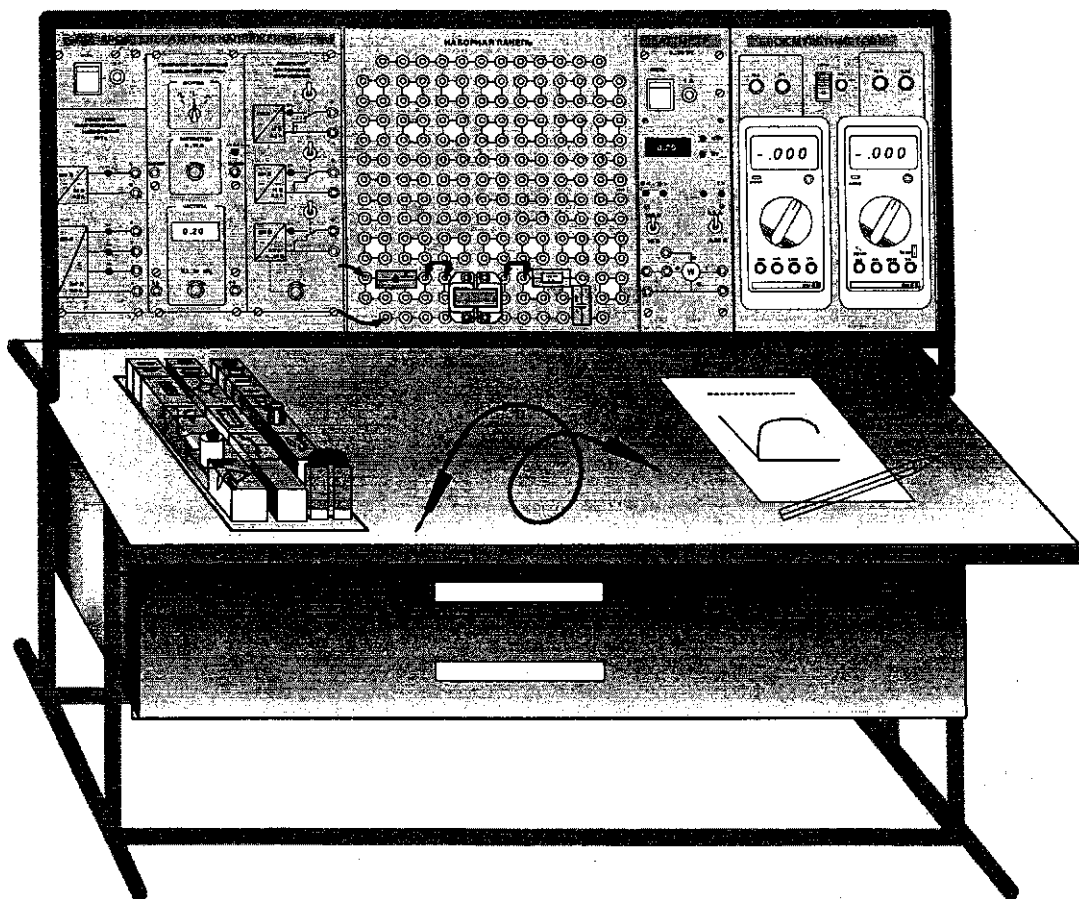


Рис. 1.1

В выдвижных ящиках хранятся наборы миниблоков и устройств, соединительные провода, перемычки и кабели, методические материалы. Один из наборов миниблоков показан на рис. 1.1 на столе. Ящики имеют встроенные замки.

1.1.2 Блок генераторов напряжений

Лицевая панель блока генераторов напряжений показан на рис. 1.2. Он состоит из генератора синусоидальных напряжений, генератора напряжений специальной формы и генератора постоянных напряжений.

Все генераторы включаются и выключаются общим выключателем «СЕТЬ» и защищены от внутренних коротких замыканий плавким предохранителем с номинальным током 2 А

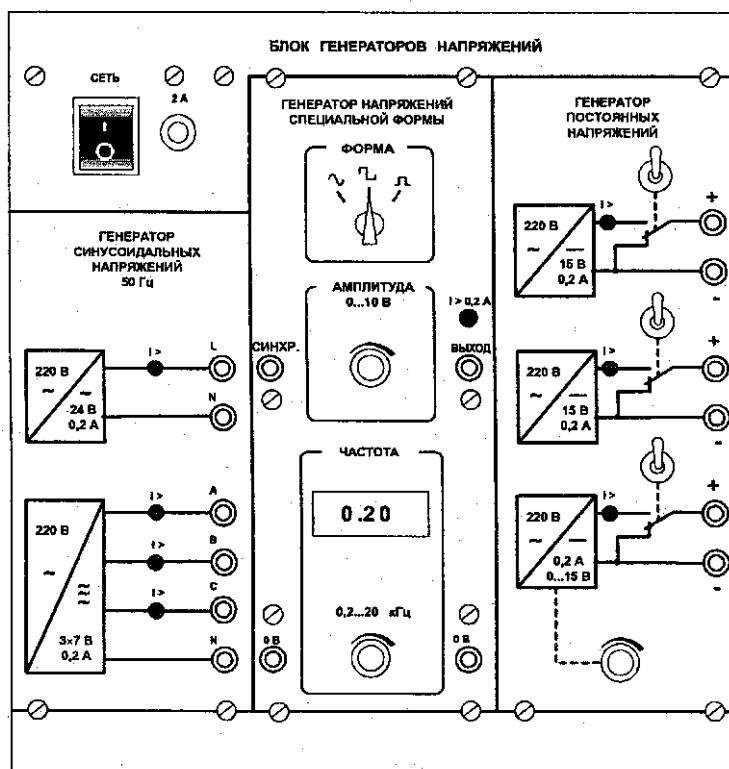


Рис.1.2

На лицевой панели блока указаны номинальные напряжение и ток каждого источника напряжения, а также диапазоны изменения регулируемых выходных величин. Все источники напряжений гальванически изолированы друг от друга и от корпуса блока и защищены от перегрузок и внешних коротких замыканий самовосстанавливающимися предохранителями с номинальным током 0,2 А. О срабатывании предохранителя свидетельствует индикатор «I >».

Генератор синусоидальных напряжений содержит однофазный источник напряжения 24 В (вторичная обмотка питающего трансформатора 220/24 В) и трёхфазный стабилизированный по амплитуде выходного напряжения преобразователь однофазного напряжения в трёхфазное. Выходное сопротивление трёхфазного источника в рабочем диапазоне токов близко к нулю.

Генератор напряжений специальной формы вырабатывает на выходе синусоидальный, прямоугольный двухполярный или прямоугольный однополярный сигнал в зависимости от положения переключателя «ФОРМА». Выходное сопротивление генератора в рабочем диапазоне токов также близко к нулю. Между-гнездами «СИНХР» и «О В» генератора при любом положении переключателя «ФОРМА» вырабатываются однополярные прямоугольные импульсы амплитудой 5 В, которые можно использовать для внешней синхронизации осциллографа. Частота сигнала регулируется десятиоборотным потенциометром «ЧАСТОТА» и не зависит как от формы и амплитуды сигнала, так и от тока нагрузки.

Генератор постоянных напряжений содержит три источника стабилизированного напряжения 15 В, гальванически изолированных друг от друга. Выходное напряжение одного из этих источников регулируется от 0 до 15 В десятиоборотным потенциометром. Выходные сопротивления этих источников также близки к нулю и все они допускают режим работы с обратным током (режим потребления энергии). Для

получения постоянных напряжений больше 15В они могут соединяться последовательно. Для исключения источников из собранной схемы цепи используются переключатели (тумблеры).

1.1.3 Наборная панель

Наборная панель (рис. 1.3) служит для расположения на ней миниблоков в соответствии со схемой данного опыта.

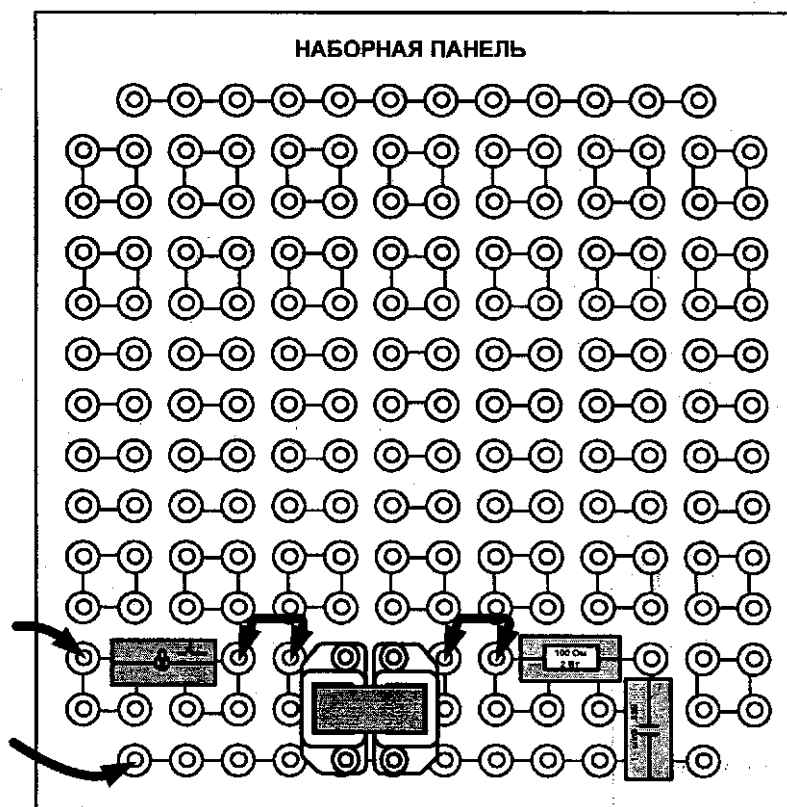


Рис. 1.3

Гнёзда на этой панели соединены в узлы, как показано на ней линиями. Поэтому часть соединений выполняется автоматически при установке миниблоков в гнёзда панели. Остальные соединения выполняются соединительными проводами и перемычками. Так на фрагменте цепи, показанной на рис. 1.3, напряжение подаётся проводами через выключатель к одной из обмоток трансформатора. К другой обмотке подключены резистор и конденсатор, соединённые последовательно.

Для измерения токов в ветвях цепи удаляется одна из перемычек и вместо неё в образовавшийся разрыв включается амперметр. Для измерения напряжений на элементах цепи параллельно рассматриваемому элементу включается вольтметр.

1.1.4 Набор миниблоков по теории электрических цепей и основам электроники

Миниблоки из представляют собой отдельные элементы электрических цепей (резисторы, конденсаторы, индуктивности диоды, транзисторы и т.п.), помещённые в прозрачные корпуса, имеющие штыри для соединения с гнёздами наборной панели. Некоторые миниблоки содержат несколько элементов, соединённых между собой или более сложные функциональные блоки. На этикетках миниблоков изображены условные обозначения элементов или упрощённые электрические схемы их

соединения, показано расположение выводов и приведены основные технические характеристики. Миниблоки хранятся в специальном контейнере.

Большинство миниблоков комплекта «Теория электрических цепей и основы электроники» содержат по одному элементу электрических цепей. Состав этого набора приведён в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наименование и характеристики	Кол.	Наименование и характеристики	Кол.
Резисторы МЛТ, 2 Вт, ±5%		Индуктивности	
10 Ом	1	10 мГн, 90 мА	1
22 Ом	2	40 мГн, 65 мА	1
33 Ом	1	100 мГн, 50 мА	2
47 Ом	1	Тумблер МТД-1, 250 В, 2 А	1
100 Ом	1	Лампа сигнальная СМН-10 55	1
150 Ом	1	Термистор РТС 50 Ом	1
220 Ом	1	Термистор NTC 6,8 кОм	1
330 Ом	1	Варистор S07K11, 18 В, 1 мА	1
470 Ом	1	Фоторезистор СФ3-4Б	1
680 Ом	1	Диоды КД 226 (1N5408) 1А, 100 В	6
1 кОм	3	Стабилитрон КС510А, 10 В	1
2,2 кОм	1	Светодиод АЛ 307 Б	1
4,7 кОм	1	Варикап КВ 105А, 20 мА	1
10 Ом	2		
22 кОм	1	Динистор (диодный тиристор)	
33 кОм	1	КН102Б	1
47 кОм	1		
100 кОм	2	Тиристор триодный КУ 101Е	
1 МОм	1		
Потенциометры СП4-2М		Транзисторы биполярные	
1 кОм	1	КТ502 Г (pnp)	1
ЮкОм	1	КТ503 Г (npn)	2
Конденсаторы К-73-9, 100 В		Транзисторы униполярные	
0,01 мкФ	1	КП 303Е (с каналом т-типа)	1
0,1 мкФ	1	КП101Б (с каналом р-типа)	1
Конденсаторы К73-17, 63 В			
0,22 мкФ	1	Транзистор однопереходный	
0,47 мкФ	1	КТ117Г	1
1 мкФ	1		
Конденсаторы электролитические		Операционный усилитель	
SR-63 В, 10 мкФ	1	КР 140 УД 608А	1
SR-63 В, 100 мкФ	1		
SR-35 В, 470 мкФ	1		

1.1.5 Набор трансформаторов

Набор трансформаторов включает в себя четыре разборных трансформатора, выполненных на разъемных U-образных сердечниках из электротехнической стали с толщиной листа 0,08 мм. Сечение сердечника 16x12 мм. На трёх трансформаторах установлены катушки 900/300 витков, на четвёртом 100/100 витков, однако, они легко переставляются. Номинальные параметры трансформаторов при частоте 50 Гц приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

W	$U_H, В$	$I_H, мА$	R, Ом	$S_H, ВА$
100	2,33	600	0,9	1,4
300	7	200	4,8	1,4
900	21	66,7	37	1,4

1.1.6 Блок мультиметров

Блок мультиметров предназначен для измерения напряжений, токов, сопротивлений, а также для проверки диодов и транзисторов. Общий вид блока представлен на рис. 1.4. В нём установлены 2 серийно выпускаемых мультиметра МУ60, МУ62 или МУ64. Подробная техническая информация о них и правила применения приводится в руководстве по эксплуатации изготовителя. В блоке установлен источник питания мультиметров от сети с выключателем и предохранителем на 1 А. На лицевую панель блока вынесены также четыре предохранителя защиты токовых цепей мультиметров.

Для обеспечения надёжной длительной работы мультиметров соблюдайте следующие правила:

- Не превышайте допустимых перегрузочных значений, указанных в заводской инструкции для каждого рода работы
- Когда порядок измеряемой величины неизвестен, устанавливайте переключатель пределов измерения на наибольшую величину.
- Перед тем, как повернуть переключатель для смены рода работы (не для изменения предела измерения!), отключайте щупы от проверяемой цепи.
- Не измеряйте сопротивление в цепи, к которой подведено напряжение.
- Не измеряйте ёмкость конденсаторов, не убедившись, что они разряжены.
- Будьте внимательны при измерении тока мультиметрами **МУ62** и **МУ64**.

Предохранитель 0,2 А этих мультиметров может перегореть от источников напряжения имеющихся в данном стенде. Мультиметр **МУ60** защищен предохранителем 2 А, который не может перегореть от токов, создаваемых источниками данного стенда.

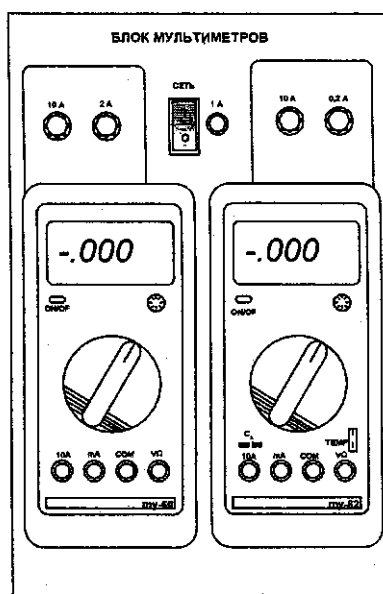


Рис. 1.4

До подключения мультиметра к цепи необходимо выполнить следующие опера-

ции:

- выбор измеряемой величины: - V, ~ V, - A, ~ A или Ω ;
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к исследуемой цепи.

Присоединение мультиметра как вольтметра, амперметра и омметра показано на рис. 1.5.

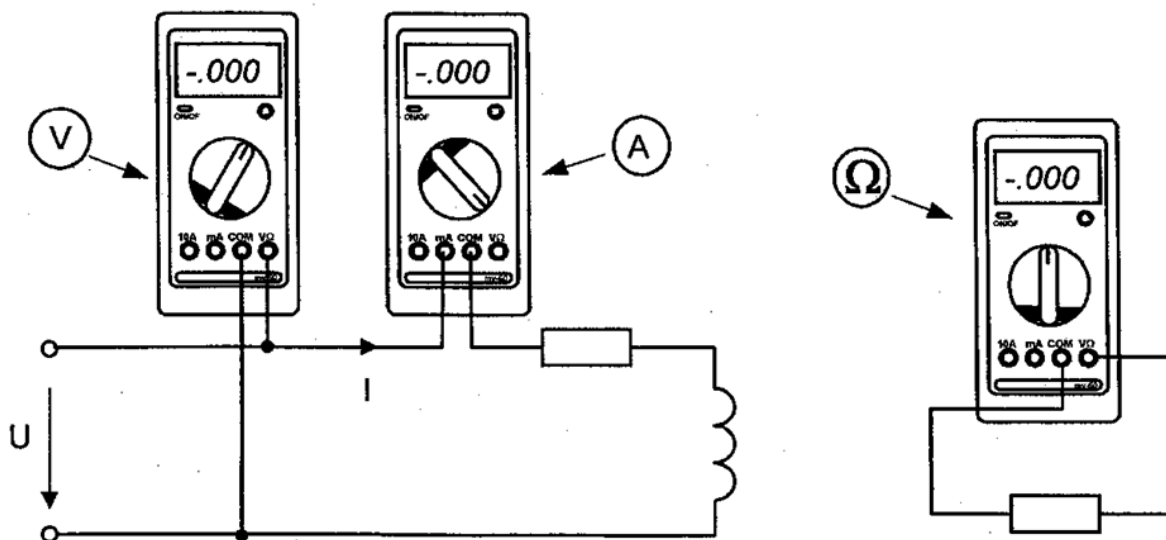


Рис. 1.5

1.1.7 Ваттметр

Общий вид ваттметра изображён на рис. 1.6.

Его принцип действия основан на перемножении мгновенных значений тока и напряжения и отображении среднего значения этого произведения на дисплее прибора в цифровом виде.

Прибор включается в цепь согласно приведённой на лицевой панели схеме. Для измерения активной мощности, гнезда, помеченные символом «•», должны быть соединены перемычкой. После сборки схемы необходимо включить выключатель «Сеть» и установить необходимые пределы измерения по току и по напряжению тумблерами. Если выбран заниженный предел измерения, то включается сигнализация перегрузки $I >$ или (и) $U >$. Если, наоборот, предел завышен, то включается сигнализация $I <$ или (и) $U <$. Справа от окошка цифровых индикаторов включаются автоматически светодиоды сигнализации размерности Вт или мВт.

1.1.8 Набор миниблоков по теории электромагнитного поля

Дополнительный набор миниблоков для исследования электрических и магнитных полей содержит как отдельные элементы электрических цепей, так и более сложные устройства. Общий вид контейнера с миниблоками по теории электромагнитного поля показан на рис. 1.7.

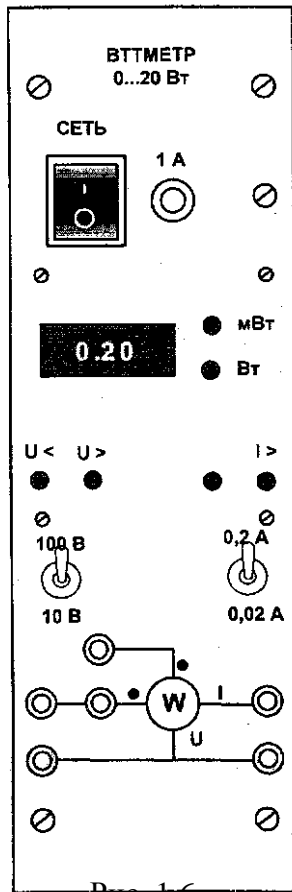


Рис. 1.6

Ниже приводятся краткие описания каждого миниблока (устройства).

1. Устройство (миниблок) «*Электромагнитные силы*» предназначено для измерения силы притяжения двух U-образных частей разъёмного магнитопровода в зависимости от величины постоянного тока, протекающего по катушкам.

Для измерения силы в зазоры между двумя частями сердечника встроены датчики силы. Принцип действия датчика основан на пьезоэлектрическом эффекте. При воздействии силы на его выводах образуются противоположные заряды, пропорциональные силе. Для измерения этого заряда к выходу датчика должен быть подключен интегрирующий усилитель. Он интегрирует импульс тока во входной цепи интегратора в процессе изменения силы, воздействующей на датчик. Таким образом, напряжение на выходе интегратора пропорционально заряду на электродах датчика силы.

Следует иметь в виду, что даже при отсутствии входного сигнала, напряжение на выходе интегратора медленно меняется вследствие дрейфа нуля и интегрирования различных утечек схемы. Поэтому непосредственно перед каждым измерением необходимо выполнять установку нуля, а отсчёт выходного напряжения производить в течение двух - трёх секунд сразу после интегрирования.

Для калибровки системы «датчик - интегратор» используется вес самого подвижного сердечника. Он указан на этикетке сердечника.

2. Миниблок «*Тесламетр*» предназначен для измерения магнитной индукции. Он имеет зонд с датчиком Холла (KSY-13 или другим) на конце, который можно вводить внутрь катушек. Вдоль оси зонда нанесена шкала с шагом 5 мм. Она позволяет определять расстояние, на которое перемещается датчик внутри катушки. Датчик расположен перпендикулярно оси зонда, т.е. он измеряет аксиальную составляющую магнитной индукции.

ЭДС Холла поступает в миниблок на вход усилителя напряжения, а к выходу усилителя подключается мультиметр или другой прибор для измерения напряжения.

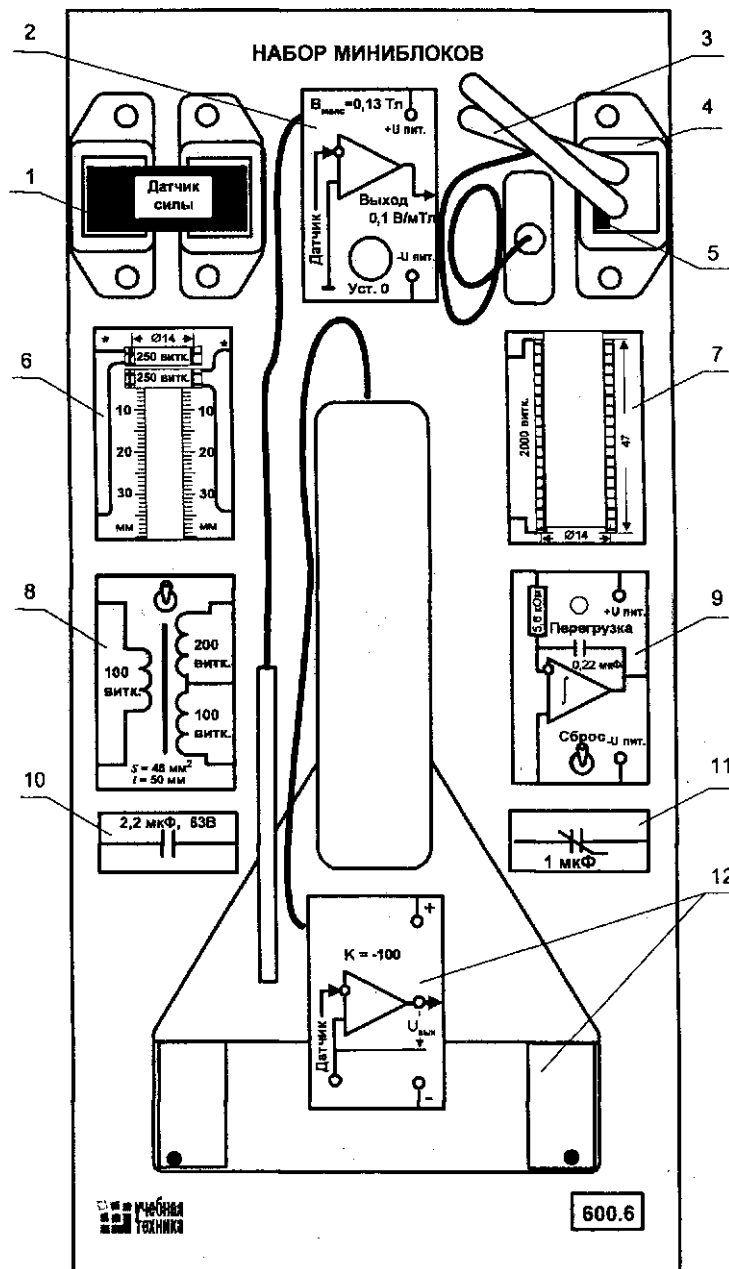


Рис. 1.7

Для компенсации несимметрии датчика Холла и дрейфа «нуля» усилителя на миниблоке имеется ручка управления «Установка нуля». Для подготовки тесламетра к работе необходимо установить его в наборное поле, подключить к нему питание ± 15 В, а к выходу - мультиметр для измерения напряжения, включить блок генераторов напряжений и, поворачивая ручку «Установка нуля», добиться как можно меньшего значения напряжения на выходе (обычно это меньше 20 мВ). Чувствительность тесламетра отрегулирована изготовителем и составляет 0,1 В/мТл. Контроль установки «нуля» и её корректировку необходимо проводить время от времени в течение всего опыта.

На этикетке указано также максимально возможное значение измеряемой индукции 0,13 Тл. При большем значении индукции напряжение на выходе усилителя приближается к напряжению питания и его дальнейшее увеличение невозможно. Сигнализации перегрузки здесь нет.

3. «*Пояс Роговского*» служит для измерения магнитодвижущих сил в замкнутом контуре или магнитных напряжений вдоль любого отрезка магнитной цепи. Он представляет собой гибкую ленту из изолирующего материала, равномерно

обмотанную изолированным проводом по всей длине. Поперечное сечение пояса одинаково по всей длине и достаточно мало, чтобы считать магнитную индукцию по любому поперечному сечению пояса неизменной. Сечение и обмоточные данные пояса приведены на его этикетке.

4. «*Катушка*» - совместно с разъёмным сердечником из набора трансформаторов используется для питания установки при исследовании поверхностного эффекта и эффекта близости и при исследовании распределения магнитных напряжений вдоль магнитной цепи. Обмоточные данные указаны на этикетке.

5. «*Сердечник*» - прямоугольный сердечник из электротехнической стали, служащий для изменения магнитного поля внутри катушки при исследовании распределения магнитных напряжений вдоль магнитной цепи.

6. Миниблок «*Кольцевые катушки*» предназначен для исследования магнитного поля на оси катушек и явления взаимной индукции. Одна из двух одинаковых катушек неподвижна, другая может перемещаться вдоль оси с помощью специального поводка. Минимальное расстояние между центрами катушек 5 мм. На этикетке имеется шкала, по которой можно определить текущее расстояние между катушками, указаны одноимённые зажимы, числа витков и средний диаметр катушек, а также показано расположение выводов. Для измерения магнитной индукции на оси катушек используется миниблок «Тесламетр», в котором имеется щуп с датчиком Холла. Максимальный допустимый ток катушек 200 мА.

7. Миниблок «*Цилиндрическая катушка*» служит для исследования магнитного поля на её оси с помощью датчика Холла (миниблок «Тесламетр»). На этикетке указаны число витков, средний диаметр и длина катушки.

8. Миниблок «*Трансформатор тороидальный*» предназначен для повышения или понижения переменного напряжения, и также может быть использован для исследования магнитных свойств ферромагнитных сердечников. Он выполнен на двух ферритовых кольцах М2000НМ диаметром 20 мм и имеет три обмотки - 100, 100 и 200 витков. На миниблоке имеется двухполюсный переключатель, при переключении которого изменяется направление тока в первичной обмотке.

9. Миниблок «*Интегратор*» предназначен для интегрирования входного сигнала $u_{вх}(t)$ или $i_{вх}(t)$ по времени:

$$u_{вых} = \frac{1}{R_{вх}C} \int u_{вх}(t) dt = \frac{1}{C} \int i_{вх}(t) dt.$$

Параметры $R_{вх}$ и C указаны на упрощенной принципиальной схеме интегратора (рис. 1.8).

Интегратор имеет два режима работы. При разомкнутом состоянии выключателя «Сброс» (нижнее положение тумблера на миниблоке) происходит интегрирование входного сигнала. Напряжение на выходе в этом режиме медленно изменяется даже при отсутствии входного сигнала, поскольку всегда есть внутренние утечки схемы и помехи. Этот режим используется для интегрирования кратковременных одиночных импульсов тока или напряжения. Перед началом интегрирования необходимо «обнулить» интегратор включив на 2.. 3 с выключатель «Сброс».

При включённом выключателе «Сброс» (верхнее положение тумблера на миниблоке) медленно изменяющаяся составляющая входного сигнала не интегрируется. Этот режим используется для возвращения интегратора в нулевое положение и для интегрирования периодических быстро протекающих процессов, например, при снятии петли гистерезиса.

Напряжение на выходе интегратора не может быть больше напряжения питания, поэтому, когда оно приближается к напряжению питания +15 В или -15 В, включается светодиод «Перегрузка».

10. Миниблок

«Конденсатор» - конденсатор типа К 73-17, 2.2 мкФ, 63 В. Используется для компенсации реактивного сопротивления при исследовании поверхностного эффекта.

11. Миниблок «Нелинейный конденсатор» - конденсатор типа К10-17-26 или Y5V, 1 мкФ, 25 В. Используется для исследования свойств нелинейных конденсаторов (при напряжениях больше 25 В).

12. Устройство «Датчик-усилитель плотности тока» предназначено для исследования распределения переменного тока по сечению массивных проводников. Устройство состоит из датчика плотности тока и усилителя. Датчик плотности тока представляет собой пластинку из стеклотекстолита, в которую вмонтированы два миниатюрных контакта. Провода от контактов проходят вдоль нити тока в исследуемом проводнике до середины пластинки, затем они поворачивают на 90° и проходят вместе сквозь ручку к усилителю напряжения. При прижатии контактов к исследуемой поверхности, соединительные провода датчика оказываются расположенными почти вплотную к этой поверхности. В результате, магнитный поток, сцепленный с контуром измерительной цепи, оказывается близким к нулю и на вход усилителя подводится только активная составляющая напряжения, пропорциональная плотности тока.

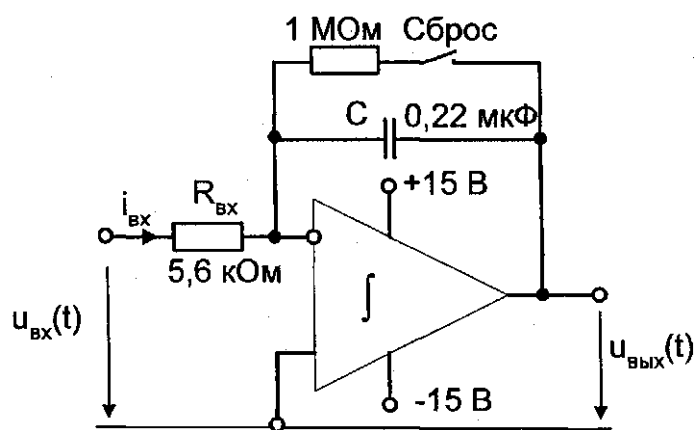


Рис. 1.8

1.1.9 Набор планшетов для моделирования электрических и магнитных полей

Набор содержит пять сменных планшетов с различной конфигурацией электродов. Собранный установка для моделирования с одним из планшетов показана на рис. 1.9. Остальные четыре планшета - на рис. 1.10. Планшет устанавливается в наборную панель и питание от регулируемого источника напряжения 0...15 В подаётся через гнезда панели и провода с нижней стороны планшета к медным электродам. Поверхность планшета покрыта резистивным слоем, в котором возникает ток. Эквипотенциальные линии поля постоянного тока снимаются по точкам с помощью вольтметра и переносятся на бумагу. Они аналогичны эквипотенциальным линиям электростатического поля, создаваемого заряженными протяжёнными проводниками, также как и силовым линиям магнитного поля, создаваемого проводниками с током. Планшеты №№ 1, 2, 3, 4 используются для моделирования электростатических полей заряженных длинных проводов соответствующих сечений. Планшет №1 и, в меньшей степени, №3 и №4 пригодны также и для моделирования магнитного поля двухпроводной линии с током, на планшете №5 моделируется магнитное поле между полюсами и в зазоре явнополюсной электрической машины. На планшетах №3 и №4

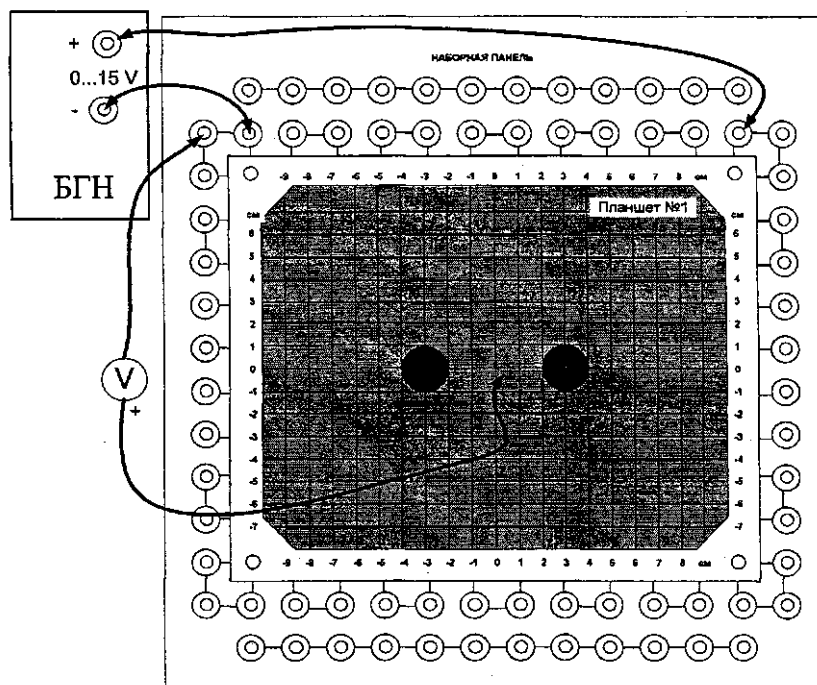


Рис.

при моделировании магнитного поля граничные условия обеспечиваются неточно, поэтому картина поля вблизи проводников, полученная с помощью модели несколько отличается от реальной.

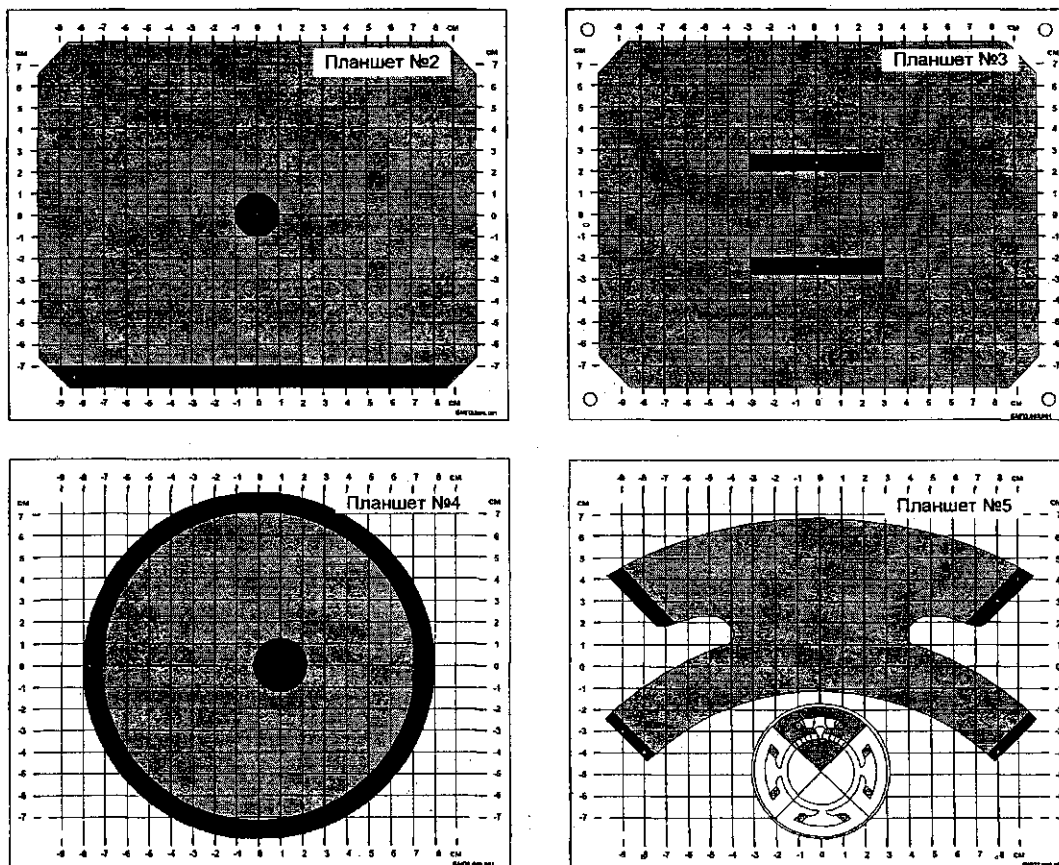


Рис. 1.10

1.1.10 Набор устройств для моделирования поверхностного эффекта и эффекта близости

Набор состоит из четырёх устройств, одно из которых показано на рис. 1.11.

На стеклотекстолитовой плате смонтированы две медные ленты и вместе с соединительными шинами образуют замкнутый контур. К контуру подводится ток повышенной частоты через понижающий трансформатор, вторичной обмоткой которого является сам контур. Для измерения тока на токоподводе смонтирован трансформатор тока ($K_T = 100$). Переменный ток в лентах распределяется неравномерно. Плотность тока уменьшается от внешних краёв ленты к середине (поверхностный эффект). При близком расположении лент друг к другу в них наблюдается и эффект близости.

Четыре устройства отличаются друг от друга геометрическим расположением медных лент. В одной из них лента помещена в ферромагнитный экран (аналогичный пазу ротора или статора электрической машины) и в ней наблюдается вытеснение тока на открытый край ленты.

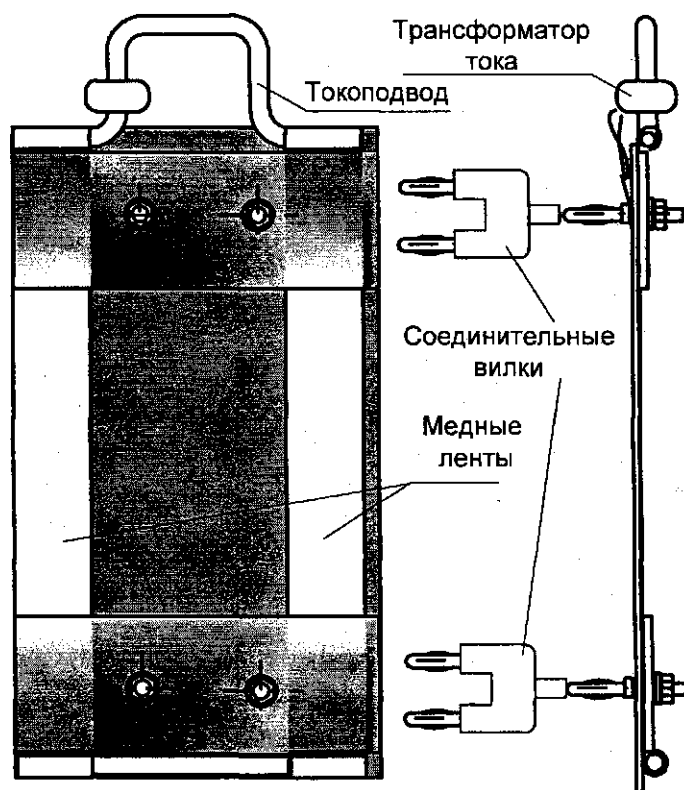


Рис.1.11

Для сборки установки необходимо сначала установить в левой верхней части наборной панели катушку трансформатора 170 витков вместе с нижней U-образной частью разъёмного сердечника, затем надеть на катушку один из исследуемых проводящих контуров и закрепить его над наборной панелью, пользуясь соединительными вилками со средним выводом, как подставками. Подставки необходимы для увеличения расстояния между исследуемыми проводниками и металлической поверхностью наборной панели. Иначе наводимые в ней вихревые токи существенно изменят распределение тока в исследуемых проводниках. Затем в катушку устанавливается вторая половина сердечника и скрепляется с первой резиновым кольцом. После этого в наборную панель устанавливается усилитель датчика тока, собирается цепь питания, и подключаются измерительные приборы в соответствии со схемой опыта.

1.2 Экспериментальная часть

Задание

Проверить работоспособность блока генераторов напряжений и измерительных приборов.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме рис. 1.12, включив в нее для начала резистор $R = 100 \text{ Ом}$. Подайте на вход питание от нерегулируемого источника постоянного напряжения 15 В , отрегулируйте осциллограф и убедитесь, что пульсации напряжения незначительны или отсутствуют, что напряжение равно $15 \pm 0,5 \text{ В}$, а ток примерно равен 150 мА .
- Установите пределы измерения ваттметра 100 В , $0,2 \text{ А}$ и проверьте, совпадает ли его показание с расчётным значением $P = U \cdot I$. Переключая пределы измерения ваттметра по току и по напряжению, проверьте, работает ли сигнализация перегрузок $I >$ и $U >$.
- **Переключите мультиметр для измерения тока 10 А** , замените резистор 100 Ом на 47 или 33 Ом , убедитесь, что появляются пульсации напряжения на выходе и через некоторое время срабатывает защита и включается сигнализация перегрузки.

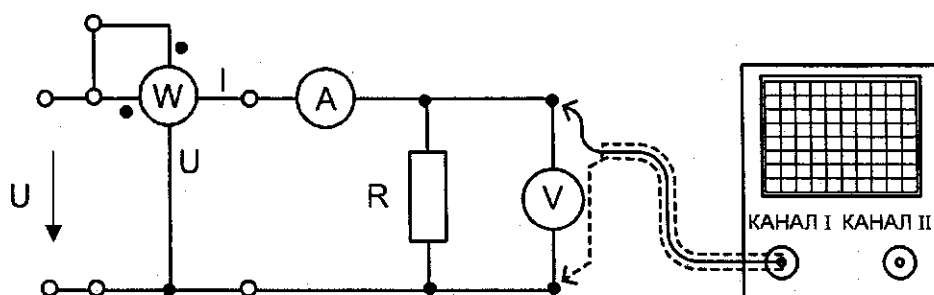


Рис. 1.11

- Повторите этот опыт с другим нерегулируемым источником напряжения 15 В и с регулируемым источником при максимальном напряжении на его выходе. Проверьте, как работает регулятор напряжения источника и сигнализация $I <$, и $U <$ ваттметра при уменьшении тока и напряжения.
- Установите в схему резистор 47 Ом , переключите мультиметры для измерения синусоидальных сигналов и подключите к схеме генератор напряжений специальной формы.
- Установите синусоидальный сигнал на выходе и убедитесь, что частота регулируется от $0,2$ до 20 кГц (по встроенному частотометру), а амплитуда напряжений - от 0 до 10 В (по осциллографу). На частоте 1000 Гц (или какойнибудь другой) убедитесь, что переключается форма сигнала. **Внимание! Мультиметры не измеряют несинусоидальные токи и напряжения!**
- Замените резистор 47 Ом на 22 Ом и убедитесь, что срабатывает защита и сигнализация перегрузки.
- Снова включите в схему резистор 47 Ом , и, подключая к ней напряжения U_{AO} , U_{BO} , U_{CO} U_{AB} U_{BC} и U_{CA} трёхфазного источника, убедитесь что фазные напряжения примерно равны 7 В а линейные - 12 В . **Внимание! При высокой температуре в помещении и длительном протекании тока от линейного напряжения возможно срабатывание**

самовосстанавливающегося предохранителя. Замените резистор 47 Ом на 22 Ом и проверьте работу защиты каждой фазы.

- Теперь включите в схему резистор 150 Ом и подайте на неё переменное напряжение от источника ~24 В. Убедитесь, что напряжение составляет 24...27 В. **Внимание! Форма этого напряжения повторяет напряжение питающей сети.** Она отличается от синусоидальной из-за большой выпрямительной нагрузки как в питающей сети, так и в данном блоке генераторов напряжений. Проверьте работу защиты, включив в схему сопротивление 22 Ом.

2. Электрическая цепь

2.1. Общие сведения

Электрической цепью называют совокупность соединенных друг с другом элементов, по которым может протекать **электрический ток**.

Для протекания тока необходимы **источники** электрической энергии -источники напряжения (ЭДС) или тока.

Электрическая цепь содержит также устройства, в которых энергия электрического тока преобразуется в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и т.д.). Эти устройства называются **нагрузками**.

Для замыкания и размыкания цепей используют **выключатели** того или иного вида.

Электрический ток есть направленное (упорядоченное) движение **носителей зарядов**. В проводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, в жидкостях (электролитах) носители положительных и отрицательных зарядов - ионы. В полупроводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, носителями положительных зарядов - дырки. Дырка представляет собой вакантное место в атоме полупроводника, незанятое электроном.

Для поддержания электрического тока требуется обеспечивать разделение носителей отрицательных и положительных зарядов, что и происходит в источниках. Когда источник подключен к цепи, возникает направленное движение зарядов под действием сил притяжения разноименных и отталкивания одноименных зарядов, т.е. электрический ток.

Ток, неизменный во времени, называют **постоянным**. Он обозначается символом **I** и равен количеству заряда **Q**, который пересекает сечение проводника за единицу времени **t** (1 секунду):

$$I = Q/t.$$

Изображение электрической цепи с помощью условных обозначений называют электрической схемой соединений (рис. 2.1).

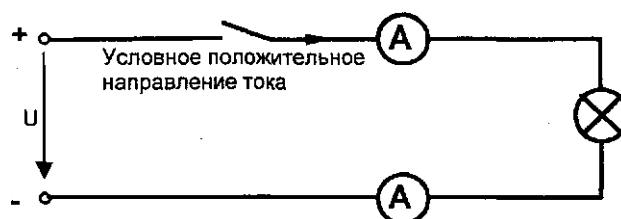


Рис.2.1.

Вне источника положительные носители заряда движутся от его положительного зажима (полюса) к отрицательному зажиму (полюсу). Направление движения отрицательных зарядов противоположно движению положительных зарядов. В качестве условного положительного направления тока принимается направление движения положительных зарядов. Это направление показывают на схеме стрелкой.

2.2. Экспериментальная часть

Задание

Соберите простейшую электрическую цепь согласно схеме (рис. 2.2), включив в нее два мультиметра в качестве амперметра. Путем измерений определите, является ли ток одинаковым во всех точках цепи, и убедитесь, что он равен нулю, когда цепь разомкнута или отключен источник.

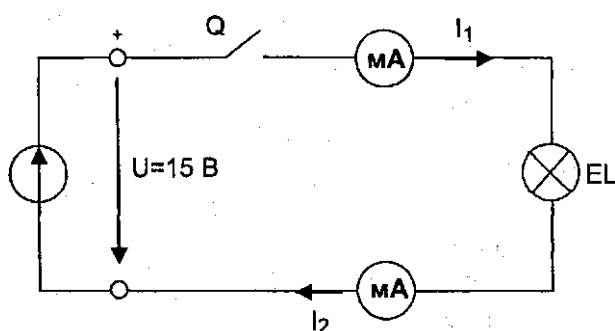


Рис. 2.2

Порядок выполнения эксперимента

- Подайте постоянное напряжение 15 В к зажимам цепи (рис. 2.2) и определите, протекает ли ток и горит ли лампочка — при разомкнутой (с помощью выключателя) и замкнутой цепи.
- Занесите данные измерений вместе с данными о состоянии лампочки в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Выключатель	I_1 , мА	I_2 , мА	Лампа вкл.	Лампа выкл.
Замкнут				
Разомкнут				

- Проверьте, будет ли протекать ток, когда источник напряжения отсоединен, а выключатель замкнут.

3. Закон Ома

3.1. Общие сведения

Закон Ома выражает математически соотношение между напряжением U , током I и сопротивлением R на участке цепи с сопротивлением.

$$I = U/R, \quad U = I \cdot R, \quad R = U/I,$$

где: I - ток, А;

U - напряжение, В;

R - сопротивление, Ом.

В замкнутой цепи с постоянным сопротивлением ток изменяется пропорционально напряжению.

Если при постоянном напряжении изменяется сопротивление, то ток изменяется обратно пропорционально сопротивлению.

2.2. Экспериментальная часть

Задание

Снимите экспериментально и постройте графики зависимостей $I = f(U)$ при $R = \text{Const}$ и $I = f(R)$ при $U = \text{Const}$.

Порядок выполнения эксперимента

- Чтобы построить кривые $I = f(U)$, соберите цепь по схеме (рис. 3.1) и измерьте токи, имеющие место при напряжениях и сопротивлениях, которые указаны в табл. 3.1.

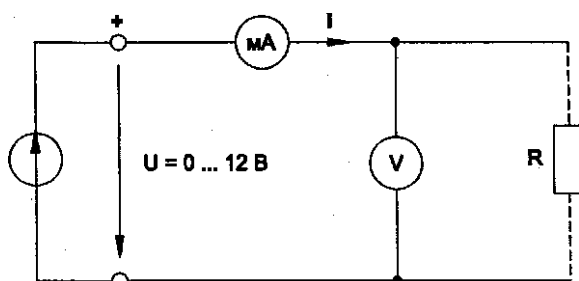


Рис. 3.1

Таблица 3.1

U, В	0	2	4	6	8	10	12
I, мА при R=100 Ом							
I, мА при R=150 Ом							
I, мА при R=330 Ом							

- Занесите результаты измерения токов в табл. 3.1.
- По данным табл. 3.1 постройте зависимости $U(I)$ при трёх значениях сопротивления на графике (рис. 3.2).

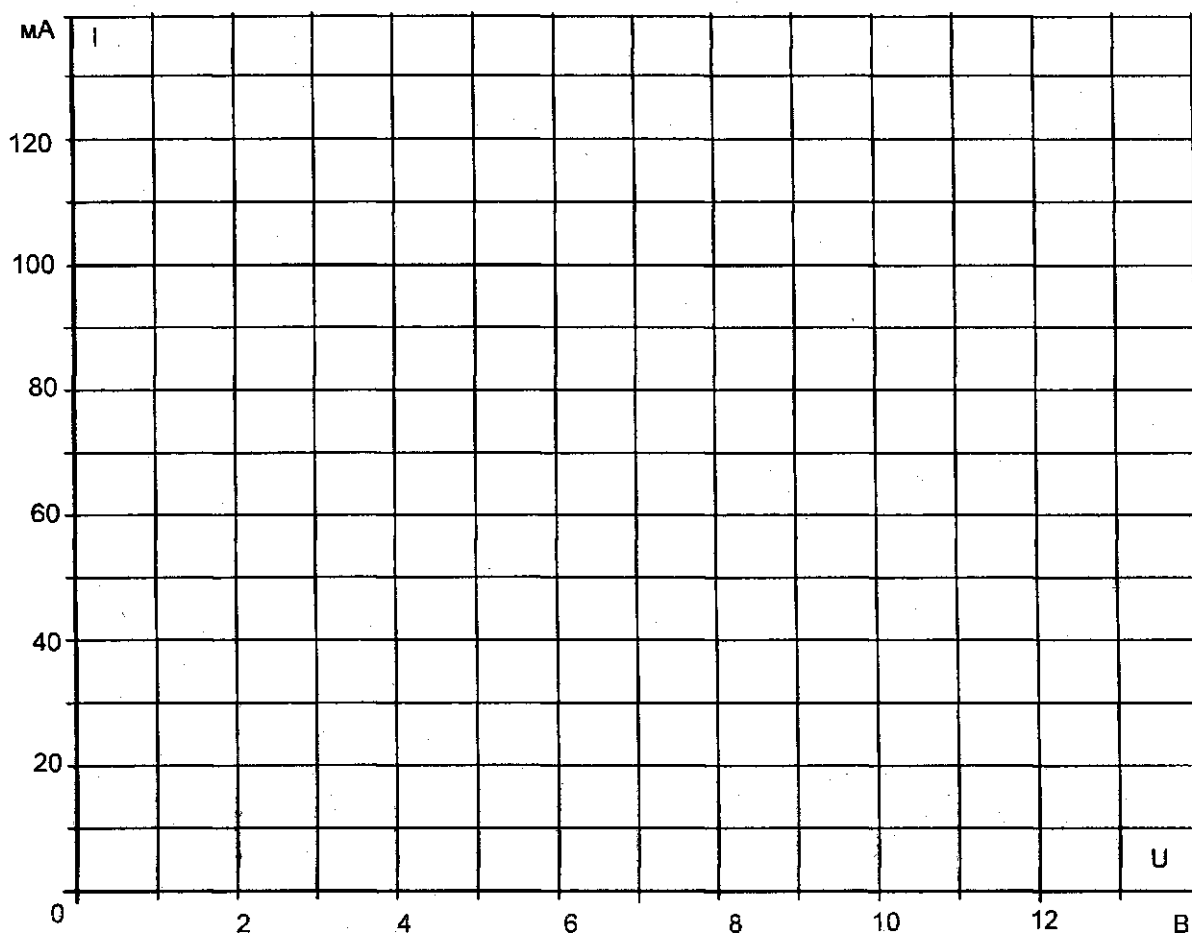


Рис. 3.2

- Для построения кривых $I = f(R)$ измерьте токи, имеющие место при напряжениях соответственно 4 В, 8 В и 12 В, в зависимости от сопротивлений, указанных в табл.3.2

Таблица
3.2

R, Ом	100	150	220	330	470	680	1000
I, mA при U=12 В							
I, mA при U=8 В							
I, mA при U=4 В							

- Занесите данные измерения токов в табл. 3.2 и перенесите их на график (рис. 3.3) для построения семейства зависимостей $I = f(R)$.

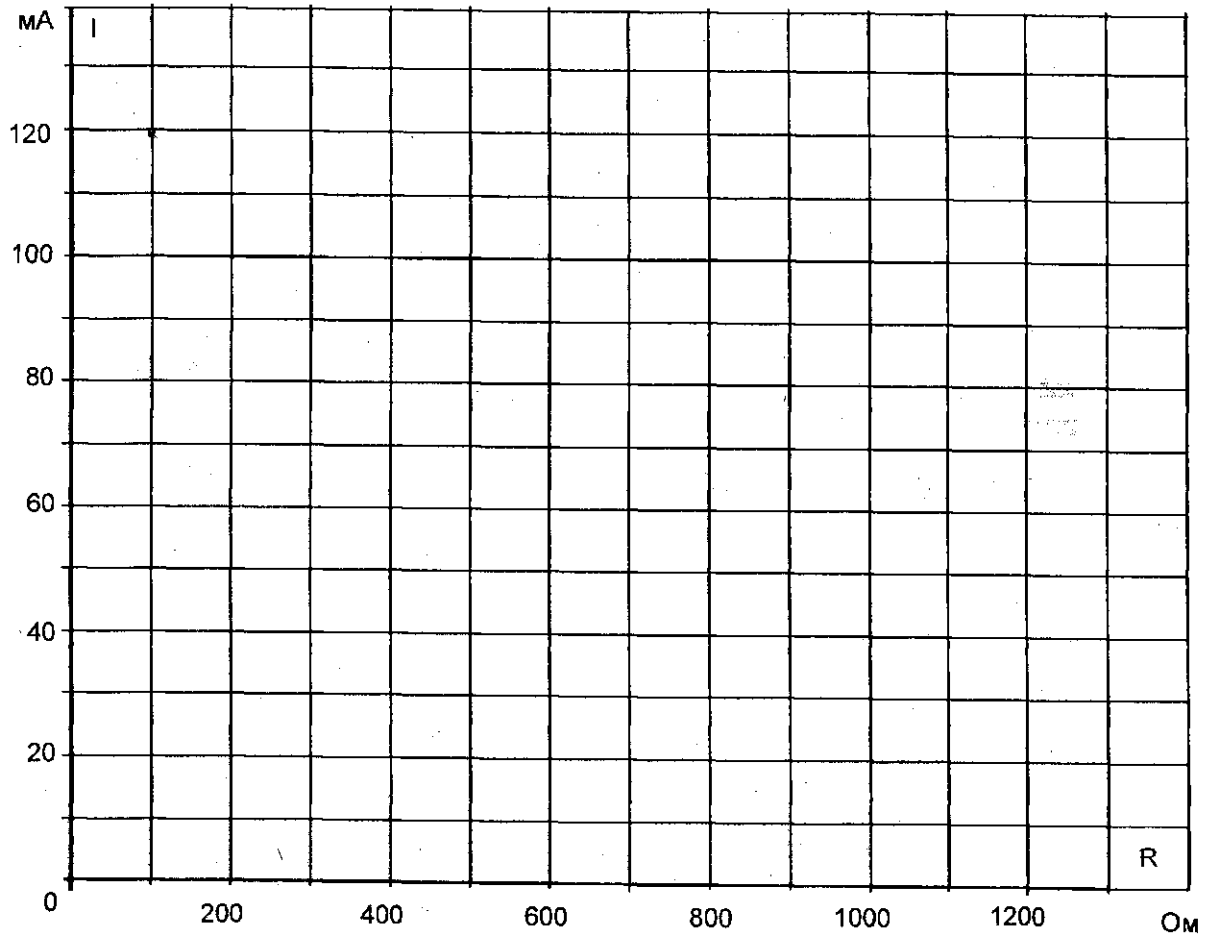


Рис. 3.4

4. Цепи с резисторами

Электрическое сопротивление означает противодействие протеканию тока. Это противодействие может быть вызвано проводниками ограниченного сечения или создается намеренно путем включения в цепь элемента, обладающего сопротивлением (резистивностью) и называемого **резистором**. Нижеследующие эксперименты имеют целью исследование резисторов.

Резистор - это наиболее часто применяемый в электрических цепях пассивный элемент. Из-за их токоограничивающего действия резисторы обычно используются для задания токов и напряжения или для их разделения. Единица электрического сопротивления - Ом.

Величина сопротивления, согласно закону Ома, определяется по соотношению

$$R = U / I,$$

где **U** - напряжение, В;

I - ток, А.

Другими характеристическими показателями резисторов являются мощность, температурная и частотная зависимости.

Мощность (потери мощности) резистора, измеряемая в Ваттах, может быть рассчитана по следующим формулам

$$P = U \cdot I = U^2 / R = I^2 \cdot R, \text{ Вт.}$$

Температурное поведение резистора зависит от материала, из которого он изготовлен. Изменение сопротивления резистора определяется по формуле

$$\Delta R = R \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta,$$

где **R** - величина сопротивления резистора при 20°C,

α - температурный коэффициент материала резистора,

Δϑ - изменение температуры.

Кроме используемых материалов, резисторы различаются также своей конструкцией. В частности они могут быть постоянными или переменными.

Все перечисленные выше характеристики и особенности резисторов имеют большое значение при их выборе для силовых и слаботочных электронных цепей.

4.2. Линейные резисторы

4.2.1. Общие сведения

Резистор называют **линейным**, когда ток в нем изменяется пропорционально приложенному напряжению, т.е. если функция **I = f(U)** - прямолинейная.

4.2.2. Экспериментальная часть

Задание

Постройте зависимости **I = f(U)** для трех резисторов.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите электрическую цепь с линейным резистором согласно схеме (рис.4.2.1).

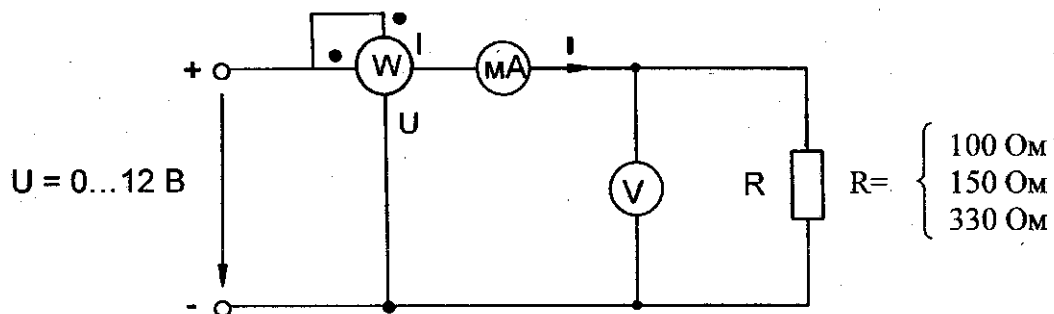


Рис. 4.2.1

Таблица 4.2.1

U, В		2	4	6	8	10	12
R = 100 Ом	I, мА						
	P, мВт						
R = 150 Ом	I, мА						
	P, мВт						
R = 330 Ом	I, мА						
	P, мВт						

- Подайте на схему напряжения, указанные в табл. 4.2.1 и запишите результаты измерений. Убедитесь, что $P = U \cdot I$ и $R = U / I$.
- Постройте кривые $I(U)$ на рис. 4.2.2 для каждого резистора.

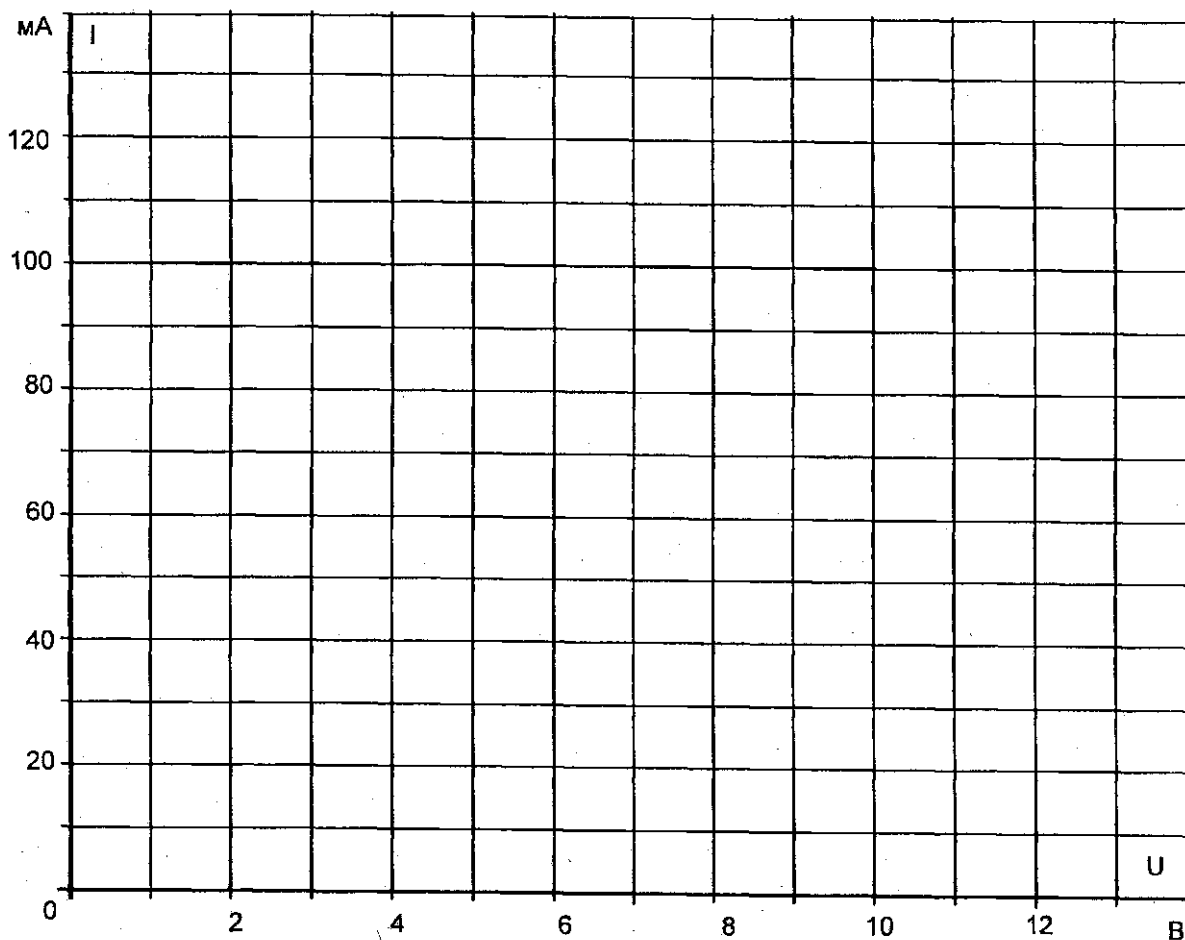


Рис. 4.2.2

- Вычислите ток, при котором в резисторе рассеивается мощность $P = 2$ Вт по формуле $I = \sqrt{P/R}$
 при $R = 100 \text{ Ом}$, $I = \dots$
 при $R = 150 \text{ Ом}$, $I = \dots$
 при $R = 330 \text{ Ом}$. $I = \dots$
- На рис. 4.22 проведите линию постоянной мощности 2 Вт.

4.3. Терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом (термисторы)

4.3.1. Общие сведения

Сопротивление *терморезистора с отрицательным температурным коэффициентом (ОТК)*, называемого также *термистором*, уменьшается при повышении температуры. Изменение сопротивления может быть вызвано изменением температуры окружающей среды или собственным нагревом / охлаждением резистора при различных электрических нагрузках.

Характеристика термистора экспоненциальная, она зависит от вида примененного материала, конструкции и изменения температуры.

4.3.2. Экспериментальная часть

Задание

Постройте статические характеристики $R = f(U)$ и $I = f(U)$ термистора. Изменение температуры происходит саморазогревом термистора при увеличении приложенного напряжения.

Замечание: Изменение температуры окружающей среды в данном эксперименте не рассматривается, потому что не всегда в стандартных электротехнических лабораториях имеется необходимое тепловое оборудование.

Порядок выполнения эксперимента

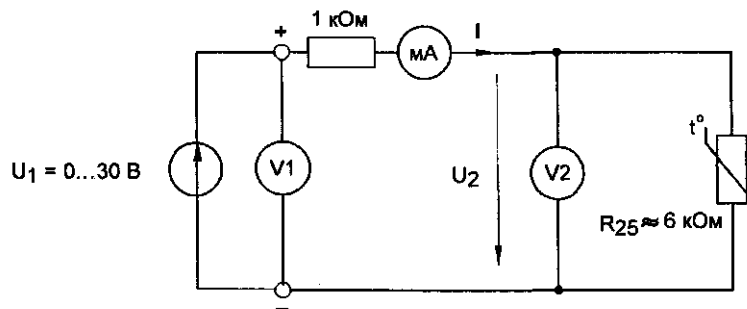


Рис. 4.3.1

- Соберите электрическую цепь согласно схеме (рис. 4.3.1) и измерьте ток I и напряжение U_2 на термисторе при, постепенном увеличении напряжении U_1 согласно табл. 4.3.1. Измерения должны быть выполнены с интервалами не менее 30 с, чтобы после каждого изменения напряжения достичь установившегося теплового состояния термистора. Для измерения двух напряжений используйте один мультиметр, переключая его положительный вывод из одной точки в другую. Напряжения больше 15 В можно получить, соединив последовательно два источника постоянного напряжения: 0...15В и 15В. Резистор 1 кОм включен для ограничения тока и предотвращения перегрева терморезистора.

Таблица 4.3.1

U_1 , В	5	10	15	20	25	30
U_2 , В						
I , мА						
R , кОм						

- Занесите результаты измерений в табл. 4.3.1 и постройте по ним кривые на рис. 4.3.2. Величины сопротивлений, необходимые для построения кривой $R = f(U)$, можно рассчитать с использованием значений тока I и напряжения U_2 .

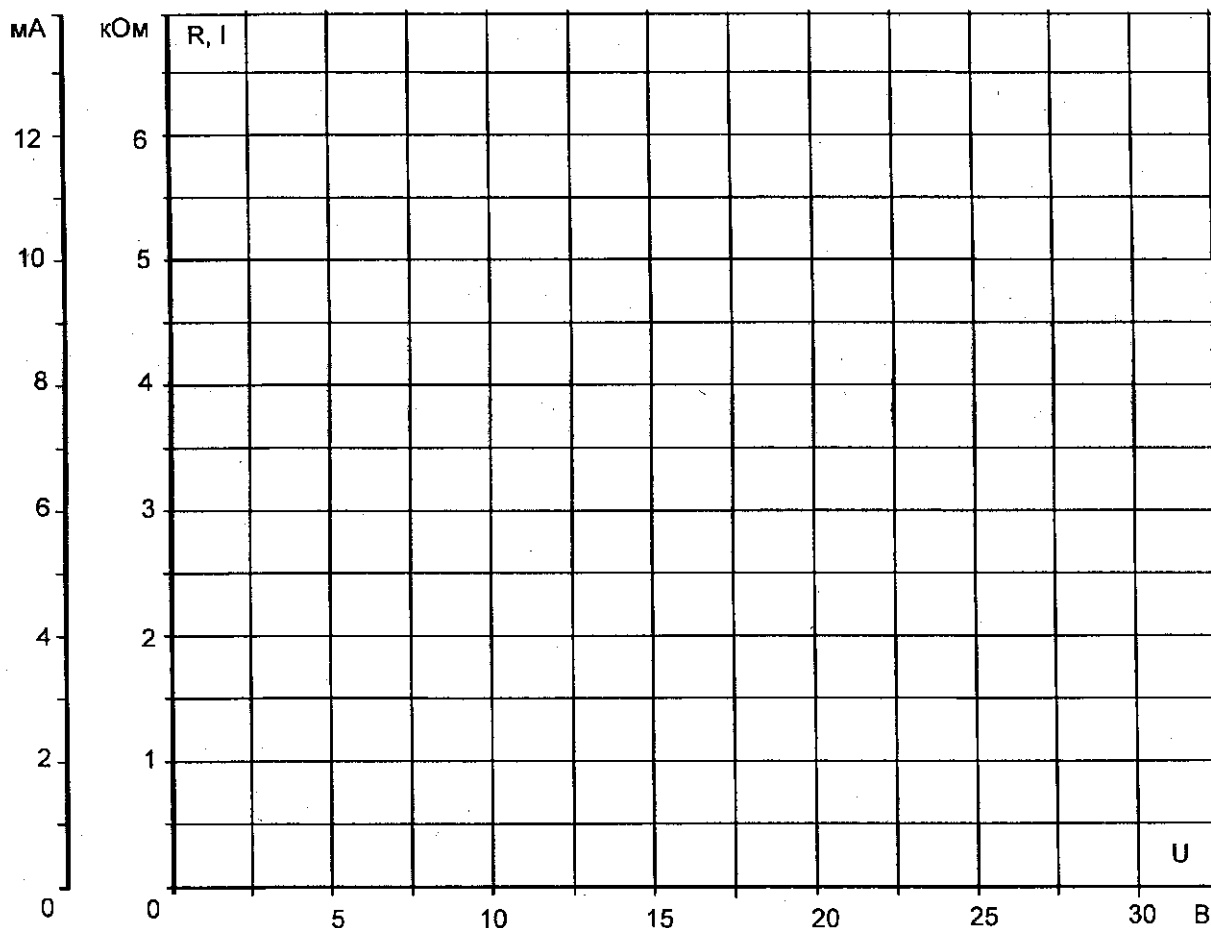


Рис.4.3.2

4.4. Терморезисторы с положительным температурным коэффициентом

4.4.1. Общие сведения

Сопротивление *терморезистора с положительным температурным коэффициентом (ПТК)* увеличивается при повышении температуры. Изменение сопротивления может быть вызвано изменением температуры окружающей среды или собственным нагревом/охлаждением резистора при различных электрических нагрузках.

4.4.2. Экспериментальная часть

Задание

Постройте статические характеристики $R = f(U)$ и $I = f(U)$ терморезистора с ПТК. Обеспечьте изменение его сопротивления саморазогревом при приложенном напряжении.

Замечание: Изменение температуры окружающей среды в данном эксперименте не рассматривается, потому что не всегда в стандартных электротехнических лабораториях имеется необходимое тепловое оборудование.

Тот факт, что поведение терморезистора с ПТК зависит не только от температуры, но также и от величины приложенного напряжения (незначительно), не учитывается в данном эксперименте.

Порядок выполнения эксперимента

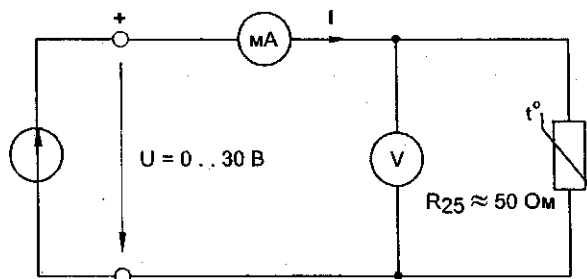


Рис. 4.4.1

- Соберите электрическую цепь согласно схеме (рис. 4.4.1). Измерьте токи нелинейного резистора при напряжениях, указанных в табл. 4.4.1. Измерения должны быть выполнены с интервалами 30 с, чтобы после каждого изменения напряжения достичь установившегося теплового состояния терморезистора.
- Рассчитайте сопротивления R и постройте по результатам измерений и расчётов кривые на рис. 4.4.2.

Таблица 4.4.1

U, В	2	5	10	15	20	25	30
I, мА							
R, Ом							

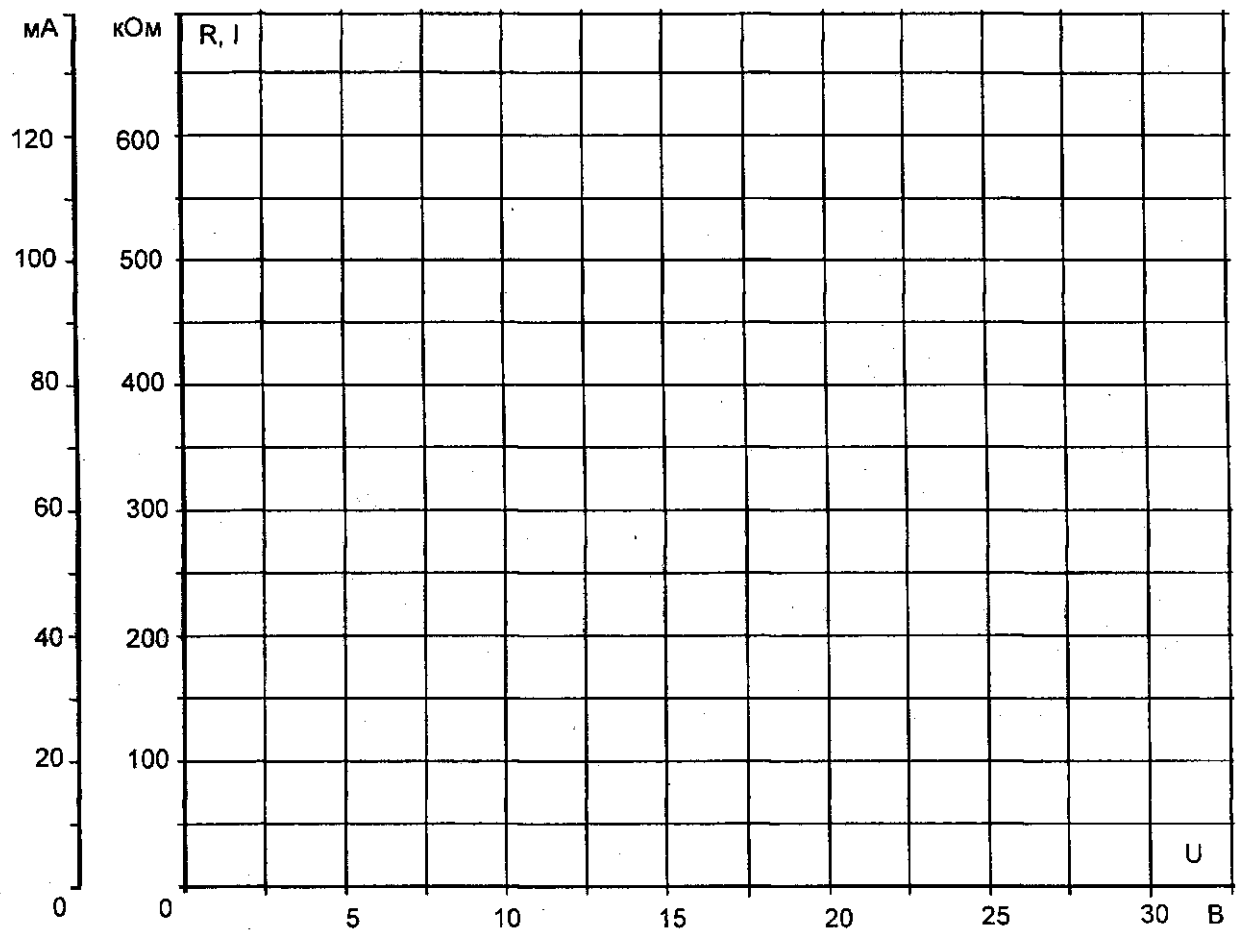


Рис.4.4.2

4.5. Резисторы с зависимостью от напряжения (варисторы)

4.5.1. Общие сведения

Сопротивление *варистора* уменьшается при увеличении приложенного напряжения. Они используются в электронных цепях для ограничения и стабилизации напряжения, гашения дуги и защиты от перенапряжений.

4.5.2. Экспериментальная часть

Задание

Постройте статические кривые $R = f(U)$ и $I = f(U)$ варистора.

Порядок выполнения эксперимента

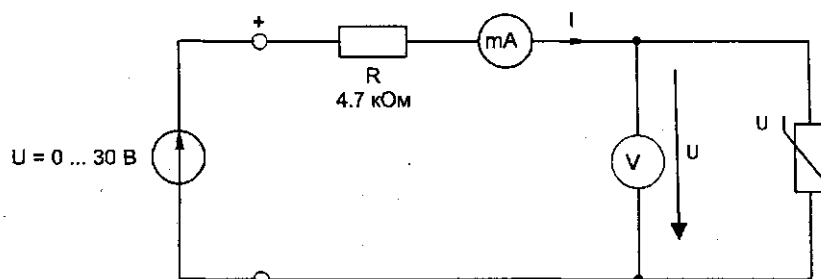


Рис. 4.5.1

- Соберите электрическую цепь согласно схеме (рис. 4.5.1) и измерьте токи в варисторе при напряжениях, указанных в табл. 4.5.1..

Таблица 4.5.1

U, В	6	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
I, mA										
R, kOhm										

- Величины сопротивлений, необходимые для построения кривой $R = f(U)$ рассчитайте с использованием значений тока и напряжения. Результаты внесите также в табл. 4.5.1.
- Постройте графики на рис. 4.5.2.

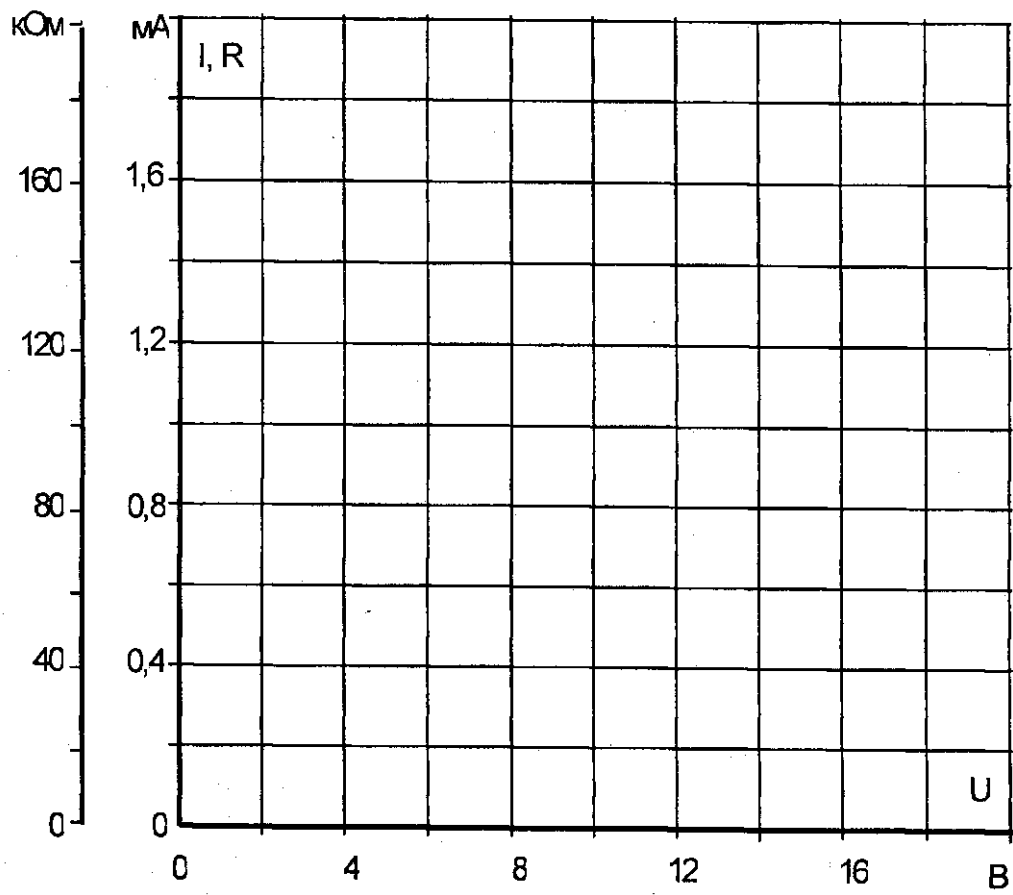


Рис. 4.5.2.

4.6. Резисторы с зависимостью от освещенности (фоторезисторы)

4.6.1. Общие сведения

Фоторезистор уменьшает свое сопротивление при усилении освещенности и увеличивает его при ослаблении освещенности.

Изменение сопротивления обусловлено внутренним фотоэлектрическим эффектом. При поглощении полупроводниковым материалом лучевой энергии образуются свободные носители заряда, что ведет к увеличению проводимости (и снижению сопротивления).

Фоторезисторы часто используются в электронных цепях, например, как датчики освещенности, или в устройствах пожарной сигнализации.

4.6.2. Экспериментальная часть

Задание

Измерьте омметром сопротивление фоторезистора при различных уровнях освещенности.

Порядок выполнения эксперимента

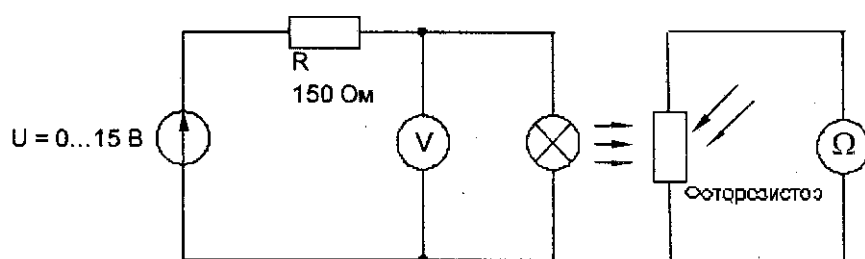


Рис. 4.6.1

- Соберите цепь согласно схеме (рис.4.6.1). К фоторезистору подключите мультиметр в режиме измерения сопротивления. Установите источник света на наборной панели, так чтобы лампа источника света располагалась напротив фоторезистора. Чтобы свести к минимуму влияние внешнего освещения, прикройте сверху источник света и фоторезистор.
- Измерьте сопротивление фоторезистора при значениях напряжения на лампе, указанных в табл. 4.6.1 и заполните таблицу 4.6.1.

Таблица 4.6.1

U, В	0	1	2	4	6	8	10
R, Ом							

- Сделайте выводы по результатам эксперимента.

4.7. Последовательное соединение резисторов

4.7.1. Общие сведения

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены последовательно (рис.4.7.1), по ним проходит один и тот же ток. Величина тока определяется приложенным напряжением U и суммарным сопротивлением $\sum R$:

$$I = U / \sum R$$

где $\sum R = R_1 + R_2 + R_3$.

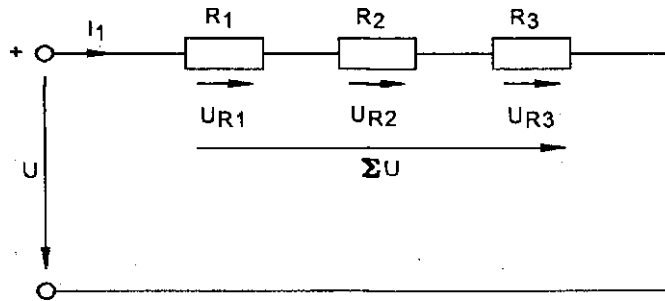


Рис. 4.7.1

На каждый отдельный резистор при этом приходится некоторое частичное напряжение. Сумма частичных напряжений в соответствии со вторым законом Кирхгофа равна полному приложенному напряжению:

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = U$$

4.7.2. Экспериментальная часть

Задание

Измеряя токи и напряжения, убедитесь, что ток одинаков в любой точке последовательной цепи и что сумма частичных напряжений равна напряжению, приложенному ко всей цепи.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 4.7.2), вставив перемычки между точками **A - B**, **C - D**, **E - F** и **G - H**. Поочередно удаляя перемычки и включая на их место амперметр (мультиметр), измерьте токи вдоль всей последовательной цепи.
- Затем измерьте частичные напряжения (падения напряжения) между точками **B - C**, **D - E**, **F - G**, а также полное напряжение цепи между точками **B - G**. Все измеренные величины занесите в табл. 4.7.1.
- Рассчитайте сопротивления всех участков цепи и полное сопротивление цепи по закону Ома $R = U/I$ и занесите результаты в табл.4.7.2:

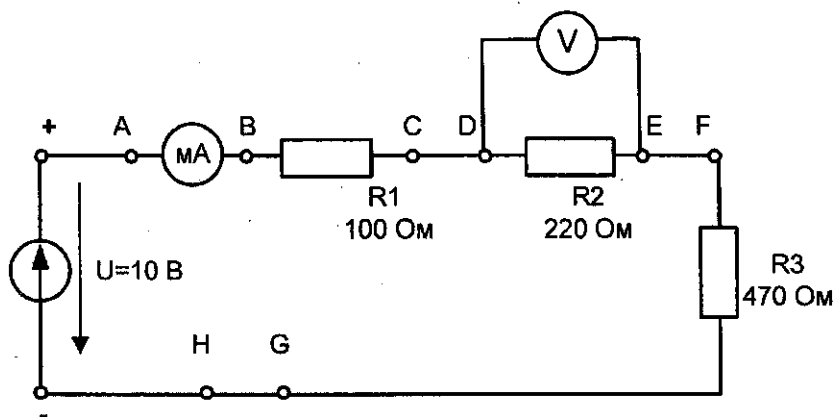


Рис. 4.7.2

Таблица 4.7.1

Ток, мА				Падения напряжения, В			Полное напряжение, В
Точки цепи				Точки цепи			Точки цепи
A-B	C-D	E-F	H-G	B-C	D-E	F-G	B-G

Таблица 4.7.2

R_{BC} , Ом	R_{DE} , Ом	R_{FG} , Ом	$R_{полн.}$, Ом

- Проверьте выражение: $R_{полн.} = R_{BC} + R_{DE} + R_{FG}$

Вопрос 1: Каковы падения напряжения по отношению к сопротивлениям соответствующих резисторов?

Ответ:.....

4.8. Параллельное соединение резисторов

4.8.1. Общие сведения

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены параллельно (рис.4.8.1), все они находятся под одинаковым напряжением:

$$U = U_{R1} = U_{R2} = U_{R3}$$

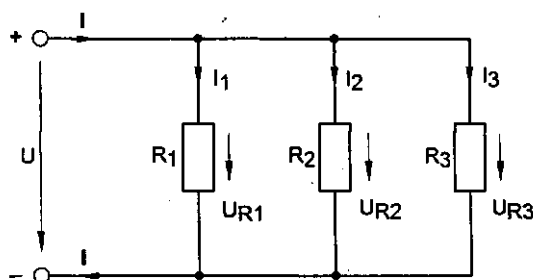


Рис. 4.8.1

В каждой ветви цепи протекает свой ток. Сумма токов всех ветвей в соответствии с первым законом Кирхгофа равна полному току:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Величина тока ветви зависит от приложенного напряжения и сопротивления данной ветви:

$$I_1 = U/R_1; \quad I_2 = U/R_2; \quad I_3 = U/R_3.$$

Ток в неразветвленной части цепи зависит от приложенного напряжения и эквивалентного сопротивления цепи

$$I = U/R_3.$$

Для вычисления эквивалентного сопротивления цепи служит формула:

$$R_3 = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3).$$

Для цепи с двумя параллельно соединенными резисторами:

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2).$$

4.8.2. Экспериментальная часть

Задание

Измеряя напряжения и токи, убедитесь, что напряжение, прикладываемое к каждому резистору, одинаково и что сумма токов ветвей равна полному току цепи.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 4.8.2), вставив перемычки между точками А - В, С - D, Е - F, G - H и L - К. Подайте постоянное напряжение 10 В на вход цепи

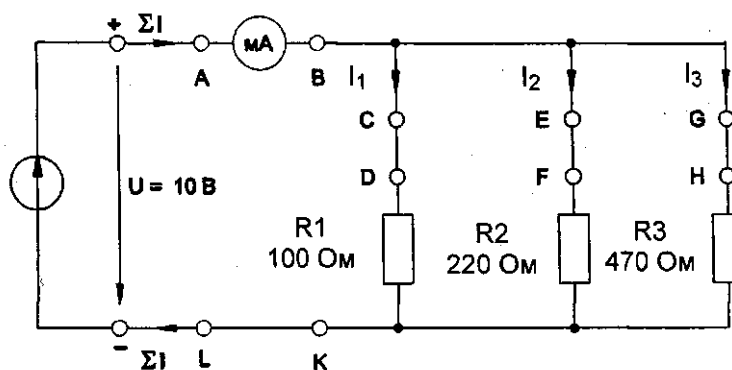


Рис. 4.8.2

- Поочередно удаляя перемычки и включая мультиметр в разрывы между точками А - В, С - D, Е - F, G - H и L - К, измерьте токи в соответствующих ветвях.
- Затем измерьте напряжения на резисторах R_1 , R_2 , и R_3 (между точками D - К, F - К, H - К).
- Занесите измеренные величины в табл. 4.8.1.

Таблица 4.8.1

Напряжения, В			Токи ветвей, мА			Полный ток цепи, мА	
Точки измерения			Точки измерения			Точки измерения	
D - К (U_{R1})	F - К (U_{R2})	H - К (U_{R3})	C - D	E - F	G - H	A - B	L - К

--	--	--	--	--	--	--	--

- Рассчитайте сопротивления всех участков цепи и полное сопротивление цепи по закону Ома $R = U / I$ и занесите результаты в табл.4.8.2:

Таблица 4.8.2

$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R\text{-полн.}, \text{ Ом}$

- Проверьте выражение: $1 / R_{\text{полн.}} = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$

Вопрос 1: Каково полное сопротивление цепи с параллельным соединением резисторов?

Ответ:

Вопрос 2: Каковы токи ветвей по отношению к сопротивлениям этих ветвей?

Ответ:

**Лабораторная работа № . Цепь со смешанным
последовательно-параллельным соединением резисторов**

4.9.1. Общие сведения

Смешанные соединения часто встречаются в электрических слабо- и силовых цепях. На рис. 4.9.1 показан пример такой цепи. Она состоит из последовательно (R_1 и R_2) и параллельно (R_3 и R_4) соединенных резисторов.

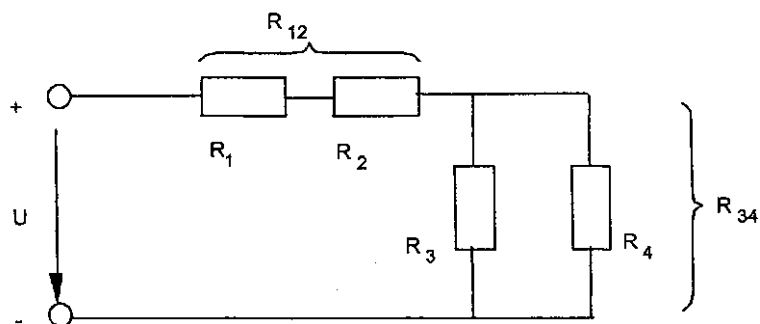


Рис. 4.9.1

Участки цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов относительно друг друга соединены последовательно. Чтобы вычислить полное сопротивление цепи, поочередно подсчитывают эквивалентные сопротивления участков цепи, получая в конце искомый результат. Так, для цепи (рис. 4.9.1) это делается следующим образом:

$$R_{12} = R_1 + R_2, \quad R_{34} = R_3 \cdot R_4 / (R_3 + R_4), \quad R_{\text{полн}} = R_{12} + R_{34}.$$

4.9.2. Экспериментальная часть

Задание

Измерьте токи, напряжения и сопротивления всех участков цепи при смешанном соединении. Проверьте результаты вычислениями.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 4.9.2), вставив перемычки между точками **A-B**, **C-D** и **E-F**. Подайте на вход цепи постоянное напряжение 15 В.

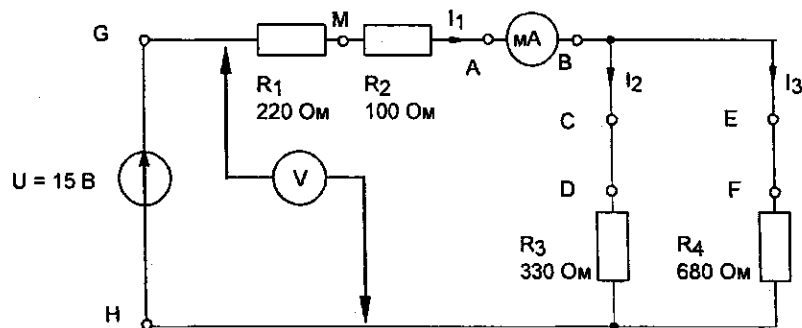


Рис. 4.9.2

- Измерьте токи во всех ветвях, включая миллиамперметр вместо перемычек **A-B**, **C-D** и **E-F**. Измерьте напряжения на всех элементах. Результаты измерений занесите в табл. 4.9.1.
- Определите сопротивление каждого участка цепи как отношение напряжения к току, и занесите результаты в строку «Измеренные» табл. 4.9.2.

Таблица 4.9.1

I_1 , мА	I_2 , мА	I_3 , мА	U_{GH} , В	U_{GM} , В	U_{MA} , В	U_{GA} , В	U_{BH} , В

Таблица 4.9.2

	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_{12}	R_{34} , Ом	$R_{\text{полн}}$, Ом
Измеренные							
Рассчитанные							
Погрешность							

- Рассчитайте сопротивления участков цепи и полное сопротивление по формулам:
 $R_{12} = R_1 + R_2$; $R_{34} = R_3 \cdot R_4 / (R_3 + R_4)$; $R_{\text{полн}} = R_{12} + R_{34}$.
 и занесите результаты расчета в строку «Рассчитанные» табл. 4.9.2.
- Сравните результаты расчета и измерений, вычислив расхождение результатов (погрешность) в процентах по формуле:

$$\frac{\text{Измеренная величина} - \text{Расчетная величина}}{\text{Расчетная величина}} \times 100\%$$

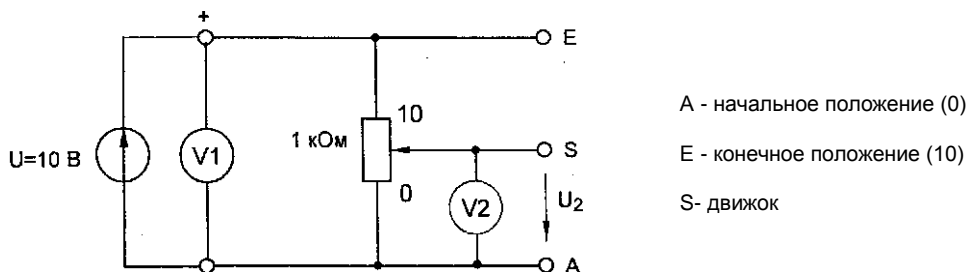


Рис. 4.10.3

- Перенесите значения напряжения U_2 на график (рис. 4.10.4) для построения кривой $U_2 = f(\alpha)$.

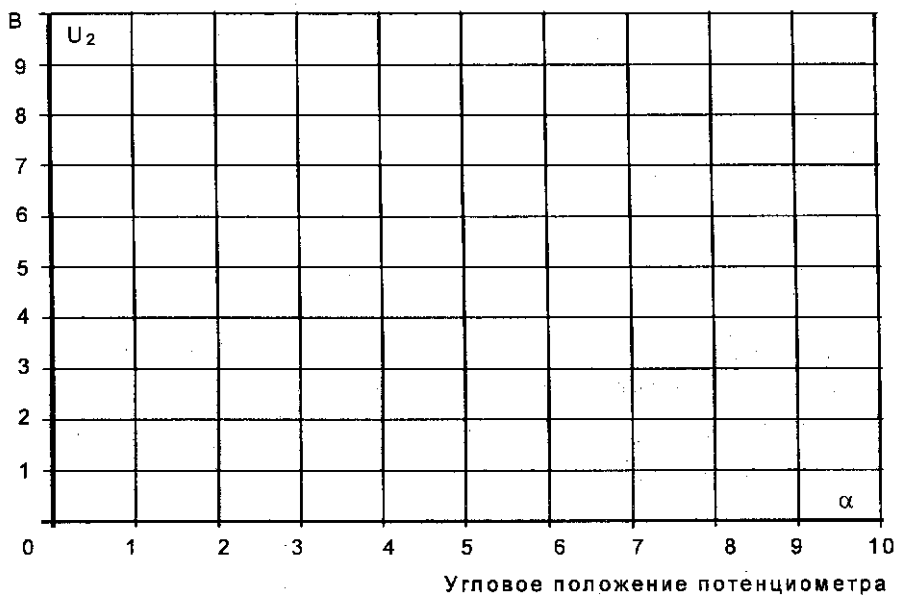


Рис. 4.10.4

Вопрос 1: Какую форму имеет кривая на рис. 5.10.4?

Ответ:

Вопрос 2: Какое напряжение получается при суммировании U_1 и U_2 ?

Ответ:

Вопрос 3: Какова величина сопротивления, с которого снимается напряжение U_2 , при положении 3 потенциометра?

Ответ:

4.11. Делитель напряжения под нагрузкой

4.11.1. Общие сведения

Напряжение U_2 , получаемое в результате деления, обычно подается на нагрузку R_3 (рис. 4.11.1). Но из-за параллельного соединения между собой резисторов R_2 и R_3 соотношение напряжений меняется по отношению к ситуации, имевшей место при работе делителя вхолостую.

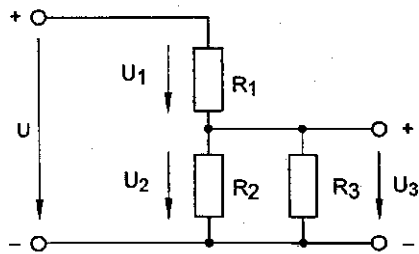


Рис.

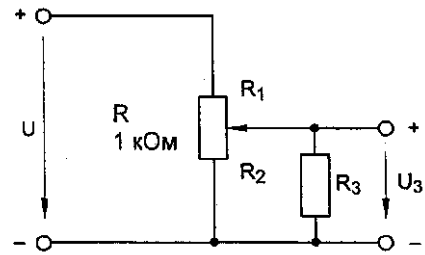


Рис. 4.11.2

Напряжение на выходе делителя напряжения под нагрузкой можно рассчитать, определив эквивалентное сопротивление R_{23} параллельно соединенных резисторов R_2 и R_3 :

$$R_{23} = R_2 \cdot R_3 / (R_2 + R_3);$$

Тогда

$$U_3 = U \cdot R_{23} / (R_1 + R_{23})$$

Если два постоянных резистора R_1 и R_2 заменить потенциометром (рис. 4.11.2), становится возможным изменять напряжение U_3 от 0 до U в зависимости от положения движка (угла поворота) потенциометра.

4.11.2. Экспериментальная часть

Задание

Соберите делитель напряжения на основе потенциометра (рис. 4.11.3) и постройте характеристики $U_3 = f(\alpha)$ при различных сопротивлениях нагрузки R_3

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь делителя в соответствии со схемой (рис. 4.11.3) и подайте на его вход постоянное напряжение 10 В.
- Измерьте напряжение U_3 при каждом из положений движка потенциометра, указанных в табл. 5.11.1 соответственно углу поворота α . Измерения должны быть проведены при различных нагрузках ($R_3 = 330 \text{ Ом}$, 680 Ом и 1 кОм).

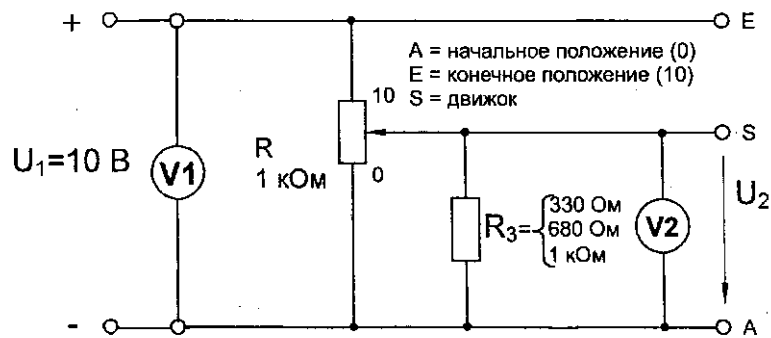


Рис.

Внесите все измеренные величины в табл.4.11.1 и перенесите их также на график (рис. 4.11.4) для построения кривой $U_3 = f(\alpha)$.

Таблица 4.11.1

	Положение потенциометра (угол поворота α)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$U_2, \text{В}; R_3 = 1 \text{ кОм}$												
$U_2, \text{В}; R_3 = 680 \text{ Ом}$												
$U_2, \text{В}; R_3 = 330 \text{ Ом}$												

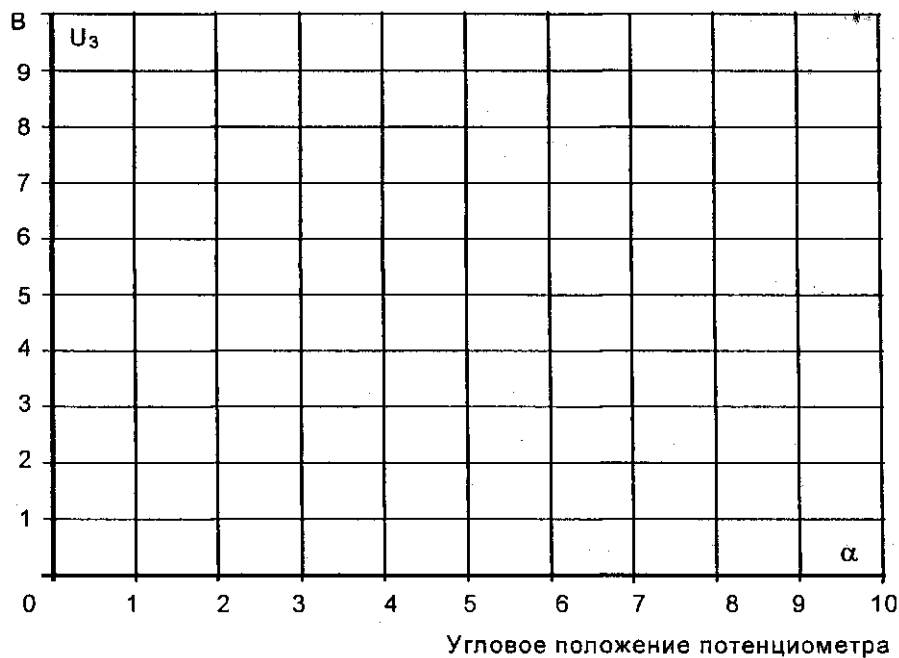


Рис. 4.11.4

Вопрос: Какова форма кривых?

Ответ:

5. Эквивалентный источник напряжения (ЭДС)

5.1. Общие сведения

Поскольку реальные источники ЭДС или напряжения, применяемые в электротехнике и электронике, часто имеют довольно сложные схемы, ниже рассмотрено их эквивалентное представление (рис.5.1), пригодное для выполнения любых расчетов цепи.

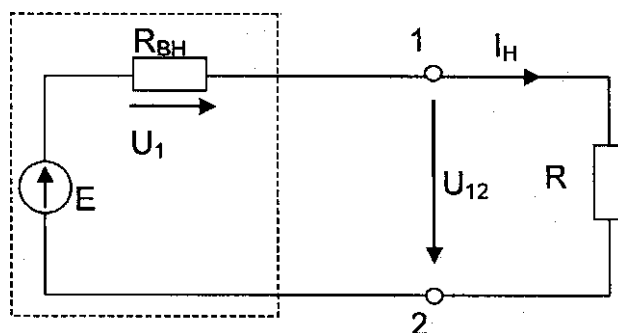


Рис. 5.1

Когда эквивалентный источник ненагружен, т.е. ток в нем отсутствует (режим холостого хода), имеем для выходного напряжения U_{12}

$$U_{12} = E,$$

где E - ЭДС источника.

Когда эквивалентный источник напряжения нагружен, выходное напряжение определяется следующим уравнением равновесия напряжения по 2-му закону Кирхгофа:

$$U_{12} - E - I_n R_{вн} = 0,$$

где $I_n = E / (R_{вн} + R_n)$ - ток нагрузки,

$R_{вн}$ - *внутреннее сопротивление* эквивалентного источника.

R_n - сопротивление нагрузки.

Если выходные зажимы 1 и 2 источника замкнуты друг на друга (режим короткого замыкания), имеем

$$U_{12} = 0.$$

Возникающий при этом ток короткого замыкания I_k ограничен внутренним сопротивлением источника

$$I_k = E / R_{вн}$$

Параметры E , $R_{вн}$ и I_k эквивалентного источника напряжения могут быть представлены на графике (рис.5.2) в виде характеристики $I_n = f(U)$. Здесь же показана характеристика нагрузки: $U = R_n I_n$.

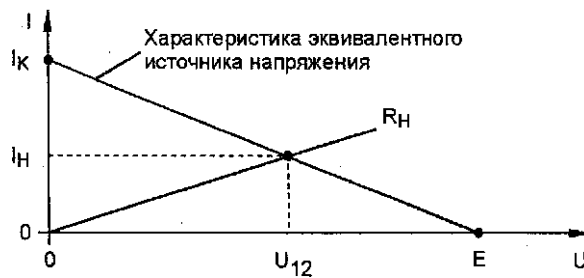


Рис. 5.2

5.2. Экспериментальная часть

Задание

Постройте характеристику эквивалентного источника напряжения и характеристику нагрузки для сопротивлений $R_n = 100 \text{ Ом}$, 33 Ом и 10 Ом . Для этого измерьте величины ЭДС E , тока короткого замыкания I_k , тока нагрузки I_n и выходного напряжения U_{12} источника.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис.5.3).

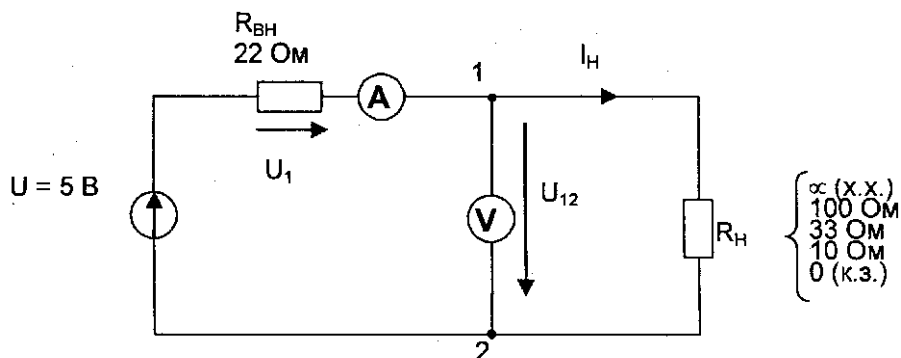


Рис. 5.3

- Поскольку используемый источник питания стабилизирован (что означает равенство нулю его собственного внутреннего сопротивления), для достижения цели данного эксперимента он должен быть дополнен сопротивлением $R_{вн} = 22 \text{ Ом}$.
- Для определения ЭДС источника E необходимо измерить напряжение на разомкнутых выводах 1 и 2 (режим холостого хода, $R_n = \infty$, $U_{12} = E$).
- Для измерения тока короткого замыкания I_k между выводами 1 и 2 должна быть включена перемычка (режим короткого замыкания, $R_n = 0$, $I_n = I_k$).
- Результаты измерений занесите в табл. 5.1 и перенесите их также на график (рис. 5.4) для построения требуемых характеристик.

Таблица 5.1

$R_{\text{н}}, \text{Ом}$	∞ (х.х.)	100	33	10	0 (к.з.)
$U_{12}, \text{В}$	$E =$				0
$I_{\text{н}}, \text{мА}$	0				$I_{\text{к}} = \dots\dots\dots$

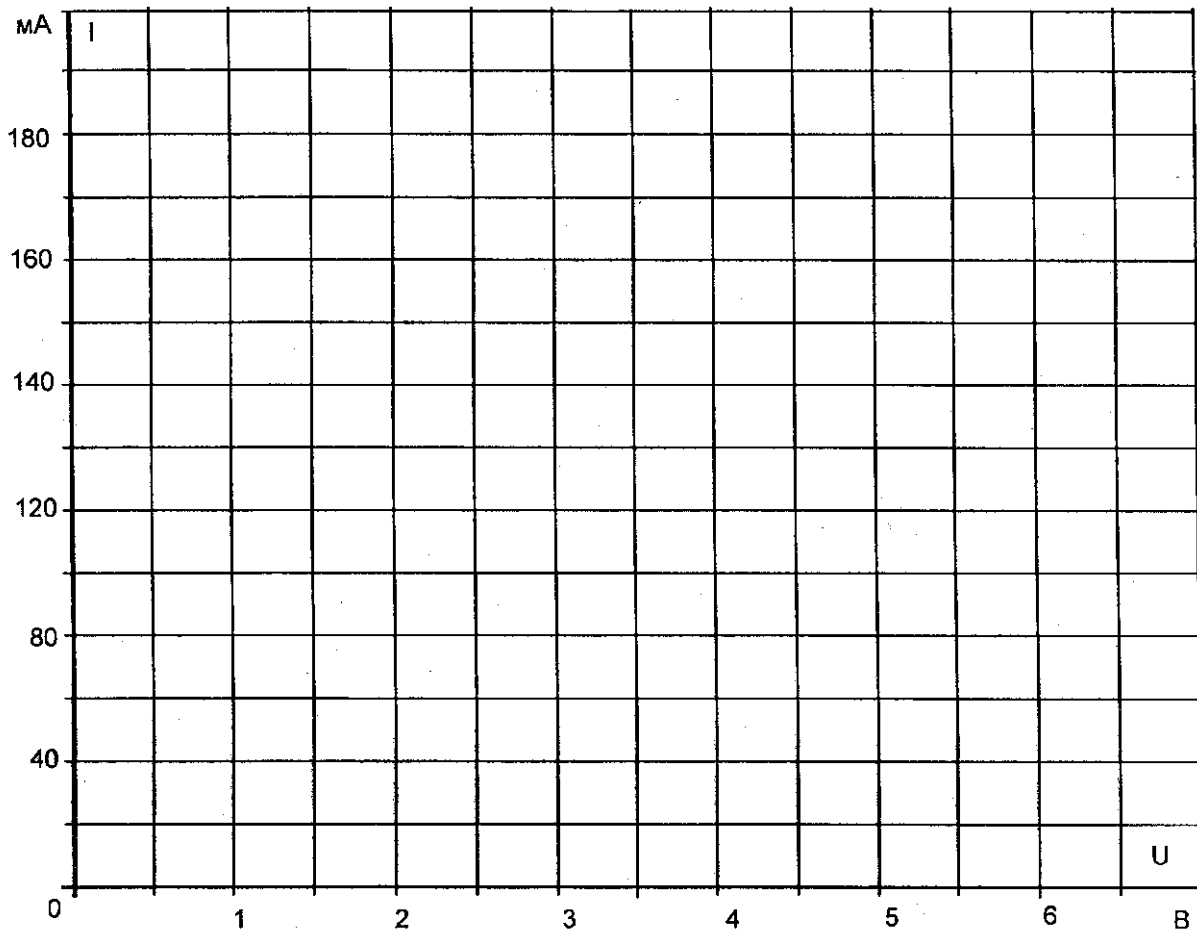


Рис. 5.4

Вопрос 1: Как велико падение напряжения на $R_{\text{вн}}$, когда эквивалентный источник напряжения нагружен сопротивлением 100 Ом?

Ответ:

Вопрос 2: Как влияет уменьшение внутреннего сопротивления источника $R_{\text{вн}}$ (например, до 5 Ом) на вид его характеристики $I_{\text{н}} = f(U)$?

Ответ:

6. Последовательное соединение источников напряжения (ЭДС)

6.1. Общие сведения

Последовательное соединение (рис. 6.1) источников напряжения (ЭДС) дает большее по величине общее напряжение (ЭДС):

$$\sum E = E_1 + E_2.$$

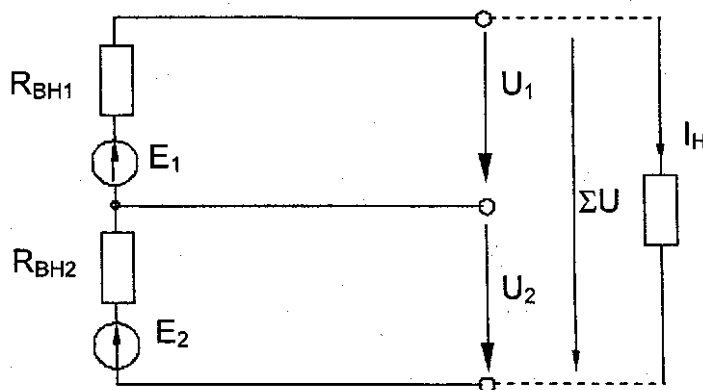


Рис. 6.1

Необходимым условием является, чтобы полюса источников были соединены корректно - положительный полюс одного источника с отрицательным полюсом следующего *{согласное включение}*.

Если полюса источников соединены противоположным образом *{встречное включение}*, общее напряжение цепи определяется как разность напряжений (ЭДС) источников:

$$\sum E = E_1 - E_2$$

Внутренние сопротивления последовательно соединенных источников суммируются в общее внутреннее сопротивление

$$\sum R_{вн} = R_{вн1} + R_{вн2}$$

Когда цепь с последовательно соединенными источниками напряжения нагружена на резистор **Rн**, возникает ток, зависящий от общего напряжения, сопротивления нагрузки и суммы внутренних сопротивлений отдельных источников:

$$I_n = \sum E / (R_n + R_{вн1} + R_{вн2}).$$

6.2. Экспериментальная часть

Задание

Соедините два источника напряжения последовательно сначала **согласно**, а затем **встречно**. Измерьте общее напряжение $\sum E$ в обоих случаях.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь с последовательным соединением источников напряжения согласно схеме (рис. 6.2), используя в качестве одного из источников нерегулируемый источник 15 В, в качестве другого - регулируемый, установив на нем напряжение 5... 10 В.

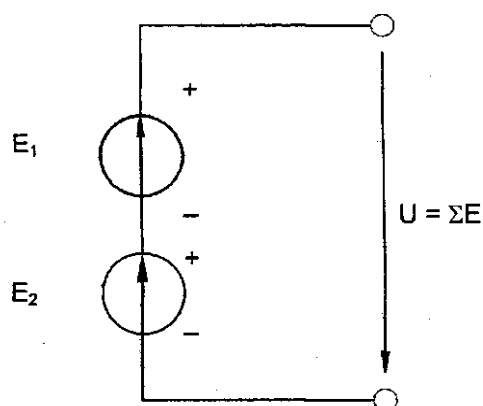


Рис. 6.2

- Измерьте и запишите ЭДС каждого источника и общее напряжение

$$E_1 = \quad \text{В}; \quad E_2 = \quad \text{В}; \quad U_{\text{согл}} = \quad \text{В}.$$

- Затем поменяйте полярность одного из источников (поменяв местами его полюса) и снова измерьте напряжение.

$$U_{\text{встр}} = \quad \text{В}.$$

- Убедитесь, что

$$U_{\text{согл}} = E_1 + E_2; \quad U_{\text{встр}} = E_1 - E_2.$$

7. Параллельное соединение источников напряжения (ЭДС)

7.1. Общие сведения

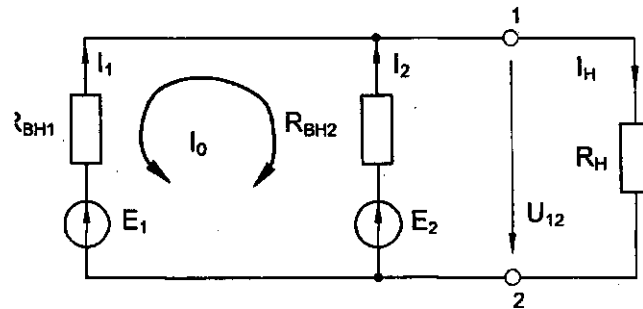


Рис. 7.1

Параллельным соединением (рис. 7.1) нескольких источников напряжения (ЭДС) одинаковой величины обеспечивается более высокий ток нагрузки I_n .

Соединять нужно одноименные полюса источников. Если ЭДС источников различны, то в них возникает уравнивающий ток I_0 . Он зависит от разности напряжений и соответствующих внутренних сопротивлений:

$$I_0 = \frac{E_1 - E_2}{R_{вн1} + R_{вн2}}$$

Ток общей нагрузки I_n зависит от сопротивления нагрузки R_n , эквивалентной ЭДС и эквивалентного внутреннего сопротивления, также как и в одиночном источнике:

$$I_n = \frac{E_{\text{Э}}}{R_{\text{Эвн}} + R_n}$$

При параллельном соединении двух источников эквивалентное внутреннее сопротивление и ЭДС равны:

$$R_{\text{Эвн}} = \frac{R_{вн1} \cdot R_{вн2}}{R_{вн1} + R_{вн2}} ;$$

$$E_{\text{Э}} = \frac{E_1 G_{вн1} + E_2 G_{вн2}}{G_{вн1} + G_{вн2}}$$

где $G_{вн} = 1 / R_{вн1}$, $G_{вн2} = 1 / R_{вн2}$ - внутренние проводимости.

7.2. Экспериментальная часть

Задание

Соедините два источника напряжения параллельно и выполните следующие измерения при одинаковых и неодинаковых ЭДС источников, при работе на холостом ходу и под нагрузкой.

- **Изменяемые величины при холостом ходу:** уравнивающий ток I_0 , и выходное напряжение U_{12} (эквивалентная ЭДС).
 - **Изменяемые величины при работе под нагрузкой:** токи ветвей с источниками I_1 и I_2 , ток нагрузки I_n , и выходное напряжение U_{12} .
- Проверьте величину всех измеренных параметров расчетом.

Порядок выполнения эксперимента

Измерьте поточнее значения ЭДС нерегулируемых источников напряжения 15 В и запишите их значения в табл. 7.1.

Соберите цепь с параллельным соединением источников напряжения согласно схеме (рис. 7.2), используя в качестве E_1 и E_2 нерегулируемые источники напряжения. Между точками А-В, С-Д, Е-Ф включите перемычки для поочерёдного подключения амперметра.

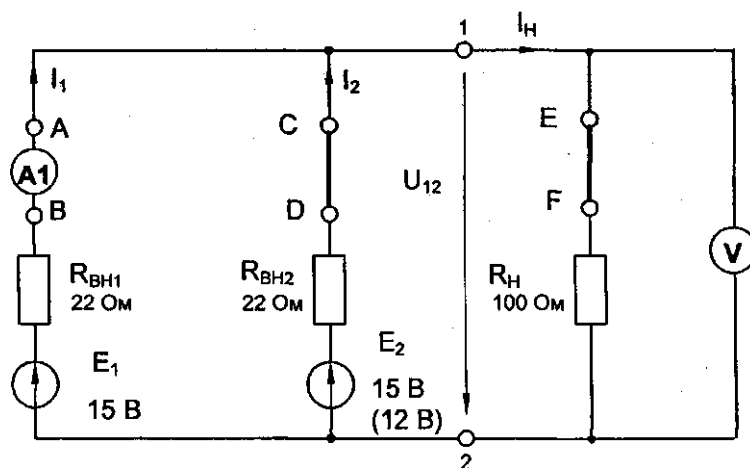


Рис. 7.2

- Сделайте все измерения при примерно одинаковых источниках и запишите результаты в табл. 7.1.
- Замените источник напряжения E_2 на регулируемый источник, установив на нём предварительно напряжение примерно 12 В, выполните измерения при неодинаковых ЭДС и запишите результаты в табл. 7.1.
- По известным параметрам: E_1 , E_2 , $R_{вн1}$, $R_{вн2}$, R_n рассчитайте эквивалентную ЭДС, уравнительный ток I_0 , ток I_n и напряжение U_{12} на нагрузке, токи источников I_1 и I_2 . Сравните результаты расчета и эксперимента.

Таблица 7.1

Опыт	Параметр режима	Измерено	Рассчитано	Погрешность, %
Одинаковые ЭДС (примерно) $E_1 = \dots\dots\dots \dots В, E_2 = \dots\dots\dots \dots В$				
Холостой ход	$E_Э, В$ $I_0, мА$			
Нагрузка $R_H=100 \text{ Ом}$	$U_{12}, В$ $I_H, мА$ $I_1, мА$ $I_2, мА$			
Различные ЭДС $E_1 = \dots\dots\dots \dots В, E_2 = \dots\dots\dots \dots В$				
Холостой ход	$E_Э, В$ $I_0, мА$			
Нагрузка $R_H=100 \text{ Ом}$	$U_{12}, В$ $I_H, мА$ $I_1, мА$ $I_2, мА$			

ПРИМЕЧАНИЕ: Расчётные токи I_1 и I_2 , можно определить из уравнений 2-го закона Кирхгофа:

$$R_H I_1 + U_{12} = E_1,$$

$$R_H I_2 + U_{12} = E_2.$$

к часть Задание

Определите КПД линии электропередачи энергии от генератора к потребителю (рис. 9.1) путем измерения тока и напряжения.

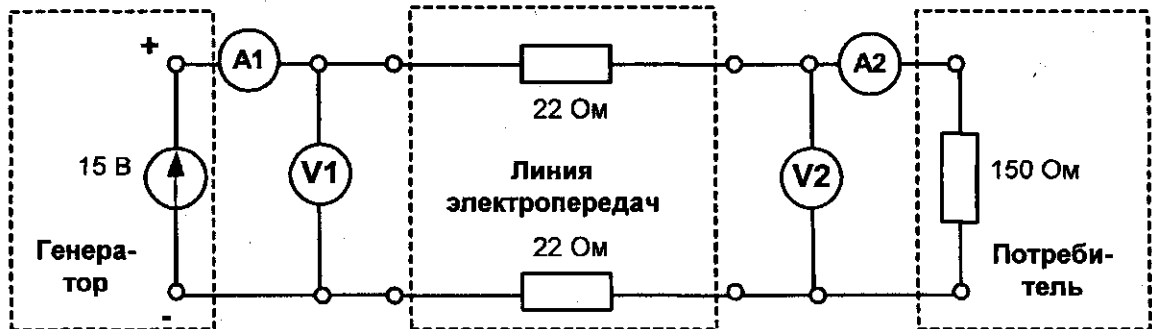


Рис. 9.1

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 9.1). Два резистора по 22 Ом имитируют потери в прямом и обратном проводах линии электропередачи.

Измерьте ток и напряжение в начале и в конце линии, найдите входную и выходную мощности, определите КПД линии. Результаты сведите в табл. 9.1

Таблица 9.1

$I_{вх}, \text{мА}$	$U_{вх}, \text{В}$	$P_{вх}, \text{Вт}$	$I_{вых}, \text{мА}$	$U_{внх}, \text{В}$	$P_{вых}, \text{Вт}$	Л

10. Согласование источника и нагрузки по напряжению, току и мощности

10.1. Общие сведения

Выходные величины напряжения, тока и мощности источника напряжения зависят от его ЭДС и внутреннего сопротивления, так же как от подключенной к нему нагрузки.

Режим называется согласованным, если сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника. При этом в нагрузке потребляется максимальная мощность, а КПД источника энергии составляет 0,5.

10.2. Экспериментальная часть

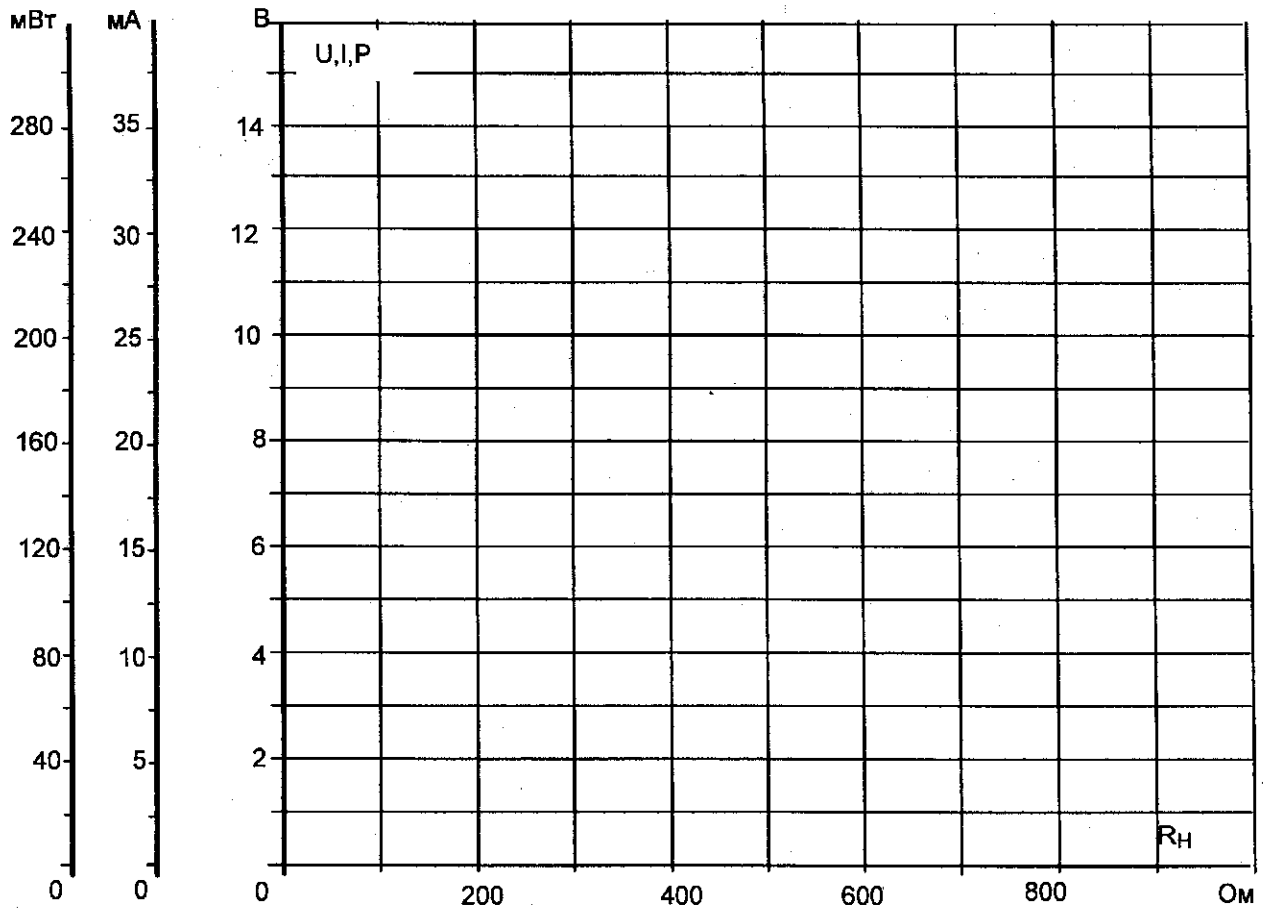


Рис. 10.2

Вопрос: Когда имеют место согласование по току, согласование по напряжению и согласование по мощности?

Ответ:

11. Процессы заряда и разряда конденсатора

11.1 Общие сведения

Кроме резисторов, в электрических и электронных цепях наиболее часто применяются **конденсаторы**. Их применения и конструкции многообразны. Основные параметры конденсаторов следующие:

Емкость С, характеризующая способность конденсатора накапливать заряды на своих обкладках (электродах). Величина ёмкости пропорциональна площади обкладок конденсатора, диэлектрической постоянной изоляционного материала и обратно пропорциональна расстоянию между обкладками.

Номинальное напряжение - наибольшее допустимое напряжение, которое может быть приложено к обкладкам конденсатора в течение продолжительного времени.

Сопротивление изоляции между обкладками конденсатора. Оно должно быть как можно большим (> 1 ГОм), так чтобы ток утечки был как можно меньше.

В процессе **заряда** постоянным напряжением или **разряда** конденсатора ток в нем и напряжение между его обкладками изменяются по экспоненциальному закону.

- *При заряде конденсатора:*

$$i_c = (U/R)e^{-t/\tau};$$

$$u_c = U(1 - e^{-t/\tau}).$$

Время τ , за которое зарядный ток снижается в e раз (2,718), называется *постоянной времени*. Таким образом, через отрезок времени τ ток разряда составляет примерно 0,37 от первоначального значения U/R , через 2τ - 0,135 U/R , через 3τ - 0,05 U/R и т.д. Соответственно, напряжение на конденсаторе возрастает за время τ до 0,63 U , за 2τ - до 0,865 U , за 3τ - до 0,95 U/R и т.д. За время $(3..4)\tau$ процесс почти полностью затухает.

Постоянная времени цепи, содержащей последовательно соединенные R и C , равна

$$\tau = R \cdot C$$

- При разряде конденсатора

$$i_c = -(U/R) \cdot e^{-t/\tau};$$

$$u_c = U e^{-t/\tau},$$

где также $\tau = R \cdot C$.

В данной работе заряд - разряд конденсатора осуществляется прямоугольными импульсами напряжения, создаваемыми генератором напряжений специальной формы. Поскольку процесс заряда - разряда периодически повторяется с частотой генератора, мы наблюдаем его на экране электронного осциллографа как стационарный процесс.

11.2. Экспериментальная часть

Задание

Получите на экране электронного осциллографа кривые изменения напряжения и тока заряда - разряда конденсатора и определите по кривым следующие параметры:

- постоянную времени цепи τ ,
- емкость C ,
- мгновенное значение напряжения u_c на обкладках конденсатора спустя 0,5 мс после начала разряда.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 11.1) и подсоедините к ее входным зажимам регулируемый источник напряжений специальной формы, настроенный на прямоугольные импульсы положительной полярности с параметрами: $U_m = 10$ В, $f = 200...250$ Гц. Напряжение с конденсатора подается на первый канал осциллографа, а сигнал, пропорциональный току снимается с сопротивления шунта $R_{ш}$ и подается на второй канал осциллографа. Сигнал второго канала нужно инвертировать, тогда ток заряда будет положительным (отклонение луча вверх), а ток разряда - отрицательным (отклонение луча вниз).

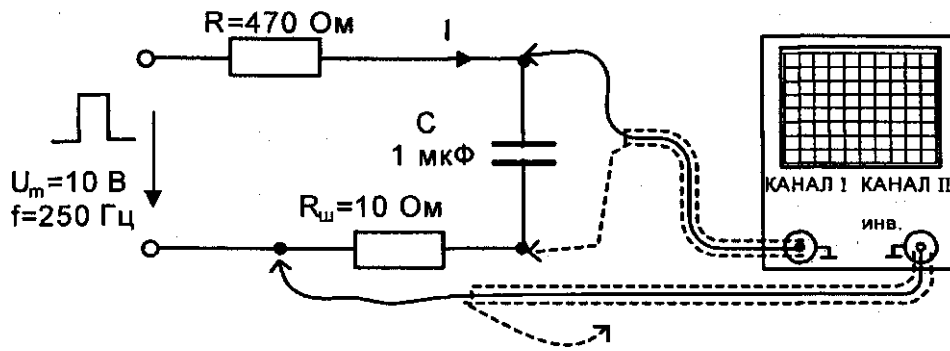
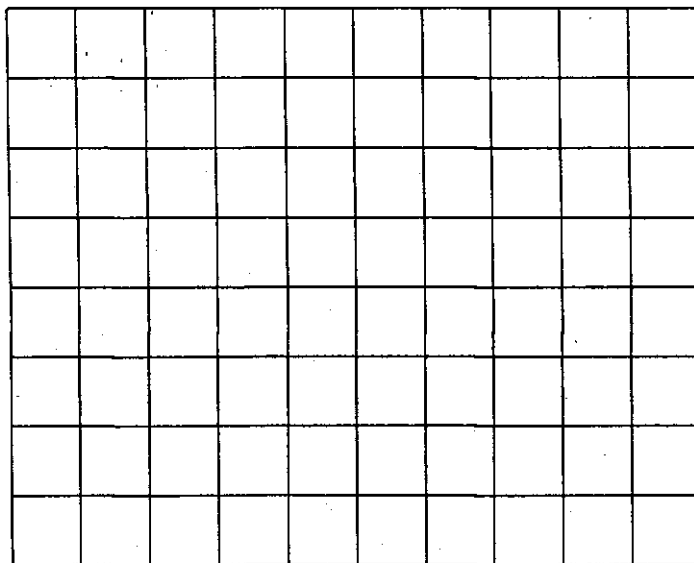


Рис. 11.1

- Настройте осциллограф, установите стандартные масштабы по первому и второму каналам и перерисуйте кривые на рис.11.2. Не забудьте указать масштабы. Масштаб тока определяется как масштаб напряжения, делённый на сопротивление шунта.
- Определите указанные в задании величины, используя экспериментальные кривые.
- Экспериментальные данные проверьте вычислением.



Масштабы

По каналу II:

$m_U = \dots \dots \dots \text{В/дел.}$

По каналу I:

$m_I = m_U / R_{ш} = \dots \dots \dots \text{м А/дел.}$

По времени:

$m_t = \dots \dots \dots \text{мС/дел.}$

Рис.11.2

Постоянная времени τ цепи с конденсатором

Эксперимент:

Расчет:

Ёмкость конденсатора C

Расчет по постоянной времени и сопротивлению цепи:

Номинальное значение:

Мгновенное значение напряжения u_c спустя 0,2 мс после включения

Эксперимент Расчет:

12. Процессы включения под напряжение и короткого замыкания катушки индуктивности

12.1 Общие сведения

Катушки индуктивности выполняются медным, как правило, проводом, причем число витков и размеры проводника меняются в очень широких пределах.

Основным параметром катушки является **индуктивность** L , которая характеризует величину противоЭДС, наводимой (индуктируемой) в катушке при заданном изменении тока в ней. Индуктивность пропорциональна числу витков катушки в квадрате и обратно пропорциональна магнитному сопротивлению пути, по которому замыкается магнитный поток, создаваемый током катушки.

После подключения к цепи с катушкой постоянного напряжения ток в ней нарастает по экспоненциальному закону. Так, за время, равное значению постоянной времени τ цепи, ток увеличится до 63% своего установившегося значения.

Постоянная времени τ , измеряемая в секундах, зависит от индуктивности катушки L , измеряемой в Генри (Гн), и эквивалентного омического сопротивления цепи R в Омах:

$$\tau = L / R.$$

После приложения постоянного напряжения к цепи с катушкой спустя время x падение напряжения на катушке уменьшается до 37 % его максимальной величины и после примерно $3..4\tau$ достигает своего наименьшего значения, зависящего от омического сопротивления катушки.

При коротком замыкании катушки в ней наводится (индуктируется) ЭДС самоиндукции, которая имеет полярность, противоположную внешнему напряжению и почти полностью затухает за время, равное $(3... 4)\tau$.

Мгновенные значения тока i_L и падения напряжения u_L катушки при включении и при коротком замыкании катушки можно рассчитать, используя следующие формулы:

Ток включения катушки под напряжение U :

$$i_L = U / R (1 - e^{-t/\tau}).$$

Падение напряжения на катушке при ее включении под напряжение U :

$$u_L = U \cdot e^{-t/\tau}.$$

Ток короткого замыкания катушки:

$$i_L = U / R \cdot e^{-t/\tau}.$$

Падение напряжения на катушке при ее коротком замыкании:

$$u_L = -U \cdot e^{-t/\tau}.$$

12.2. Экспериментальная часть

Задание

Выведите на дисплей виртуального осциллографа кривые тока и напряжения при подключении катушки индуктивности к постоянному напряжению и ее коротком замыкании, определите следующие величины:

- постоянную времени τ цепи с катушкой,
- индуктивность катушки L ,
- мгновенное значение тока катушки i_L спустя 0,02 мс после включения под напряжение.

Экспериментальная часть

- Измерьте омметром и запишите сопротивление катушки индуктивности 100 мГн R_K .
- Соберите цепь согласно схеме (рис. 12.1) и подсоедините к ее входным зажимам регулируемый источник напряжений специальной формы, настроенный на прямоугольные импульсы положительной полярности с параметрами: $U_m = 10$ В, $f = 200 \dots 250$ Гц. Напряжение с катушки подаётся на первый канал осциллографа, а сигнал, пропорциональный току снимается с сопротивления $R = 100$ Ом. и подаётся на второй канал осциллографа. Сигнал второго канала нужно инвертировать, тогда сигнал тока на экране осциллографа будет положительным (отклонение луча вверх).

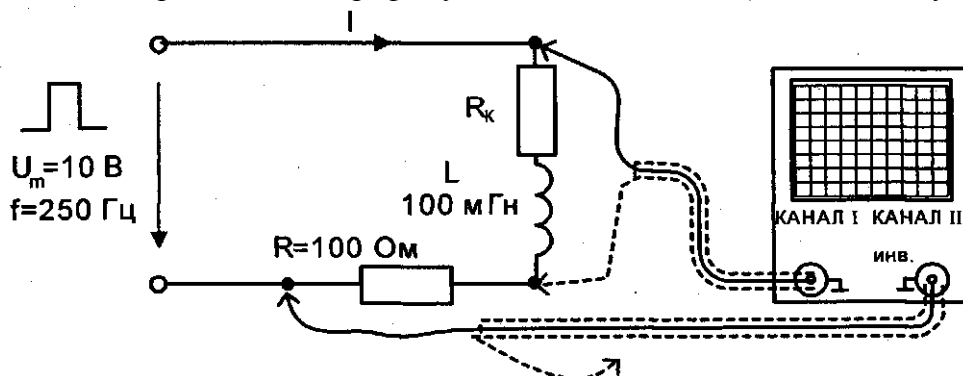


Рис. 12.1

- Настройте осциллограф, установите стандартные масштабы по первому и второму каналам и перерисуйте кривые на рис. 12.2. Не забудьте указать масштабы. Масштаб тока определяется как масштаб напряжения, делённый на сопротивление шунта.

Примечание: Кривая напряжения на катушке не точно соответствует приведённому выше выражению, так как катушка обладает значительным активным сопротивлением.

- Определите указанные в задании величины, используя экспериментальные кривые.
- Экспериментальные данные проверьте вычислением. При расчёте не забудьте учесть сопротивление катушки R_K .

Масштабы

По каналу II:
 m_UВ/дел.

По каналу I:
 $m_I = m_U / R_{ш} =$ м А/дел.

По времени:
 $m_t =$ мС/дел.

Сопротивление катушки $R_K =$ Ом.

Постоянная времени τ цепи с катушкой

Эксперимент:

Расчет:

Индуктивность катушки L

Расчет по постоянной времени и сопротивлению цепи:

Номинальное значение:

Мгновенное значение тока катушки i_L спустя 0,02 мс после включения под напряжение

Эксперимент:

Расчет:

Литература

1. Теоретические основы электротехники, Т 1,2. Учебник для вузов / К.С. Демирчан, Л.Р.Нейман, Н.В. Коровин, В.Л.Чечурин. - СПб: Питер, 2004
2. Основы теории цепей. Учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. -М.: Энергоатом издат, 1989.
3. Атабеков Г.И. Основы теории цепей, Учебник для вузов. М.: Энергия, 1969.
1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. - М.: Гардарики, 2000.
4. Герасимов В.Г., Кузнецов Э.В., Николаева О.В. и др. Электротехника и электроника: В 3 кн. Учебник для студентов неэлектротехнических специальностей вузов. Кн 1. Электрические и магнитные цепи. — М.: Энергоатомиздат, 1996.
5. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н. Электротехника / Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Матерников В.Е. Электротехника. Учебное пособие для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: [Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей вузов]: В 2 кн. - М.: Энергоатомиздат, 1995.