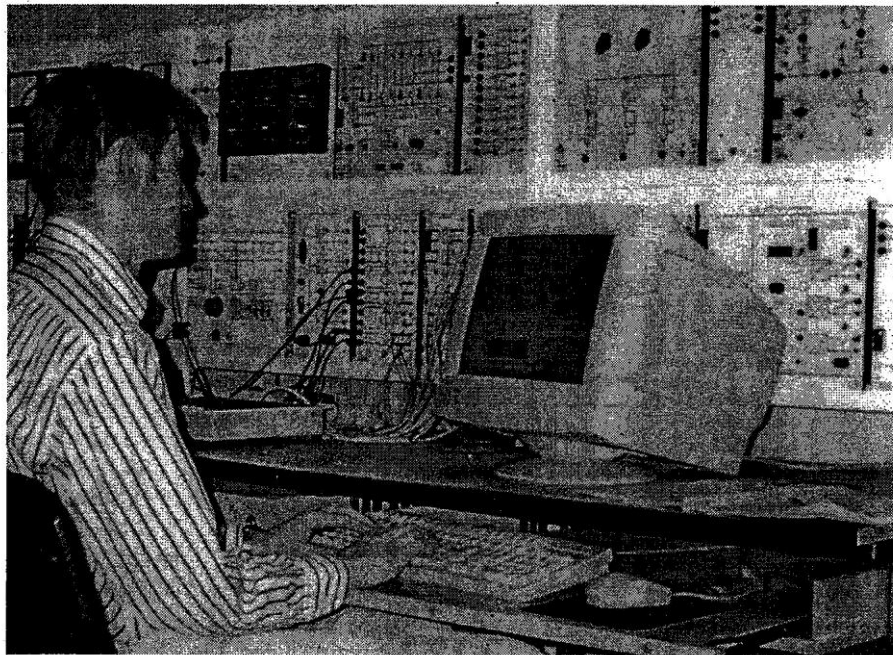


ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Руководство по выполнению базовых экспериментов ЭПУ.002 РБЭ (903.1)



Беглецов Н.Н., Галишников Ю.П., Сенигов П.Н. Электронные приборы и устройства. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭПУ.002 РБЭ (903.1) -Челябинск: ООО «Учебная техника», 2005. - 110 с.

Описаны состав и отдельные компоненты типового комплекта оборудования для проведения лабораторных работ по учебному разделу «Электронные приборы и устройства». 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. Выпрямительные диоды.	23
2.1. <i>Эффект p-n перехода в диодах</i>	23
2.1.1. Общие сведения	23
2.1.2. Экспериментальная часть.....	23
2.2. <i>Полупроводниковый однополупериодный выпрямитель.....</i>	25
2.2.1. Общие сведения.....	25
2.2.2. Экспериментальная часть.....	26
2.3. <i>Полупроводниковый мостовой выпрямитель</i>	28
2.3.1. Общие сведения.....	28
2.3.2. Экспериментальная часть.....	28
2.4. <i>Неуправляемый выпрямитель трехфазного тока</i>	30
2.4.1. Общие сведения.....	30
2.4.2. Экспериментальная часть.....	30
3. Стабилитроны (диоды Зенера).....	33
3.1. <i>Характеристики стабилитрона</i>	33
3.1.1. Общие сведения	33
3.1.1. Экспериментальная часть	33
3.2. <i>Исследование параметрического стабилизатора напряжения</i>	35
3.2.1. Общие сведения.....	35
3.2.2. Экспериментальная часть.....	35
3.3. <i>Сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения</i>	38
3.3.1. Общие сведения.....	38
3.3.2. Экспериментальная часть.....	38
4. Диоды с особыми свойствами	40
4.1. <i>Светодиоды.....</i>	40
4.1.1. Общие сведения.....	40
4.1.2. Экспериментальная часть	40
4.2. <i>Диоды с переменной емкостью (варикапы)</i>	42
4.2.1. Общие сведения	42
4.2.2. Экспериментальная часть.....	42
5. Биполярные транзисторы.....	46

5.1. Испытание слоев и выпрямительного действия биполярных транзисторов.....	46
5.1.1. Общие сведения.....	46
5.1.2. Экспериментальная часть	46
5.2. Управляющий эффект тока базы транзистора	48
5.2.1. Общие сведения.....	48
5.2.2. Экспериментальная часть	49
5.3. Характеристики транзистора	51
5.3.1. Общие сведения	51
5.3.2. Экспериментальная часть	51
5.4. Установка рабочей точки транзистора и исследование влияния резистора в цепи коллектора на коэффициент усиления по напряжению усилительного каскада с общим эмиттером.....	54
5.4.1. Общие сведения	54
5.4.2. Экспериментальная часть.....	54
5.5. Усилители на биполярных транзисторах.....	56
5.5.1. Общие сведения.....	56
5.5.2. Экспериментальная часть	56
5.6. Регулятор напряжения (линейный)	60
5.6.1. Общие сведения.....	60
4.6.2. Экспериментальная часть	60
5.7. Регулятор тока	62
5.7. Общие сведения.....	62
5.7.2. Экспериментальная часть	62
6. Униполярные (полевые) транзисторы	64
6.1. Испытание слоев и выпрямительного действия униполярных транзисторов	64
6.1.1. Общие сведения	64
6.1.2. Экспериментальная часть.....	64
6.2. Характеристика включения затвора полевого транзистора	66
6.2.1. Общие сведения	66
6.2.2. Экспериментальная часть.....	66
6.3. Управляющий эффект затвора полевого транзистора n-типа	68
6.3.1. Общие сведения	68
5.3.2. Экспериментальная часть.....	68
6.4. Выходные характеристики полевого транзистора.....	70
6.4.1. Общие сведения	70
5.4.2. Экспериментальная часть.....	70
6.5. Усилители на полевых транзисторах	73
6.5.1. Общие сведения.....	73
6:5.2. Экспериментальная часть.....	73
7. Тиристоры.....	77
7.1. Диодный тиристор (симистор)	77
7.1.1. Общие сведения.....	77
7.1.2. Экспериментальная часть.....	77
7.2. Триодный тиристор	80
7.2.1. Общие сведения.....	80
6.2.2. Экспериментальная часть	80
7.3. Фазовое управление тиристора.....	83
7.3.1. Общие сведения.....	83

7.3.2. Экспериментальная часть.....	83
8. Логические элементы.....	86
8.1. Логический элемент AND (И).....	86
8.1.1. Общие сведения	86
8.1.2. Экспериментальная часть	86
8.2. Логический элемент OR (ИЛИ)	88
8.2.1. Общие сведения	88
8.2.2. Экспериментальная часть.....	88
8.3. Логический элемент NOT (НЕ).....	89
8.3.1. Общие сведения	89
8.3.2. Экспериментальная часть.....	89
8.4. Логический элемент NOT AND (И - НЕ).....	90
8.4.1. Общие сведения	90
8.4.2. Экспериментальная часть.....	90
8.5. Логический элемент NOT OR (ИЛИ - НЕ).....	91
8.5.1. Общие сведения.....	91
8.5.2. Экспериментальная часть	91
9. Операционные усилители	92
9.1. Инвертирующий усилитель.....	92
9.1.1. Общие сведения.....	92
9.1.2. Экспериментальная часть	93
9.2. Неинвертирующий усилитель	96
9.2.1. Общие сведения	96
9.2.2. Экспериментальная часть	96
9.3. Операционный суммирующий усилитель.....	98
9.3.1. Общие сведения.....	98
9.3.2. Экспериментальная часть	99
9.4. Операционный дифференциальный усилитель	101
9.4.1. Общие сведения	101
9.4.2. Экспериментальная часть	101
9.5. Поведение операционного усилителя в динамике	105
9.5.1. Общие сведения	105
9.5.2. Экспериментальная часть	106
Литература	110

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 выдвижными 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 «Электронные приборы и устройства».

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.

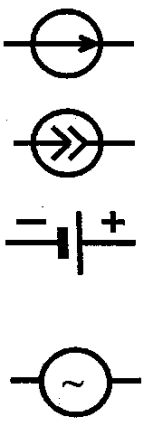

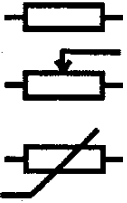
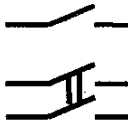
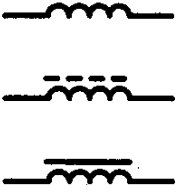
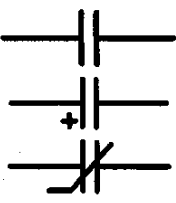
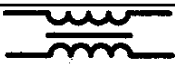
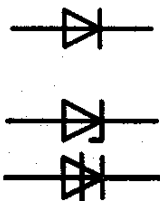
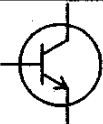
В разделе «Экспериментальная часть» сформулированы конкретные задачи эксперимента, представлены схемы электрических цепей, таблицы и графики для регистрации и представления экспериментальных данных. В ряде случаев поставлены вопросы для более полного осмысления результатов эксперимента.

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

Униполярный (полевой)		Триодный тиристор	
Лампы накаливания: осветительная сигнальная		Измерительные приборы: амперметр вольтметр ваттметр	

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.

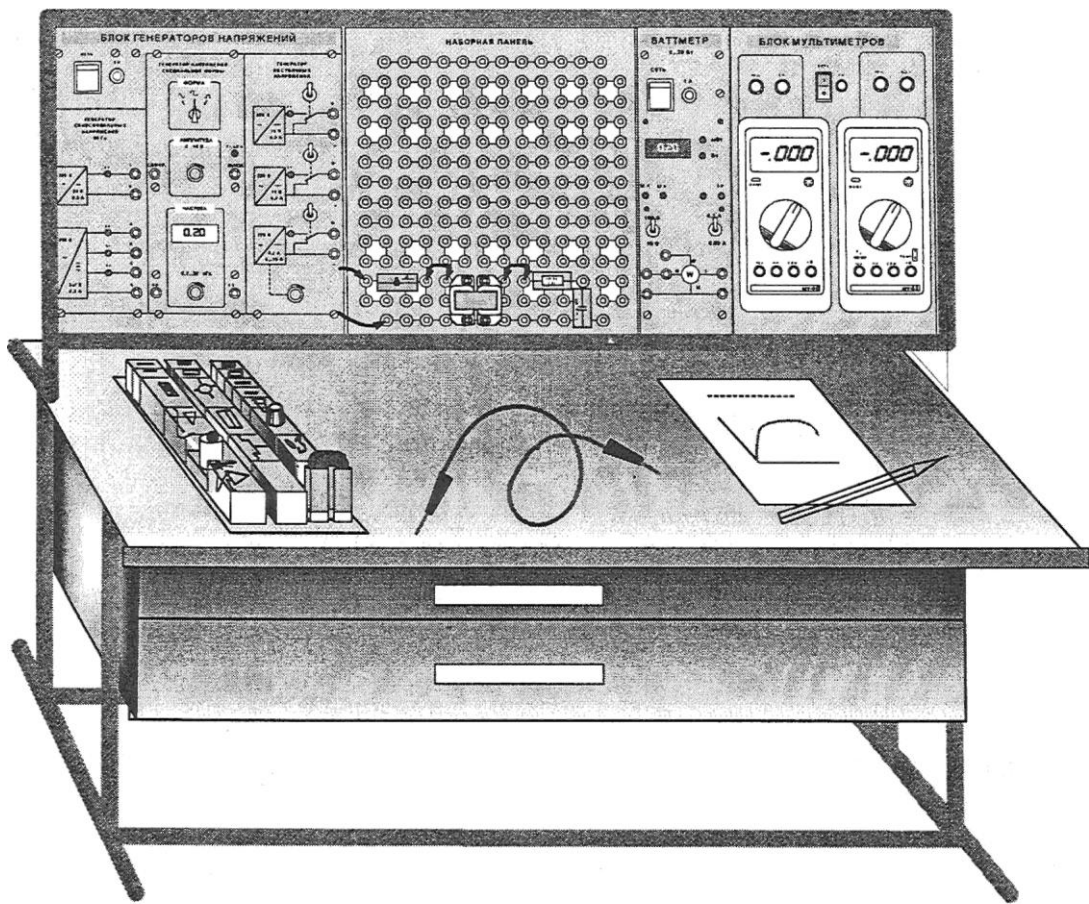


Рис. 1.1

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

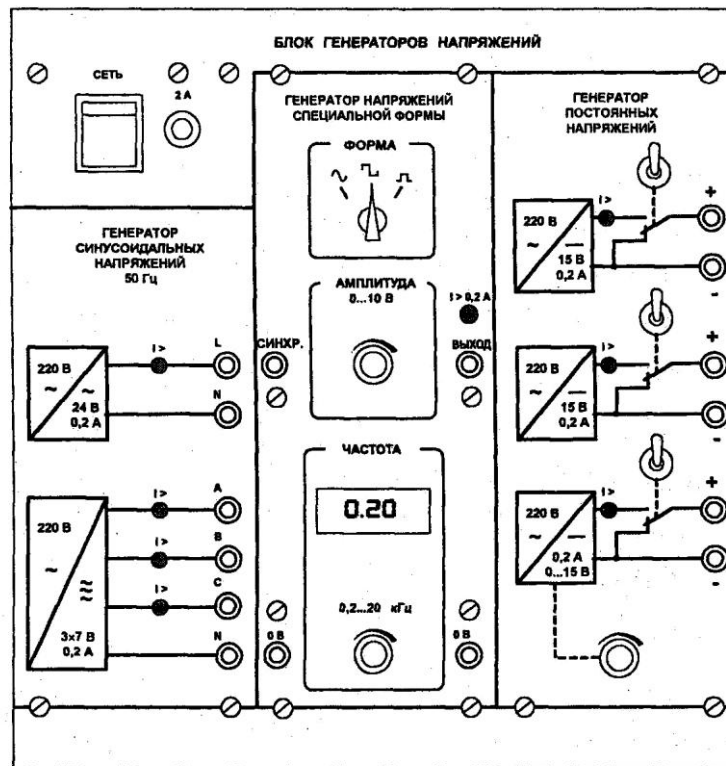


Рис. 1.2

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 «0 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 15 В 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.

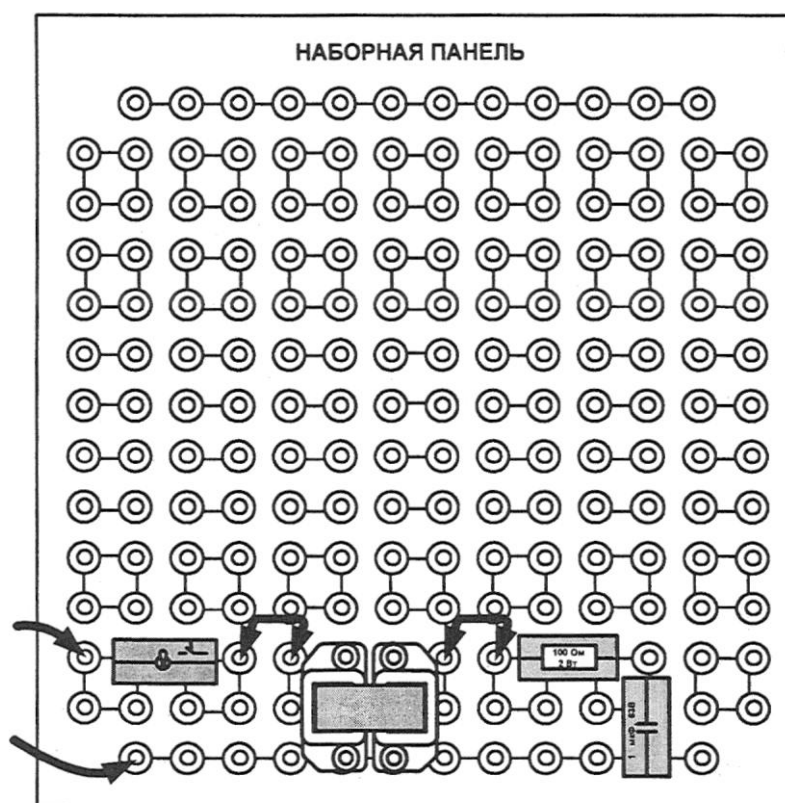


Рис. 1.3

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 гнездами 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 СФЗ-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 разъёмных 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 защищён предохранителем 2 А, который не может перегореть от токов, создаваемых источниками данного стенда.**

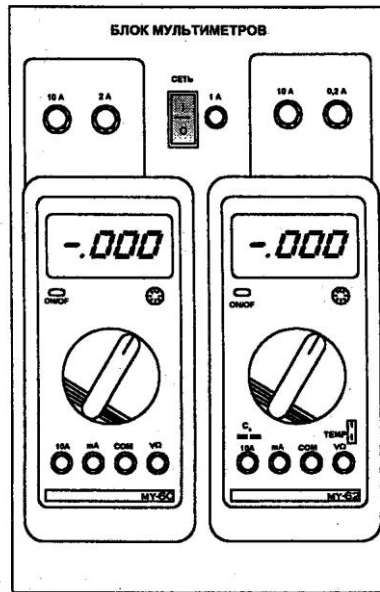


Рис. 1.4

До подключения мультиметра к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- 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.

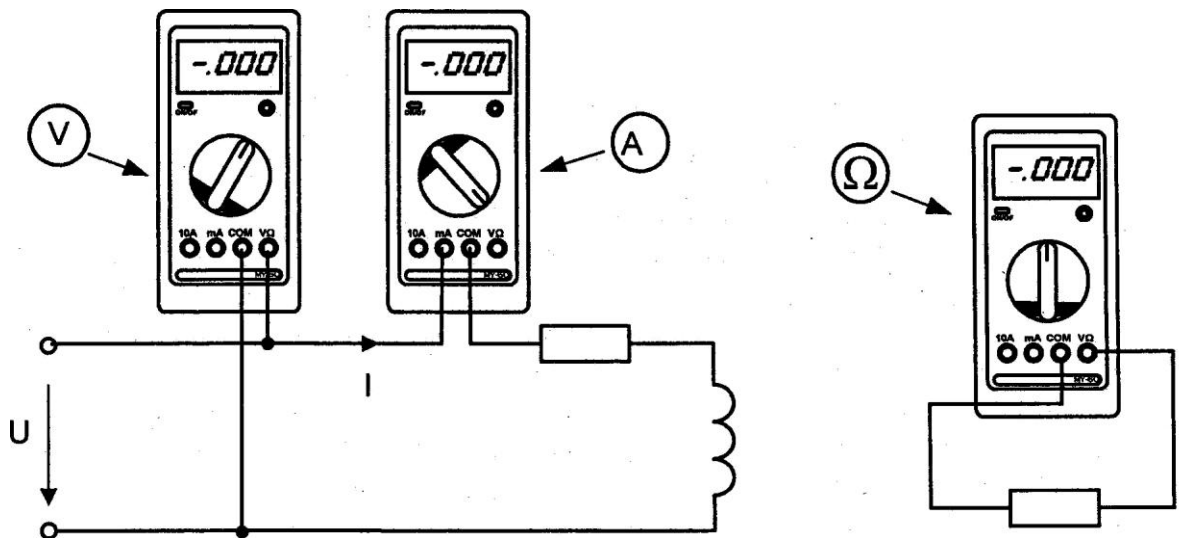


Рис. 1.5

1.1.7 Ваттметр

Общий вид ваттметра изображён на рис. 1.6.

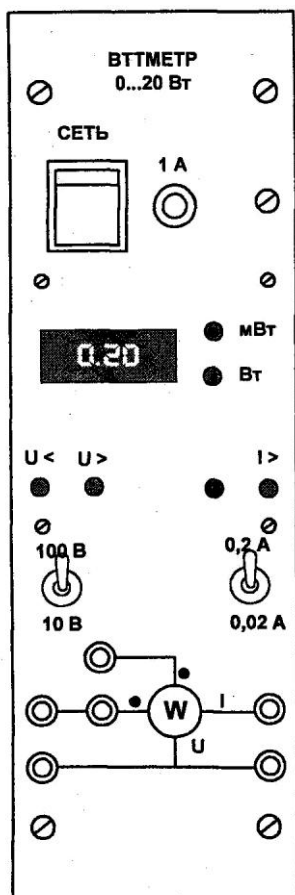


Рис.1.6

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.

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.

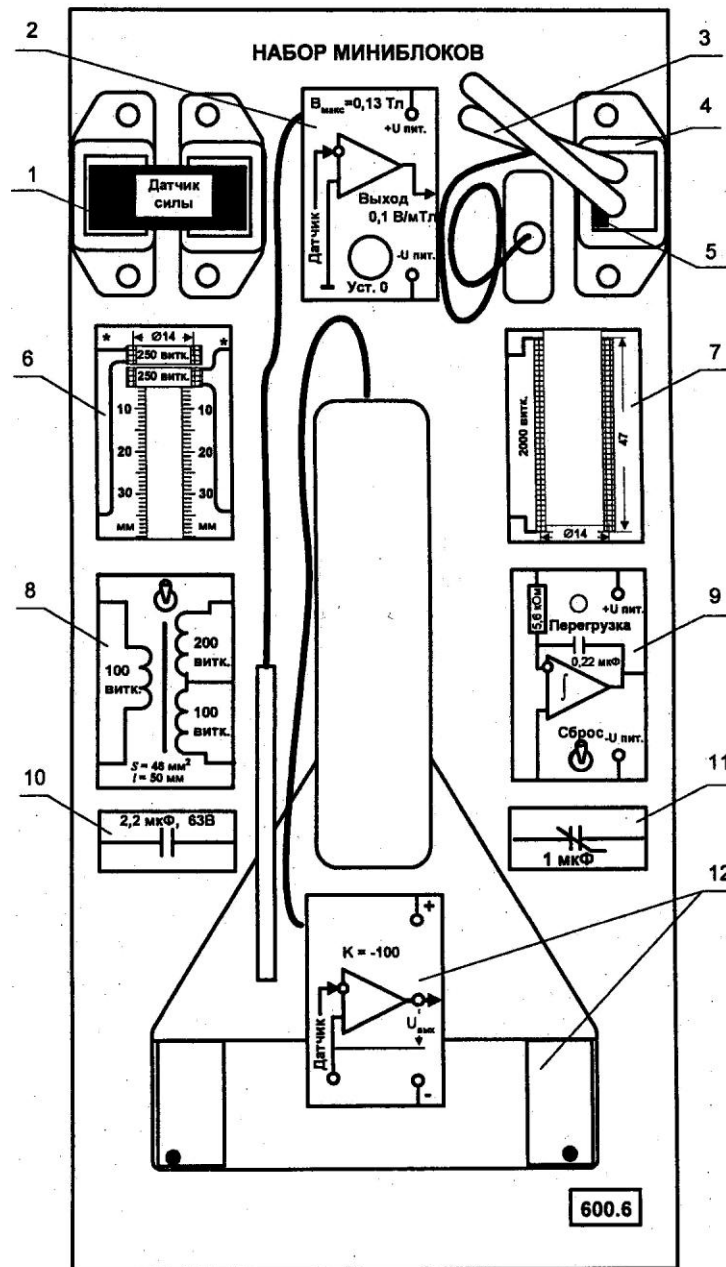


Рис.1.7

Для компенсации несимметрии датчика Холла и дрейфа «нуля» усилителя на ми-ниблоке 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 разъемным 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 одноименные 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».

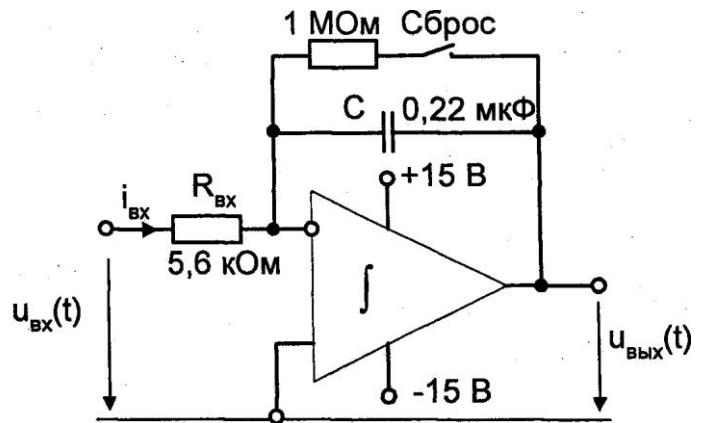


Рис.1.8

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.

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.

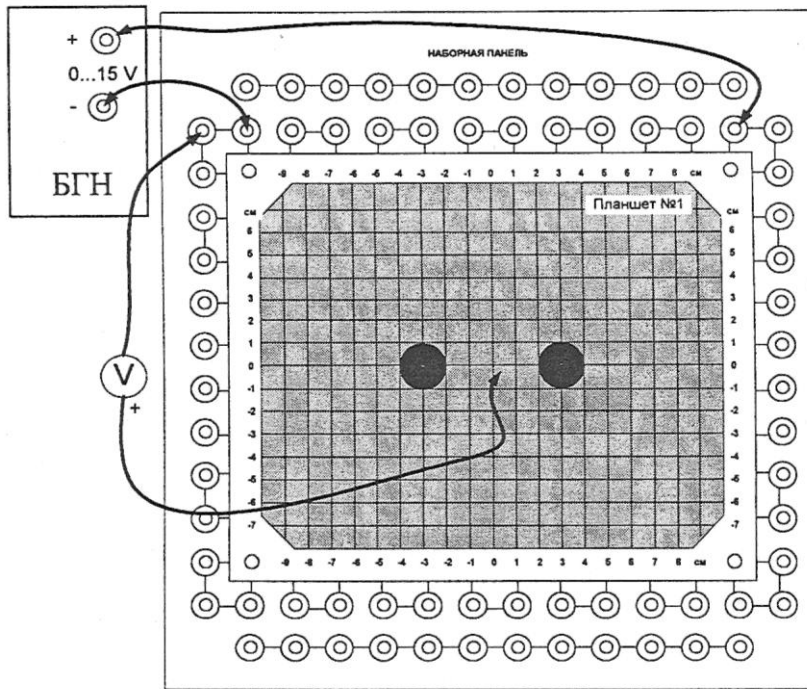
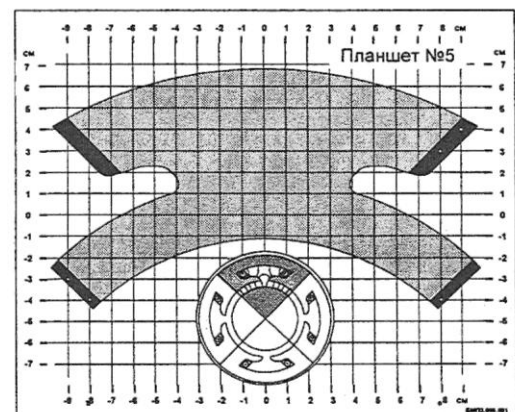
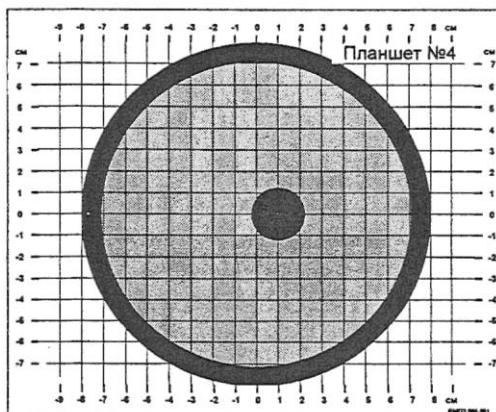
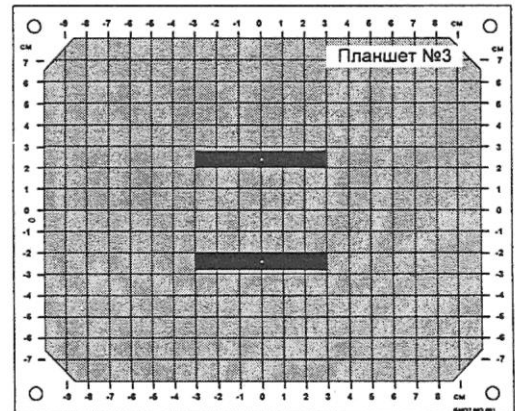
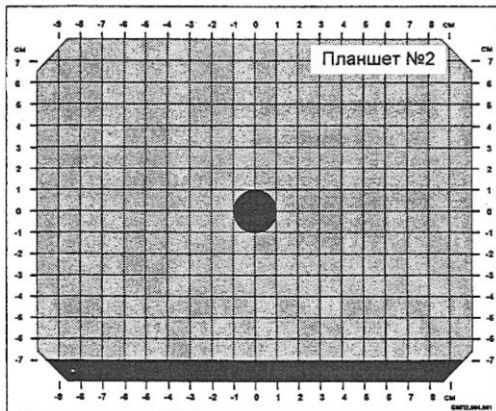


Рис.1.9

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 при моделировании магнитного поля граничные условия обеспечиваются неточно, поэтому картина

поля вблизи проводников, полученная с помощью модели несколько отличается от реальной.



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.

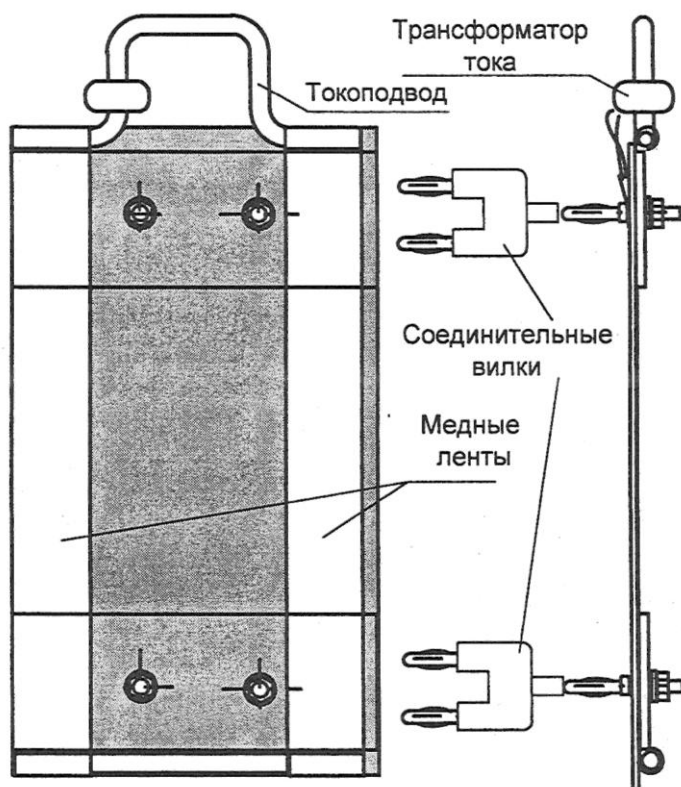


Рис.1.11

Для сборки установки необходимо сначала установить в левой верхней части наборной панели катушку трансформатора 170 витков вместе с нижней U-образной частью разъемного 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.

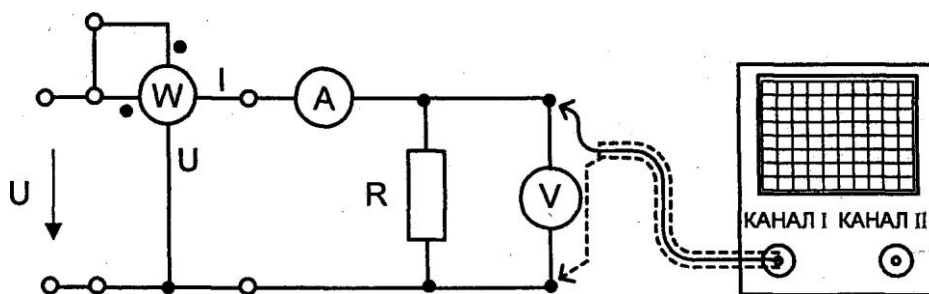


Рис. 1.11

- 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 напряжени - от 0 до 10 В (по осциллографу). На частоте 1000 Гц (или какой-нибудь 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_{Av} , U_{Bv} и U_{Cv} 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. Выпрямительные диоды

2.1. Эффект p-n перехода в диодах

2.1.1. Общие сведения

Двухэлектродный полупроводниковый элемент - диод содержит **n** - и **p** -проводящий слои (рис. 2.1.1). В n-проводящем слое в качестве свободных носителей заряда преобладают **электроны**, а в p-проводящем слое - **дырки**. Существующий между этими слоями **p-n** переход имеет внутренний потенциальный барьер, препятствующий соединению свободных носителей заряда. Таким образом, диод блокирован.



Рис. 2.1.1

При прямом приложении напряжений («+» к слою p, «—» к слою n) потенциальный барьер уменьшается, и диод начинает проводить ток (диод открыт). При обратном напряжении потенциальный барьер увеличивается (диод заперт). В обратном направлении протекает только небольшой ток утечки, обусловленный неосновными носителями.

2.1.2. Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперную характеристику полупроводникового диода в прямом и обратном направлениях.

Порядок выполнения эксперимента

- К диоду (рис.2.1.2а) при прямой полярности приложите напряжение постоянного тока $U_{пр}$, величины которого указаны в табл. 2.1.1, измерьте с помощью мультиметра соответствующие токи $I_{пр}$ и их значения занесите в таблицу. Используйте при этом схему измерения с погрешностью по току.

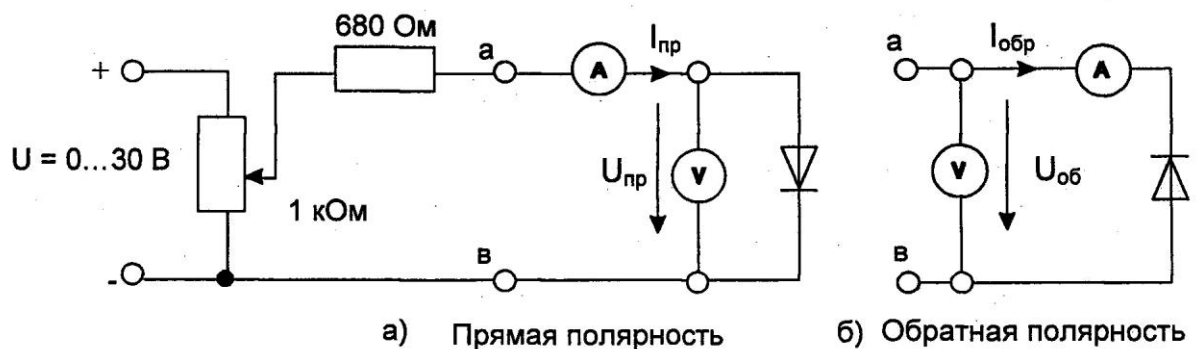


Рис.2.1.2

Таблица 2.1.1

$U_{пр}, В$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75
$I_{пр}, мА$										

- Измените полярность диода, переключите вольтметр для измерений с погрешностью по напряжению как показано на рис. 1.1.2б и повторите эксперимент при величинах обратных напряжений, указанных в табл. 1.1.2. Для получения напряжений больше 15 В соедините два источника последовательно.

Таблица 2.1.2

$U_{обр}, В$	0	2,5	5	10	15	20	25	30
$I_{обр}, мкА$								

Точные измерения обратного тока ($I_{обр}$) возможны только с помощью высокочувствительного мультиметра.

- Перенесите измеренные данные из таблиц на график (рис.2.1.3) и постройте вольт-амперную характеристику диода.

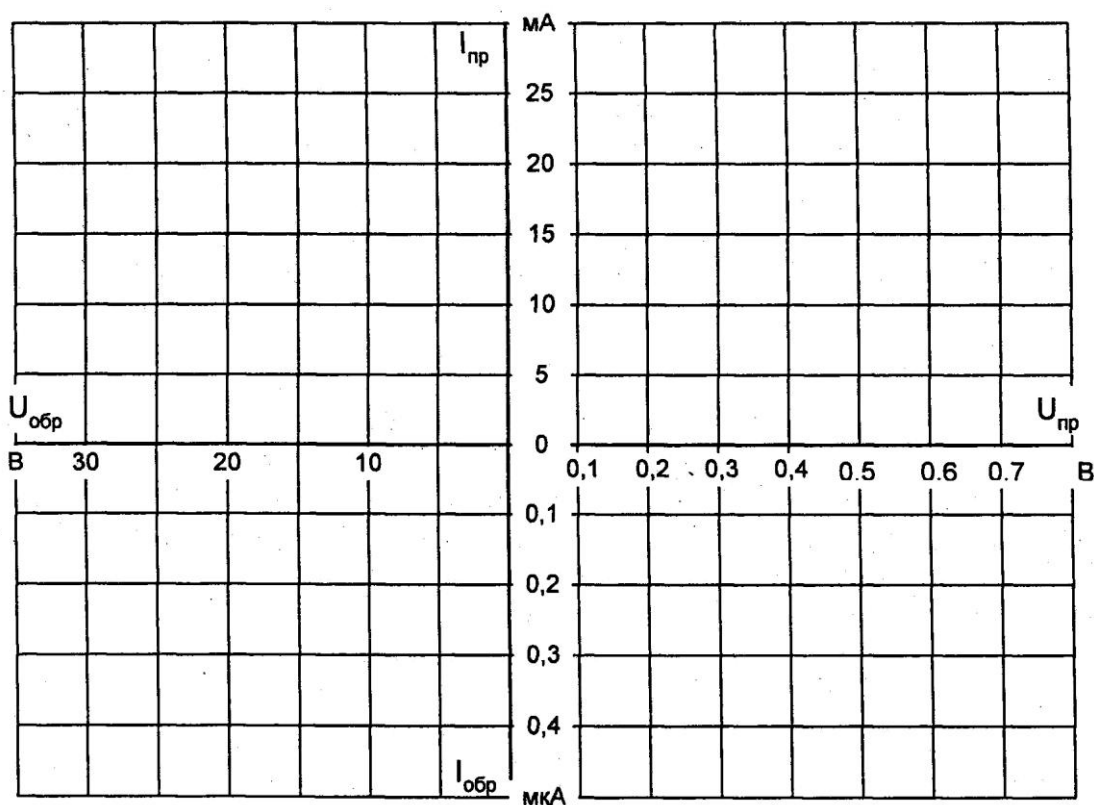


Рис.2.1.3

Вопрос: Как называется напряжение, при котором диод становится проводящим?

Ответ:

2.2. Полупроводниковый однополупериодный выпрямитель

2.2.1. Общие сведения

В цепи с полупроводниковым диодом (рис. 2.2.1) установившийся ток может протекать только при определенной полярности приложенного к диоду напряжения. При изменении полярности напряжения диод запирается и ток прекращается. В цепи переменного (синусоидального) напряжения ток протекает только в течение той полуволны, когда диод открыт. Полуволна другой полярности подавляется. В результате в цепи имеет место ток одного направления. Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения применяются сглаживающие фильтры. Простейшим фильтром является конденсатор, подключенный параллельно нагрузке.

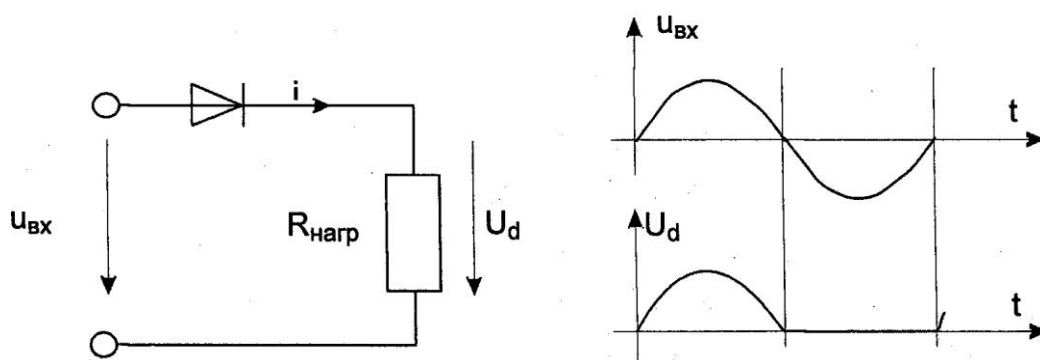


Рис. 2.2.1

При исследовании выпрямителей применяются следующие обозначения:

- $u_{вх}$, $U_{вх}$ — мгновенное и действующее значения синусоидального входного напряжения;
- u_d , U_d , U_{dmax} , U_{dmin} — мгновенное, среднее, максимальное, минимальное значения выходного (выпрямленного) напряжения;
- f_n — частота пульсаций выходного напряжения;
- $m = f_{пульс}/f_{вх}$ — число пульсаций выпрямленного напряжения за один период напряжения питания;
- $k_{пульс} = \frac{\Delta U_{пульс}}{U_d} = \frac{U_{dmax} - U_{dmin}}{U_d}$ — коэффициент пульсации выпрямленного напряжения.

В данной работе используется одна фаза трехфазного источника напряжений.

2.2.2. Экспериментальная

часть Задание

Исследовать выпрямительное действие полупроводникового диода в составе одно-полупериодного выпрямителя.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.2.2) сначала без сглаживающего фильтра. Включите мультиметры: V1 - для измерения действующего значения синусоидального напряжения, V2 - для измерения постоянного напряжения
- Включите и настройте осциллограф. Установите развертку 5 мс/дел.
- Перенесите на график (рис. 2.2.3) осциллограммы входного и выходного напряжений.
- Сделайте измерения и запишите в табл. 2.2.1. значения: $U_{вх}$ — действующее, U_d — среднее, $\Delta U_{пульс}$ (по осциллографу), $m = f_{пульс} / f_{вх}$
- Рассчитайте и запишите в табл. 2.2.1 коэффициенты $U_d / U_{вх}$ и $k_{пульс}$

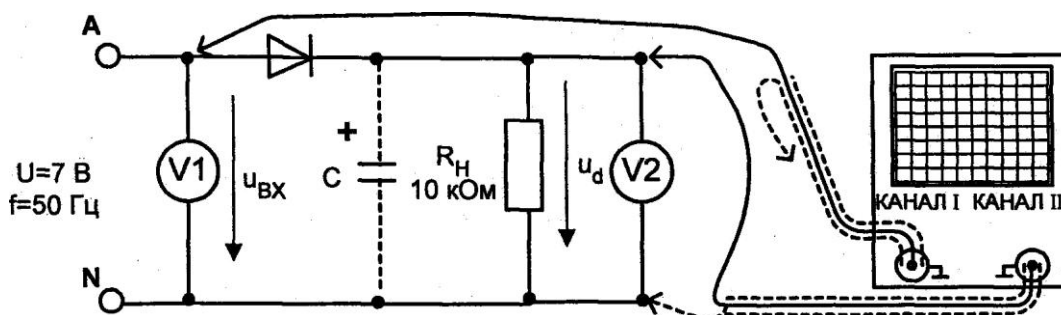
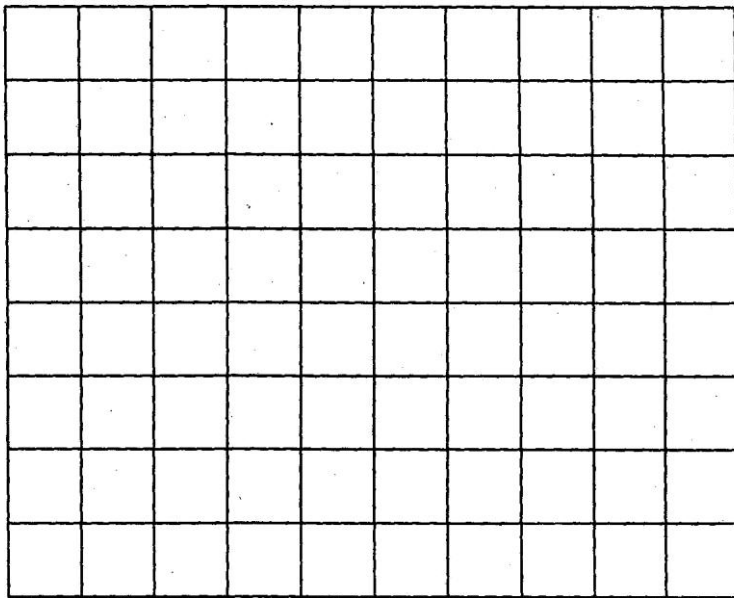


Рис. 1.2.2

- Параллельно нагрузочному резистору R_H подключите сглаживающие конденсаторы C с емкостями, указанными в табл. 2.2.1 (не ошибитесь с полярностью при подключении электролитических конденсаторов!), повторите измерения и дорисуйте графики выпрямленного напряжения на рис.2.2.3.

Таблица 2.2.1

C , мкФ	0	1	10	100
$U_{вх}$, В				
U_d , В				
$\Delta U_{пульс}$, В				
m				
$U_d / U_{вх}$				
$k_{пульс}$				



Масштабы

По каналу I:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу II:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По времени:
 $m_t = \dots\dots\dots$ мс/дел.

Рис. 2.2.3

Вопрос 1: Почему максимальное значение выпрямленного напряжения U_{dmax} не совпадает с амплитудой входного напряжения?

Ответ:

Вопрос 2: Что произойдет при изменении полярности диода в цепи (рис. 2.2.2)?

Ответ:

Вопрос 3: Каково обратное напряжение диода в схеме со сглаживающим конденсатором?

Ответ:

Вопрос 4: Какое действие оказывает сглаживающий конденсатор на амплитуду пульсаций напряжения?

Ответ:

2.3. Полупроводниковый мостовой выпрямитель

2.3.1. Общие сведения

Однополупериодный выпрямитель использует только одну полуволну переменного напряжения. Как следствие, постоянное напряжение низкое по величине и имеет значительные пульсации.

Этого недостатка удается избежать в случае мостового выпрямителя со схемой (рис. 2.3.1). Здесь полуволны противоположной полярности суммируются, и среднее значение выпрямленного напряжения увеличивается в два раза.

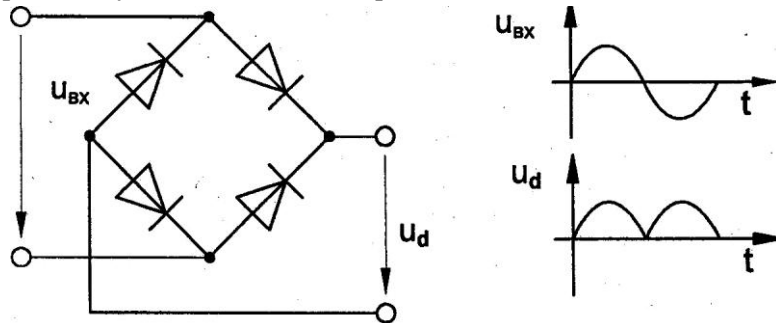


Рис. 2.3.1.

2.3.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать свойства мостового выпрямителя с помощью осциллографа и мультиметра.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.3.2) сначала без сглаживающего фильтра. Включите мультиметры: V1 - для измерения действующего значения синусоидального напряжения, V2 - для измерения постоянного напряжения.

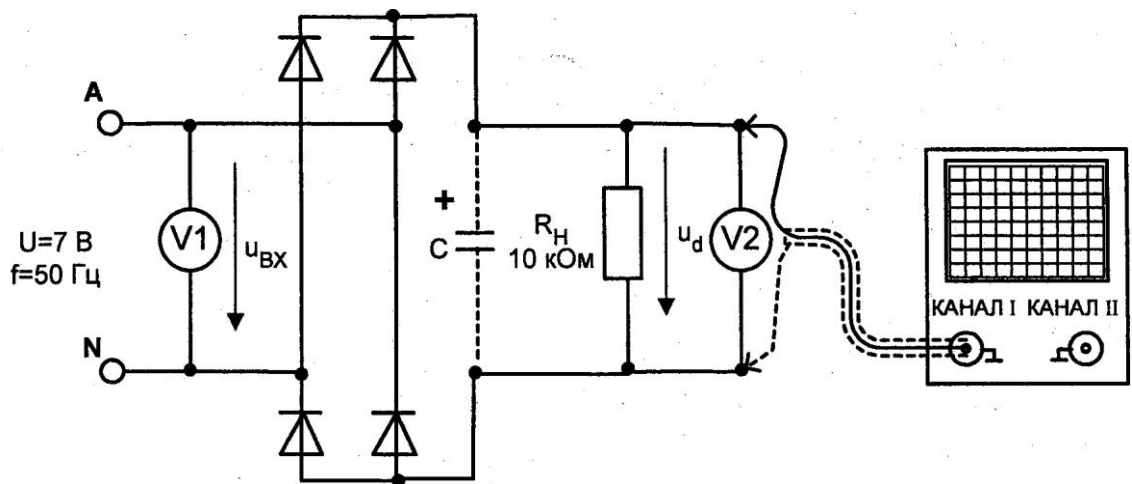
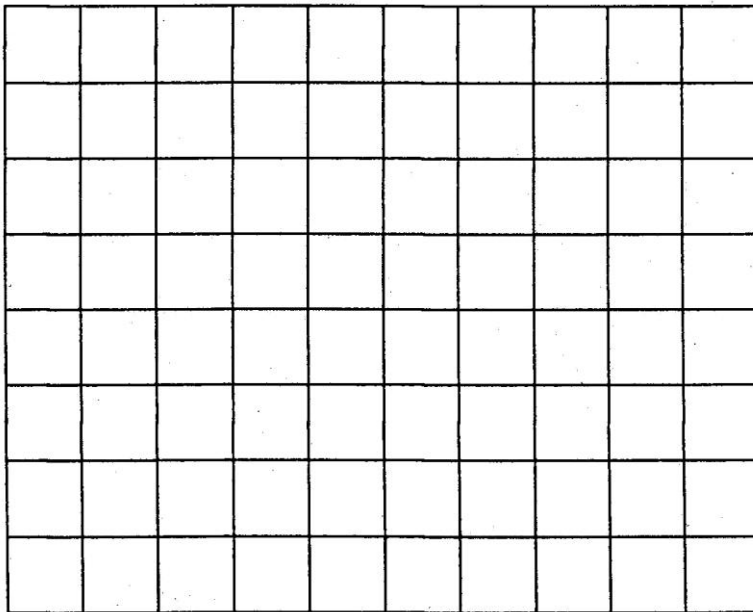


Рис. 2.3.2

- Включите и настройте осциллограф. Установите развертку 5 мс/дел.
- Перенесите на график (рис. 2.3.3) осциллограмму выходного напряжения.

- Сделайте измерения и запишите в табл. 2.3.1. значения: $U_{ВХ}$ — действующее, U_d — среднее, $\Delta U_{\text{пульс}}$ (по осциллографу), $m = f_{\text{пульс}} / f_{ВХ}$.
- Рассчитайте и запишите в табл. 2.3.1 коэффициенты $U_d / U_{ВХ}$ и $k_{\text{пульс}}$
- Параллельно нагрузочному резистору R_n подключите сглаживающие конденсаторы C с емкостями, указанными в табл. 2.3.1 (**не ошибитесь с полярностью при подключении электролитических конденсаторов!**), повторите измерения и дорисуйте графики выпрямленного напряжения на рис.2.3.3.



Масштабы

По каналу I:

$m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

Рис. 2.3.3

Таблица 2.3.1

$C, \text{ мкФ}$	0	1	10	100
$U_{ВХ}, \text{ В}$				
$U_d, \text{ В}$				
$\Delta U_{\text{пульс}}, \text{ В}$				
m				
$U_d / U_{ВХ}$				
$k_{\text{пульс}}$				

Вопрос 1: Почему максимальное значение выпрямленного напряжения $U_{d\text{max}}$ не совпадает с амплитудой входного напряжения?

Ответ:

Вопрос 2: Что произойдет при изменении полярности диода в цепи (рис. 1.3.2)?

Ответ:

Вопрос 3: Каково обратное напряжение диода в схеме с ёмкостным фильтром?

Ответ:

Вопрос 4: Какое действие оказывает сглаживающий конденсатор на амплитуду пульсаций напряжения?

Ответ:

2.4. Неуправляемый выпрямитель трехфазного тока

2.4.1. Общие сведения

Потребители большой мощности питаются выпрямленным трехфазным переменным током. Несколько большая в сравнении с однофазным выпрямителем стоимость трехфазного выпрямителя многократно окупается за счет более простого сглаживания выходного напряжения.

В описанных ниже экспериментах используется источник трехфазного переменного напряжения.

2.4.2. Экспериментальная

часть Задание

Выпрямить выходное напряжение трехфазного источника посредством сначала трехфазного выпрямителя с нулевым выводом, а затем трехфазного мостового выпрямителя (так называемая схема Ларионова). Измерить и исследовать параметры обоих выпрямителей и сравнить с параметрами однофазных выпрямителей.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь трехфазного выпрямителя с нулевым выводом согласно схеме (рис.2.4.1) и подайте на ее вход переменное трехфазное напряжение 7 В, 50 Гц. На схеме V1 - мультиметр для измерения действующего значения синусоидального напряжения V2 — мультиметр для измерения постоянного (выпрямленного) напряжения. В первом опыте $C=0$ (конденсатор отсутствует).

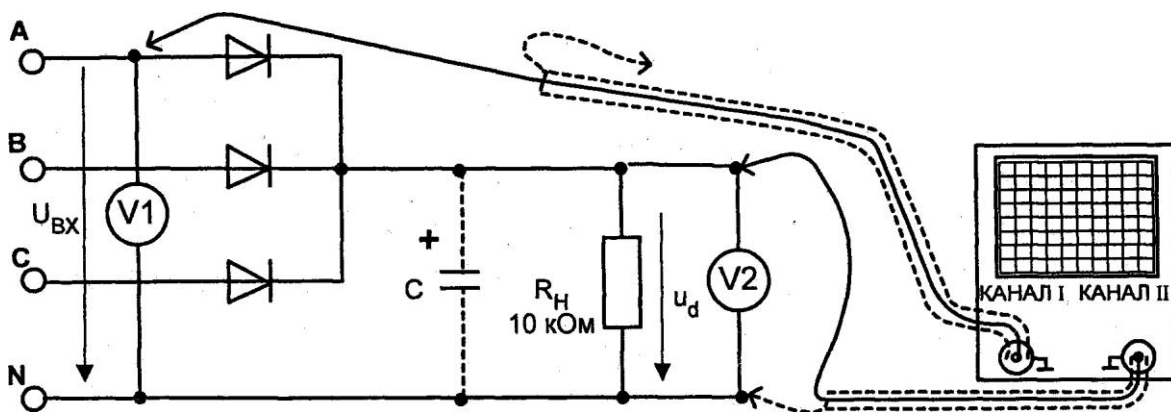
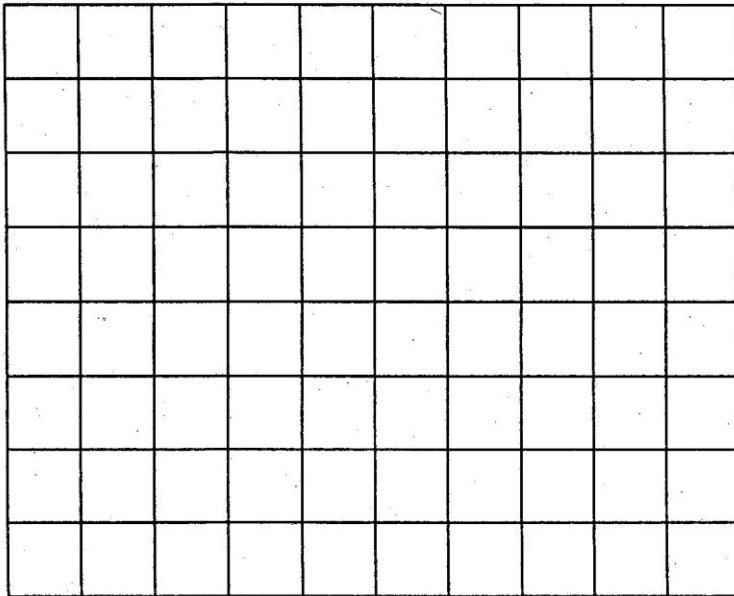


Рис.2.4.1

- Включите осциллогра, установите развертку 5 мС/дел., отрегулируйте усиление.
- Перенесите на график (рис. 2.4.2) осциллограммы входного и выходного напряжений.
- Сделайте измерения и запишите в табл. 2.4.1. значения: $U_{вх}$ — действующее, U_d — среднее, $\Delta U_{пульс}$, $m = f_{пульс} / f_{вх}$
- Рассчитайте и запишите в табл. 2.4.1 коэффициенты $U_d / U_{вх}$ и $k_{пульс}$

- Параллельно нагрузочному резистору R_H подключите сглаживающие конденсаторы C с емкостями, указанными в табл. 2.4.1 (при этом не перепутайте полярность!), повторите измерения и дорисуйте графики выпрямленного напряжения на рис.2.4.2.

Масштабы



По каналу I:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу II:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По времени:
 $m_t = \dots\dots\dots$ мс/дел.

Рис. 2.4.2

Таблица 2.4.1

$C, \text{ мкФ}$	0	1	10	100
$U_{ВХ}, \text{ В}$				
$U_d, \text{ В}$				
$\Delta U_{\text{пульс}}, \text{ В}$				
m				
$U_d/U_{ВХ}$				
$k_{\text{пульс}}$				

- Теперь соберите цепь трехфазного мостового выпрямителя согласно схеме (рис. 2.4.3) и повторите все измерения, выполненные для трехфазного выпрямителя с нулевым входом. Результаты представьте в табл. 2.4.1. и на рис. 2.4.4.

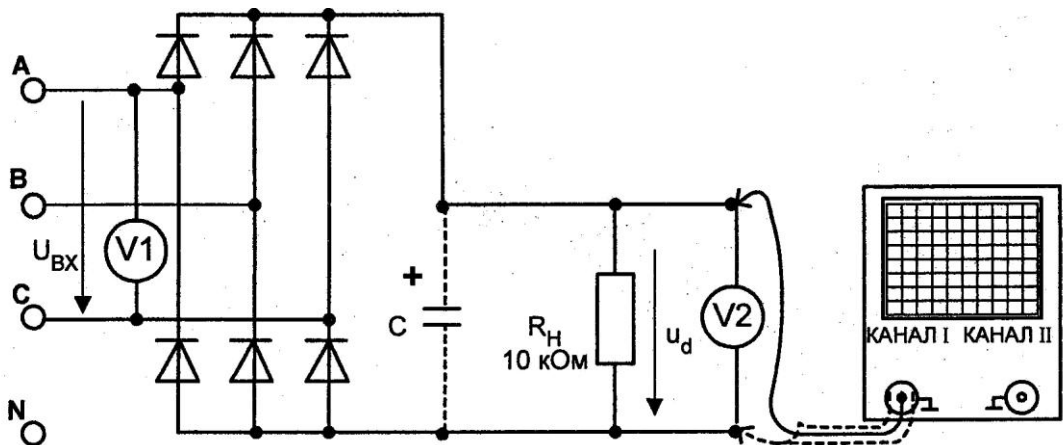
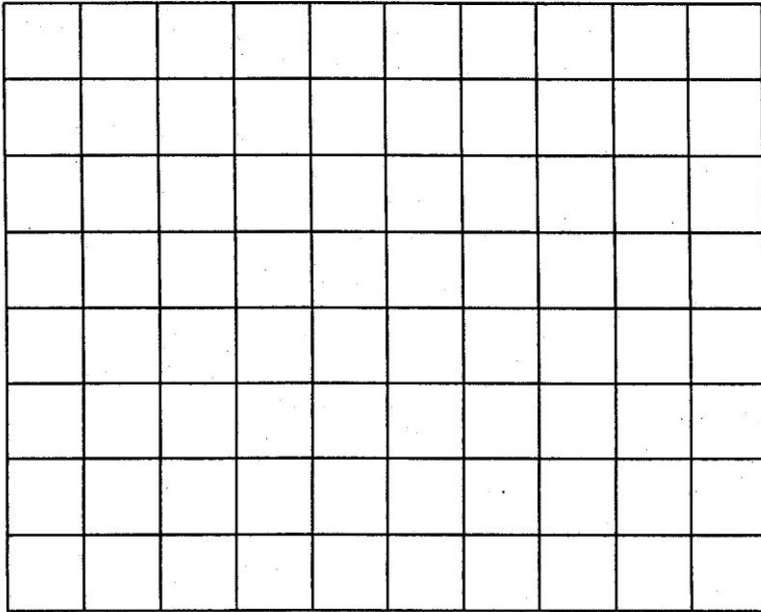


Рис.2.4.3



Масштабы

По каналу I:

$m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

Рис. 2.4.4

Вопрос 1: Какова частота пульсаций выходного напряжения $u_{\text{вых}}$ трехфазного выпрямителя с нулевым выводом?

Ответ:

Вопрос 2: Каково отношение выходного напряжения постоянного тока $U_{\text{вых}}$ к действующему значению входного напряжения переменного тока $U_{\text{вх}}$ в трехфазном выпрямителе с нулевым выводом?

Ответ:

Вопрос 3: Какова частота пульсаций выходного напряжения $u_{\text{пульс}}$ в трехфазном мостовом выпрямителе?

Ответ:

Вопрос 4: Каково отношение напряжения постоянного тока $U_{\text{вых}}$ к действующему значению входного напряжения переменного тока $U_{\text{вх}}$ в трехфазном мостовом выпрямителе?

Ответ:

3. Стабилитроны (диоды Зенера)

3.1. Характеристики стабилитрона

3.1.1. Общие сведения

Стабилитрон представляет собой кремниевый диод, характеристика которого в открытом состоянии такая же, как у выпрямительного диода. Отличие стабилитрона - в относительно низком напряжении пробоя при обратном напряжении. Когда это напряжение превышено, ток обратного направления возрастает скачком (эффект Зенера). В выпрямительных диодах такой режим является аварийным, а стабилитроны нормально работают при обратном токе, не превышающем максимально допустимого значения.

Чтобы избежать перегрузки, последовательно со стабилитроном включают балластный резистор. Величина его вычисляется следующим образом:

$$R_{\text{БЛЛ}} = (U_{\text{РАБ}} - U_{\text{СТ}}) / (I_{\text{СТ}} + I_{\text{НАГР}}),$$

где $U_{\text{РАБ}}$ - приложенное рабочее напряжение,

$U_{\text{СТ}}$ - напряжение стабилизации стабилитрона испытываемого типа,

$I_{\text{СТ}}$ - допустимый ток стабилизации,

$I_{\text{НАГР}}$ - ток в резисторе нагрузки $R_{\text{Н}}$, включенном параллельно стабилитрону.

Свойства стабилитронов делают их пригодными для стабилизации и ограничения напряжений.

3.1.1. Экспериментальная часть

Задание

Снять с помощью осциллографа вольтамперную характеристику и определить напряжение стабилизации $U_{\text{СТ}}$ стабилитрона.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.1.1) и подайте на вход синусоидальное напряжение 24 В частоты 50 Гц.
- Включите и настройте осциллограф в режиме X-Y. Напряжение с шунта 100 Ом, пропорциональное току, подайте на горизонтальный вход, а напряжение со стабилитрона - на вертикальный вход. Включите инвертирование вертикального входа.

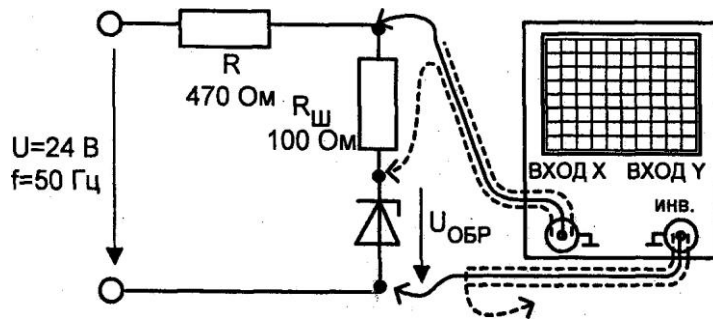
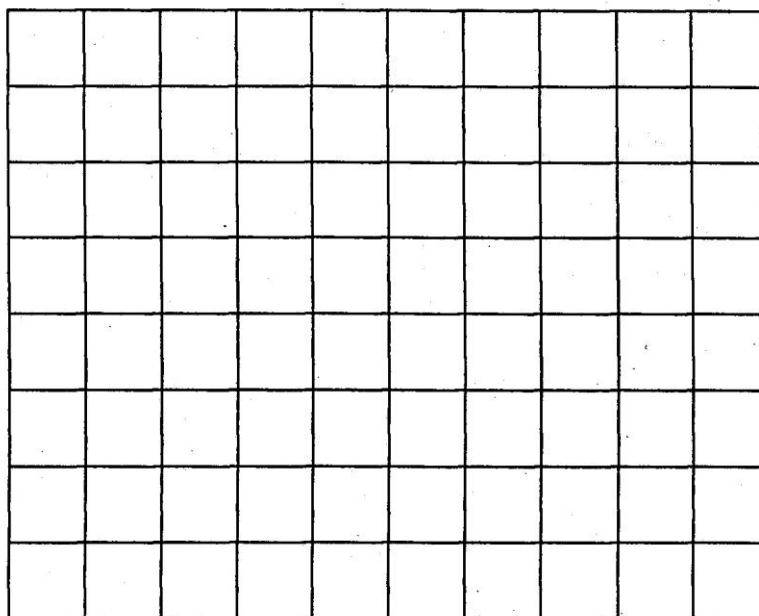


Рис. 3.1.1

- Перенесите изображение с экрана осциллографа на график (рис.3.1.2).
- Определите по осциллограмме напряжение стабилизации. Ответьте на контрольные вопросы.



Масштабы

По каналу X:

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

По каналу Y:

$m_U = \dots \dots \dots$ В/дел.

Рис.3.1.2

Вопрос 1: Какова величина напряжения стабилизации $U_{ст}$?

Ответ: $U_{ст} =$

Вопрос 2: Каков максимальный обратный ток стабилитрона $I_{ст}$?

Ответ: $I_{обр.макс} =$

Вопрос 3: Какова величина прямого напряжения стабилитрона $U_{пр}$?

Ответ: $U_{пр} =$

Вопрос 4: Каков максимальный прямой ток стабилитрона?

Ответ: $I_{пр.макс} =$

3.2. Исследование параметрического стабилизатора напряжения

3.2.1. Общие сведения

Наличие почти горизонтального участка на вольтамперной характеристике стабилитрона делает его пригодным для стабилизации постоянного напряжения на нагрузке. Для этого нагрузку включают параллельно стабилитрону и подсоединяют к источнику через балластный резистор.

3.2.2. Экспериментальная часть

Задание 1

Исследовать зависимость выходного напряжения и тока стабилитрона от входного напряжения в цепи параметрического стабилизатора напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.2.1). Устанавливая последовательно величины входного напряжения постоянного тока по табл. 3.2.1, измерьте соответствующие выходные напряжения и токи стабилитрона посредством мультиметров. Результаты занесите в таблицу.

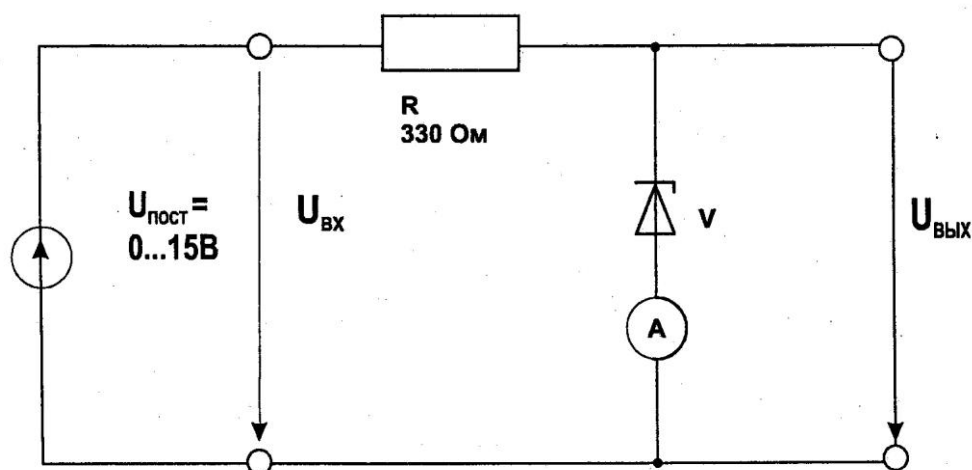


Рис. 3.2.1

Таблица 3.2.1

$U_{вх}, В$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{вых}, В$																
$I_{ст}, мА$																

- Постройте на графике (рис. 3.2.2) кривую зависимости выходного напряжения $U_{вых}$ от входного $U_{вх}$

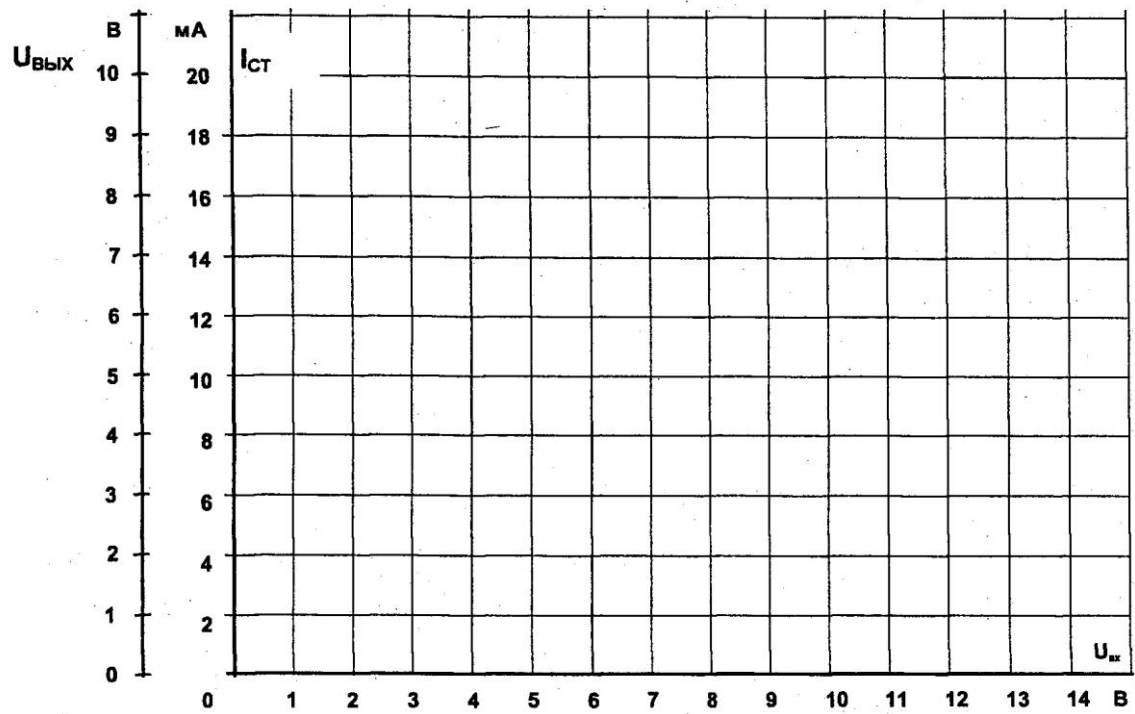


Рис. 3.2.2

Задание 2

Исследовать влияние тока нагрузки I_H на величину тока стабилизатора.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.2.3), и устанавливая последовательно сопротивления нагрузки 10; 4,7; 2,2; 1; 0,68; 0,47 кОм, измерьте посредством мультиметра соответствующие значения токов I_{CT} и I_H и занесите их в табл. 3.2.2.

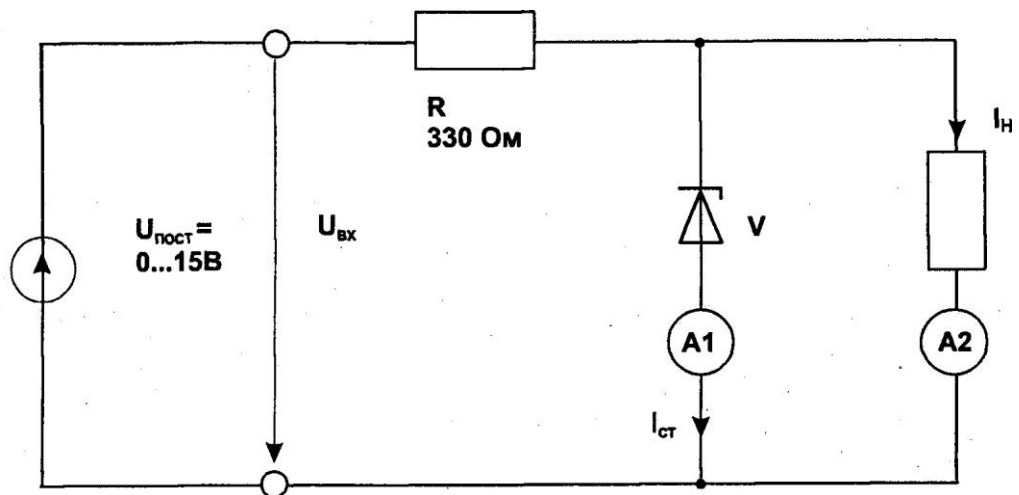


Рис. 3.2.3

Таблица 3.2.2

R_H , кОм	10	4,7	2,2	1,0	0,68	0,47
I_H , мА						
I_{CT} , мА						

- Постройте на графике (рис. 3.2.4) кривую зависимости тока I_{CT} от тока нагрузки I_H .

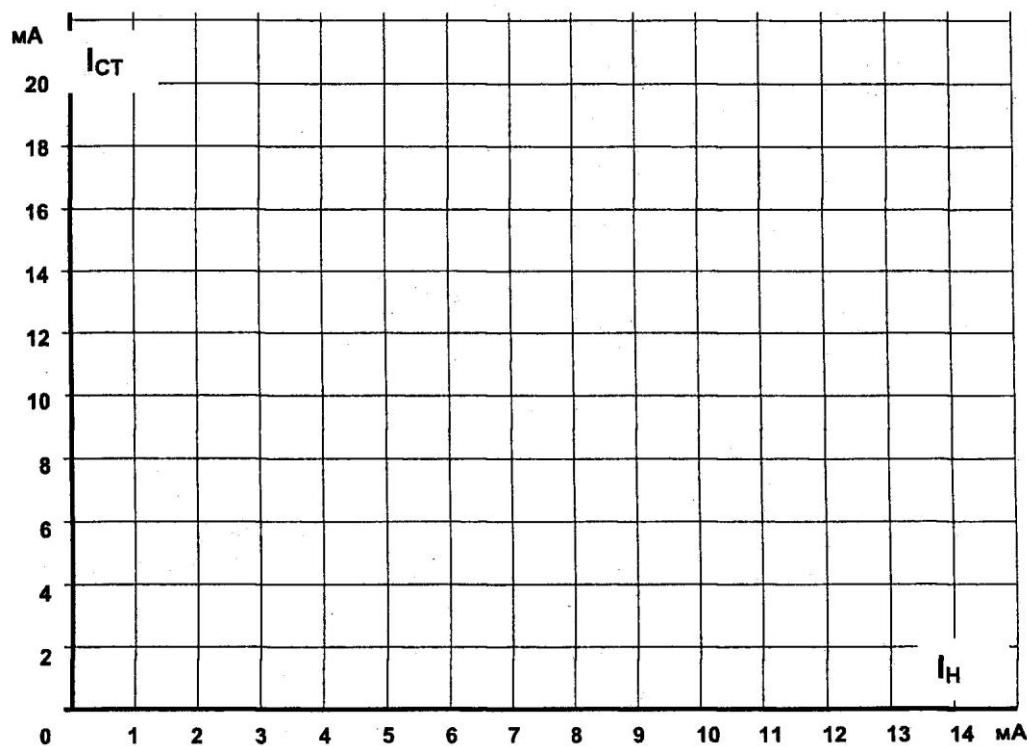


Рис. 3.2.4

Вопрос 1: При каких условиях выходное напряжение параметрического стабилизатора остается постоянным?

Ответ:

Вопрос 2: Когда возникает ток стабилизации I_{CT} ?

Ответ:

Вопрос 3: При каких условиях эффект стабилизации сохраняется даже под нагрузкой?

Ответ:

3.3. Сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения

3.3.1. Общие сведения

Стабилитроны позволяют стабилизировать напряжение не только при медленных его изменениях, но и при пульсациях после выпрямления и предварительного сглаживания.

3.3.2. Экспериментальная

часть Задание

Изучить стабилизирующее действие диода Зенера в случае выпрямленного напряжения с заметными пульсациями.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.3.1). Включите и настройте осциллограф.

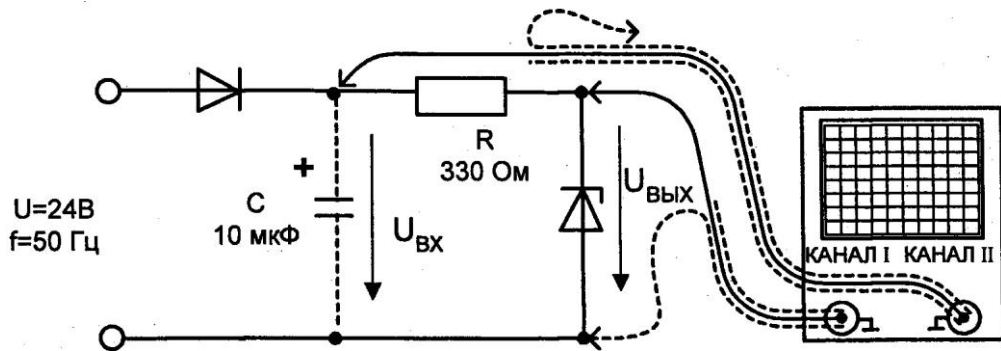
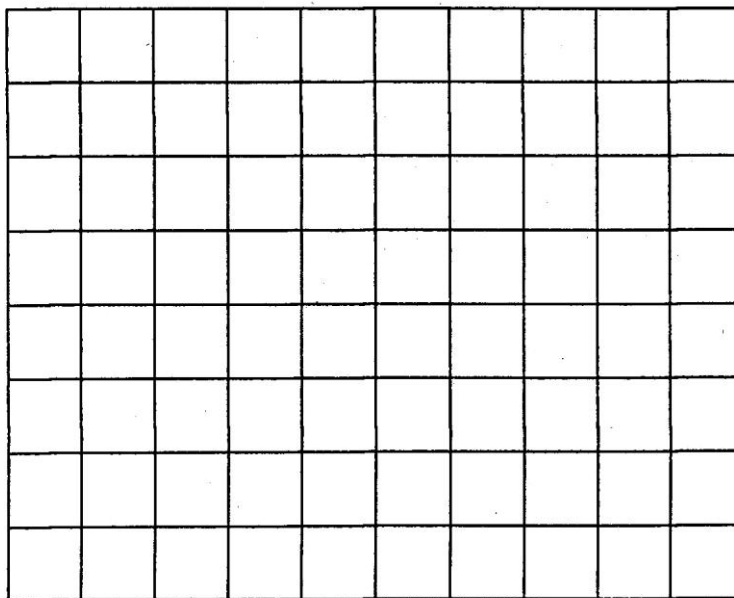


Рис. 3.3.1

- Перенесите осциллограммы входного и выходного напряжений рис. 3.3.2.



Масштабы

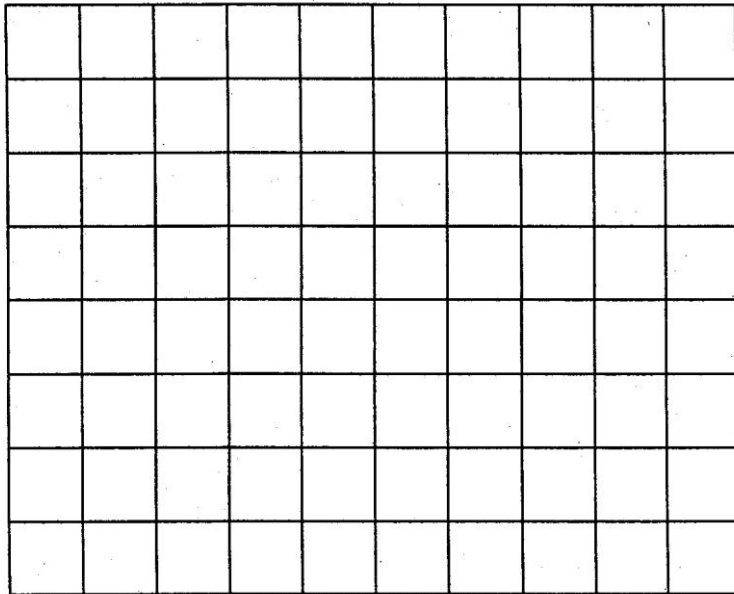
По каналу I:
 $m_U = \dots \dots \dots$ В/дел.

По каналу II:
 $m_U = \dots \dots \dots$ мА/дел.

По времени:
 $m_t = \dots \dots \dots$ мс/дел.

Рис.3.3.2

- Исключите из кривых постоянную составляющую, и увеличьте масштабы изображения переменных составляющих
- Перерисуйте кривые напряжений $u_{вх}$ и иных на графике (рис.3.3.3) без постоянных составляющих, укажите масштабы.



Масштабы

По каналу I:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу II:
 $m_U = \dots\dots\dots$ мА/дел.

По времени:
 $m_t = \dots\dots\dots$ мс/дел.

Рис. 3.3.3

- Измерьте постоянные составляющие $U_{вх}$ и $U_{вых}$ мультметром и с помощью осциллограмм, ответьте на контрольные вопросы.

Вопрос 1: Какова пульсация входного напряжения $\Delta U_{вх}$ за сглаживающим конденсатором?

Ответ: $\Delta U_{вх} =$

Вопрос 2: Какова пульсация выходного напряжения $\Delta U_{вых}$ за стабилизатором?

Ответ: $\Delta U_{вых} =$

Вопрос 3: Какова величина коэффициента сглаживания G (абсолютного коэффициента стабилизации)?

Ответ: $G = \Delta U_{вх} / \Delta U_{вых} =$

Вопрос 4: Какова величина относительного коэффициента стабилизации S ?

Ответ: $S = (\Delta U_{вх} \cdot U_{вых}) / (\Delta U_{вых} \cdot U_{вх}) = G \cdot (U_{вых} / U_{вх}) =$

4. Диоды с особыми свойствами

4.1. Светодиоды

4.1.1. Общие сведения

В случаях, когда полупроводниковые диоды выполнены из таких материалов как арсенид галлия или фосфид галлия, часть подводимой к ним электрической энергии преобразуется не в тепло, как в других полупроводниках, а в световые потоки с намного более короткой длиной волны. Цвет излучения определяется выбором соответствующего материала и присадками. Цвет может быть инфракрасным, красным, желтым, оранжевым, зеленым или даже голубым.

4.1.2. Экспериментальная

часть Задание 1

Снять вольтамперную характеристику светодиода посредством осциллографа. Изучить влияние напряжения $U_{сд}$, тока $I_{сд}$ светодиода и его полярности на световую эмиссию.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис.4.1.2). Включите осциллограф в режиме X - Y, на горизонтальный вход (X) подайте напряжение со светодиода, а на вертикальный (Y) - напряжение с сопротивления, пропорциональное току. Включите инвертирование канала Y, чтобы положительному току соответствовало отклонения луча осциллографа вверх.

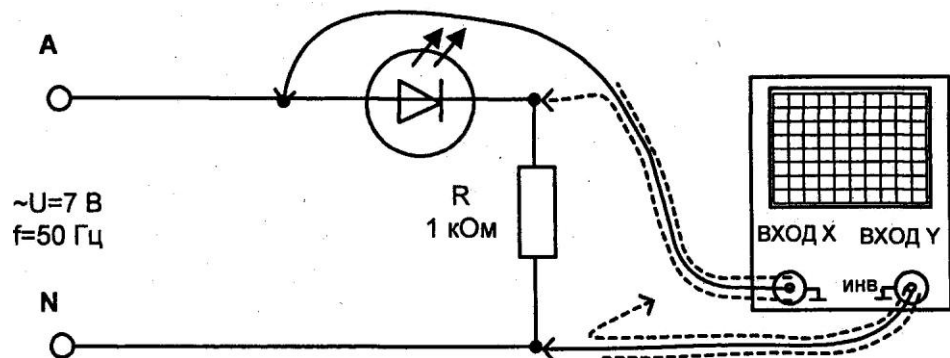
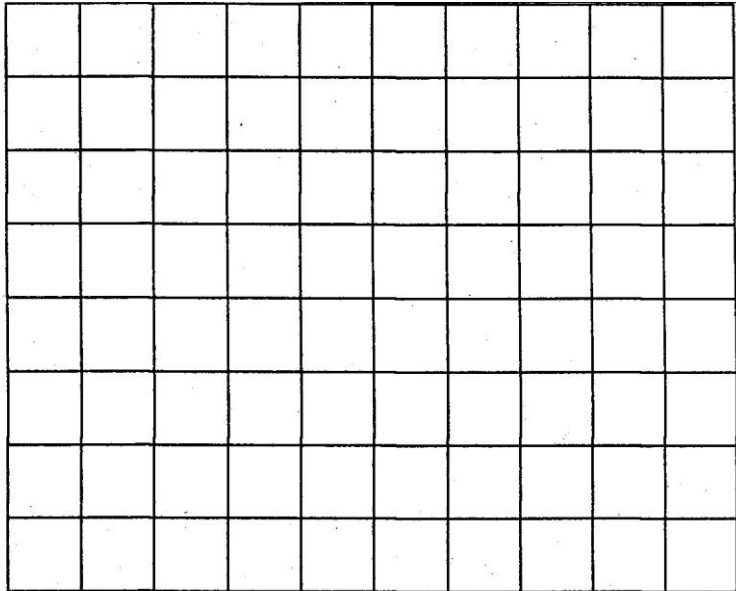


Рис. 4.1.1

- Перерисуйте осциллограмму на график (рис. 4.1.2).
- Соберите цепь согласно схеме (рис. 4.1.3) и изменяйте входное напряжение последовательными шагами, как указано в табл. 4.1.1. Измерьте прямое напряжение $U_{сд}$ и ток $I_{сд}$ светодиода с помощью мультиметра и установите светоизлучение (отсутствует, слабое, среднее, сильное). Занесите данные в таблицу.
- Измените полярность диода и убедитесь, что светоизлучения не наблюдается.



Масштабы

По каналу X:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу Y:
 $m_I = m_U / R \dots\dots\dots$ м А/дел.

Рис. 4.1.2

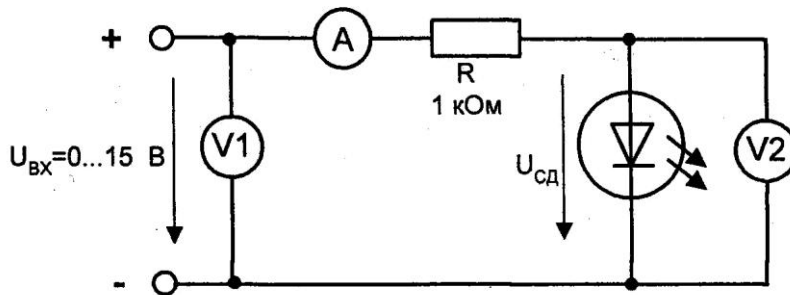


Рис. 4.1.3

Таблица 4.1.1

$U_{BX}, В$	$U_{сд}, В$	$I_{сд}, мА$	светоизлучение
2			
4			
6			
8			
10			
12			
14			
15			

Вопрос 1: Какой минимальный ток необходим светодиоиду для слабого светоизлучения?

Ответ:

Вопрос 2: Как ведет себя светоизлучение при изменении полярности прикладываемого напряжения?

Ответ:

Вопрос 3: Напряжение питания светодиода 5 В. Какой добавочный резистор необходим при токе 15 мА?

Ответ:

4.2. Диоды с переменной емкостью (варикапы)

4.2.1. Общие сведения

p-n переход запортого кремниевого диода подобен диэлектрику конденсатора. Приложенное обратное напряжение влияет на толщину **p-n** перехода и, соответственно, на емкость запорного слоя.

4.2.2. Экспериментальная часть

Задание 1

Снять с помощью осциллографа вольтамперную характеристику варикапа.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис.4.1.2). На горизонтальный вход (X) подайте напряжение со светодиода, а на вертикальный (Y) - напряжение с сопротивления, пропорциональное току. Включите инвертирование канала Y, чтобы положительному току соответствовало отклонения луча осциллографа вверх.

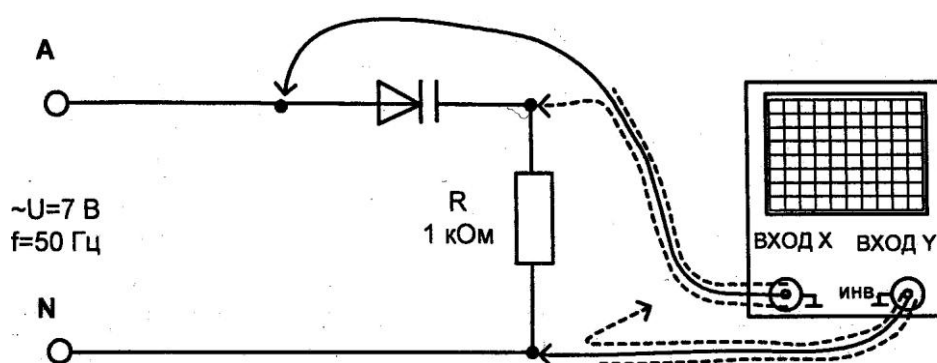
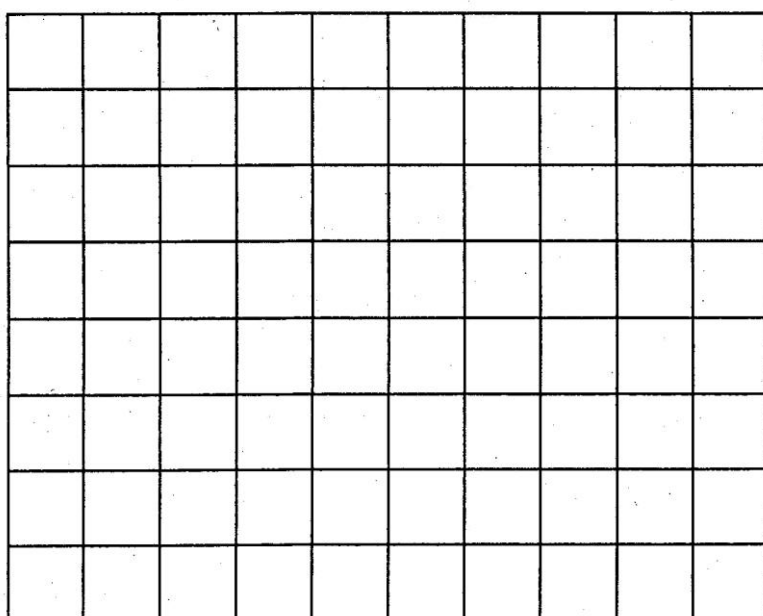


Рис. 4.2.1

- Перерисуйте осциллограмму на график (рис. 4.2.2).



Масштабы

По каналу X:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу Y:
 $m_I = m_U/R \dots\dots\dots$ м А/дел.

Рис. 4.2.2

Задание 2

В параллельном резонансном контуре изучить зависимость резонансной частоты от обратного напряжения варикапа и влияние этого напряжения на емкость обедненного (запирающего) слоя.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис.4.2.3). Индуктивность 200 мГн получается путем последовательного соединения двух индуктивностей по 100 мГн. Конденсатор $C = 0,22$ мкФ служит для исключения пути протекания постоянного тока через катушку и ввиду большой емкости не влияет на параметры резонансного контура.
- Установите частоту напряжения генератора синусоидальной формы между 10 и 20 кГц и максимальную амплитуду. Для получения постоянного напряжения больше 15В соедините регулируемый источник постоянного напряжения с нерегулируемым последовательно.
- Включите и настройте осциллограф, который служит в данном опыте для измерения напряжения высокой частоты

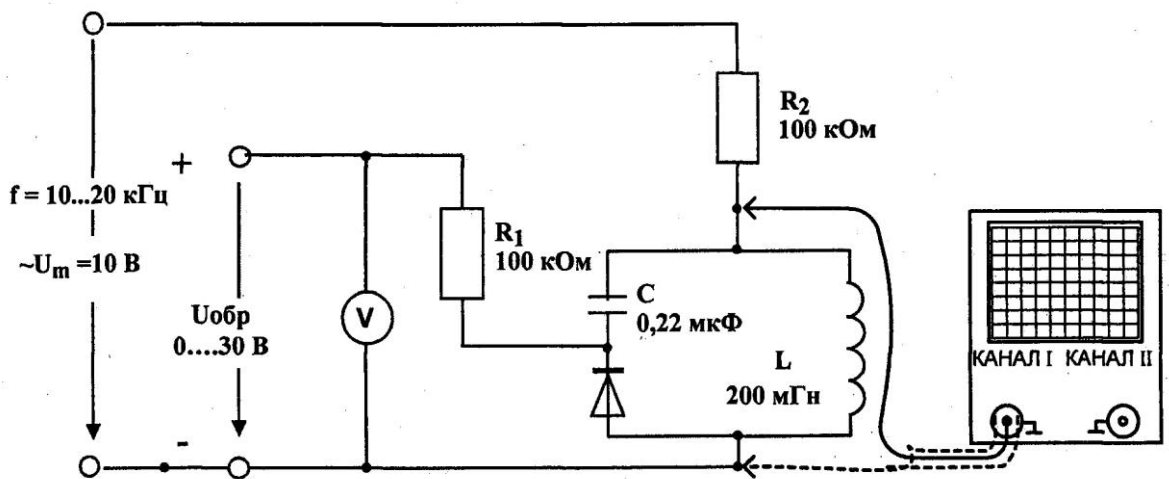


Рис.4.2.3

- Изменяйте обратное постоянное напряжение варикапа ступенями согласно табл. 4.2.1. и находите значения резонансной частоты $f_{РЕЗ}$ для каждого значения обратного напряжения. Резонансная частота определяется по максимальной амплитуде напряжения между концами параллельной цепочки. Занесите результаты измерений в табл.4.2.1.

Таблица 4.2.1

U _{обр} , В	f _{рез} , кГц	L, мГн	C, пФ
2		200	
5		200	
10		200	
15		200	
20		200	
25		200	
30		200	

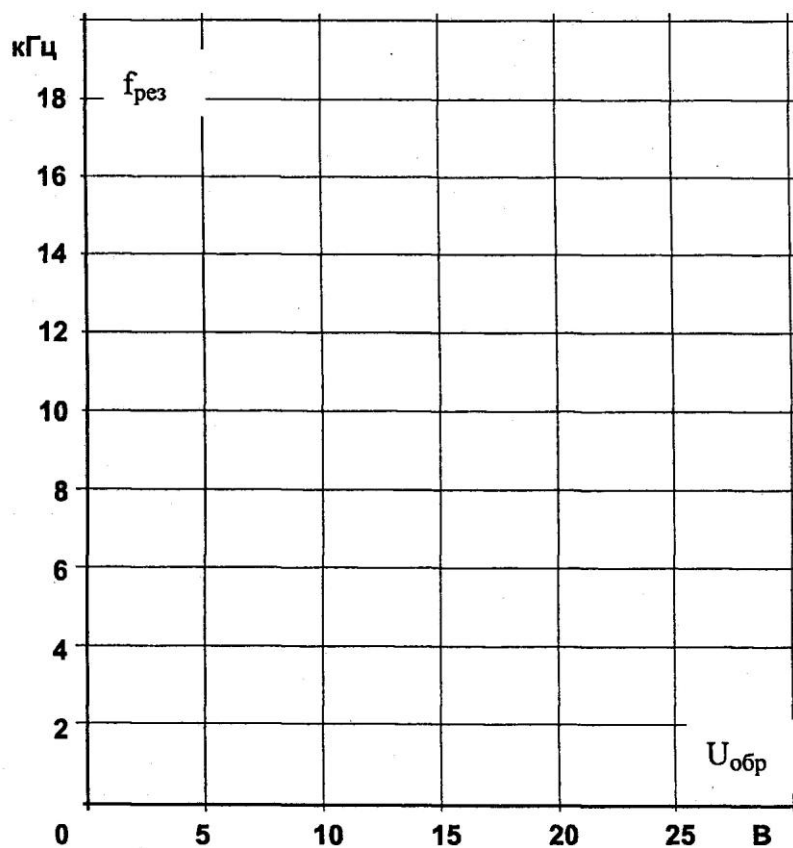


Рис.4.2.4

- Вычислите емкость резонансной цепи по измеренным резонансным частотам и индуктивности, занесите значения в табл. 4.2.1.

$$C = \frac{1}{(2\pi f_{рез})^2 L}$$

где C - емкость варикапа в Ф,
L - индуктивность катушки в Гн,
f_{рез} - резонансная частота в Гц.

- Занесите значения емкости варикапа в табл. 4.2.1. Затем постройте зависимость емкости запорного слоя C от обратного напряжения $U_{\text{обр}}$ на графике (рис. 3.2.5).

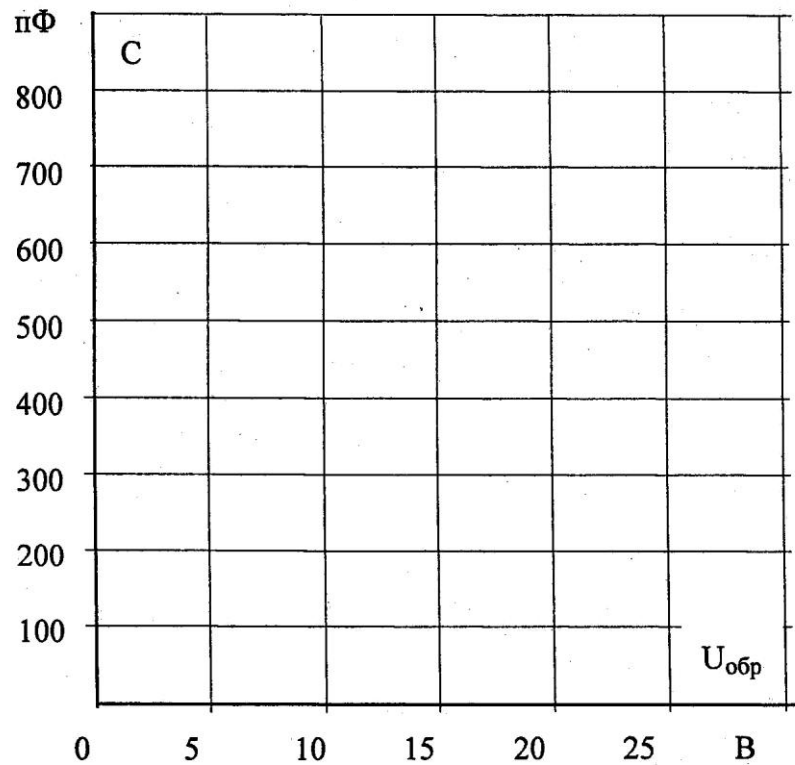


Рис. 4.2.5

Вопрос 1: Какова величина порогового напряжения варикапа?

Ответ:

Вопрос 2: Как ведет себя емкость запорного слоя при увеличении обратного напряжения?

Ответ:

5. Биполярные транзисторы

5.1. Испытание слоев и выпрямительного действия биполярных транзисторов

5.1.1. Общие сведения

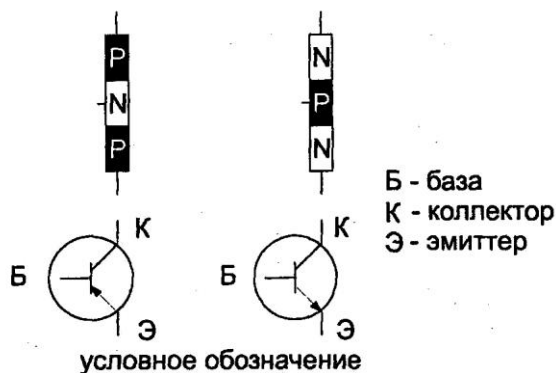


Рис.5.1.1

Транзистор (рис. 5.1.1) представляет собой полупроводниковый триод, у которого тонкий р-проводящий слой помещен между двумя n-проводящими слоями (n-p-n транзистор) или n-проводящий слой помещен между двумя р-проводящими слоями (р-n-p транзистор).

р-n переходы между средним слоем (база) и двумя крайними слоями (эмиттер и коллектор) обладают выпрямительным свойством, которое можно исследовать как в случае любого выпрямительного диода.

5.1.2. Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперные характеристики эмиттерного и коллекторного **р-n** переходов транзисторов типа **р-n-p** и типа **n-p-n** в прямом направлении. Убедитесь, что в обратном направлении токи через эти **р-n** переходы ничтожно малы.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 5.1.2а).
- Поочередно устанавливая значения токов $I_{ПР}$ регулятором напряжения источника, измерьте соответствующие значения напряжения на **р-n** переходе $U_{БЭ}$ и занесите их в табл. 5.1.1.
- Измените схему в соответствии сначала с рис. 5.1.2б, затем 5.1.2в и 5.1.2г и повторите все измерения.
- На рис. 5.1.3 постройте графики $I_{ПР}(U_{ПР})$ для каждого случая и убедитесь, что вольт-амперные характеристики всех **р-n** переходов практически совпадают.
- Установите входное напряжение источника равным нулю, поменяйте его полярность (зажим «+» на «—») и увеличивая напряжение до 5 В (но не выше!), убедитесь, что ток в **р-n** переходе практически остается равным нулю (не превышает 1 μ А).
- Проведите этот с остальными **р-n** переходами согласно схеме на рис. 5.1.2 при обратной полярности источника питания.

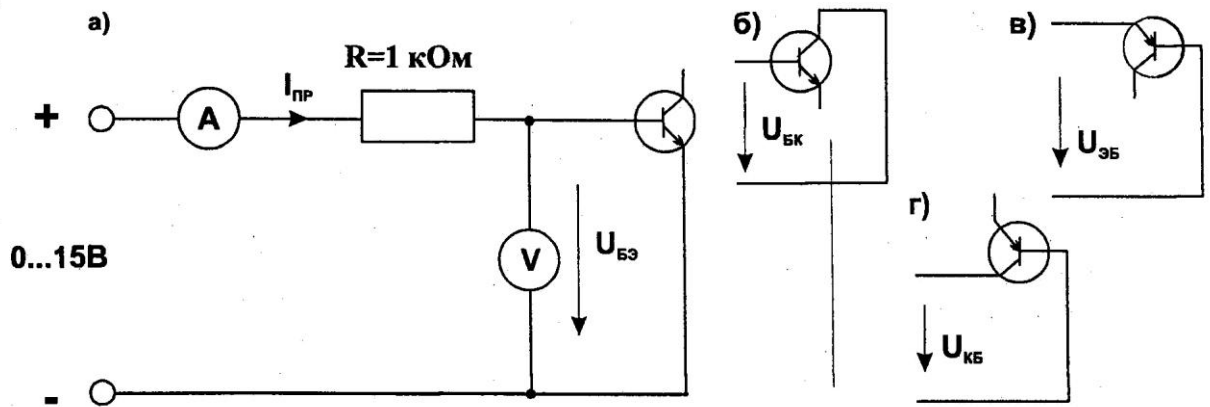


Рис. 5.1.2

Таблица 5.1.1

I _{пр} , мА	Транзистор n-p-n		Транзистор p-n-p	
	U _{бэ} , В	U _{бк} , В	U _{эб} , В	U _{кб} , В
0				
1				
2				
4				
8				
14				

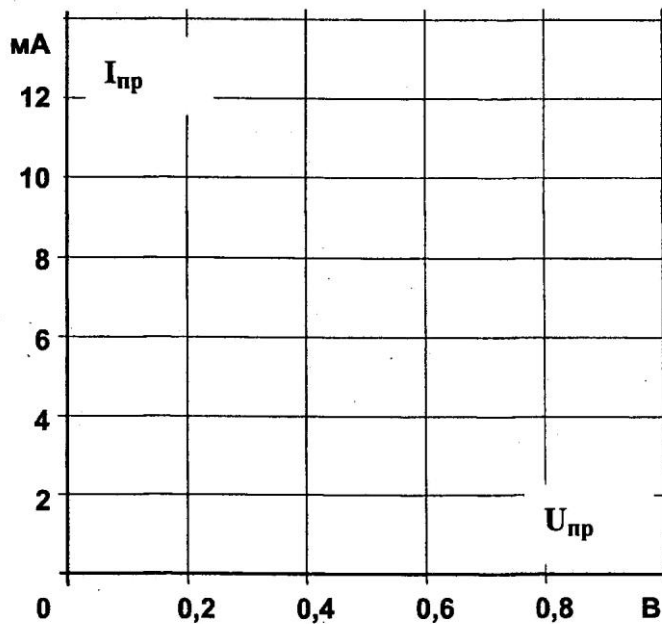


Рис. 5.1.3

Вопрос 1: Каковы общие свойства обоих **p-n** переходов транзисторов двух типов?

Ответ:

Вопрос 2: Каковы отличия **p-n** переходов в двух типах транзисторов?

Ответ:

5.2. Управляющий эффект тока базы транзистора

5.2.1. Общие сведения

В транзисторе р-п-р типа (рис. 5.2.1) ток эмиттера к коллектору через базу обусловлен неосновными для базы носителями заряда - дырками. При положительном направлении напряжения $U_{ЭБ}$ эмиттерный р-п переход открывается, и дырки из эмиттера проникают в область базы. Часть из них уходит к источнику напряжения $U_{ЭБ}$, а другая часть достигает коллектора. Возникает так называемый транзитный ток от эмиттера к коллектору. Он резко возрастает с увеличением $U_{ЭБ}$ и тока базы.

В транзисторе п-р-п типа (рис. 5.2.1б) транзитный ток через базу обусловлен также неосновными для нее носителями заряда - электронами. Там они появляются из эмиттера, если к эмиттерному р-п переходу прикладывается напряжение $U_{ЭБ}$, полярность которого показана на рис. 5.2.1б.

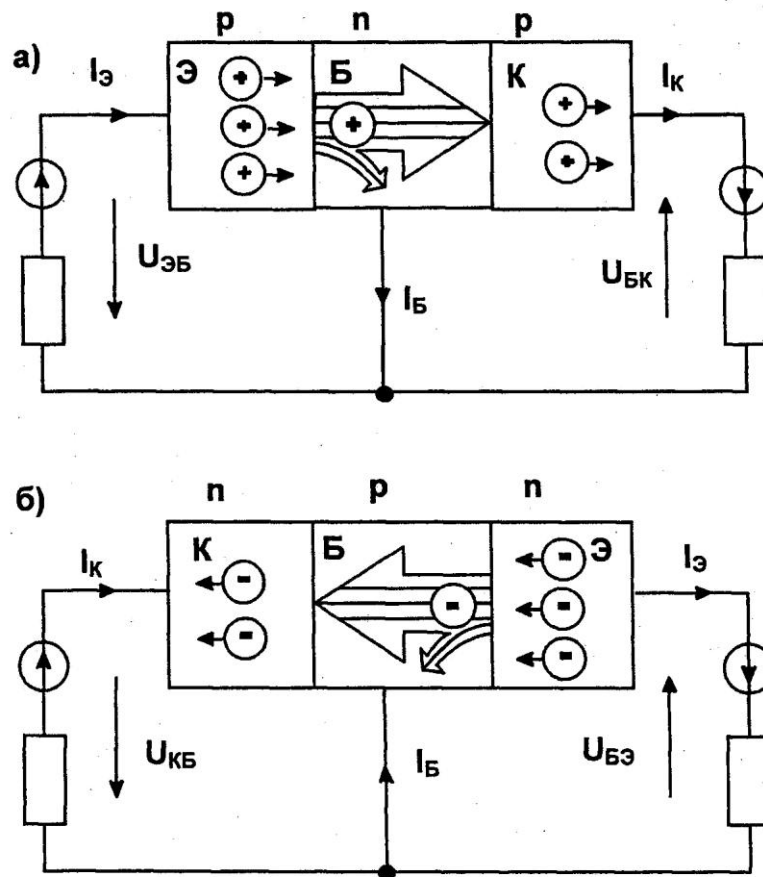


Рис. 5.2.1

Токи эмиттера, коллектора и базы связаны между собой уравнением первого закона Кирхгофа:

$$I_К = I_Э - I_Б$$

Обычно ток базы существенно меньше I_k и I_ϵ , но от него сильно зависит как I_k , так и I_ϵ - Отношение приращения тока коллектора к приращению тока базы называется коэффициентом усиления по току:

$$\beta = \Delta I_k / \Delta I_b.$$

Он может иметь значения от нескольких десятков до нескольких сотен. Поэтому с помощью сравнительно малого тока базы можно регулировать относительно большие токи коллектора (и эмиттера).

5.2.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать влияние тока базы на вольтамперную характеристику $I_k(U_{\epsilon k})$ для $p-n-p$ транзистора с помощью осциллографа.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 5.2.2). В этой цепи между эмиттером и коллектором действуют полуволны синусоидального напряжения, а между базой и эмиттером - регулируемое постоянное напряжение. Диод $V1$ включён для защиты эмиттерного перехода транзистора от пробоя при неправильном подключении полярности источника постоянного напряжения, а диод $V2$ - для исключения обратного напряжения между эмиттером и коллектором.

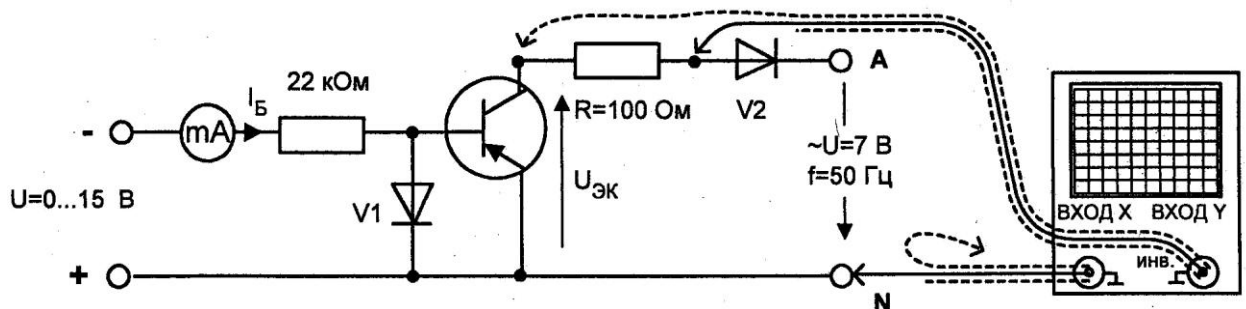
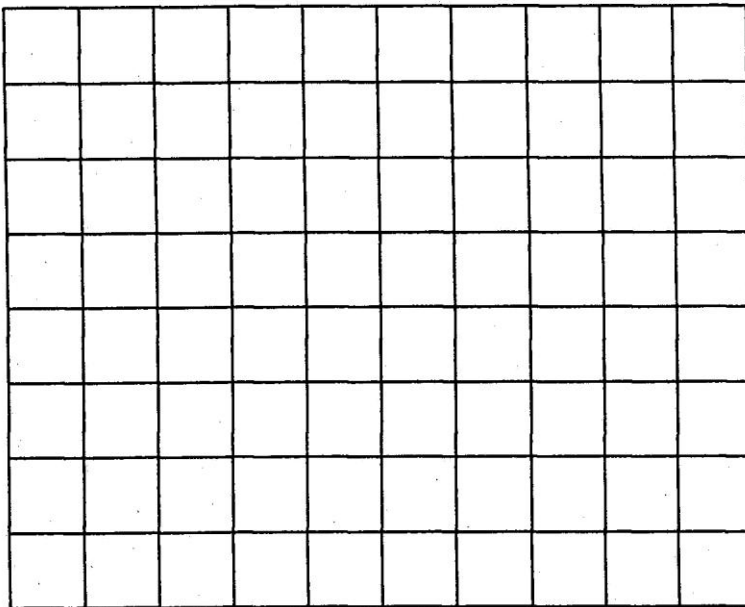


Рис. 5.2.2

- Включите осциллограф, настройте усиление и установите режим XY. Включите инвертирование канала Y для правильного отображения полярности сигнала.
- Регулируя тока базы от 0 до максимального значения и наоборот, наблюдайте за изменением кривой $I_k(U_{\epsilon k})$ на осциллографе. При нескольких значениях тока базы (включая нулевое и максимальное) перерисуйте кривую $I_k(U_{\epsilon k})$ с осциллографа на рис. 5.2.2. Не забудьте указать масштабы по осям и токи базы для каждой кривой.
- На семействе кривых $I_k(U_{\epsilon k})$ выберите какое-либо постоянное напряжение $U_{\epsilon k}$ (например, 5 В) и на рис. 5.2.3 постройте зависимость $I_k(I_b)$ для этого значения напряжения $U_{\epsilon k}$. Рассчитайте и на этом же рисунке постройте график $\beta(I_b) = \Delta I_k / \Delta I_b$. Нанесите шкалы по осям.



Масштабы

По каналу X:

$m_x = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу Y:

$m_y = m_x/R \dots\dots\dots$ м А/дел.

Рис. 5.2.2.

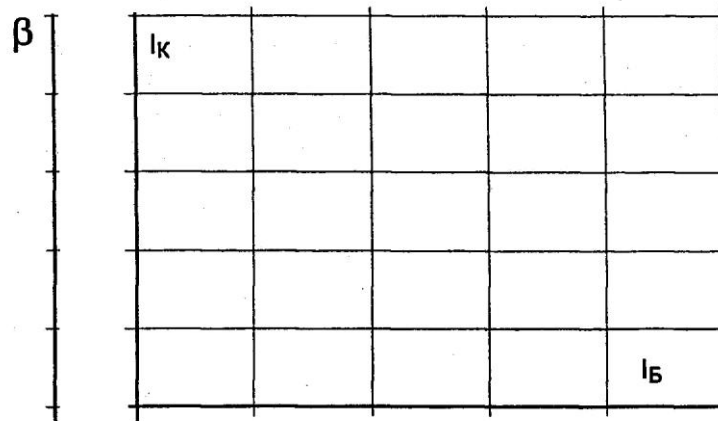


Рис. 5.2.3.

5.3. Характеристики транзистора

5.3.1. Общие сведения

Свойства транзисторов описываются следующими четырьмя семействами характеристик.

Входная характеристика показывает зависимость тока базы I_b от напряжения в цепи база/эмиттер $U_{бэ}$ (при $U_{кэ} = \text{const}$).

Выходная характеристика показывает зависимость тока коллектора I_k от напряжения цепи коллектор/эмиттер $U_{кэ}$ при различных фиксированных значениях тока базы.

Характеристика управления представляет собой зависимость тока коллектора I_k от тока базы I_b (при $U_{кэ} = \text{const}$).

Характеристика обратной связи есть зависимость напряжения цепи база/эмиттер $U_{бэ}$, соответствующего различным неизменным значениям тока базы, от напряжения цепи коллектор/эмиттер $U_{кэ}$ при различных фиксированных значениях тока базы.

5.3.2. Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально и построить графики четырех семейств характеристик биполярного транзистора **n-p-n** типа.

Порядок выполнения экспериментов

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 5.3.1). Потенциометр 1 кОм используется для регулирования тока базы, резисторы 100 и 47 кОм - для ограничения максимального тока базы. Регулирование напряжения $U_{кэ}$ осуществляется регулятором источника постоянного напряжения. Измерение тока базы I_b и напряжения $U_{бэ}$ производятся мультиметрами на пределах 200 μA и 2 В соответственно. Пределы измерения тока коллектора I_k и напряжения $U_{кэ}$ изменяются в ходе работы по мере необходимости. **При сборке схемы предусмотрите переключки для переключения амперметра из одной ветви в другую.**
- Установите первое значение тока базы 20 μA и изменяя напряжение $U_{кэ}$ согласно значениям, указанным в табл. 5.3.1, снимите зависимости $I_k(U_{кэ})$ и $U_{бэ}(U_{кэ})$. Повторите эти измерения при каждом значении I_b , указанном в таблице.

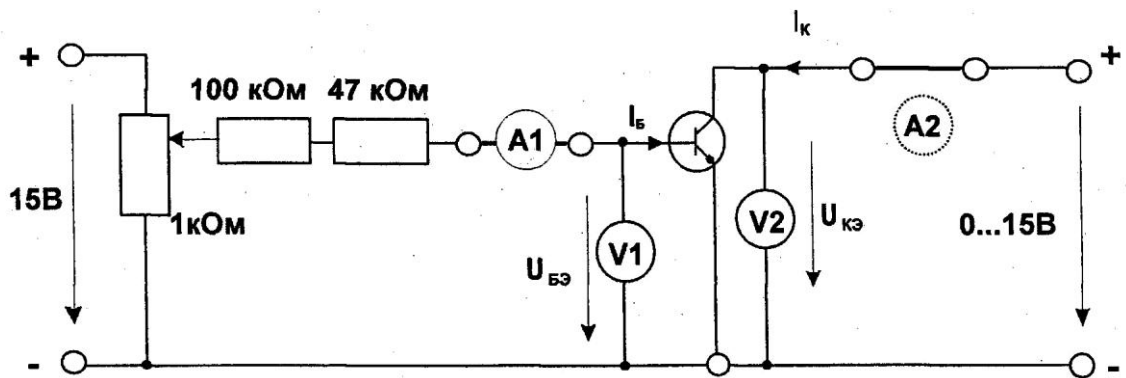


Рис. 5.3.1

Примечание: характеристики транзистора изменяются в ходе работы из-за его нагрева. Поэтому для большей определенности рекомендуется установить нужные значения $I_{Б}$ и $U_{КЭ}$, выключить на 30 с блок генераторов напряжений, затем включить его и быстро записать показания приборов $V1$ и $A2$.

Таблица 5.3.1

$U_{КЭ}, В$	$I_{Б}=20\mu A$		$I_{Б}=40\mu A$		$I_{Б}=60\mu A$		$I_{Б}=80\mu A$	
	$I_{К}, mA$	$U_{БЭ}, В$	$I_{К}, mA$	$U_{БЭ}, В$	$I_{К}, mA$	$U_{БЭ}, В$	$I_{К}, mA$	$U_{БЭ}, В$
0								
0,5								
1								
2								
5								
10								
15								

- На рис. 5.3.3 постройте графики семейства выходных характеристик $I_{К}(U_{КЭ})$ и семейство характеристик обратной связи $U_{БЭ}(U_{КЭ})$, не забыв указать какому току базы соответствует каждая кривая.
- Установите $U_{КЭ} = 0$ и изменяя ток базы в соответствии со значениями, указанными в табл. 5.3.2, снимите зависимость $U_{БЭ}(I_{Б})$, Увеличьте напряжение $U_{КЭ}$ до 5 В и снова снимите зависимость $U_{БЭ}(I_{Б})$, а также и $I_{К}(I_{Б})$. Повторите этот опыт также при $U_{КЭ} = 15$ В. (При проведении этих измерений также учитывайте примечание к предыдущему опыту).
- На рис. 5.3.3 постройте графики входных $I_{Б}(U_{БЭ})$ и регулировочных $I_{К}(I_{Б})$ характеристик, указав для каждой кривой соответствующие значения $U_{КЭ}$.

Таблица 5.3.2

$I_{Б}, \mu A$	$U_{КЭ}=0В$		$U_{КЭ}=5В$		$U_{КЭ}=15В$	
	$U_{БЭ}, В$	$I_{К}, mA$	$U_{БЭ}, В$	$I_{К}, mA$	$U_{БЭ}, В$	$I_{К}, mA$
0						
5						
10						
20						
50						
80						

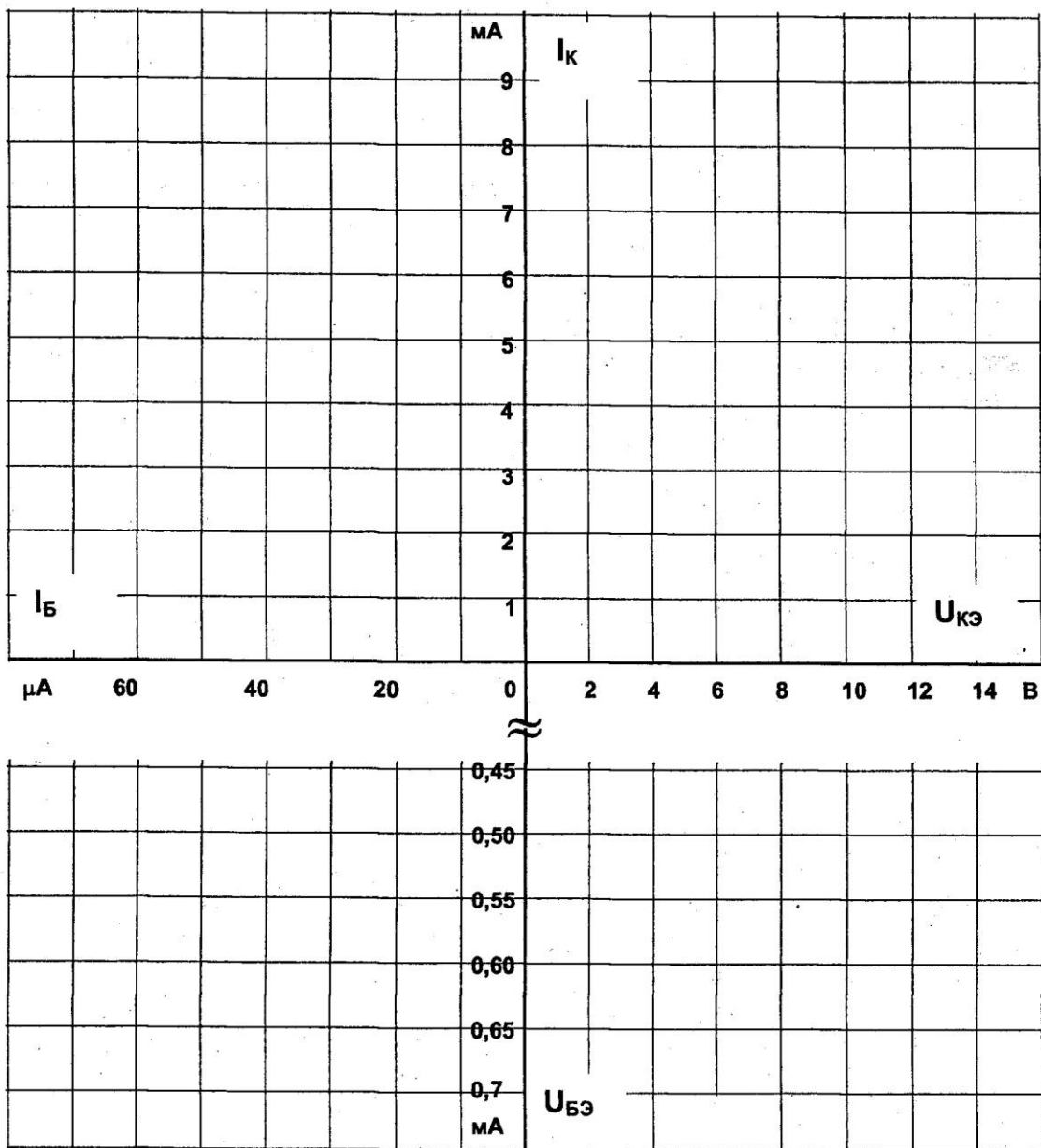


Рис. 5.3.3

5.4. Установка рабочей точки транзистора и исследование влияния резистора в цепи коллектора на коэффициент усиления по напряжению усилительного каскада с общим эмиттером

5.4.1. Общие сведения

При изменении напряжения $U_{БЭ}$ изменяется ток базы, ток коллектора и напряжение $U_{КЭ}$. Отношение этих напряжений есть коэффициент усиления транзистора по напряжению:

$$\nu_U = U_{КЭ} \Delta U_{КЭ} / \Delta U_{БЭ}$$

Поскольку изменение напряжения цепи коллектор/эмиттер $U_{КЭ}$ зависит от резистора R_k , этот резистор также влияет на усиление по напряжению.

5.4.2. Экспериментальная часть

Задание

Экспериментально исследовать влияние сопротивления в цепи коллектора на коэффициент усиления по напряжению.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 5.4.1). Для начала установите $R_k = 220$ Ом. Подайте на вход делителя 1 кОм / 100 Ом синусоидальное напряжение (2...3 В) частотой 1...2 кГц.

Примечания:

- 1) К выходу источника переменного тока подключен делитель напряжения (1 кОм/100 Ом), чтобы обеспечить более точную регулировку и измерение входного напряжения. Это означает, что при напряжении источника, например, $U = 2$ В на входе усилителя будет напряжение $U_{ВЫХ} = 0,2$ В.
 - 2) Конденсатор C_1 служит для разделения цепей постоянного и переменного тока, а C_2 - для исключения постоянной составляющей напряжения из показаний вольтметра V_2 .
- Установите потенциометром ток покоя коллектора таким образом, чтобы среднее значение выходного напряжения составляло примерно 7,5 В (по осциллографу), а регулятором синусоидального напряжения установите максимально возможную амплитуду выходного напряжения, при которой еще нет сильных искажений синусоиды.
 - Запишите в табл. 5.4.1 значения $U_{вх}$ и $U_{вых}$, учитывая что напряжение, измеряемое вольтметром V_1 в 10 раз больше, чем $U_{вх}$. Вычислите коэффициент усиления.
 - Проведите этот опыт при всех значениях сопротивления R_k , указанных в табл. 5.4.1 и на рис. 5.4.2 постройте график зависимости ν_U от R_k .

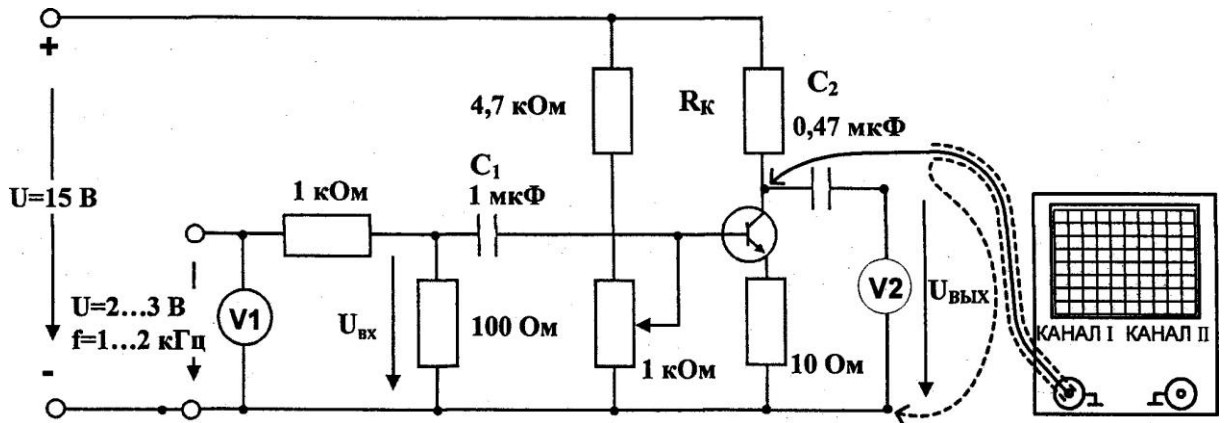


Рис. 5.4.1

Таблица 5.4.1

$R_K, \text{кОм}$	0,22	0,33	0,47	1	1,47	2,2
$U_{\text{вх}}, \text{мВ}$						
$U_{\text{вых}}, \text{В}$						
ν_U						

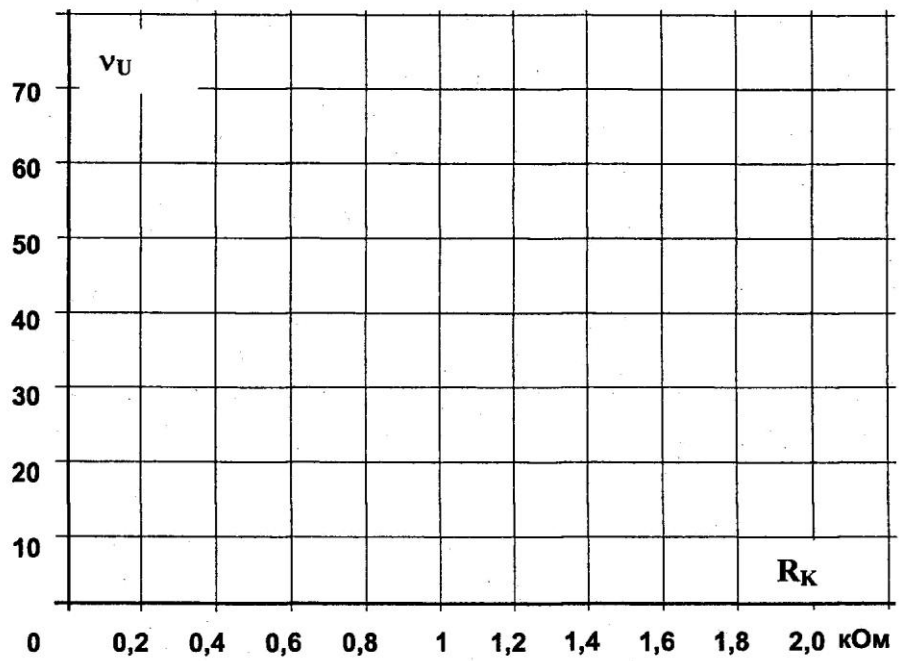


Рис.5.4.2

Вопрос 1: Какое влияние оказывает сопротивление в цепи коллектора на коэффициент усиления?

Ответ:

Вопрос 2: Какое влияние оказывает сопротивление в цепи коллектора на форму выходного напряжения?

Ответ:

5.5. Усилители на биполярных транзисторах

5.5.1. Общие сведения

Транзисторы используются как управляющие элементы в усилительных цепях. По названию того электрода транзистора, который используется как общая точка для напряжений входного и выходного сигналов, различают три основные схемы усилителей на биполярных транзисторах:

- с общим эмиттером (ОЭ),
- с общим коллектором (ОК),
- с общей базой (ОБ).

В наиболее распространенных схемах усилителей используются **n-p-n** транзисторы. Однако **p-n-p** транзисторы также можно использовать, но тогда нужно изменить полярность рабочего напряжения.

5.5.2. Экспериментальная часть

Задание

Выполнить измерения и определить следующие электрические показатели основных схем усилителей:

- коэффициент усиления по напряжению $\mathbf{V_U}$,
- угол фазового сдвига $\mathbf{\varphi}$,
- входное сопротивление $\mathbf{R_{вх}}$,
- выходное сопротивление $\mathbf{R_{вых}}$.

Усилители используются для усиления напряжения переменного тока. Конденсаторы C_1, C_2 установлены для развязывания рабочего и управляющего напряжений, делитель напряжения $1 \text{ кОм}/100 \text{ Ом}$ - для удобства регулирования и измерения малых значений входного напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь усилителя по схеме с общим эмиттером (рис. 5.5.1) и установите частоту синусоидального напряжения $\mathbf{f = 1 \text{ кГц}}$ и действующее значение напряжения 2 В . Для производства измерений включите мультметры и осциллограф.
- Настройте осциллограф и перерисуйте осциллограммы входного и выходного напряжений на рис. 5.5.2, укажите масштабы по осям.

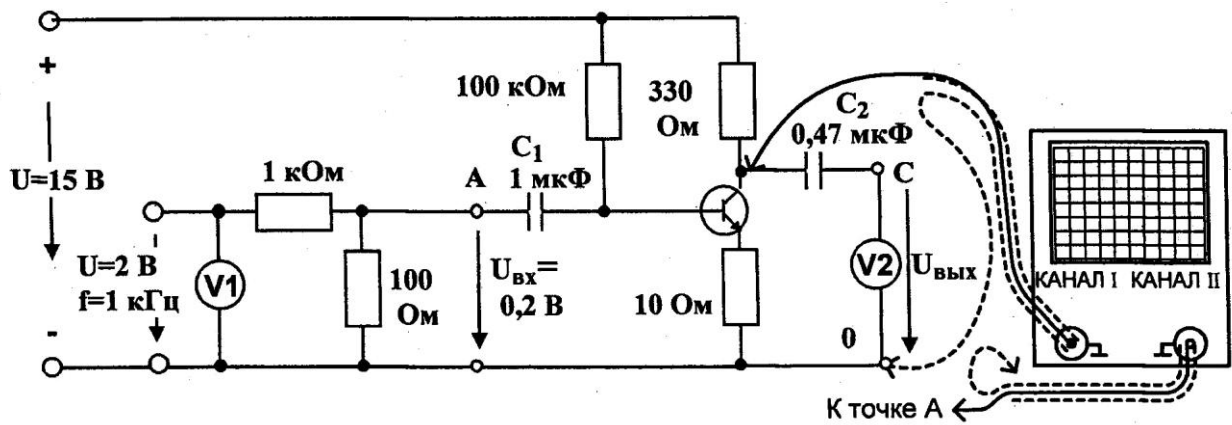
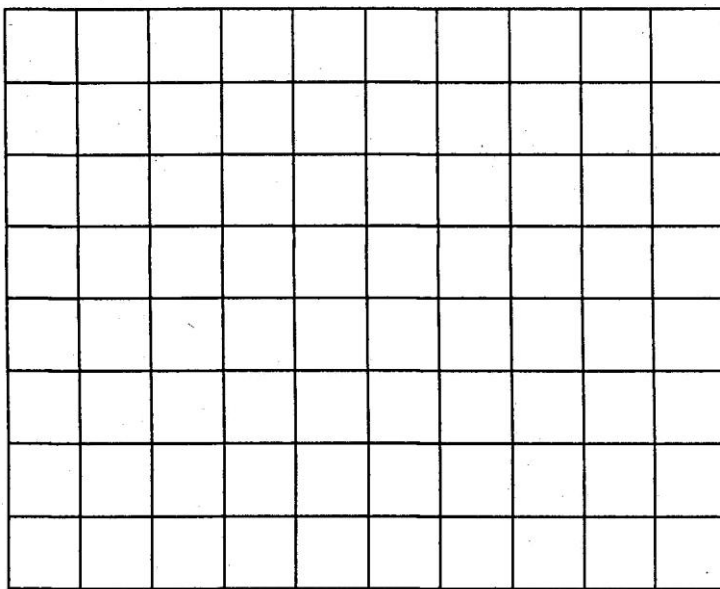


Рис. 5.5.1



Масштабы

По каналу I:

$m_{U_{\text{вых}}} = \dots \text{ В/дел.}$

По каналу II:

$m_{U_{\text{вх}}} = \dots \text{ м А/дел.}$

По времени:

$m_t = \dots \text{ мс/дел.}$

Рис. 5.5.2

- Измерьте входное и выходное напряжения, определите угол фазового сдвига этих напряжений φ и вычислите коэффициент усиления по напряжению, используя следующее соотношение:

$$K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$

Результаты этих и последующих измерений и вычислений занесите в табл. 5.5.1.

- Далее определите входное сопротивление усилителя $R_{\text{вх}}$. Для этого включите последовательно во входную цепь усилителя (точка А) резистор $R_{\text{доб}} = 1 \text{ кОм}$. Это вызовет снижение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ усилителя от U_1 до U_2 . Тогда входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ можно рассчитать следующим образом:

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{доб}} / (U_1 / U_2 - 1).$$

- Теперь определите выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$. Для этого включите нагрузочный резистор $R_{\text{н}} = 1 \text{ кОм}$ параллельно выходу усилителя (точки С-0). Это также вызовет снижение выходного напряжения усилителя от U_1 до U_2 . Выходное сопротивление можно вычислить, используя соотношение:

$$R_{\text{вых}} = R_{\text{н}} (U_1 / U_2 - 1).$$

- Соберите цепь усилителя по схеме с общим коллектором (рис. 5.5.3). Конденсатор C_3 в схеме служит для подавления высокочастотных помех. Повторите описанные выше измерения, постройте кривые на графике (рис.5.5.4) и занесите результаты измерений в табл.4.5.2. При этом $R_{доб} = 10 \text{ кОм}$, а $R_{н} = 100 \text{ Ом}$.

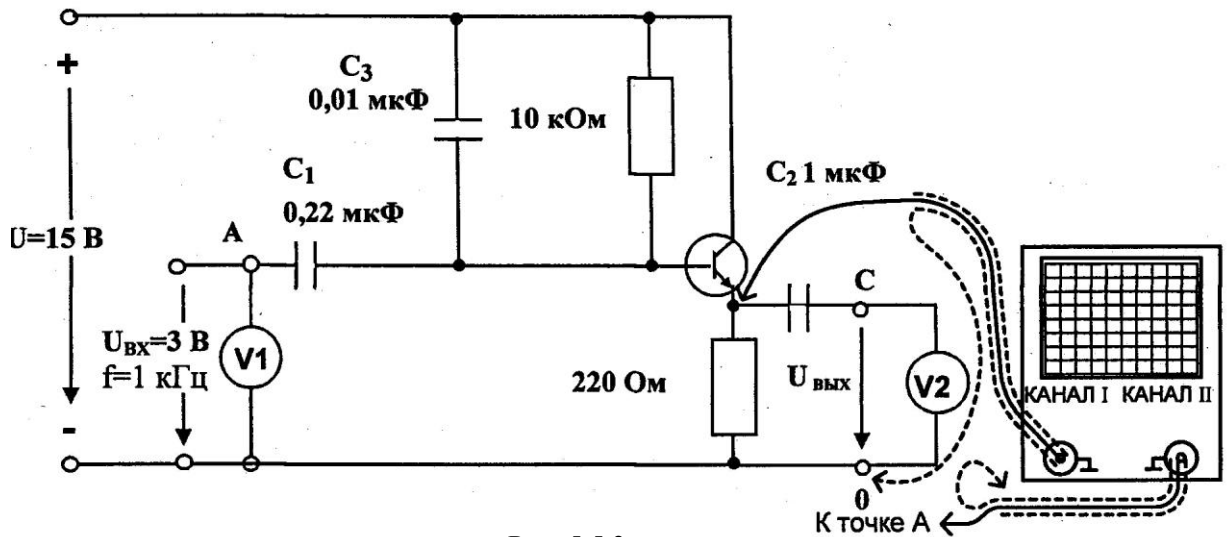
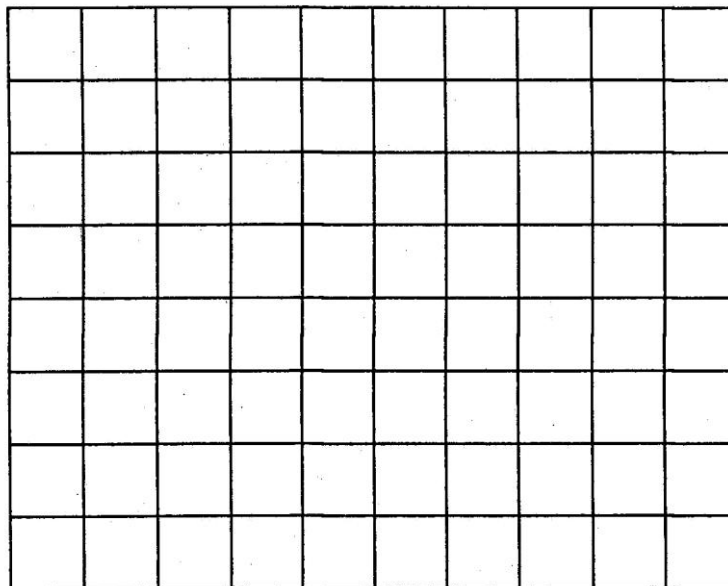


Рис. 5.5.3



Масштабы

По каналу I:

$m_{U_{\text{вых}}} = \dots \text{ В/дел.}$

По каналу II:

$m_{U_{\text{вх}}} = \dots \text{ м В/дел.}$

По времени:

$m_t = \dots \text{ мс/дел.}$

Рис. 5.5.4

- Наконец, соберите цепь усилителя по схеме с общей базой (рис. 5.5.5). Соблюдайте полярность подключения электролитического конденсатора 10 мкФ. Повторите измерения, постройте кривые на графике (рис. 5.5.6) и занесите результаты в табл. 5.5.1 (при этом $R_{доб} = 220 \text{ Ом}$, а $R_{н} = 1 \text{ кОм}$).

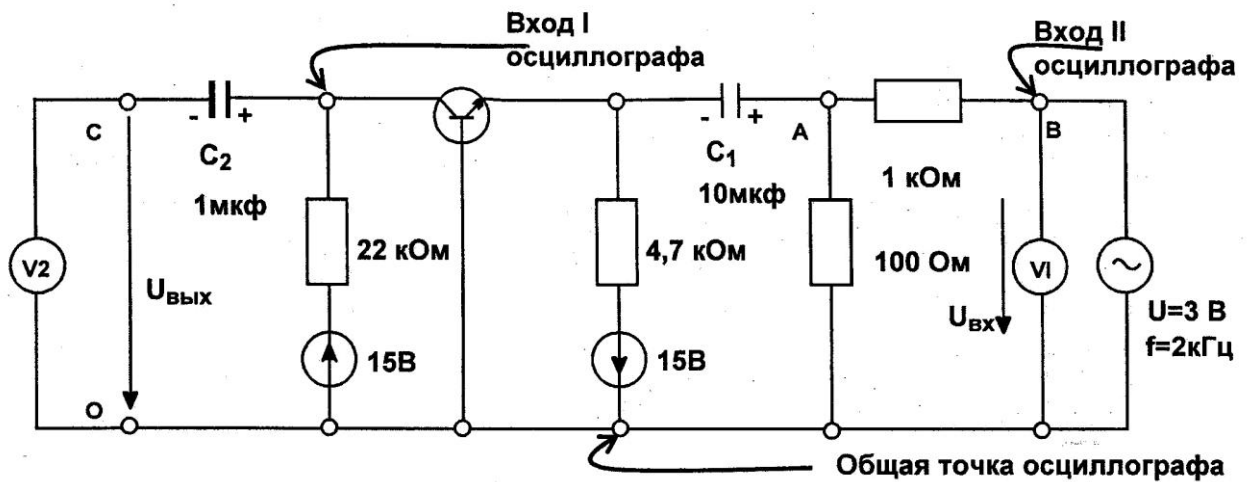
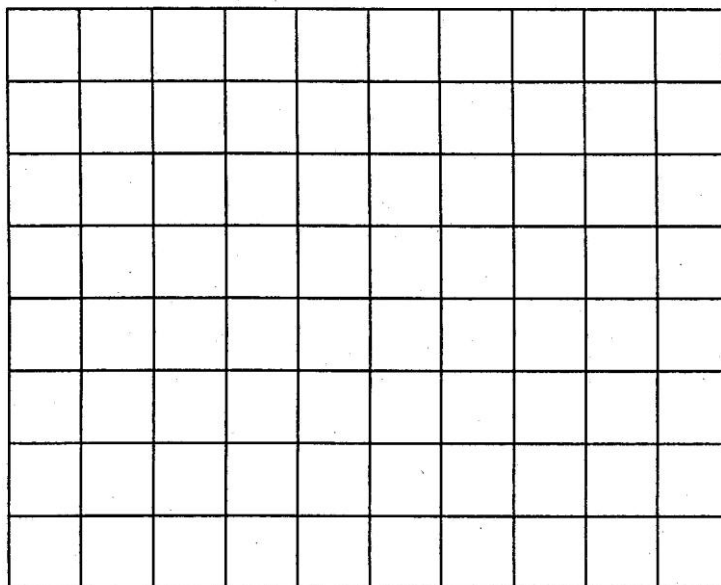


Рис.5.5.5



Масштабы

По каналу I:

$m_{U_{\text{ВЫХ}}} = \dots\dots\dots \text{ В/дел.}$

По каналу II:

$m_{U_{\text{ВХ}}} = \dots\dots\dots \text{ м А/дел.}$

По времени:

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

Рис. 5.5.6

Таблица 5.5.1

	с общим эмиттером	с общим коллектором	с общей базой
$U_{\text{ВХ}}$	0,2 В, 1кГц	0,3 В, 1кГц	0,3 В, 10 кГц
$U_{\text{ВЫХ}}$			
ν_U			
φ			
$R_{\text{ВХ}}$			
$R_{\text{ВЫХ}}$			

Вопрос 1: Какой из трех усилителей имеет инвертирующий эффект?

Ответ:

Вопрос 2: В каких задачах свойства усилителя с общим коллектором имеют особое применение?

Ответ:

5.6. Регулятор напряжения (линейный)

5.6.1. Общие сведения

Поскольку ток коллектора зависит от разности потенциалов между базой и эмиттером, транзистор может служить как электронный регулятор. Как известно, регулятор формирует управляющий сигнал как разность между постоянной величиной задаваемого параметра (уставка) и текущей величиной регулируемого параметра. Управляющий сигнал воздействует на исполнительный элемент таким образом, что отклонение регулируемого параметра от величины уставки устраняется.

В качестве уставки обычно используется постоянное напряжение стабилитрона или операционного усилителя в режиме компаратора.

В настоящее время широко применяются интегральные схемы для стабилизации напряжения.

5.6.2. Экспериментальная часть

Задание

Изучить выходное напряжение регулятора напряжения как функцию входного напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь стабилизатора напряжения согласно схеме (рис. 5.6.1) и подайте на вход напряжение постоянного тока $U_{вх} = 30 \text{ В}$. Установите с помощью потенциометра выходное напряжение $U_{вых} = 14 \text{ В}$. **Примечание:** Резистор R_1 является защитным и служит для предотвращения повреждения полупроводниковых элементов в случае коротких замыканий или перегрузок.

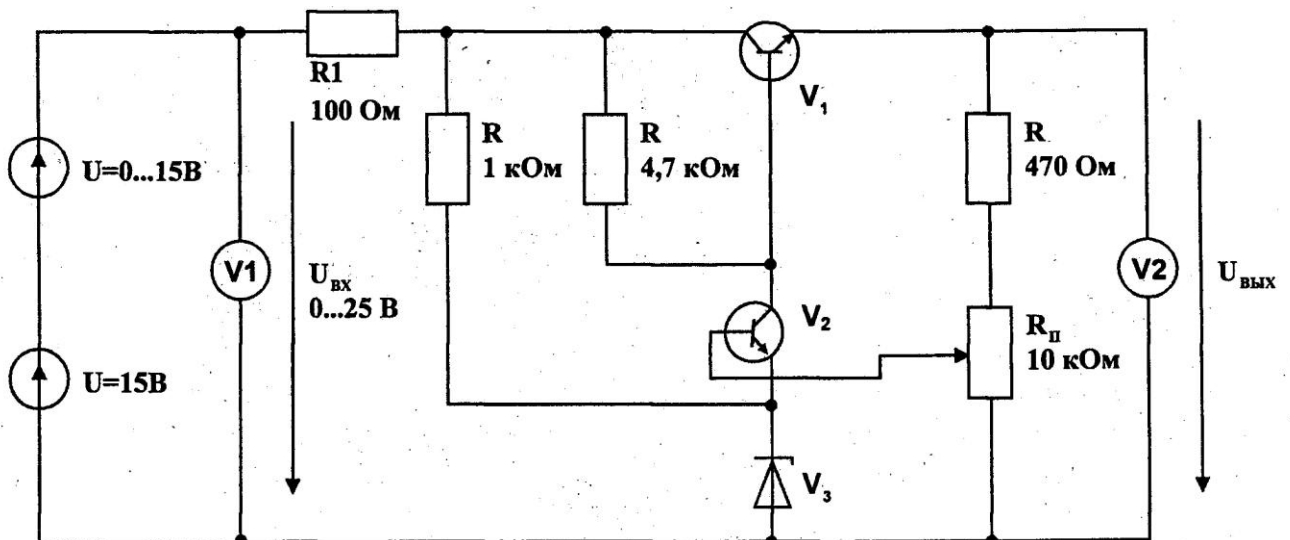


Рис. 5.6.1

- Изменяйте ступенчато, как указано в табл. 5.6.1, входное напряжение и одновременно записывайте значения выходного напряжения.

Таблица
5.6.1

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	30
$U_{\text{вых}}, \text{В}$													

- На графике (рис. 5.6.2) постройте кривую зависимости выходного напряжения от напряжения на входе регулятора $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$.

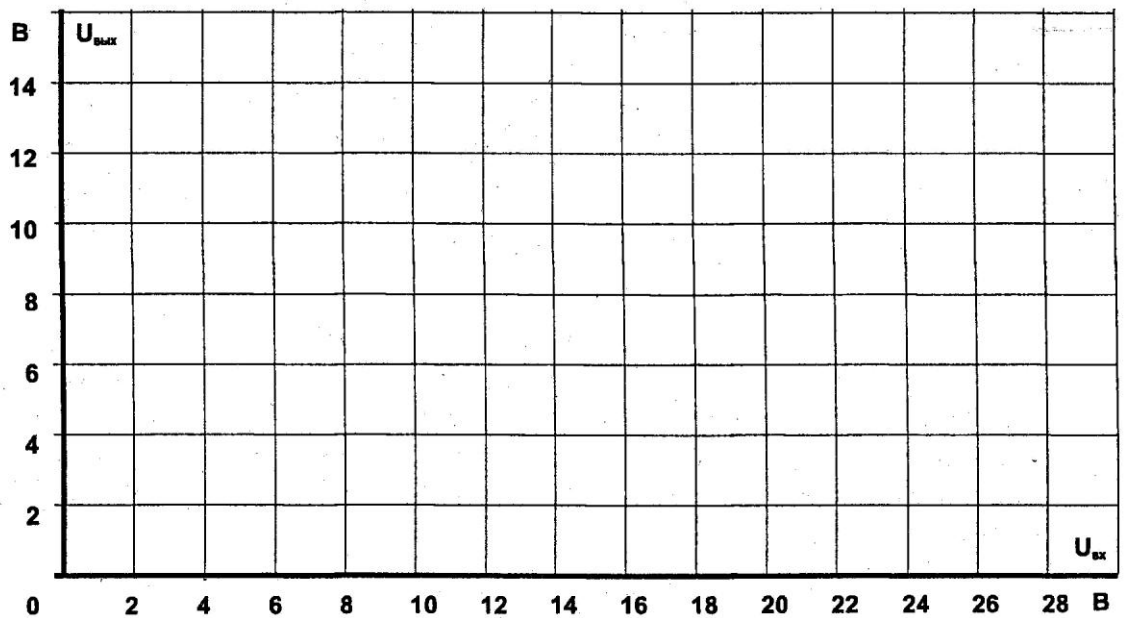


Рис. 5.6.2

Вопрос 1: Какой элемент цепи (рис. 5-6.1) можно использовать для задания максимального выходного напряжения?

Ответ:.....

Вопрос 2: Из каких компонентов состоит линейный регулятор напряжения?

Ответ:.....

5.7. Регулятор тока

5.7. Общие сведения

Регулятор тока также формирует управляющий сигнал как разность между постоянной величиной задаваемого параметра (уставка) и текущей величиной регулируемого параметра. Он воздействует на исполнительный элемент таким образом, что отклонение регулируемого параметра от величины уставки устраняется.

В электронных регуляторах тока в качестве уставки также используется постоянное напряжение стабилитрона, которое сравнивается с зависящим от выходного тока падением напряжения на резисторе. В рассматриваемой ниже цепи сравнение имеет место непосредственно между базой и эмиттером регулирующего транзистора. Одно из применений стабилизаторов тока - в зарядных устройствах аккумуляторов.

5.7.2. Экспериментальная часть

Задание

Изучить выходные напряжение и ток регулятора тока в зависимости от входного напряжения и сопротивления нагрузки.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь стабилизатора тока согласно схеме (рис. 5.7.1). В этой схеме уставка тока регулируется потенциометром 1 кОм, а резистор 220 Ом служит для ограничения максимального тока. Конденсатор 0,01 мкФ включён для подавления самовозбуждения транзисторного эмиттерного повторителя. Вместо сопротивления нагрузки вставьте сначала перемычку ($R=0$).

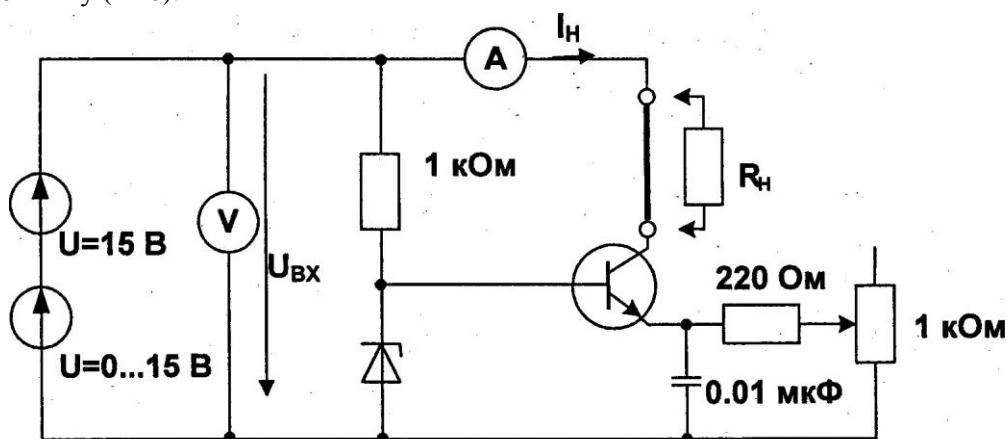


Рис. 5.7.1

- Регулятором источника питания установите на входе цепи максимальное напряжение 30 В, а потенциометром - желаемую уставку тока (примерно от 10 до 40 мА).
- Затем изменяйте ступенями, как указано в табл. 5.7.1, сопротивление нагрузки R_n и записывайте значения тока нагрузки I_n .
- Теперь снова замкните накоротко резистор нагрузки и уменьшайте входное напряжение ступенями от 30 В до 0. Снова записывайте соответствующие значения тока нагрузки в табл. 5.7.2.

Таблица 5.7.1

$R_H, \text{ Ом}$	0	47	100	220	330	470	680	1000
$I_H, \text{ мА}$								

Таблица 5.7.2

$U_{BX}, \text{ В}$	2	4	6	8	10	12	15	20	25	30
$I_H, \text{ мА}$										

- На рис. 5.7.2 постройте кривые зависимостей выходного тока от сопротивления нагрузки $I_H = f(R_H)$, а на рис. 5.7.3 - от напряжения на входе регулятора. Не забудьте нанести шкалы по осям!

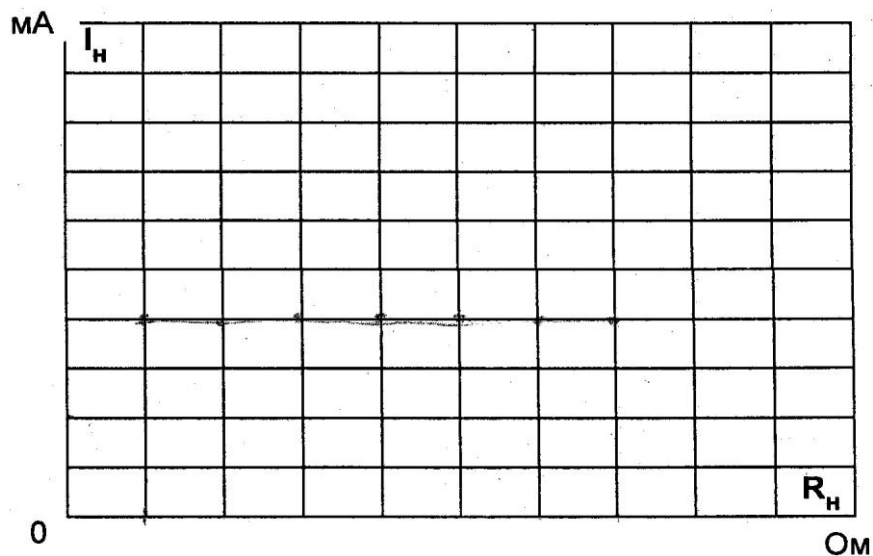


Рис. 5.7.2

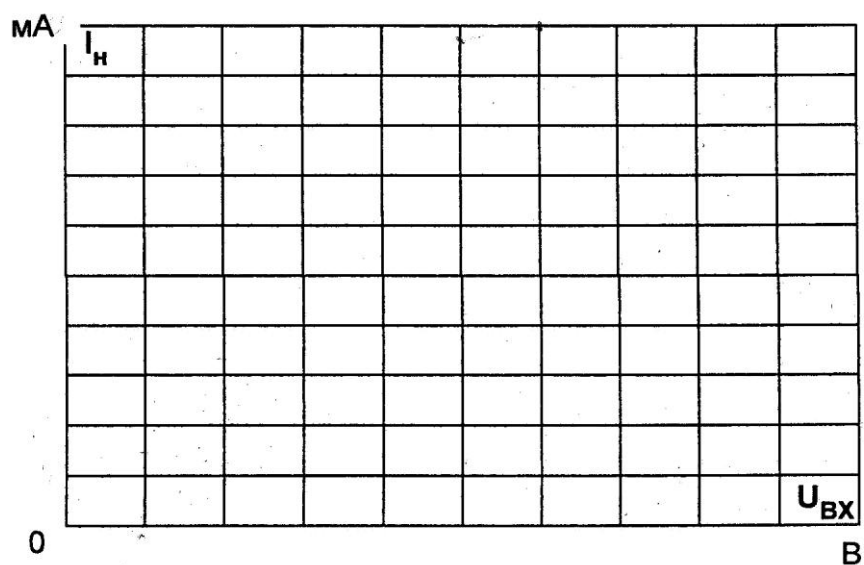


Рис. 5.7.3

Вопрос: Как можно объяснить термин «стабилизация тока»?

Ответ:

6. Униполярные (полевые) транзисторы

6.1. Испытание слоев и выпрямительного действия униполярных транзисторов

6.1.1. Общие сведения

В полевых транзисторах (рис. 6.1.1) ток обеспечивается носителями заряда одного знака (электронами или дырками) и протекает по **каналу** под воздействием прикладываемого извне электрического поля (отсюда название транзисторов этого типа). Электроды канала принято называть **истоком** и **стоком**. Управление током транзистора осуществляется посредством электрода, называемого **затвором**, который изолирован от канала **p-n** переходом или по-иному.

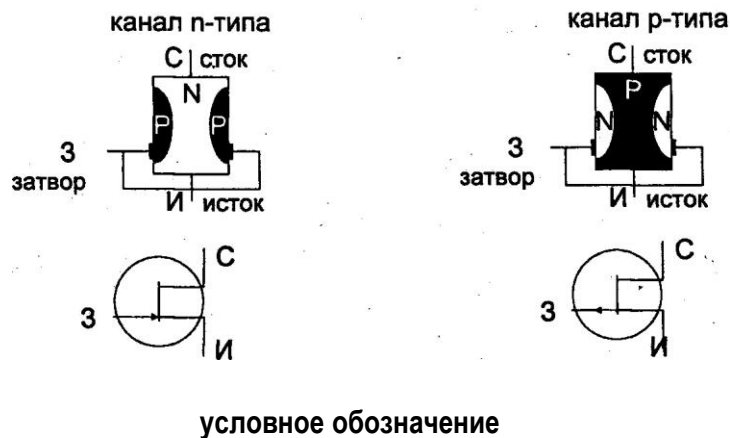


Рис. 6.1.1

6.1.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать свойства **p-n** переходов между электродами затвора и главными электродами (истоком и стоком) полевого транзистора с каналом **n**-типа. Используя мультиметр, определить зависимость тока от приложенного напряжения. Затем повторите эксперимент с транзистором **p**-типа.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.1.2, диаграмма 1) и с помощью мультиметра (в режиме миллиамперметра) определите состояние **p-n** перехода (проводящее / запертое). Повторите измерения согласно диаграммам 2, 3 и 4. Результаты занесите в таблицу 6.1.1.

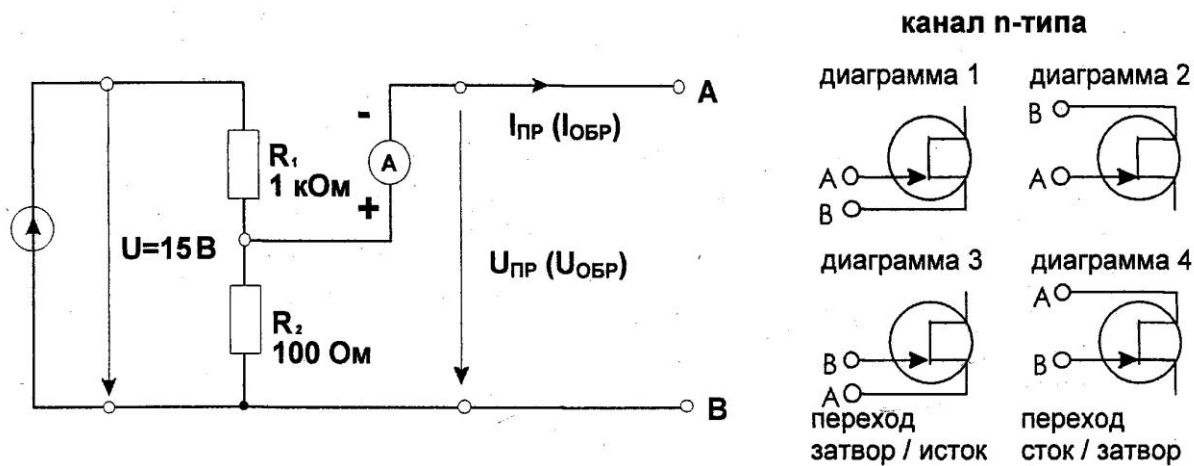


Рис.

Таблица 6.1.1

Диаграмма	1	2	3	4
канал n-типа				
канал p-типа				

- Затем замените транзистор с каналом n-типа транзистором с каналом p-типа (рис. 6.1.3). Определите состояния p-n переходов путем измерения для диаграмм 1...4 и занесите результаты в табл. 5.1.1.

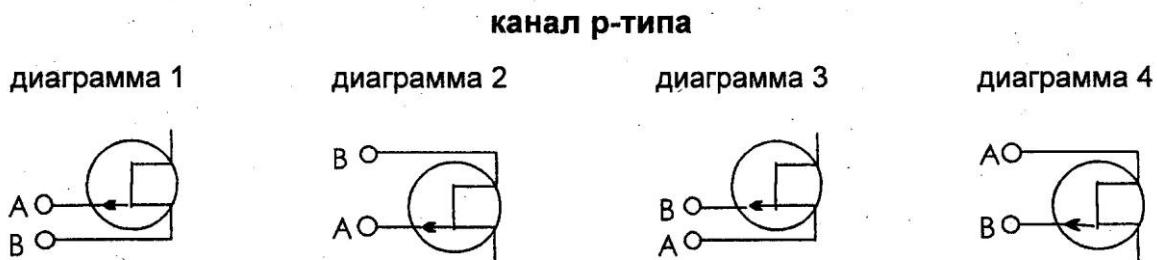


Рис. 6.1.3

Вопрос 1: Когда p-n переходы полевого транзистора с каналом n-типа заперты?

Ответ:

Вопрос 2: Когда p-n переходы полевого транзистора с каналом p-типа заперты?

Ответ:

- Повторите измерения для контура сток / затвор и занесите измеренные значения тока в табл. 6.2.2.

Таблица 6.2.2

контур сток/затвор										
$U_{пр}, В$	0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	1,0
$I_{пр}, мА$										

- На графике (рис. 6.2.2) постройте характеристику включения р-п переходов $I_{пр} = f(U_{пр})$.

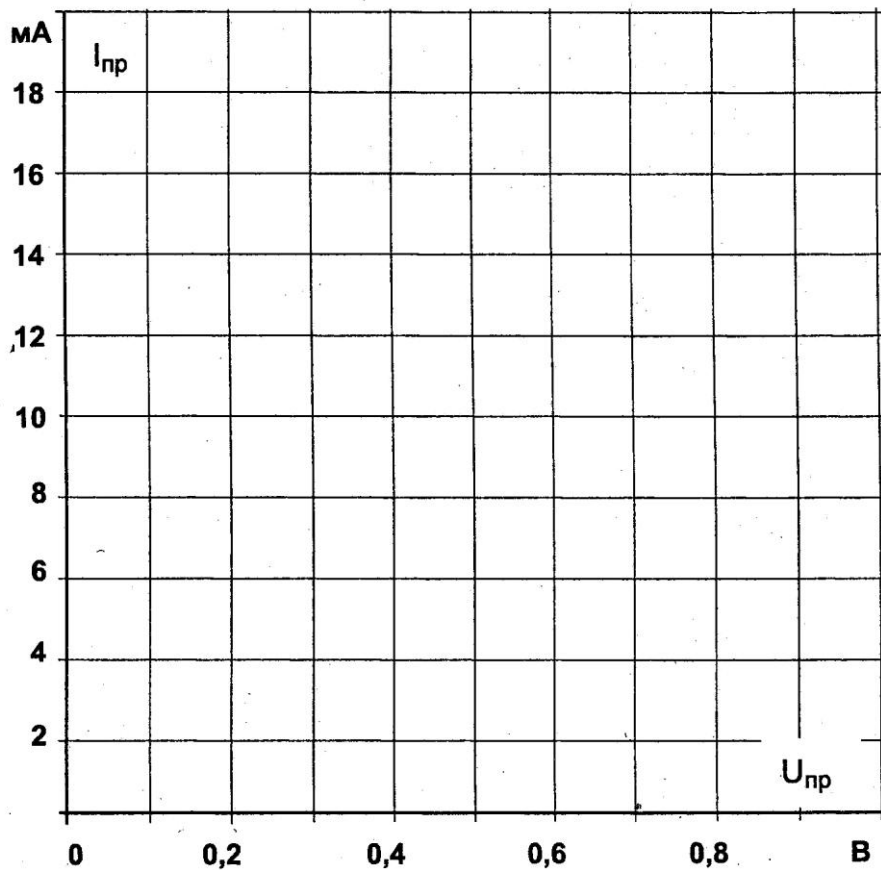


Рис. 6.2.2

Вопрос: Какое значение имеют расхождения между двумя полученными характеристиками включения?

Ответ:

6.3. Управляющий эффект затвора полевого транзистора n-типа

6.3.1. Общие сведения

Током в канале (контур исток / сток) полевого транзистора можно управлять с помощью потенциала затвора. В отличие от биполярных транзисторов для этого не требуется мощности, так как **p-n** переход между затвором и каналом остается запертым.

Входная характеристика или характеристика управления полевого транзистора выражает соотношение между напряжением затвор/исток $U_{зи}$ и током стока I_C .

Зависимость $I_C(U_{зи})$ называется стоко-затворной характеристикой.

Важными параметрами полевого транзистора являются крутизна стоко-затворной характеристики:

$$S = \Delta I_C / \Delta U_{зи},$$

и напряжение отсечки $U_{зи0}$, при котором ток стока становится близким к нулю.

6.3.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать экспериментально влияние напряжения затвор/исток на токи затвора и стока. Построить характеристики управления $I_C = f(U_{зи})$ и $I_з = f(U_{зи})$.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.3.1) и установите поочередно значения напряжения затвор / исток $U_{зи}$, указанные в табл. 6.3.1. Измерьте мультиметрами соответствующие значения токов затвора $I_з$ и стока I_C и занесите их в табл. 6.3.1.

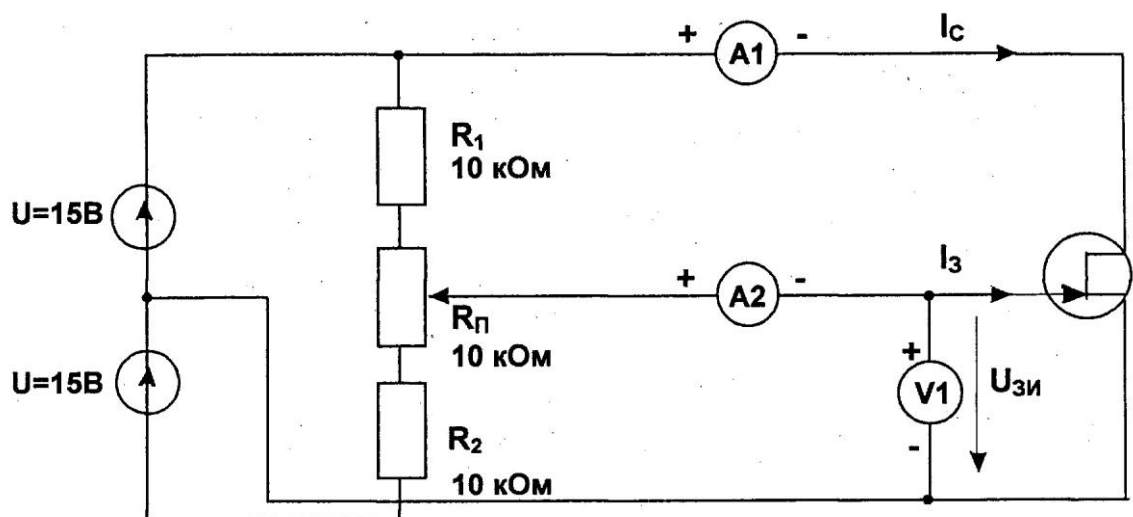


Рис. 6.3.1

Таблица 6.3.1

$U_{зи}, В$	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	+0,2	+0,4	+0,6	
$I_C, мА$										
$I_3, мА$										

- На графике (рис. 6.3.2) постройте кривые зависимостей тока затвора I_3 и тока стока I_C от напряжения $U_{зи}$.
- По графикам определите напряжение отсечки $U_{зи0}$ и крутизну стоко-затворной характеристики S :

$$U_{зи0} = \dots\dots\dots В;$$

$$S = \Delta I_C / \Delta U_{зи} = \dots\dots\dots мА/В.$$

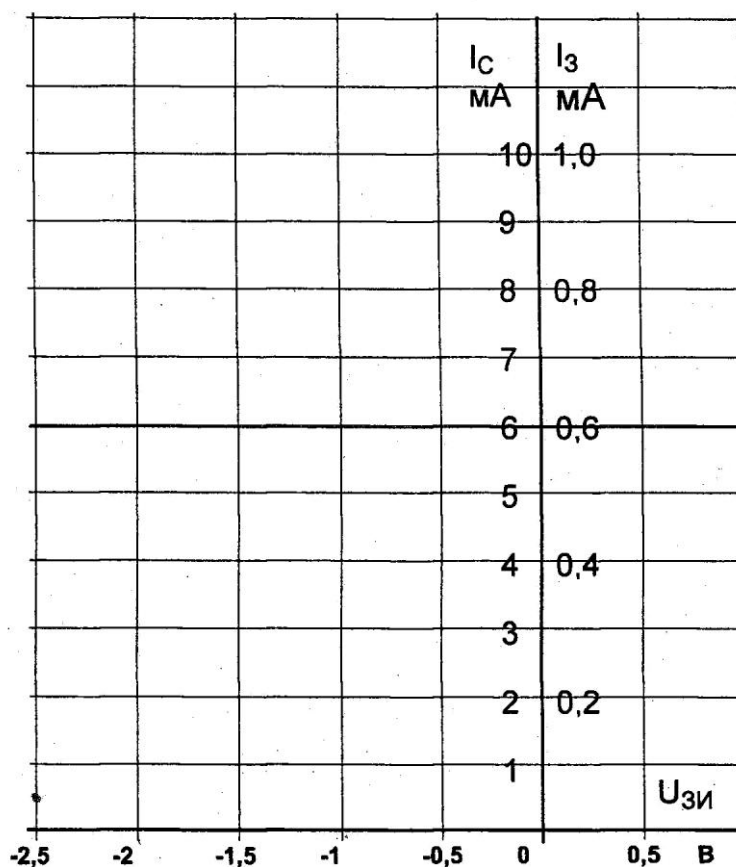


Рис. 6.3.2

Вопрос 1: Каков наклон характеристики S полевого транзистора, когда изменение напряжения затвор/исток составляет 1,5 В, а соответствующее изменение тока стока равно 4,5 мА?

Ответ:

Вопрос 2: Когда полевой транзистор управляется без потерь мощности?

Ответ:

6.4. Выходные характеристики полевого транзистора

6.4.1. Общие сведения

Выходными характеристиками полевого транзистора называют зависимости тока стока от напряжения сток / исток при различных фиксированных значениях напряжения затвор/исток.

Выходные характеристики снимают без нагрузочного сопротивления в статике.

6.4.2. Экспериментальная

часть Задание 1

Снять экспериментально зависимость тока стока от напряжения сток/исток $I_C = f(U_{СИ})$ при различных значениях напряжения затвор / исток. Изучить влияние нагрузочного сопротивления на коэффициент усиления напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис.6.4.1) сначала без нагрузочного сопротивления R_H .

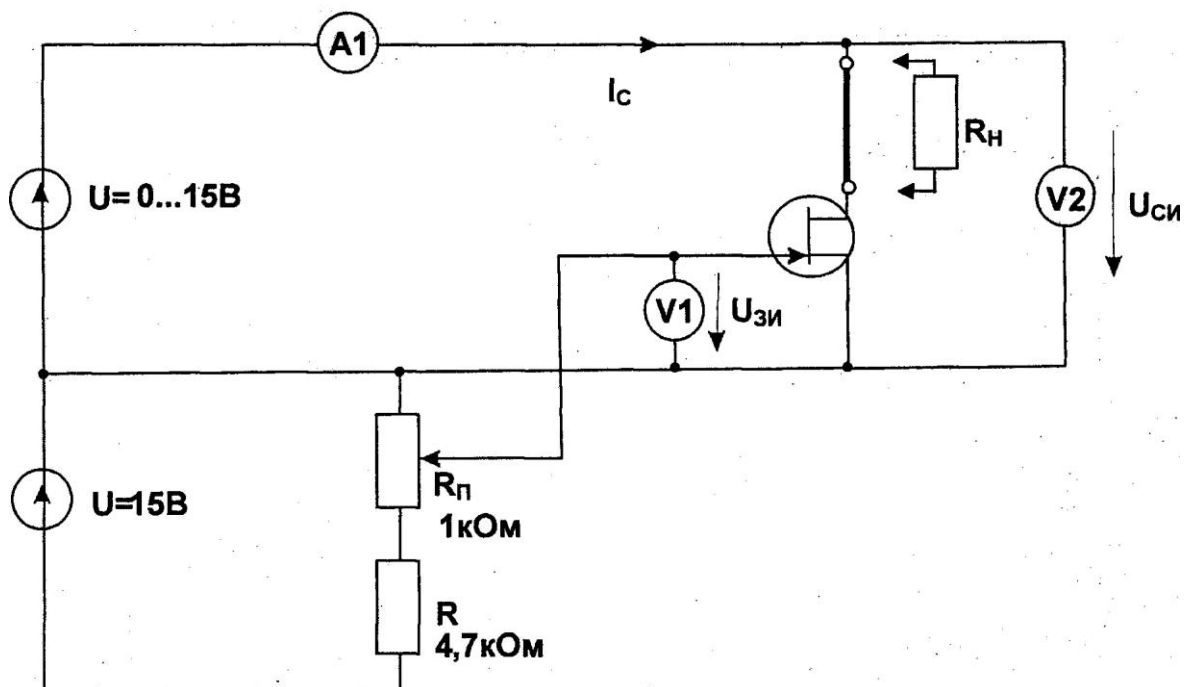


Рис. 6.4.1

- Установите значения напряжений затвор / исток $U_{ЗИ}$ и сток / исток $U_{СИ}$, указанные в табл. 5.4.1, и измерьте виртуальными приборами или мультиметрами соответствующие значения тока стока I_C . Измените на противоположную полярность источника питания 15 В для измерения напряжения сток/исток при $U_{ЗИ} = 0,5$ В. Внесите значения тока стока I_C в таблицу.
-

Таблица 6.4.1

$U_{СИ}, В$	0	0,5	1	1,5	2	3	4	6	8	10	12	14	15
$I_C, мА$ при $U_{ЗИ} = -1,5В$													
$I_C, мА$ при $U_{ЗИ} = -1В$													
$I_C, мА$ при $U_{ЗИ} = -0,5 В$													
$I_C, мА$ при $U_{ЗИ} = +0,5 В$													

- На графике (рис. 6.4.2) постройте кривые зависимости тока стока I_C от напряжения сток/исток $U_{СИ}$ при различных фиксированных значениях напряжений затвор / исток $U_{ЗИ}$

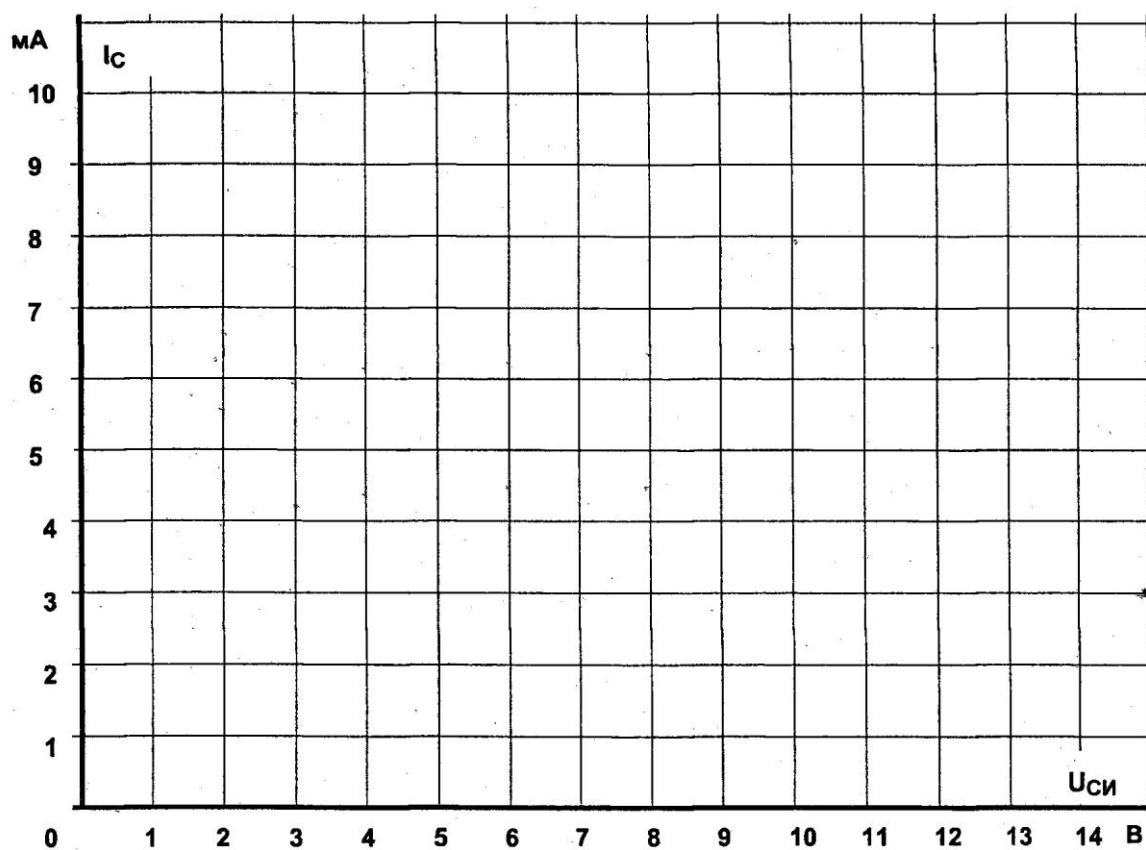


Рис. 6.4.2

- Устанавливая в схему одно за другим сопротивления нагрузки, указанные в табл. 6.4.2, измерьте выходное напряжение $U_{СИ}$ при двух значениях входного напряжения $U_{ЗИ}$ и запишите их в таблицу.
- Вычислите разность входных и разность выходных напряжений и коэффициент усиления по напряжению для каждого сопротивления нагрузки.

Таблица 6.4.2

R_H , КОМ	1		2,2		47		10		22	
$U_{зи}, В$	-0,5	-1,0	-0,5	-1,0	-1,0	1,5	-1,2	-1,8	-1,5	2,0
$U_{си}, В$						-			-	
$\Delta U_{зи}, В$										
$\Delta U_{си}, В$										
$v = \Delta U_{си} / \Delta U_{зи}$										

- На графике (рис. 6.4.4) постройте кривую зависимости коэффициента усиления по напряжению v от сопротивления нагрузки R_H .

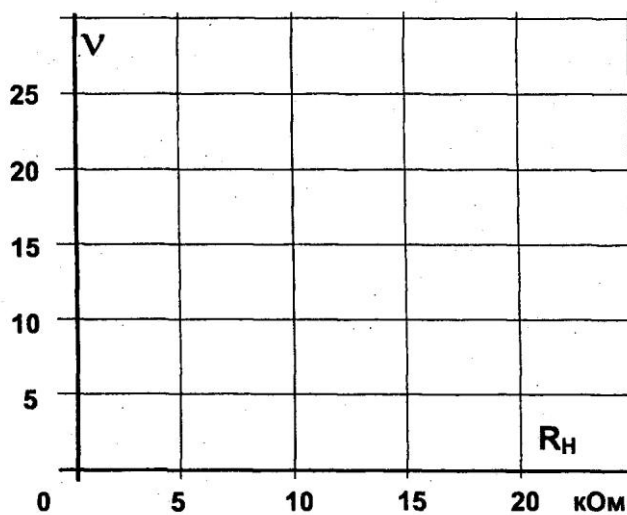


Рис. 6.4.4

Вопрос 1: Как ведет себя коэффициент усиления v при увеличении сопротивления нагрузки R_H ?

Ответ:

6.5. Усилители на полевых транзисторах

6.5.1. Общие сведения

Полевые транзисторы могут быть использованы как управляющие элементы в различных усилительных цепях. По названию того электрода транзистора, который используется как общая точка для напряжений входного и выходного сигналов, различают три основные схемы усилителей на полевых транзисторах:

- с общим истоком (ОИ),
- с общим стоком (ОС) и
- с общим затвором (ОЗ).

6.5.2. Экспериментальная часть

Задание

Выполнить измерения и определить следующие электрические показатели основных схем усилителей:

- коэффициент усиления по напряжению v_U ,
- угол фазового сдвига φ ,
- входное сопротивление $R_{вх}$,
- выходное сопротивление $R_{вых}$.

Усилители используются для усиления напряжения переменного тока. Конденсаторы C_1 , C_2 установлены для развязывания рабочего и управляющего напряжений.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь усилителя по схеме с общим истоком (рис. 6.5.1). При этом не перепутайте полярность подключения электролитического конденсатора C_3 , который служит для исключения отрицательной обратной связи для переменного напряжения.

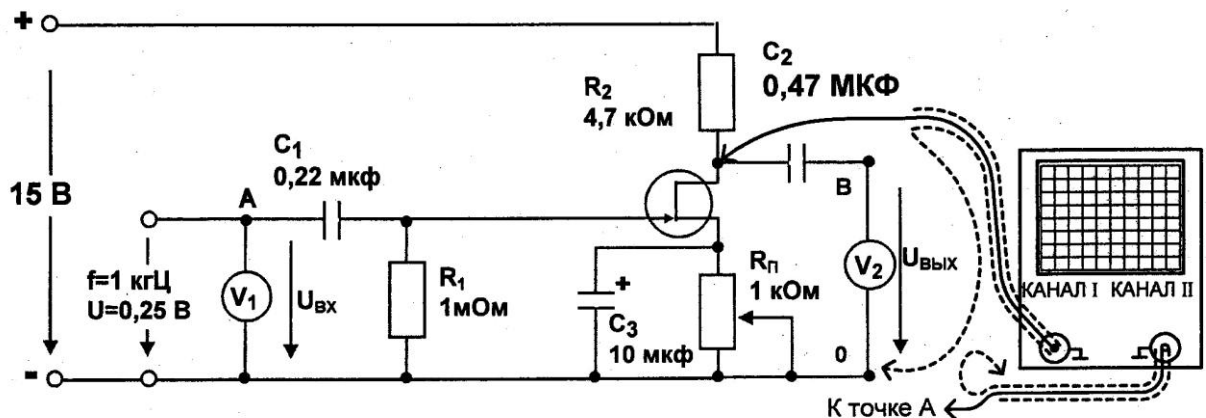
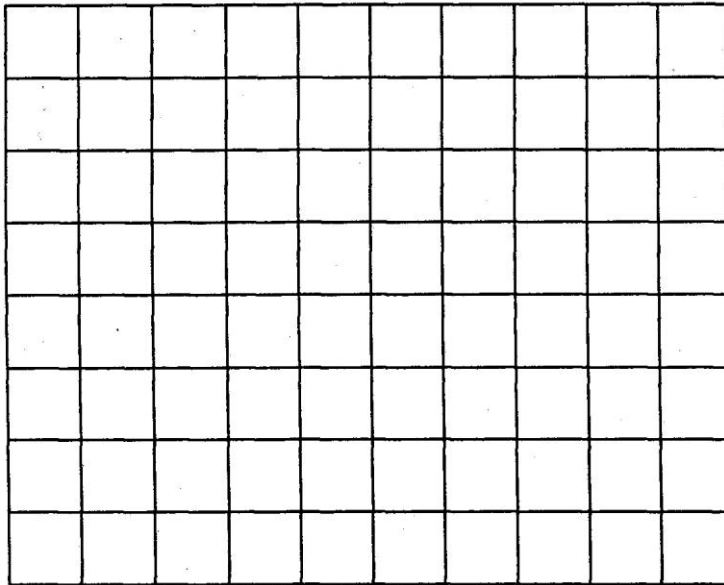


Рис. 6.5.1

- Установите частоту синусоидального напряжения 1 кГц и действующее значение 200...300 мВ.
- Используя потенциометр R_{Π} , настройте рабочую точку транзистора так, чтобы напряжение на выходе усилителя было наименее искаженным.
- Измерьте входное $U_{вх}$ и выходное $U_{вых}$ напряжения, используя мультиметры и осциллограф, и постройте их кривые на графике (рис. 6.5.2). Определите угол фазового сдвига этих напряжений φ и вычислите коэффициент усиления по напряжению, используя следующее соотношение:

$$v_U = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$$



Масштабы

По каналу I:

$m_{U_{\text{ВЫХ}}} = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу II:

$m_{U_{\text{ВХ}}} = \dots\dots\dots$ м А/дел.

По времени:

$m_t = \dots\dots\dots$ мс/дел.

Рис. 6.5.2

- Далее определите входное сопротивление усилителя $R_{вх}$. Для этого включите последовательно во входную цепь усилителя (точка А) резистор $R_{доб} = 10$ кОм. Это вызовет снижение выходного напряжения усилителя от U_1 до U_2 . Тогда входное сопротивление $R_{вх}$ можно рассчитать следующим образом:

$$R_{\text{ВХ}} = R_{\text{доб}} / (U_1/U_2 - 1).$$

- Теперь определите выходное сопротивление $R_{вых}$. Для этого включите нагрузочный резистор $R_{н} = 10$ кОм параллельно выходу усилителя (точки С - 0). Это также вызовет снижение выходного напряжения усилителя от U_1 до U_2 . Выходное сопротивление можно вычислить, используя соотношение:

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{н}}(U_1/U_2 - 1).$$

- Занесите результаты в табл. 6.5.1.
- Соберите цепь усилителя по схеме с общим стоком (рис. 6.5.3). Установите действующее значение напряжения на входе 2...3 В и потенциометром R_{Π} настройте рабочую точку транзистора по условию минимального искажения сигнала.
- Повторите описанные выше измерения, постройте кривые на графике (рис. 6.5.4) и занесите результаты измерений в табл. 6.5.1. При этом $R_{доб} = 47$ кОм, а $R_{н} = 10$ кОм.

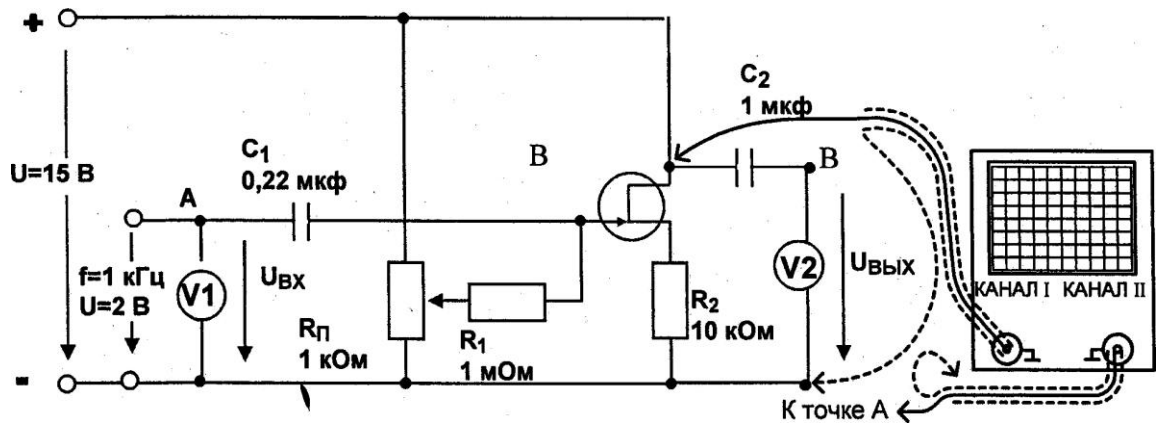
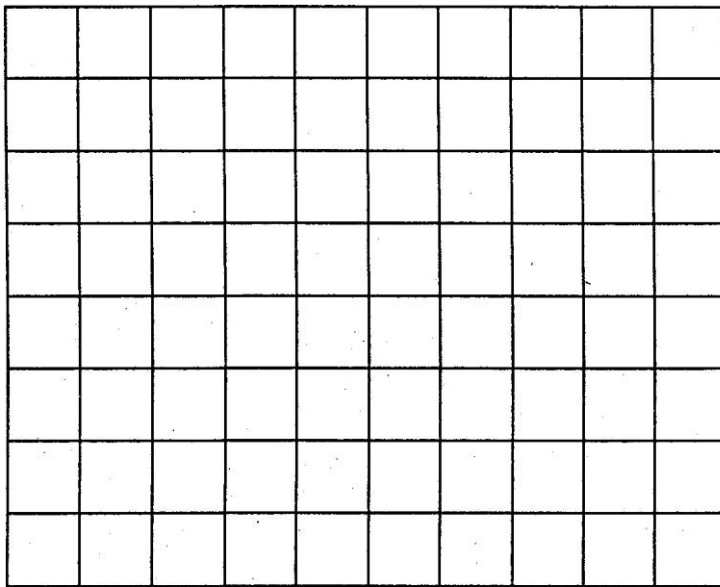


Рис.



Масштабы

По каналу I:

$m_{U_{\text{ВЫХ}}} = \dots\dots\dots \text{В/дел.}$

По каналу II:

$m_{U_{\text{ВХ}}} = \dots\dots\dots \text{мВ/дел.}$

По времени:

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

Рис. 6.5.4

- Наконец, соберите цепь усилителя по схеме с общим затвором (рис. 6.5.5). Отрегулируйте входное напряжение так, чтобы на выходе усилителя было $U_{\text{ВЫХ}} = 2 \dots 3 \text{ В}$, а потенциометром $R_{\text{П}}$ добейтесь минимальных искажений этого напряжения. Повторите измерения, постройте кривые на графике (рис. 6.5.6) и занесите результаты в табл. 6.5.1. При этом $R_{\text{ДОБ}} = 1 \text{ кОм}$, а $R_{\text{Н}} = 47 \text{ кОм}$.

Таблица 6.5.1

	с общим истоком	с общим стоком	с общим затвором
$U_{\text{ВХ}}$	0,25 В, 1кГц	2 В, 1кГц	0,15 В, 1 кГц
$U_{\text{ВЫХ}}$			
v_U			
φ			
$R_{\text{ВХ}}$			
$R_{\text{ВЫХ}}$			

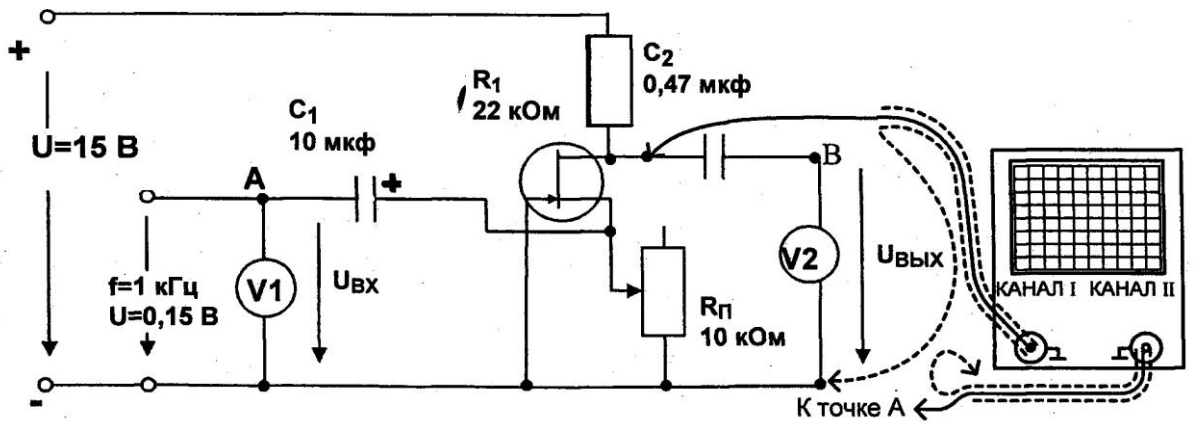
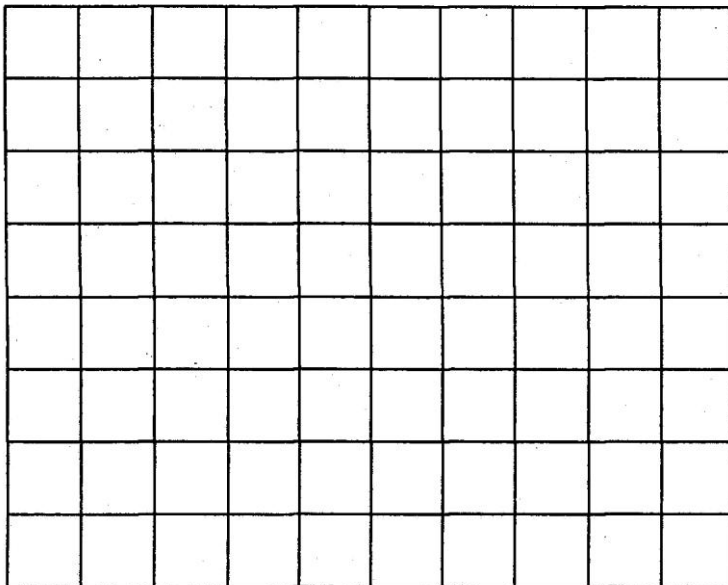


Рис. 6.5.5



Масштабы

По каналу I:

$m_{U_{\text{вх}}} = \dots \text{В/дел.}$

По каналу II:

$m_{U_{\text{вх}}} = \dots \text{мВ/дел.}$

По времени:

$m_t = \dots \text{мс/дел.}$

Рис. 6.5.6

Вопрос 1: Какой из трех усилителей имеет инвертирующий эффект?

Ответ:

Вопрос 2: Почему усилитель с общим стоком не имеет такой же значимости, что и усилитель с общим коллектором на биполярном транзисторе?

Ответ:

Вопрос 3: В каких отношениях усилитель с общим затвором отличается от усилителя с общим истоком?

Ответ:

7. Тиристоры

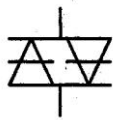
7.1. Диодный тиристор

(симистор)

7.1.1. Общие сведения

Диодные тиристоры, именуемые также **динисторами** изменяют свое состояние в зависимости от приложенного напряжения и протекающего тока. При некотором граничном напряжении (**напряжении отпирания**) динистор переходит от состояния с высоким

симистор



условное обозначение

Рис. 7.1.1

сопротивлением к состоянию с низким сопротивлением. Он сохраняет состояние низкого сопротивления до тех пор, пока ток в нем не упадет ниже величины **тока удержания**. Так называемый **симистор** (рис. 7.1.1) призван выполнять функции двух динисторов, включенных **встречно-параллельно**. Изменение состояния симистора происходит при обеих полярностях приложенного напряжения, обеспечивая

прохождение тока в обоих направлениях. Симисторы и динисторы используются главным образом для включения триодных тиристоров, выпускаемых на большие токи и напряжения.

7.1.2. Экспериментальная часть

Задание 1

Снять статическую характеристику динистора.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.1.2). Напряжения больше 15 В получаются при последовательном соединении регулируемого и нерегулируемого источников постоянного напряжения. Резистор 100 Ом понадобится при выполнении второго задания данной работы.
- Плавно увеличивая напряжение регулируемого источника напряжения, определите напряжение отпирания динистора (это наибольшее напряжение, при котором ток еще равен нулю, при дальнейшем увеличении напряжения источника ток возрастает скачком, а напряжение на динисторе скачком уменьшается). Запишите значение $U_{отп}$ в табл. 7.1.1.

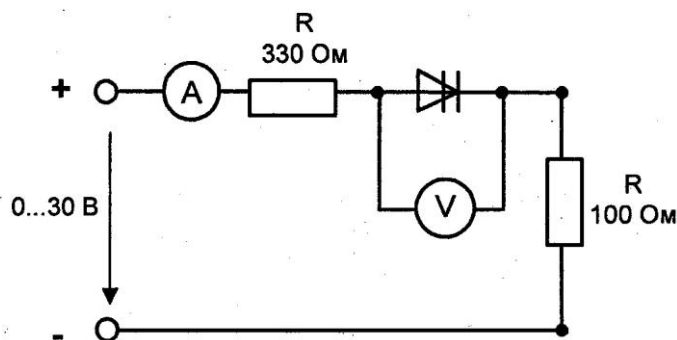


Рис. 7.1.2

- Плавное уменьшение напряжения регулируемого источника напряжения, определите ток удержания динистора (это наименьшее значение тока, при котором динистор еще остается включенным, при дальнейшем снижении напряжения источника ток скачком падает до нуля, а напряжение на динисторе скачком возрастает). Запишите значение $I_{уд}$ в табл. 7.1.1.
- Изменяя напряжение регулируемого источника, поочередно установите значения тока, указанные в табл. 7.1.1, и запишите в нее соответствующие напряжения на динисторе.

Таблица 7.1.1

+I, мА	$I_{уд} =$	мА	5	10	20	30	40	60	80
+U, В	$U_{отп} =$	В							

- На графике (рис. 6.1.3) постройте кривую зависимости тока от напряжения.

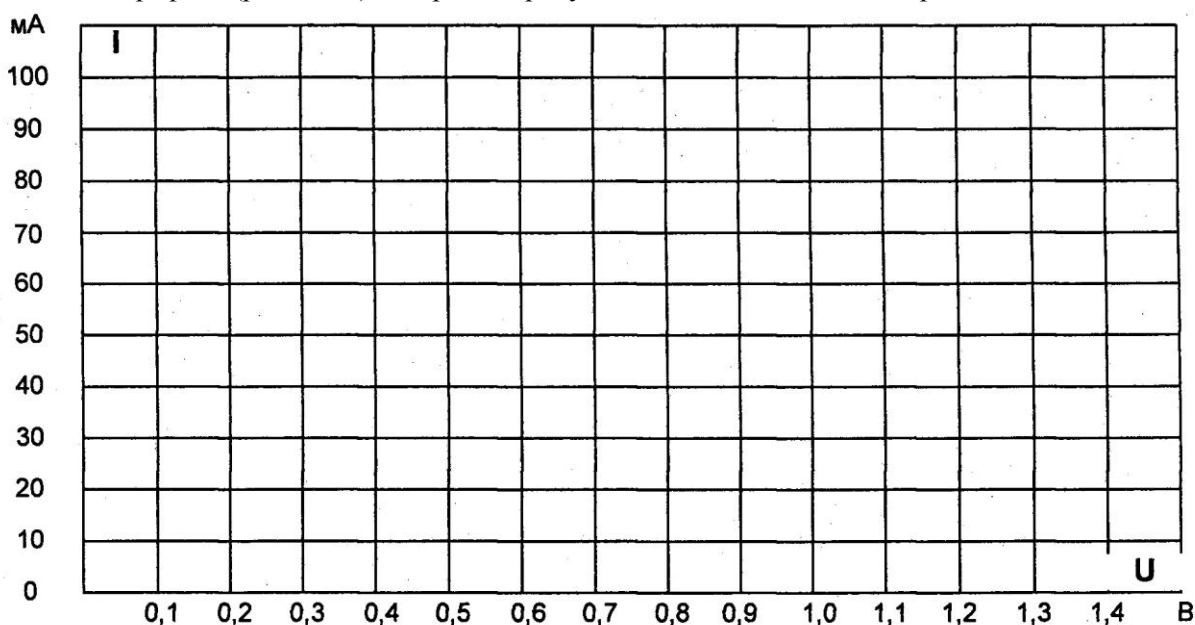


Рис. 7.1.3

Задание 2

Снять начальный участок динамической характеристики динистора с помощью осциллографа.

Порядок выполнения эксперимента

- Измените схему цепи, как показано на рис. 7.1.4 - замените источник питания, токоограничивающий резистор и подключите осциллограф.
- Включите осциллограф в режиме XY. На графике (рис. 7.1.5) отобразите характеристику, полученную на мониторе осциллографа, определите по ней напряжение включения, ток удержания, напряжение на динисторе в открытом состоянии и сравните эти величины с полученными в предыдущем опыте.

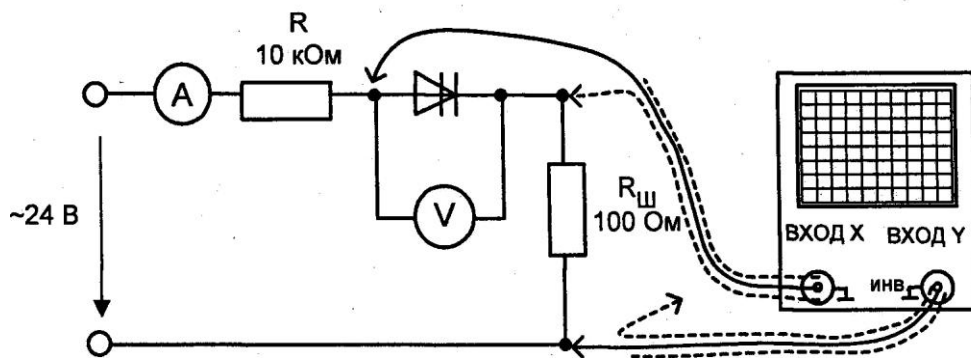
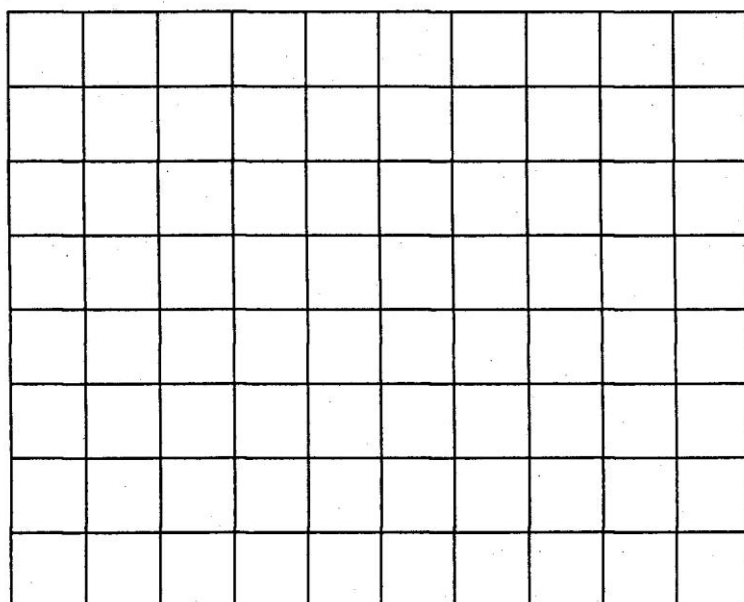


Рис. 7.1.4



Масштабы

По каналу X:
 $m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу Y:
 $m_I = m_U / R_{ш} = \dots\dots\dots$ мА/дел

Рис. 7.1.5

Вопрос 1: Какова величина напряжения отпираия динистора (по рис. 7.1.5)?

Ответ:

Вопрос 2: Каковы величины дифференциального сопротивления динистора в запертом состоянии и отпертом состояниях при токе 2.. .3 мА?

Ответ:

Вопрос 3: Какие причины «заставляют» динистор вернуться к запертому состоянию?

Ответ:

7.2. Триодный тиристор

7.2.1. Общие сведения

Триодные тиристоры, обычно называемые просто **тиристорами** (рис. 7.2.1), имеют четыре слоя **p-n-p-n**, один из которых соединен с внешним управляющим электродом (УЭ). Это позволяет приводить цепь катод (К)/анод (А) тиристора в открытое состояние напряжением управления, подаваемым между управляющим электродом и катодом.

Тиристор может быть также переведен в открытое состояние катодно-анодным напряжением. Однако этого способа, если возможно, следует избегать, чтобы не разрушить тиристор.



Рис. 7.2.1

Будучи отпертым, тиристор сохраняет проводящее состояние, даже когда напряжение на управляющем электроде выключается. Цепь катод/анод возвращается к запертому состоянию, когда анодный ток уменьшается ниже минимальной величины (тока удержания $I_{уд}$).

7.2.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать процессы отпирания и запираия тиристора. Снять статические вольтамперные характеристики цепи управления и анодной цепи тиристора, а также начальный участок динамической характеристики с помощью осциллографа.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь, как показано на рис. 7.2.2, и подайте на цепь анод/катод максимальное напряжение 15 В, при напряжении управляющий электрод/катод $U_{уК} = 0$ В.
- Увеличивайте с помощью потенциометра напряжение $U_{уК}$, и измеряйте соответствующие значения тока управления I_y мультиметром А1. Занесите данные измерений в таблицу 7.2.1. Заметьте и запишите при каком напряжении $U_{уК}$ отпирается тиристор (загорается лампочка).

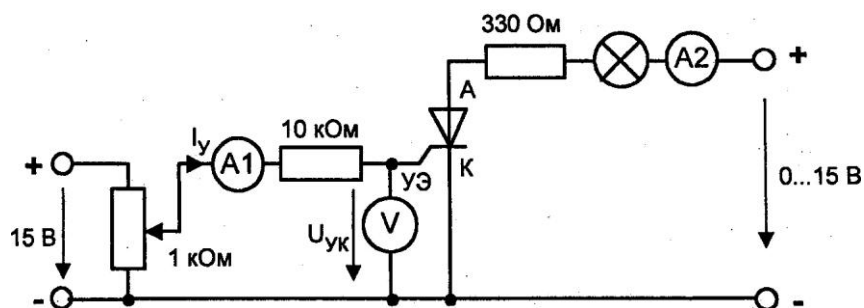


Рис. 7.2.2

- Снижайте напряжение $U_{уК}$ до нуля и снова записывайте значения I_y в табл. 7.2.1.
- На рис. 7.2.3 постройте графики I_y ($U_{уК}$) при увеличении и уменьшении напряжения. На графике отметьте напряжения $U_{отп}$ и ток $I_{отп}$.

Таблица 7.2.1

$U_{уК}$, В	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
I_{y1}^* , мА										
I_{y2}^* , мА										

I_{y1}^* - при увеличении $U_{уК}$, I_{y2}^* - при уменьшении.

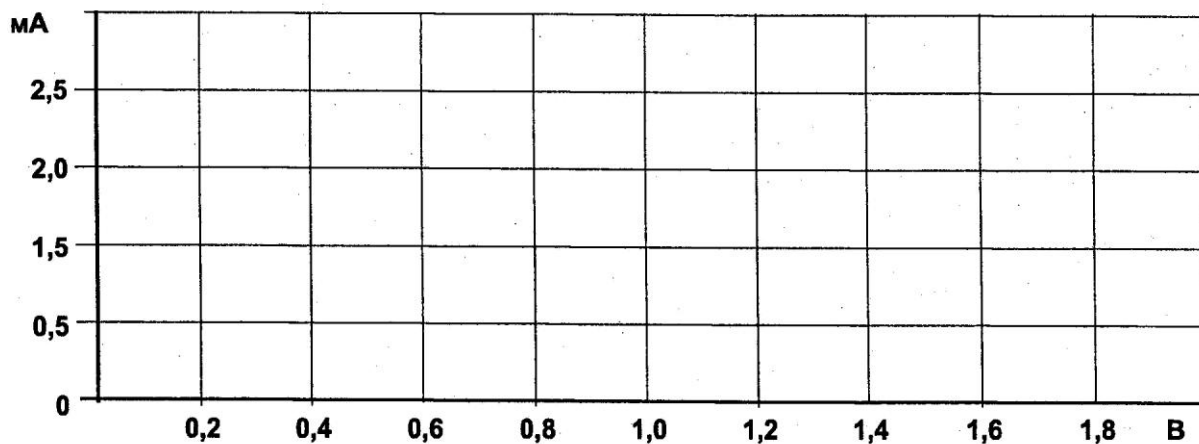


Рис. 7.2.3

- Убедитесь, что снижение напряжения управления до нуля не приводит к выключению тиристора и что для его запирания необходимо либо кратковременно разорвать цепь, либо зашунтировать тиристор, либо снизить ток в рабочей цепи до значения меньше тока удержания.
- Определите ток удержания $I_{уд}$. Для этого переключите миллиамперметр в цепь нагрузки (A2), и при нулевом токе управления плавно снижайте напряжение питания до тех пор, пока ток нагрузки скачком не упадет до нуля. Последнее значение тока перед этим скачком и есть ток удержания:

$$I_{уд} = \dots\dots\dots \text{ мА.}$$

- Соберите цепь (рис. 7.2.4) для снятия вольтамперной характеристики $I_A(U_{AK})$ тиристора с помощью осциллографа. Установите максимальную амплитуду синусоидального напряжения и максимальное значение постоянного напряжения 15 В.

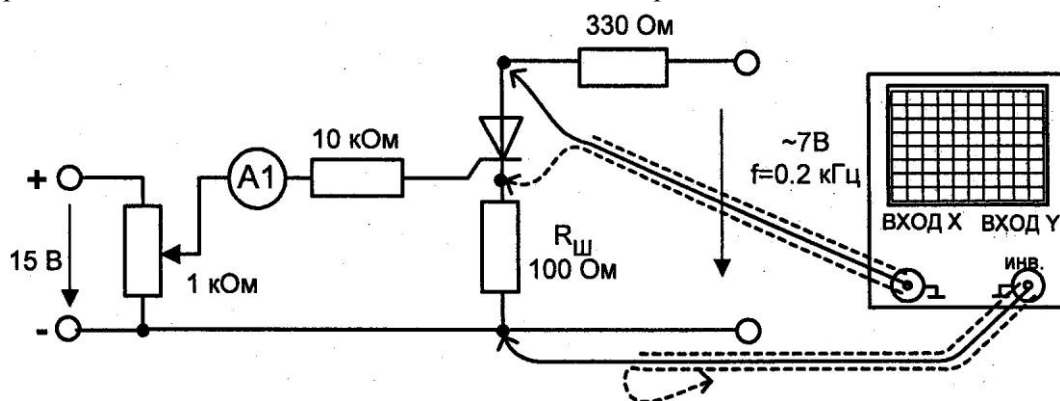
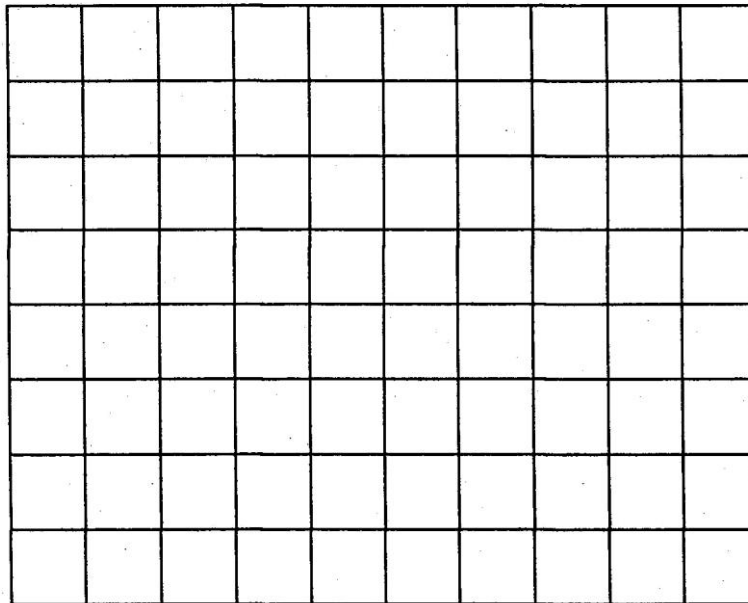


Рис. 7.2.4

- Включите осциллограф и получите на экране изображение одного или двух периодов тока и напряжения на тиристоре.
- Снижая напряжение управления, убедитесь, что тиристор выключается, ток становится равным нулю, а напряжение на тиристоре становится синусоидальным. Увеличивая напряжение управления, убедитесь, что тиристор включается, появляется положительная полуволна тока, а напряжение имеет только отрицательную полуволну. При необходимости

замените резистор **10** кОм на 4,7 кОм. При токе управления близком к минимальному току отпираания, можно заметить включение тиристора при нарастании анодного напряжения.

- Включите режим XY осциллографа, получите на экране изображение вольтамперной характеристики $I_A(U_{AK})$ - Проследите за ее изменением при увеличении и уменьшении тока управления и перерисуйте на график (рис. 7.2.5) при $I_y > I_{отп}$. Не забудьте указать масштабы.



Масштабы

По каналу X:

$m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу Y:

$m_I = m_U / R_{ш} = \dots\dots\dots$ мА/дел

Рис. 7.2.5

Вопрос 1: Запирается ли отпертый тиристор, когда отключается напряжение цепи управляющий электрод/катод?

Ответ:

Вопрос 2: Что случится с отпертым тиристором при размыкании выключателя в цепи (рис.7.2.2), если $U_{ук} > U_{отп}$? Если $U_{ук} < U_{отп}$?

Ответ:

Вопрос 3: Как поведет себя тиристор, если к цепи (рис. 7.2.2) вместо постоянного напряжения приложить синусоидальное напряжение при $U_{ук} > U_{отп}$? при $U_{ук} < U_{отп}$?

$U_{ук} = 0\dots0,5$ В?

Ответ:

Вопрос 4: Что произойдет с отпертым тиристором при его кратковременном шунтировании перемычкой в цепи (рис. 7.2.2), если $U_{ук} > U_{отп}$? Если $U_{ук} < U_{отп}$?

Ответ:

Вопрос 5: Какие свойства проявляет тиристор, работая при измененной на противоположную полярности напряжений?

Ответ:

7.3. Фазовое управление тиристора

7.3.1. Общие сведения

При фазовом способе управления на управляющий электрод тиристора подаются короткие импульсы напряжения, отпирающие тиристор в определенной точке полуволны приложенного напряжения. Запирается тиристор автоматически в момент перехода тока через ноль. Изменение точки (фазового угла) отпирания приводит к изменению среднего за полупериод значения тока нагрузки (рис. 7.3.1).



Рис. 7.3.1

В данной работе исследуется тиристорный регулятор выпрямления тока. Последовательно с нагрузкой, состоящей из лампы накаливания EL и добавочного резистора R_1 , включен тиристор V_1 , управляемый от генератора импульсов.

Генератор импульсов выполнен на однопереходном транзисторе VT . При подаче полуволны напряжения на анод запятого тиристора конденсатор C заряжается через сопротивления R_2 , R_{II} и R_3 . Когда напряжение на конденсаторе достигает значения $0,7...0,8 U_{ст}$, транзистор открывается и конденсатор разряжается по цепи эмиттер - база - управляющий электрод - катод тиристора. Тиристор отпирается, создает цепь для протекания тока через нагрузку и одновременно шунтирует генератор импульсов. Индуктивность L служит для создания колебательного контура в цепи разряда конденсатора для более четкого запираения однопереходного транзистора. Скорость заряда конденсатора и, следовательно, задержка подачи отпирающего импульса по отношению к моменту подачи положительного напряжения на анод тиристора регулируется потенциометром R_{II} .

7.3.2. Экспериментальная часть

Задание

Произвести измерения и изучить свойства тиристора как управляемого выпрямителя с однопереходным транзистором в цепи управления.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.3.2) и подайте на вход этой цепи синусоидальное напряжение 24 В, 50 Гц. Для измерения тока в цепи нагрузки и угла задержки отпирания тиристора включите приборы V, A и осциллограф. Не забудьте установить на мультиметрах род измеряемой величины - постоянный ток и постоянное напряжение.

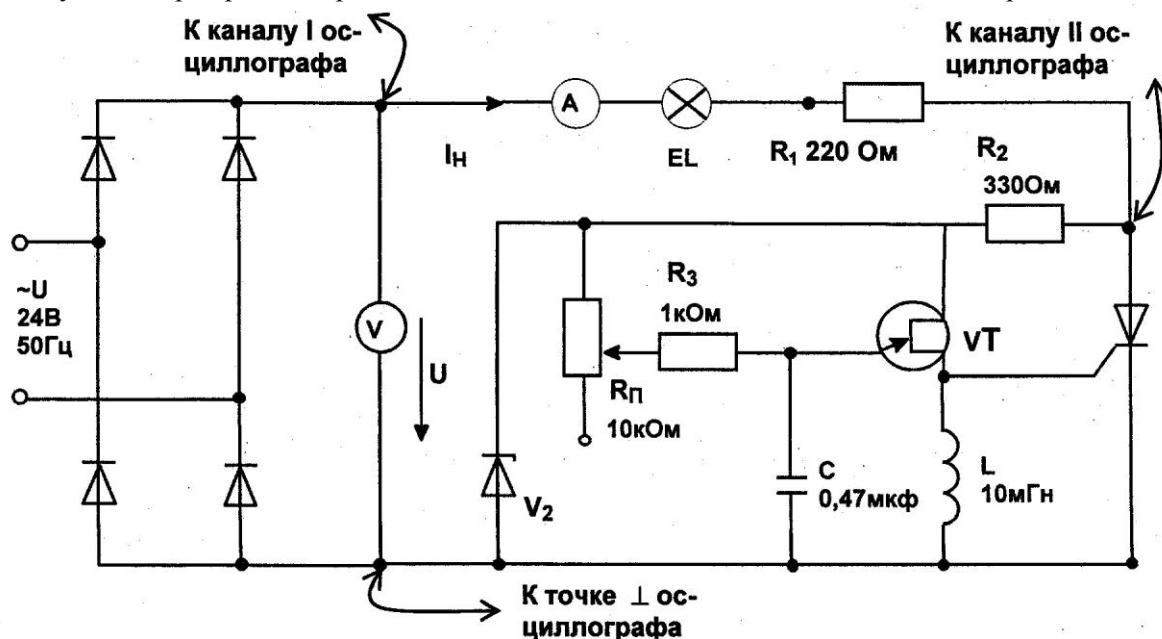
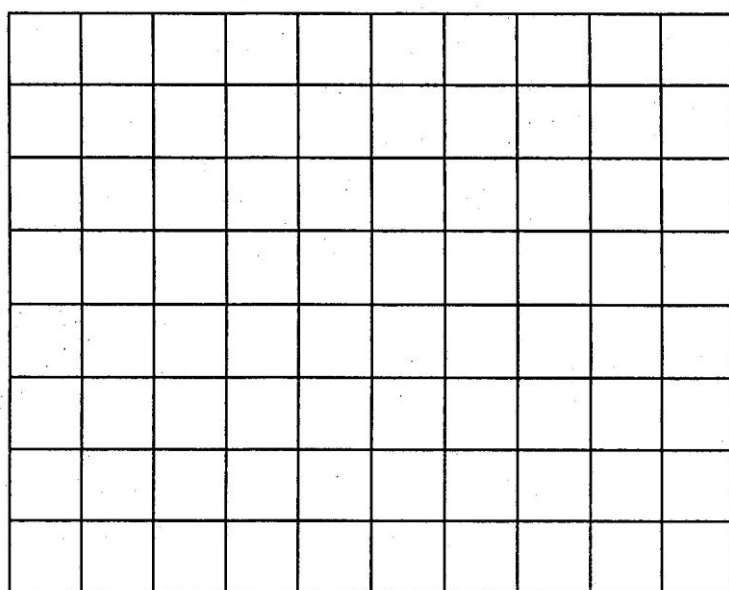


Рис. 7.3.2

- Включите блок генераторов напряжений, настройте осциллограф и, вращая ручку потенциометра, убедитесь, что регулируется угол задержки отпирания тиристора и среднее значение выпрямленного тока.
- При одном из положений потенциометра перерисуйте кривые выпрямленного напряжения и напряжения на тиристоре на рис. 7.3.3. Определите и запишите масштабы.



Масштабы

По каналу I:

$m_U = \dots\dots\dots$ В/дел.

По каналу II:

$m_U = \dots\dots\dots$ мА/дел.

По времени:

$m_t = \dots\dots\dots$ мс/дел.

Рис. 7.3.3

- Изменяя угол задержки отпирания от минимально возможного значения до максимального, снимите зависимость $I_H(\alpha)$, занесите результаты измерений в табл. 7.3.1 и на рис. 7.3.4 постройте график.

Примечание: для уменьшения минимально возможного угла α замените конденсатор $C = 0,47\text{мкФ}$ на $0,1\text{мкФ}$.

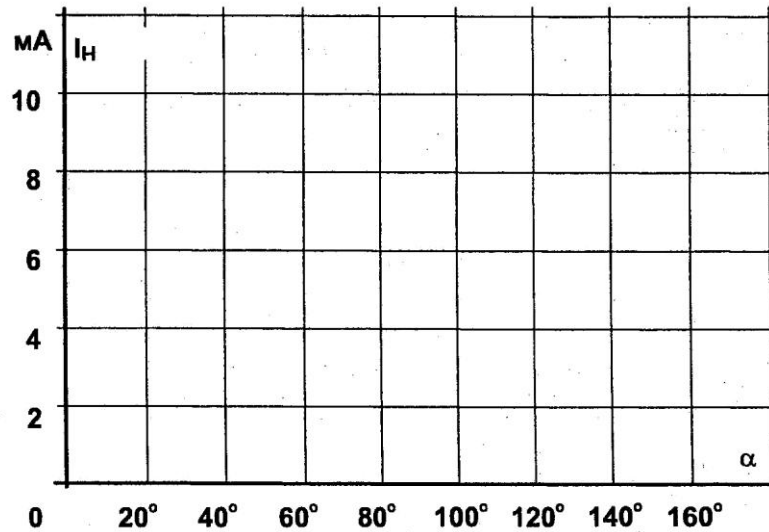


Рис. 7.3.4

Таблица 7.3.1

$\alpha, ^\circ$	18	36	72	108	144	180
$I_H, \text{мА}$						

Вопрос 1: Как изменяется ток нагрузки при увеличении угла отпирания тиристора?

Ответ:

8. Логические элементы

Логические (двоичные) элементы служат для выполнения различных логических операций над цифровыми сигналами при двоичном способе их представления. Существенная особенность логических цепей заключается в том, что в них рассматриваются не столько величины напряжений, сколько двоичные сигналы. Соответствие между напряжениями и двоичными сигналами устанавливается произвольно. Чаще всего используются дискретные сигналы, нулевому значению которых соответствует уровень низкого электрического потенциала, а единичному значению - уровень высокого потенциала (положительного или отрицательного). Возможны и другие соответствия.

Свойства логических элементов подчиняются правилам Булевой алгебры. Входные переменные логических элементов следует обозначать строчными, а выходные переменные - прописными буквами.

Основные Булевы (логические) функции следующие:

1. Функция AND (И) - конъюнкция (логическое умножение).
2. Функция OR (ИЛИ) - дизъюнкция (логическое сложение).
3. Функция NOT (НЕ) - инверсия (логическое отрицание).

Дополнительно существуют такие комбинации как:

функция NOT AND (И - НЕ),
функция NOT OR (ИЛИ - НЕ) и др.

8.1. Логический элемент AND (И)

8.1.1. Общие сведения

Элемент **И** имеет несколько входов и один выход. Выход приобретает значение 1 только тогда, когда все входы данного логического элемента имеют значение 1. Его условное обозначение показано на рис. 8.1.1а.

8.1.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать свойства элемента **И** с тремя входами со следующим соответствием сигналов

0В = сигнал 0 = уровень низкого потенциала,
+15 В = сигнал 1 = уровень высокого потенциала.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.1.16).
- Подайте последовательно 0В = сигнал 0 = уровень низкого потенциала, +15 В=сигнал 1 = уровень высокого потенциала, ко входам x_1 , x_2 и x_3 , как указано в табл. 8.1.1. Запишите соответствующие значения выходного сигнала (0/1) в таблицу.

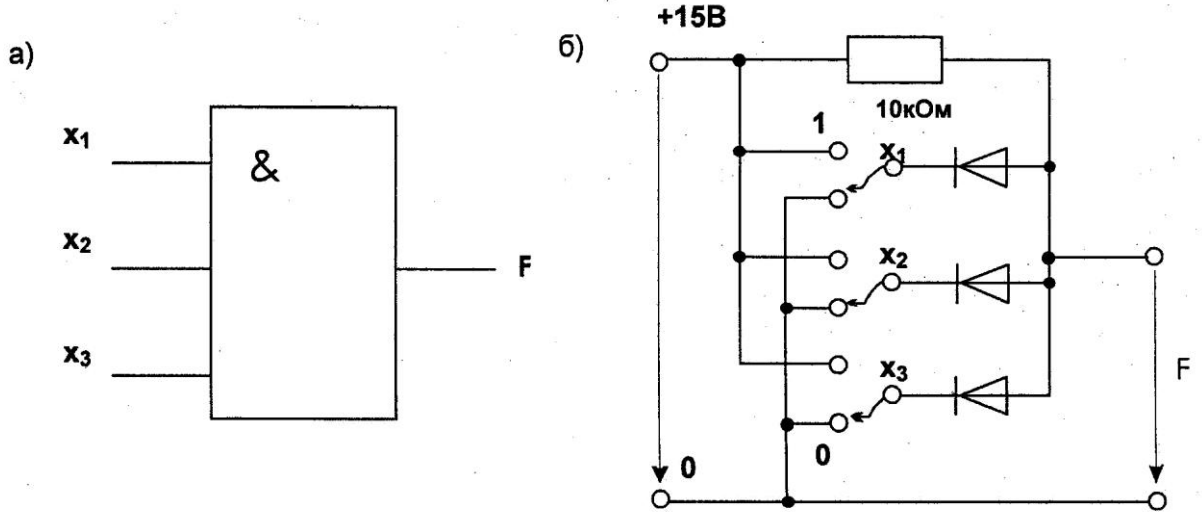


Рис. 8.1.1.

Таблица 8.1.1

Входные сигналы			Выходные сигналы
x_1	x_2	x_3	F
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Примечание: Разомкнутые входы логического элемента не имеют состояния определенного сигнала. Поэтому состояния выходной переменной при разомкнутых входах не несут какой-либо определенной информации.

Вопрос 1: Какова формула операции элемента И?

Ответ:

Вопрос 2: Когда выходной сигнал элемента И имеет величину 1?

Ответ:

8.2. Логический элемент OR (ИЛИ)

8.2.1. Общие сведения

Элемент **ИЛИ**, также как и элемент **И**, имеет несколько входов и один выход. Выход приобретает значение 1, когда хотя бы один вход данного логического элемента имеет значение 1. Его условное обозначение показано на рис. 7.2.1а.

8.2.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать свойства элемента **ИЛИ** с тремя входами со следующим соответствием сигналов: 0В = сигнал 0 = уровень низкого потенциала, +15 В = сигнал 1 = уровень высокого потенциала.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.2.1б). Подайте последовательно: 0В = сигнал 0, +15 В = сигнал 1, к входам x_1 , x_2 и x_3 , как указано в табл. 8.2.1. Занесите соответствующие значения выходного сигнала (0/1) в таблицу.

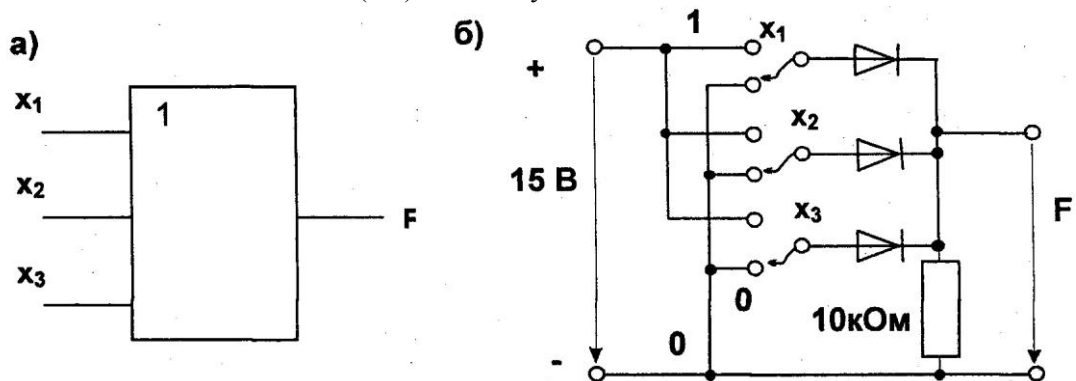


Рис. 8.2.1

Таблица 8.2.1

Входные сигналы			Выходные сигналы
x_1	x_2	x_3	F
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Примечание: Разомкнутые входы логического элемента не имеют состояния определенного сигнала. Поэтому состояния выходной переменной при разомкнутых входах не несут какой-либо определенной информации.

Вопрос 1: Какова формула операции элемента **ИЛИ**?

Ответ:

Вопрос 2: При каких условиях на входах выходной сигнал элемента **ИЛИ** имеет величину 1?

Ответ:

8.3. Логический элемент NOT (НЕ)

8.3.1. Общие сведения

Логические элементы **НЕ** отрицают входной сигнал, т.е. они преобразуют сигналы 1 в сигналы 0 и наоборот. Они всегда имеют по одному входу и одному выходу. Используются наряду с другими элементами в Цифровых инверторах и логических устройствах. Условное обозначение элемента **НЕ** показано на рис. 8.3.1а.

8.3.2. Экспериментальная часть

Задание

Проведя необходимые измерения, исследовать свойства элемента **НЕ**.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.3.1). Подайте на вход сначала 0В (сигнал 0), а затем +15 В (сигнал 1). Занесите соответствующие значения выходного сигнала (1/0) в табл. 8.3.1.

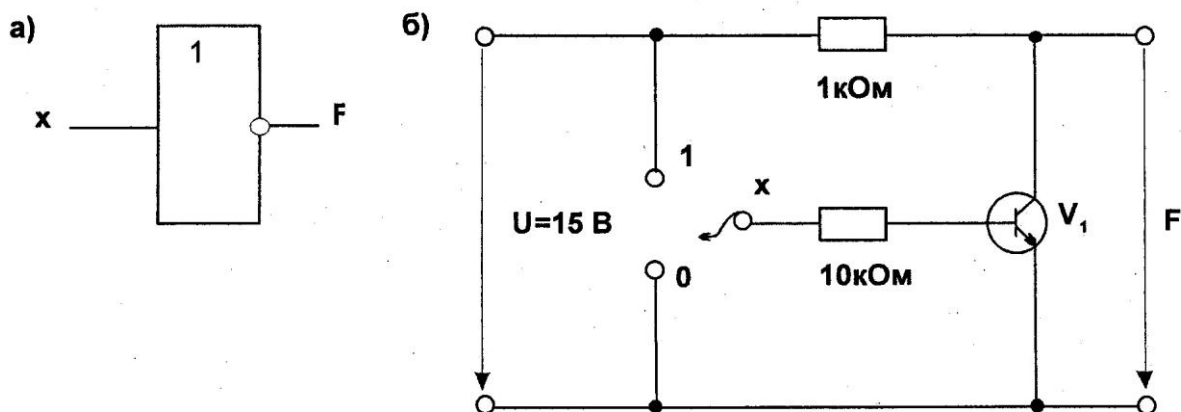


Рис. 8.3.1

Таблица 8.3.1

Входной сигнал	Выходной сигнал
x	F
0	
1	

Вопрос 1: Какова формула операции элемента **НЕ**?

Ответ:

8.4. Логический элемент NOT AND (И-НЕ)

8.4.1. Общие сведения

Элемент **И — НЕ** состоит из элемента **И** и элемента **НЕ**. Все основные цепи (**И**, **ИЛИ** и **НЕ**) можно смоделировать с помощью этого элемента. Условное обозначение элемента **И - НЕ** и его функциональный эквивалент показаны на рис. 8.4.1а и 8.4.1б.

8.4.2. Экспериментальная часть

Задание

Исследовать свойства элемента **И - НЕ** с тремя входами со следующим соответствием сигналов: 0 В = сигнал 0, +15 В = сигнал 1.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.4.1в). Подайте последовательно: 0 В = сигнал 0, +15 В = сигнал 1 к входам x_1 , x_2 и x_3 , как указано в табл. 8.4.1. Занесите соответствующие значения выходного сигнала (0/1) в таблицу.

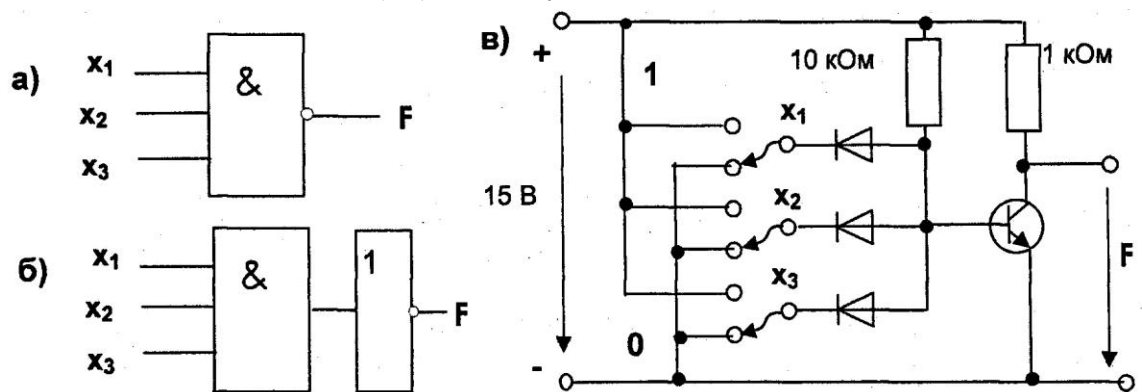


Рис. 8.4.1

Таблица 8.4.1

Входные сигналы			Выходные сигналы
x_1	x_2	x_3	F
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Примечание: Разомкнутые входы логического элемента не имеют состояния определенного сигнала. Поэтому состояния выходной переменной при разомкнутых входах не несут какой-либо определенной информации.

Вопрос 1: Какова формула операции элемента **И - НЕ**?

Ответ:

Вопрос 2: При каких входных сигналах выходной сигнал элемента **И - НЕ** имеет величину 0?

Ответ: