

|  |
| --- |
| **115172, Москва, ул. Б.Каменщики, д. 7; тел., факс: (495) 911-20-77; e-mail:**[**54@prof.educom.ru**](mailto:54@prof.educom.ru) |

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ**

**ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

**по УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОП.09.Электрорадиоизмерения**

специальности

**11.02.14 Электронные приборы и устройства**

**11.02.02 Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники**

**210705 Средства связи с подвижными объектами**

Москва

2015

|  |  |
| --- | --- |
| ОДОБРЕНА  предметной цикловой комиссией  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Протокол № от « » 2015 г.  Председатель ПЦК\_\_\_\_\_\_\_Н.Г. Лобанова | УТВЕРЖДАЮ  Зам. директора по УМР  ГБПОУ «КС № 54»  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.Г. Бозрова  «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2015 г. |

Составитель: Полозов М.П., преподаватель ГБПОУ города Москвы

«Колледж связи №54»

*Ф.И.О., должность*

Рецензенты:

*Ф.И.О., должность*

**Содержание**

**Стр.**

1.Общие положения**……………………………………………………………**.4

2.Методика и средства выполнения лабораторно-практических работ…….5

3.Этапы выполнения лабораторно-практических работ……………………..5

4.Тематика лабораторно-практических работ и задания к ним…………… .8

5.Учебно - методическое и информационное обеспечение дисциплины…..75

# Общие положения

Целью выполнения лабораторно-практических работ по дисциплине ОП.09. Электрорадиоизмерения:

* закрепление теоретических сведений, полученных на занятиях.
* получение навыков исследования электротехнических схем составленных из реальных электротехнических элементов и схем, создаваемых на базе компьютерных технологий.
* Повышение информационной культуры в решении профессиональных задач

В результате изучения учебной дисциплины студент **должен уметь:**

* пользоваться контрольно-испытательной и измерительной аппаратурой;
* составлять измерительные схемы;
* подбирать по справочным материалам измерительные средства и измерять с заданной точностью различные электрические и радиотехнические величины.

В результате изучения учебной дисциплины студент **должен знать:**

* основные методы измерения электрических и радиотехнических величин;
* единицы измерения электрических величин, погрешности измерений.

Учебная дисциплина входит в профессиональный цикл как общепрофессиональная дисциплина.

Данная учебная дисциплина направлена на формирование следующих общих (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

* ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
* ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирая типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
* ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
* ОК 4. Осуществлять поиск, и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
* ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.
* ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.
* ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчинённых), результат выполнения заданий.
* ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознано планировать повышение квалификации.
* ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.
* ОК 10. Исполнять воинскую обязанность, в том числе с применением полученных профессиональных знаний (для юношей).
* ПК 2.1. Анализировать электрические схемы электронных приборов и устройств.
* ПК 2.2. Выбирать измерительные приборы и оборудование для проведения и испытаний электронных приборов и устройств.
* ПК 2.3. Настраивать и регулировать электронные приборы и устройства.
* ПК 2.4. Проводить испытания электронных приборов и устройств.

# Методика и средства выполнения лабораторных работ

Методика выполнения лабораторной работы определяется моделью задачи, решаемой студентом на занятии по заданию преподавателя.

Средствами проведения лабораторных работ являются:

* Лабораторные стенды лаборатории электротехника.
* Комплект персональных ЭВМ в лаборатории.
* Комплекс программного обеспечения:
* пакеты прикладных программ (ППП) **Multisim**или **ElectronicsWorkbench.**

Лабораторные работы проводятся в лаборатории Электротехники.

Методика выполнения практических работприведена в данных методических указаниях, которые окажут серьезную помощь при решении практических заданий.

# 3.Этапы выполнения лабораторных работ

*3.1.Этапы выполнения лабораторных работ*

**На первом лабораторном занятии до студентов доводится общий порядок выполнения лабораторных работ**.

Лабораторные работы проводятся на лабораторных стендах по электротехнике колледжа с использованием как инструментальной базы стендов, так и ППП **Multisim**или**ElectronicsWorkbench.**

Преподаватель доводит до студентов под роспись правила техники электро- и пожарной безопасности при выполнении лабораторных работ.

Преподаватель знакомит студентов с ППП **Multisim**или**ElectronicsWorkbench.**После этого преподаватель проводит постановку задачи конкретного лабораторного занятия. Здесь разъясняется студентам содержание и объем проводимой лабораторной работы.

Поясняется методика составления и оформления отчета о лабораторной работе.

**Ознакомление студента с содержанием и объемом конкретной лабораторной работы.**

На этом этапе студент должен самостоятельно по методическим указаниям выполнения данной лабораторной работы тщательно изучить содержание и объем предстоящей лабораторной работы и произвести предварительное оформление отчёта о проведённой лабораторной работе:

* в отдельной тетрадке, выделенной для проведения лабораторных работ по данному курсу, написать наименование и цель проводимой работы, зарисовать схемы соединений элементов исследуемой электрической цепи, нарисовать таблицы для занесения в нихрезультатов, полученных в процессе опытов и последующих расчётов, написать формулы, по которым будут производиться расчёты и подготовить табличку преподавателя, в которой он делает запись о выполнении данной работы и её защиты;
* знакомиться с теоретическим обоснованием данной работы и отвечает на контрольные вопросы, представленные в методических указаниях.

Если постановка задачи недостаточно ясна, он может обратиться к преподавателю за дополнительными разъяснениями. Затем студент приступает к выполнению задания лабораторной работы

**Порядок выполнения лабораторныхработ**

Студент включает стенд, в соответствии с требованиямиметодики по выполнению данной работы и при непосредственном контроле со стороны преподавателя или компьютер для входа в программно-информационную средуППП **Multisim**или**ElectronicsWorkbench** .

* В соответствии с установленной последовательностью этапов работы студент выполняет объем работ, предусмотренных заданием лабораторной работы.
* В ходе выполнения этапов лабораторной работы студент регистрирует полученные результаты в тетради для лабораторных работ.
* После выполнения всех заданий лабораторной работы студент анализирует полученные результаты, делает выводы и предъявляет преподавателю предварительные результаты работы (выведенные на экран монитора или записанные в тетради для лабораторных работ).
* При получении от преподавателя замечаний студент принимает меры к их устранению и затем снова предъявляет результаты преподавателю для контроля.
* Если замечаний нет, то студент приступает к оформлению отчета о лабораторной работе.
* В случае замеченных ошибок студент принимает меры к их исправлению и затем снова предъявляет результаты преподавателю для контроля и приема результатов работы. Если в работе ошибок не содержится, то приступает к составлению и оформлению отчета о лабораторной работе.
* Преподаватель проверяет правильность составления отчёта и делает в тетради студента отметку о проведении работы.
* Преподаватель задаёт студенту зачётный вопрос (задачу) по теме лабораторной работы и после удовлетворительного ответа на свой вопрос делает в тетради студента отметку о защите им этой работы, а также ставит оценку студенту по результатам проведённой работы в его тетради и журнале успеваемости.

*3.2.Критерии оценки выполненной лабораторной работы*

Оценка за работу студенту выставляется с учетом предварительной подготовки к работе, доли самостоятельности при ее выполнении, точности и грамотности оформления отчета по работе

* Оценка «5» ставится: лабораторная работа выполнена в полном объеме, в соответствии с заданием, с соблюдением последовательности выполнения, самостоятельно; отчёт о выполнении работы оформлен аккуратно.
* Оценка «4» ставится: лабораторная работа выполнена в полном объеме, в соответствии с заданием, с соблюдением последовательности выполнения, частично с помощью преподавателя, присутствуют незначительные ошибки в действиях; отчёт о выполнении работы оформлен аккуратно.
* Оценка «3» ставится: лабораторная работа выполнена в полном объеме, в соответствии с заданием, частично с помощью преподавателя, присутствуют ошибки при выполнении работы; по оформлению отчёта о выполнении работы имеются замечания.
* Оценка «2» ставится: обучающийся не подготовился к лабораторной работе, при выполнении работы допустил грубые ошибки, по оформлению отчёта о выполнении работы имеются множественные замечания.

**4. Тематика лабораторных работ и задания к ним**

Лабораторная работа № 1

***Определение максимально допустимых погрешностей измерений приборов, измеряющих различные электротехнические величины***

**Цель работы:** Опытно-расчётным путем определить максимально допустимые погрешности измерений электротехнических измерительных приборов.

**Теоретическое обоснование:**

Погрешностью результата измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины. Истинное значение измеряемой величины трудно определить и с этой целью необходимо провести, зачастую, довольно сложные расчёты. Поэтому результат измерения чаще всего сравнивают с действительной величиной, которая может быть определена эталонным средством измерения. Погрешность результата измерения называют ошибкой измерения.

Используя различные измерительные приборы, все погрешности можно разделить на две основных группы.

1) Субъективная погрешность, которая вносится непосредственно субъектом измерений – оператором. К таким погрешностям можно отнести ошибочное определение цены деления шкалы прибора, нарушение правил считывания показаний стрелочных приборов и др.

2) Объективная погрешность, которая вносится самим измеряемым устройством и не зависит от человека.

Субъективные погрешности максимально устраняются строгим соблюдением методики и правил подключения и снятия показаний измерительных устройств и техническим совершенствованием самих приборов.

Объективные погрешности подразделяются:

* Инструментальная систематическая погрешность – составляющая погрешность, которая остаётся постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях;
* Случайная инструментальная погрешность, которая не является постоянной и определяется применением нормального закона распределения вероятностей появления случайной погрешности;

Все инструментальные погрешности могут быть представлены в двух видах – абсолютная погрешность и относительная погрешность.

Абсолютная погрешность всегда представлена в единицах измеряемой величины.

Относительные погрешности являются отношением абсолютной погрешности к самой величине измерения. относительные погрешности представляются либо относительной единицей, либо в процентах.

Из всех относительных погрешностей выделяют приведённую погрешность, которая является отношением абсолютной погрешности и максимальной величиной измерения данного устройства. Эта погрешность определяет класс точности измерительного устройства.

, где

 - абсолютная погрешность, *АМ* – максимальная величина измерения.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляет погрешность результата измерения?
2. Какие погрешности называют субъективными?
3. Как устраняют субъективные погрешности?
4. Какие погрешности называют объективными?
5. Какие виды инструментальных объективных погрешностей Вы знаете?
6. Как характеризуется систематическая погрешность?
7. Какую погрешность мы называем случайной?
8. Что собой представляет приведённая погрешность?

**Необходимые стендовые приборы и оборудование:**

1. Вольтметр стендового блока питания БП-5 - 1 шт.

2. Вольтметр стендового блока питания БП-15 - 1 шт.

3. Микроамперметр стендового фазометра - 1 шт.

4. Амперметр электромагнитной системы выносной - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Занести в табл. 1, раздел «измерено» величины предела измерений прибора () и класса точности прибора.
3. Провести требуемые вычисления по определению максимально допустимые инструментальные погрешности () каждого из приборов.
4. Провести вычисления относительных номинальных погрешностей () в первой половине шкалы, когда показания приборов (А) равны  максимальной величины измерения () или во второй половине шкалы, когда показания приборов (А) равны  максимальной величины измерения ().
5. Данные вычислений занести в табл. 1, раздел «вычислено»

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | | Вычислено | | |
| Наименование прибора | Предел измерен.  (АМ) | Класс точности  () | Мах абсол. погреш.  ∆А | Относительная погрешность | |
|  |  |
| 1. | Вольтметр |  |  |  |  |  |
| 2. | Вольтметр |  |  |  |  |  |
| 3. | Микроамперметр |  |  |  |  |  |
| 4. | Амперметр |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления



1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 2

***Изучение технического описания и органов управления генератора НЧ***

**Цель работы:** Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации генератора сигналов низкочастотных Г3-120, интернет ресурсами (<http://ndo.sibsutis.ru/>), лицевой панелью реального генератора провести экспериментальные исследования работоспособности генератора посредством изучения органов его управления.

**Теоретическое обоснование:**

Измерительные генераторы широко используются при самых различных измерениях, исследованиях и испытаниях всевозможных радиоэлектронных схем, приборов и устройств. Например, измерительные генераторы необходимы при испытаниях усилителей, для градуировки электронных вольтметров, измерения чувствительности приёмников и др.

Такие генераторы представляют собой источники сигналов различной частоты и формы, в зависимости от которых они могут определённым образом классифицироваться.

Низкочастотные измерительные генераторы используются при исследовании усилителей низкой частоты, модулирующих каскадов радиопередающих устройств, при измерениях нелинейных искажений, при испытаниях различных устройств автоматики и т.д.

Измерительные генераторы этой группы называют иногда звуковыми, что обусловлено наличием у них звукового диапазона. Требования к генераторам низких частот различны, в зависимости от их назначения. Наиболее высокие требования предъявляются к генераторам, используемым для испытаний усилителей звуковых частот, низкочастотной части приёмников и т.п.

В зависимости от способа получения колебаний требуемой частоты на выходе генераторов последние делятся на генераторы основных колебаний и генераторы на биениях, у которых рабочая частота определяется как разность частот двух высокочастотных генераторов.

В зависимости от схемы возбудителя низкочастотные генераторы могут быть типа ***LC***и***RC***. Генераторы обоих типов работают на принципах использования положительной обратной связи в усилителе.

Генераторы типа ***LC*** характерны тем, что в качестве колебательной системы в них используется колебательный контур, состоящий индуктивности и ёмкости, величина которых определяет частоту колебаний. Звуковые ***LC***-генераторы в радиоизмерительной аппаратуре выполняются в основном на фиксированные частоты, как, например, модулятор частоты 400, 700 или 1000 Гц в генераторы стандартных сигналов, генераторов питания универсальных мостов и др.

***RC***-генератор является основным типом генератора синусоидальных колебаний инфразвуковых и звуковых частот. ***LC***-генератор в низкочастотном диапазоне имеет худшие характеристики по сравнению с ***RC***-генератором. Принцип работы ***RC***-генератора основан на применении частотно-избирательных свойств *RC*-цепей с последовательно-параллельным делителем в цепи обратной связи.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляют измерительные генераторы?
2. Где используются измерительные генераторы?
3. Почему низкочастотные генераторы часто называют звуковыми?
4. Назовите основные типы низкочастотных генераторов по способу получения колебаний требуемой частоты;
5. Назовите основной принцип действия ***LC***-генератора;
6. Назовите основные достоинства и недостатки ***LC***-генератора;
7. В качестве чего чаще всего используются ***LC***-генераторы;
8. Назовите основной принцип действия ***RC***-генератором;
9. Назовите основные достоинства и недостатки ***RC***-генератором;
10. Расскажите принцип действия генератора на биениях.

**Необходимые лабораторные приборы и оборудование:**

* генератор сигналов низкочастотный Г3-120.

**Программа выполнения практической работы:**

Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации генератора сигналов низкочастотного Г3-120, интернет ресурсами (<http://ndo.sibsutis.ru/>), лицевой панелью реального генератора заполнить графы табл.1.

Местоположение элементов управления определяется следующими понятиями:вверху слева (справа, в центре); внизу слева (справа, в центре); в центре; в центре слева (справа, сверху, снизу).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование функциональных блоков генератора сигналов низкочастотного Г3-120**,** элементы управления которых выведены на лицевую панель.  Местоположение элементов управления на лицевой панели. | Назначение данного функционального блока |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |
| 6 |  |  |
| 7 |  |  |
| 8 |  |  |
| 9 |  |  |
| 10 |  |  |
| 11 |  |  |

Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Приложение к лабораторной работе №2

**Методические указания применению измерительных приборов и макетов**

(<http://ndo.sibsutis.ru/>)

**Генератор сигналов низкочастотный Г3-120**

1. Назначение.

Генератор сигналов низкочастотный Г3-120 предназначен для формирования (генерации) синусоидальных и прямоугольных сигналов низкой частоты.

1. Основные метрологические характеристики.

2.1 Диапазон частот от 5 Гц до 500 кГц перекрывается пятью поддиапазонами: 5-50 Гц; 50-500 Гц; 500 Гц - 5 кГц; 5-50 кГц; 50-500 кГц.

2.2 Предел допускаемой основной относительной погрешности установки частоты равен:

(3+30/F)% в диапазоне частот от 10 Гц до 300 кГц;

5% в остальном диапазоне частот,

где F - значение установленной частоты в Гц.

2.3 Наибольшее значение выходного напряжения не превышает:

5В при сопротивлении нагрузки 600 Ом;

10В без нагрузки.

2.4 Плавная регулировка выходного напряжения синусоидального сигнала осуществляется от напряжения 5 В при сопротивлении нагрузки 600 Ом или 10 В без нагрузки, до относительного уровня минус 14 дБ.

2.5 Ступенчатая регулировка выходного напряжения синусоидального сигнала осуществляется ступенями через 10 дБ в пределах от 0 до минус 60 дБ.

2.6 Предел допускаемой основной приведенной погрешности измерителя выходного напряжения не превышает 6% в диапазоне частот от 20 Гц до 500 кГц и 10% в остальном диапазоне частот.

2.7 Выходное сопротивление генератора в режиме синусоидального сигнала 600 + 60 Ом.

2.8 Генератор обеспечивает на отдельном выходе сигнал прямоугольной формы (меандр) со следующими характеристиками:

размах напряжения не менее 10 В при сопротивлении нагрузки 600 Ом;

скважность сигнала 2 + 0,3.

2.9 Коэффициент гармоник выходного синусоидального сигнала на превышает:

0,5% в диапазоне частот ниже 200 Гц;

0,3% в диапазоне частот от 200 Гц до 20 кГц;

1% в диапазоне от 20 до 200 кГц;

3% в диапазоне от 200 до 250 кГц.

3. Краткая инструкция по эксплуатации.

3.1 Назначение органов управления, настройки и подключения.

Назначения органов управления, настройки и подключения приведено в таблице 1.

|  |  |
| --- | --- |
| Обозначение | Назначение |
| 1. Тумблер "СЕТЬ" 2. Переключатель "МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ" 3. Ручка и шкала "HZ" 4. Переключатель "◄dB" 5. Ручка "О ~" 6. Ручка "О О " | Включение питающего напряжения  Переключение поддиапазонов частот  Плавная перестройка частоты  Ступенчатая регулировка выходного напряжения  Плавная регулировка выходного напряжения синусоидальной формы  Плавная регулировка выходного напряжения прямоугольной формы |

3.2 Подготовка к работе.

3.2.1 Убедитесь в наличии защитного заземления корпуса генератора. Установить органы управления в следующие положения:

* ручку плавной регулировки напряжений "~,  û " в среднее положение;
* ручку "◄dB " в положение "0";
* переключатель "СЕТЬ" в положение "1".

3.3 Проведение измерений.

3.3.1. В зависимости от требуемой формы сигнала подключите нагрузку к гнезду "O ~ " или "O или "O или "O ".

3.3.2. Установите необходимую частоту выходного напряжения переключателем "МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ" и ручкой "HZ".

3.3.2.1 Установите необходимое выходное напряжение переключателем "◄dB " и соответствующей ручкой плавной регулировки выходного напряжения (ручкой"О ~" или ручкой "О").

Лабораторная работа № 3

***Изучение технического описания и органов управления генератора ВЧ***

**Цель работы:** Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации генератора сигналов высокочастотного Г4-102, интернет ресурсами (<http://ndo.sibsutis.ru/>), лицевой панелью реального генератора провести экспериментальные исследования работоспособности генератора посредством изучения органов его управления.

**Теоретическое обоснование:**

Измерительные генераторы широко используются при самых различных измерениях, исследованиях и испытаниях всевозможных радиоэлектронных схем, приборов и устройств. Например, измерительные генераторы необходимы при испытаниях усилителей, для градуировки электронных вольтметров, измерения чувствительности приёмников и др.

Такие генераторы представляют собой источники сигналов различной частоты и формы, в зависимости от которых они могут определённым образом классифицироваться.

Измерительные генераторы высокой частоты, к которым относятся так называемые генераторы стандартных сигналов (ГСС) и генераторы сигналов (ГС), предназначены для получения модулированных колебаний определённой амплитуды, глубины и частоты модуляции.

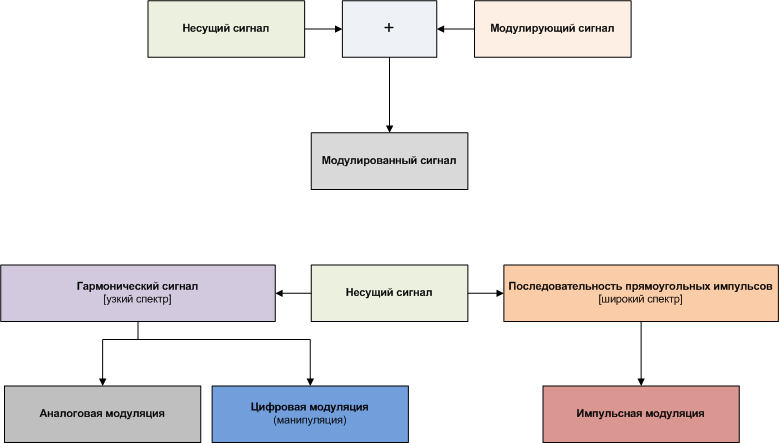
**Модуля́ция** ([лат.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*modulatio — размеренность, ритмичность*) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного [сигнала](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) (сообщения).

Передаваемая информация заложена в ***управляющем (модулирующем)*** сигнале, а роль переносчика информации выполняет высокочастотное колебание, называемое [***несущим***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%89%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB). Модуляция, таким образом, представляет собой процесс «посадки» информационного колебания на заведомо известную несущую.

В результате модуляции [спектр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80) низкочастотного управляющего сигнала переносится в область высоких частот. Это позволяет при организации вещания настроить функционирование всех приёмо-передающих устройств на разных частотах с тем, чтобы они «не мешали» друг другу.

В качестве несущего могут быть использованы колебания различной формы (прямоугольные, треугольные и т. д.), однако чаще всего применяются [гармонические колебания](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F). В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания изменяется, различают вид модуляции ([***амплитудная***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F)***,*** [***частотная***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F)***,*** [***фазовая***](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F) и др.).

Простейшая блок-схема генератора высокой частоты выглядит следующим образом:



Измерительные генераторы высокой частоты применяют в основном для настройки и исследования радиоприёмных устройств. Кроме того, они могут быть использованы для питания измерительных линий, антенн и других цепей ВЧ.

Измерительные приборы типа ГСС отличаются от ГС большей точностью калибровки всех параметров прибора и особенно калибровки его малых выходных напряжений. Поэтому к ГСС предъявляются более высокие требования в отношении экранировки прибора и его элементов.

В отличие от ГСС генераторы сигналов обычно имеют достаточно мощный выход (до 2 Вт), необходимый для питания таких цепей, как измерительные линии, антенны и т.д.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-102 предназначен для формирования немодулированных и амплитудно-модулированных синусоидальных сигналов высокой частоты.

Генератор работает в следующих режимах:

* непрерывная генерация (немодулированные колебания);
* внутренняя амплитудная модуляция синусоидальным напряжением;
* внешняя амплитудная модуляция синусоидальным напряжением.

Диапазон частот от 0,1 до 50,0 МГц, перекрывается восемью поддиапазонами:

0,10 - 0,18 МГц, 1,70 - 4,00 МГц,

0,18 - 0,35 МГц, 4,00 - 10,00 МГц,

0,35 - 0,45 МГц, 10,00 - 20,00 МГц,

0,75 - 1,70 МГц, 20,00 - 50,00 МГц.

Предел допускаемой основной относительной погрешности установки частоты не превышает + 1%.

Выходное напряжение регулируется в пределах от 5\*105 до 5\*10-1 мкВ (на основном выходе).

Регулировка производиться ступенями по 10 дБ от 0 до 110 дБ и плавно, в пределах каждой ступени.

Амплитудная модуляция сигнала осуществляется сигналом частотой 1000 Гц от внутреннего и 50 -15000 Гц от внешнего источника модуляции.

Коэффициент модуляции регулируется в пределах от 0 до 90% ступенями по 10%.

Выходное некалиброванное напряжение на дополнительном выходе не менее 1В, но не более 3 В.

Выходное сопротивление генератора 50 + 5 Ом.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляют измерительные генераторы?
2. Где используются измерительные генераторы?
3. Какие виды высокочастотных генераторов Вы знаете?
4. Назовите отличительные особенности генераторов типа ГСС;
5. Назовите отличительные особенности генераторов типа ГС;
6. Где в основном используются измерительные приборы типа ГСС;
7. Где в основном используются измерительные приборы типа ГС и почему?;
8. Что представляет собой процесс модуляции?;
9. Нарисуйте простейшую блок-схему высокочастотного генератора и расскажите основной принцип действия генератора;
10. Каково назначение высокочастотного генератора Г4-102;
11. Какие режимы работы у генератора Г4-102;

**Необходимые лабораторные приборы и оборудование:**

* генератор сигналов высокочастотный Г4-102.

**Программа выполнения практической работы:**

Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации генератора сигналов низкочастотного Г4-102, интернет ресурсами (<http://ndo.sibsutis.ru/>), лицевой панелью реального генератора заполнить графы табл.1.

Местоположение элементов управления определяется следующими понятиями:

вверху слева (справа, в центре); внизу слева (справа, в центре); в центре; в центре слева (справа, сверху, снизу).

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование функциональных блоков генератора сигналов высокочастотного Г4-102**,** элементы управления которых выведены на лицевую панель.  Местоположение элементов управления на лицевой панели. | Назначение данного функционального блока |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |
| 6 |  |  |
| 7 |  |  |
| 8 |  |  |
| 9 |  |  |
| 10 |  |  |
| 11 |  |  |

Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Приложение к лабораторной работе №3

**Методические указания применению измерительных приборов и макетов**

(<http://ndo.sibsutis.ru/>)

**Генератор сигналов высокочастотный Г4-102.**

Назначение органов управления, настройки и подключения приведено в таблице.

Таблица

|  |  |
| --- | --- |
| Обозначение | Назначение |
| 1. Тумблер "СЕТЬ". 2. Кнопки и ручка "УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ HZ". 3. Разъемы "ВЫХОД"   "mV"  "1 V"   1. Тумблеры "ВКЛ". 2. Переключатели и ручка "ВЫХОД". 3. Ручка "УРОВЕНЬ МОДУЛ." 4. Переключатель "М%". 5. Разъем "АМ" 6. Тумблер "ВНЕШ.- ВНУТР." 7. Кнопки "Vпит","Vвых." | Включение питающего напряжения  Ступенчатая и плавная регулировка частоты  Основной выход  Дополнительный выход  Включение основного или дополнительного выхода  Ступенчатая и плановая регулировка выходного напряжения на основном выходе  Установка уровня модуляции (стрелка индикатора устанавливается на риску "К")  Установка коэффициента модуляции  Ввод внешнего модулирующего напряжения  Переключения режима модуляции (внешняя или внутренняя)  Проверка питающего и выходного напряжения генератора |

Подготовка к проведению измерений

Убедитесь в наличии защитного заземления корпуса генератора. Установите органы управления в следующие положения:

* тумблер "СЕТЬ" - в положение выкл.;
* тумблер "ВКЛ" основного выхода - в положение ВКЛ.;
* тумблер "ВНЕШ. - ВНУТР." - в положение "ВНЕШ." (режим непрерывной генерации).

Включить тумблер "СЕТЬ", при этом должна загореться индикаторная лампочка.

Об исправности работе прибора свидетельствуют следующие признаки:

* при нажатии кнопки "Vпит." стрелка индикатора должна отклоняться до соответствующего сектора на шкале индикатора;
* при включении тумблера "ВНЕШ. - ВНУТР." в положение "ВНУТР." стрелка индикатора отклоняется в положении ее регулируется вращением ручки "УРОВЕНЬ МОДУЛ."

Проведение измерений.

Установите кнопками и ручкой "УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ МHZ" необходимую частоту выходного сигнала.

Установите переключателем и ручкой "ВЫХОД" необходимое напряжение выходного сигнала. Установка производится только по основному каналу. Отсчет установленного значения в микровольтах производиться : при красном множителе - по красной шкале, при черном - по черной шкале. Правильность отсчета гарантируется при работе на согласованную 50- омную нагрузку.

Для получения амплитудно-модулированных колебаний от внутреннего источника сигнала, установите переключателем "М%" необходимый коэффициент амплитудной модуляции, предварительно установив тумблер "ВНЕШ. - ВНУТР." в положение "ВНУТР." и выставив ручкой "УРОВЕНЬ МОДУЛ." стрелку индикатора на отметку "К" шкалы индикатора.

Для получения амплитудно-модулированных колебаний от внешнего источника сигнала установите тумблер "ВНЕШ. - ВНУТР." в положение "ВНЕШ." и подайте сигнал модуляции частотой 50 - 15000 Гц на гнездо "АМ".

Лабораторная работа № 4

***Изучение технического описания и органов управления импульсного генератора***

**Цель работы:** Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации генератора импульсных сигналов Г5-54, интернет ресурсами (<http://ndo.sibsutis.ru/>), лицевой панелью реального генератора провести экспериментальные исследования работоспособности генератора посредством изучения органов его управления.

**Теоретическое обоснование:**

Измерительные генераторы широко используются при самых различных измерениях, исследованиях и испытаниях всевозможных радиоэлектронных схем, приборов и устройств. Например, измерительные генераторы необходимы при испытаниях усилителей, для градуировки электронных вольтметров, измерения чувствительности приёмников и др.

Такие генераторы представляют собой источники сигналов различной частоты и формы, в зависимости от которых они могут определённым образом классифицироваться.

В настоящее время применение в радиоизмерительной практике получили импульсные генераторы. Вырабатываемые импульсы чаще всего имеют прямоугольную форму, определённую частоту следования, длительность и амплитуду, которые можно регулировать. Подобные генераторы применяются для исследования различных импульсных схем, низкочастотных усилительных устройств, широкополосных усилителей, а также применяют в качестве импульсных модуляторов сверхвысокочастотных измерительных генераторов. Основными параметрами импульсного генератора является частота повторения, длительность, амплитуда, форма и полярность выходного импульса, а также его задержка относительно задающего или, если генератор многоканальный, временной сдвиг между основными (выходными) импульсами.

Формирование прямоугольных импульсов со стабильной длительностью следования, крутыми фронтами и плоской вершиной обеспечивают мультивибраторы и блокинг-генераторы, работающие в автоколебательном и ждущем режимах. В мультивибраторах эти характеристики достигаются за счёт применения кварцевой стабилизирующей частоты.

*Мультивибратор* является одним из самых распространённых генераторов импульсов прямоугольной формы, представляющий собой двухкаскадный резистивный [усилитель](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%83%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C) с глубокой [положительной обратной связью](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D1%8C). В электронной технике используются самые различные варианты схем мультивибраторов, которые различаются между собой по типу используемых элементов (ламповые, транзисторные, тиристорные, микроэлектронные и так далее), режиму работы ([автоколебательный](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F), ждущие синхронизации), видам связи между усилительными элементами, способам регулировки длительности и частоты генерируемых импульсов и так далее.

Отнесение мультивибратора к классу [автогенераторов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80) оправдано лишь при автоколебательном режиме его работы. В ждущем режиме мультивибратор вырабатывает импульсы только тогда, когда на его вход поступают синхронизирующие сигналы. Режим [синхронизации](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9) отличается от автоколебательного тем, что в этом режиме с помощью внешнего управляющего (синхронизирующего) колебания удаётся подстроить частоту колебаний мультивибратора под частоту синхронизирующего напряжения или сделать кратной ей ([захват частоты](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%97%D0%B0%D1%85%D0%B2%D0%B0%D1%82_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D1%8B&action=edit&redlink=1)) для автоколебательных мультивибраторов.

Принципиальная схема "классического" простейшего транзисторного мультивибратора представлена на рис.1.

***Блокинг-генератор*** — [генератор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80) с глубокой трансформаторной обратной связью, формирующий кратковременные (обычно около 1 мкс) [электрические](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE) импульсы, повторяющиеся через сравнительно большие интервалы. Применяются в [радиотехнике](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и в устройствах импульсной техники. Выполняются с использованием одного транзистора или одной лампы.

Блокинг-генератор представляет собой [релаксационную схему](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80), содержащую усилительный элемент (например, [транзистор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80)), работающий в ключевом режиме, и трансформатор, осуществляющий положительную обратную связь. Достоинствами блокинг-генераторов являются сравнительная простота, возможность подключения нагрузки через трансформатор ([гальваническая развязка](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%B0)),способность формировать мощные импульсы, близкие по форме к прямоугольным.

Принципиальная схема "классического" простейшего блокинг-генератора представлена на рис.2.

Рисунок 1

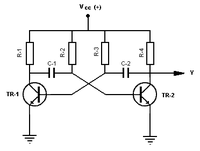
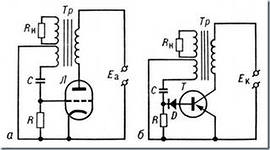
[](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Astable.png?uselang=ru)

Рисунок 2

[](http://images.yandex.ru/yandsearch?text=%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%B9%D1%88%D0%B0%D1%8F%20%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0%20%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D0%BD%D0%B3-%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0&noreask=1&img_url=http://img.encyc.yandex.net/illustrations/bse/pictures/02332/464840-95x96_.jpg&pos=4&rpt=simage&lr=213)

Кроме прямоугольного импульса, применяют также трапецеидальный и экспоненциальный импульсы

Трапецеидальный импульс представляет собой прямоугольный импульс с линейным и регулируемым по длительности фронтом или спадом.

Экспоненциальный импульс не имеет плоской вершины и характеризуется очень коротким передним фронтом и экспоненциальным спадом.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляют измерительные генераторы?
2. Где используются измерительные генераторы?
3. Где используются импульсные генераторы?
4. Какой формы вырабатываемые генераторами импульсы наиболее распространены?
5. Перечислите основные параметры импульсного генератора;
6. Какими типы импульсных генераторов Вы знаете?;
7. Расскажите принцип действия простейшего мультивибратора;
8. Чем отличается автоколебательный режим работы мультивибратора от ждущего?;
9. Что собой представляет блокинг-генератор?;
10. Какие ещё формы импульса (кроме прямоугольной) применяют в импульсных генераторах?;

**Необходимые лабораторные приборы и оборудование:**

* генератор импульсных сигналов Г5-54.

**Программа выполнения практической работы:**

Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации генератора импульсных сигналов Г5-54, интернет ресурсами (<http://ndo.sibsutis.ru/>), лицевой панелью реального генератора заполнить графы табл.1

Местоположение элементов управления определяется следующими понятиями:

вверху слева (справа, в центре); внизу слева (справа, в центре); в центре; в центре слева (справа, сверху, снизу).

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование функциональных блоков генератора импульсных сигналов Г5-54**,** элементы управления которых выведены на лицевую панель.  Местоположение элементов управления на лицевой панели. | Назначение данного функционального блока |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |
| 6 |  |  |
| 7 |  |  |
| 8 |  |  |
| 9 |  |  |
| 10 |  |  |

Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Приложение к лабораторной работе №4

**Методические указания применению измерительных приборов и макетов**

(<http://ndo.sibsutis.ru/>)

**Генератор импульсов Г5-54.**

Генератор импульсов Г5-54 предназначен для формирования импульсов прямоугольной формы. Длительность импульсов регулируется плавно – ступенчато. Прибор обеспечивает плавную регулировку амплитуды. Частота повторения импульсов регулируется плавно – ступенчато. Временный сдвиг (задержка) выходного импульса относительно синхроимпульса регулируется плавно – ступенчато.

Назначение органов управления, настройки и подключения приведено в таблице.

Таблица.

|  |  |
| --- | --- |
| Обозначение | Назначение |
| 1. Тумблер "СЕТЬ" 2. Группа кнопок "ЗАПУСК"   Нажата кнопка  \_   Нажата кнопка û  \_  При нажатии кнопки "( )"  При нажатой верхней кнопке   1. Группа кнопок и шкальное устройство "ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ" 2. Группа кнопок и шкальное устройство "ВРЕМЕННОЙ СДВИГ" 3. Группа кнопок и шкальное устройство "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ" 4. Группа кнопок регулировки выхода, гнезда 1:100, 1:10, 1:1, ручка "АМПЛ" 5. Группа кнопок "\_  \_ "  \_  | Включение питающего напряжения  Управления запуском генератора  Запуск внешним отрицательным импульсом  Запуск внешним положительным импульсом или синусоидальным сигналом  Разовый (ручной) запуск  Внутренний запуск  Ступенчатая и плавная регулировка частоты повторения выходных импульсов  Ступенчатая и плавная регулировка задержки выходного импульса относительно синхроимпульса.  Ступенчатая и плавная регулировка длительности выходных импульсов  Ступенчатая и плавная регулировка амплитуды выходных импульсов  Установка полярности выходных импульсов |

Подготовка к проведению измерений.

1Убедитьсь в наличии защитного заземления корпуса генератора. Установить органы управления в следующие положения:

* тумблер "СЕТЬ" - в положение выкл;
* нажать верхнюю кнопку переключателя "ЗАПУСК";
* нажать черную кнопку "\*104" "ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ";
* нажать кнопку "0" переключателя "ВРЕМЕННОЙ СДВИГ";
* нажать белую кнопку "\*0,1" переключателя "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ";
* нажать кнопку "\*1" переключателя амплитуды выходных импульсов;
* ручку "АМПЛ" в крайнее левое положение;
* нажать кнопку "\_  \_ " или "  \_  ".

2 Включить тумблер "СЕТЬ". При этом должен отклониться указатель измерителя импульсов. На экране осциллографа должен наблюдаться импульс соответствующей полярности.

Проведение измерений.

1 Установите кнопками и шкальным устройством "ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ" необходимую частоту повторения импульсов. ( При нажатой белой кнопке пользуйтесь светлой шкалой, при нажатой черной кнопке - темной).

2 Установите кнопками шкальным устройством "ВРЕМЕННОЙ СДВИГ" необходимую задержку выходного импульса относительно синхроимпульса.

3 Установите кнопками и шкальным устройством "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ" необходимую длительность выходного импульса (при нажатой белой кнопке пользуйтесь светлой шкалой, при черной - темной). При этом минимальная скважность должна быть не менее 2.

4 Установить кнопками \_  \_ ,  \_ необходимую полярность выходных импульсов.

5 Установите кнопками (\*1; \*0,3; \*0,1; \*0,03) и ручкой "АМПЛ" амплитуду выходных импульсов.

6 В случае необходимости засинхронизировать работающую совместно с генератором аппаратуру, соедините выходное гнездо О "СИНХРОИМПУЛЬСЫ" со входом аппаратуры. Выставите тумблером "" необходимую полярность и ручкой "АМПЛ" (синхроимпульсы), необходимую амплитуду синхроимпульсов.

Лабораторная работа № 5

***Изучение и описание реальных вольтметров и амперметров магнитоэлектрической системы измерительных механизмов***

**Цель работы:** Изучить стендовые вольтметры и амперметры и опытно-расчётным путём описать их свойства и погрешности измерений в различных областях их шкал. (<http://electrono.ru/>)

**Теоретическое обоснование:**

Приборы магнитоэлектрической системы применяют для измерения тока и напряжения в электрических цепях постоянного тока. В амперметрах и вольтметрах катушка прибора имеет различное сопротивление и включается по различным схемам.

Для уменьшения проходящего по катушке тока и компенсации влияния температуры на показания приборав вольтметрах последовательно с катушкой включают добавочный резистор, который обычно встраивается в корпус прибора. Сопротивление этого резистора значительно больше сопротивления катушки, и он выполнен из материала, электрическое сопротивление которого весьма мало зависит от температуры (константан, манганин и пр.). Поэтому вольтметр подключают параллельно элементу электрической цепи, на концах которого необходимо замерить величину напряжения. Чем больше входное сопротивление вольтметра, тем меньше потребляемой им электроэнергии, тем качественней прибор, тем меньше его негативное влияние на работу всей цепи.

В амперметрах параллельно катушке прибора включают образцовый резистор, называемый ***шунтом***. Шунты, как правило, имеют сопротивление гораздо меньшее сопротивления катушки прибора, вследствие чего измеряемый ток в основном проходит по шунту. Эти шунты ограничивают ток в катушке прибора. Амперметры включают последовательно с элементами той электрической ветви, в которой необходимо измерить величину силы тока. Чем меньше сопротивление амперметра, тем меньше на нём падение напряжения, тем качественней прибор, тем меньше его негативное влияние на работу всей цепи.

Шунты (амперметры) и добавочные резисторы (вольтметры) служат для расширения пределов измерения приборов.

Из принципа действия магнитоэлектрического прибора следует, что направление отклонения его стрелки зависит от направления тока ***I***, проходящего по катушке. Следовательно, при включении этих приборов в цепь постоянного тока должна быть соблюдена правильная полярность, при которой стрелка отклоняется в требуемую сторону. Для переменного тока магнитоэлектрические приборы непригодны, так как при питании катушки переменным током среднее значение создаваемого ею вращающего момента равно нулю и стрелка прибора будет стоять на нуле, испытывая чуть заметные колебания.

Достоинством приборов магнитоэлектрической системы являются равномерность шкалы, высокая точность и независимость показаний от посторонних магнитных полей. К недостаткам их относятся непригодность для измерения переменного тока, необходимость соблюдения полярности при включении и чувствительность к перегрузкам (при перегрузке тонкая проволока катушки и спиральные пружины, подводящие к ней ток, могут сгореть).

**Вопросы для самопроверки:**

1. С какой целью используются приборы магнитоэлектрической системы?
2. Что используют в вольтметрах для ограничения тока в катушке прибора?
3. Как включают вольтметр в электрической цепи и почему?
4. Что используют в амперметрах для ограничения тока в катушке прибора?
5. Как включают амперметр в электрической цепи и почему?
6. В цепях какого тока используются магнитоэлектрические приборы и почему?
7. Какими достоинствами обладают магнитоэлектрические приборы?
8. Какие недостатки имеют магнитоэлектрические приборы?

**Необходимые стендовые приборы и оборудование:**

1. Вольтметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

2. Амперметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Заполнить ячейки табл. 1 в соответствии с обозначениями, указанными на шкале конкретного прибора.
3. Провести требуемые вычисления по определению максимально допустимых инструментальных погрешностей () каждого из приборов.
4. Провести вычисления относительных номинальных погрешностей () в первой половине шкалы, когда показания приборов (А) равны  максимальной величины измерения () и во второй половине шкалы, когда показания приборов (А) равны  максимальной величины измерения ().
5. Данные вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Наимено-вание  прибора | Эл.  цепь | Пре-дел изме-  рений  (Амах) | Цена деле-ния | Положе-ние шка-лы | Испы-татель-ное напря-жение изоля-ции | Класс точ-но-сти  () | Мах. абсо-лютная погреш-ность  ∆А | Относительная погрешность | |
|  |  |
| 1 | Вольтметр |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | Амперметр |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления



1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

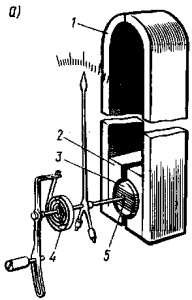
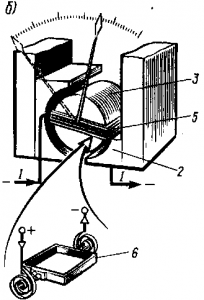
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Приложение к лабораторной работе №5

***Магнитоэлектрические измерительные механизмы***

**Устройство и принцип действия**. Магнитоэлектрический измерительный механизм выполнен в виде постоянного магнита 1, снабженного полюсными наконечниками 2, между которыми укреплен стальной сердечник 3. В кольцеобразном воздушном зазоре, образованном полюсными наконечниками и сердечником, помещена подвижная катушка 5, намотанная на алюминиевый каркас 6. Катушка выполнена из очень тонкого провода и укреплена на оси, связанной со стрелкой спиральными пружинами 4 или растяжками. Через эти же пружины или растяжки осуществляется подвод тока к катушке.

При прохождении тока I по катушке на каждый из ее проводников будет действовать электромагнитная сила. Суммарное действие всех электромагнитных сил создает вращающий момент М, стремящийся повернуть катушку и связанную с ней стрелку прибора на некоторый угол α.

[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/9-1-151.png)[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/9-1-161.png)***Устройствомагнитоэлектрического измерительного механизма***

Так как индукция В магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом, неизменна и не зависит от тока I, то

***M = c1I***

где **c1** — постоянная величина, зависящая от конструктивных параметров данного прибора (числа витков катушки, ее размеров, индукции В в воздушном зазоре).

Повороту подвижной части измерительного механизма препятствует противодействующий момент Мпр, создаваемый спиральными пружинами или растяжками. Этот момент пропорционален углу закручивания, т. е. углу поворота ? подвижной части; при этом

***Мпр= c2 . α***

где ***c2*** — постоянная величина, зависящая от жесткости спиральных пружин или растяжек. Поворот подвижной части измерительного механизма и стрелки будет продолжаться до тех пор, пока вращающий момент М, создаваемый током I, не уравновесится противодействующим моментом Мпр. В момент равновесия М = Мпр, откуда получим:

***α= kI***

Следовательно, угол поворота а подвижной части пропорционален измеряемому току I. Поэтому магнитоэлектрические приборы имеют равномерную шкалу.

Постоянная величина к называется *чувствительностью прибора*, она характеризуется углом поворота стрелки в градусах или в делениях шкалы, приходящимся на единицу изменения измеряемой величины.

Величина, обратная чувствительности, c=1/к называется *постоянной прибора*, или *ценой деления.* Если умножить отсчет по шкале на цену деления прибора с, то можно определить значение измеряемой величины.

Лабораторная работа № 6

***Измерение напряжения и тока в электрических цепях постоянного тока вольтметрами и амперметрами магнитоэлектрической системы измерительных механизмов***

**Цель работы:** Измерить величины напряжения и силы тока в электрической цепи постоянного тока стендовыми вольтметрами и амперметрами магнитоэлектрической системы и опытно-расчётным путём вычислить величины сопротивлений резисторов электрической цепи методом вольтметра и амперметра. (<http://electrono.ru/>)

**Теоретическое обоснование:**

Измерение тока – одно из наиболее распространённых измерений в различных областях техники (энергетике, электронике, радиотехнике, связи и др.).

Частотный диапазон измерения тока лежит в пределах от нуля (постоянный ток) до сотен мегагерц и более. Пределы измерения величин тока также широки. Например, постоянный ток можно измерять от величины порядка 10-17*А* до величин порядка 105*А*.

Для измерения величины постоянного тока могут быть использованы все измерительные механизмы, за исключением индукционного и электростатического. Однако в силу своих преимуществ, главным образом из-за высокой точности измерений, наибольшее распространение имеют приборы магнитоэлектрической системы.

При измерении величины силы тока в ветви электрической цепи в ветвь размыкается и в разрыв включается амперметр. Т.е. амперметр включается последовательно с остальными элементами данной ветви.

Амперметры могут быть постоянно в электрическую цепь для контроля её режима или же включается в неё периодически. В первом случае ток всегда постоянен по величине, т.к. при рабочем режиме цепи в её сопротивление входит и сопротивление прибора. Во втором случае включении амперметра несколько уменьшает ток нагрузки из-за добавленного к сопротивлению нагрузки сопротивления прибора. Именно поэтому сопротивление амперметра должно быть как можно меньше по сравнению с сопротивлением нагрузки ().

Шунты, ограничивающие ток в измерительном механизме прибора включаются параллельно измерительной катушке прибора и обычно изготавливаются из манганина и при измерении токов до 30 *А* монтируются непосредственно внутри корпуса прибора.

Измерение напряжения также является наиболее распространённым видом измерения электрических величин и также осуществляется в широком диапазоне величин напряжения.

Чаще всего для измерения напряжения используется метод непосредственной оценки и, если требуется очень высокая точность, метод сравнения. Приборы непосредственной оценки, измеряющие напряжение (вольтметры) включаются параллельно элементу или участку электрической цепи, на котором необходимо измерить величину падения напряжения. Чем меньше сила тока, протекающего через вольтметр, тем меньше потребляемая вольтметром энергия из цепи. Именно поэтому сопротивление вольтметра должна быть много больше сопротивления нагрузки (*RA>>RH*). В противном случае методическая погрешность измерения напряжения может достигать больших значений. Ограничение тока в измерительном механизме вольтметра осуществляется добавочных сопротивлений, включаемых последовательно с измерительным механизмом вольтметра. Для постоянных напряжений могут использоваться электроизмерительные механизмы всех систем кроме индукционной, но применяют преимущественно магнитоэлектрические.

Добавочные сопротивления изготавливаются из манганиновой проволоки. Помимо своего основного назначения – ограничения тока в измерительном механизме вольтметра – они уменьшают температурную погрешность прибора. В большинстве случаев добавочные резисторы монтируются внутри корпуса вольтметра.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Как называются приборы для измерения напряжения в электрической цепи?
2. Что используют в вольтметрах для ограничения тока в катушке прибора?
3. Как включают вольтметр в электрической цепи и почему?
4. Как называются приборы для измерения силы тока в электрической цепи?
5. Что используют в амперметрах для ограничения тока в катушке прибора?
6. Как включают амперметр в электрической цепи и почему?
7. Какие измерительные механизмы могут быть использованы для измерения токов в цепях постоянного тока?
8. Какие измерительные механизмы могут быть использованы для измерения напряжения в цепях постоянного тока?

**Необходимые стендовые приборы и оборудование:**

1. Вольтметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

2. Амперметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

3. Резисторы с переменным сопротивлением от 0 до 220 Ом - 3 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Используя источник питания БП-30 и переменные резисторы R1, R2, и R3,собрать электрическую схему последовательного соединения резисторов на стенде

+ R1R2

Е БП-30

-

R3

1. Изменяя сопротивления резисторов R1, R2, и R3, измерить токи в цепи и напряжения на каждом из резисторов.
2. Провести требуемые вычисления и данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | | | | Вычислено | | | |
| Е | I | U1 | U2 | U3 | Rэ | R1 | R2 | R3 |
| В | А | В | В | В | Ом | Ом | Ом | Ом |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; ; ; .

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 7

***Подбор шунтов для расширения пределов измерения токов***

**Цель работы:** Расчётным путём определить величину сопротивления шунта для расширения предела измерений амперметра и проверить экспериментом правильность расчётов исследуя виртуальные схемы пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench.

**Теоретическое обоснование:**

Принцип расширения пределов измерения тока при помощи шунта заключается в том, что большую часть измеряемого тока *I* пропускают через шунт (*IШ)*, а меньшую *IА*через амперметр. При этом ток прибора *IA* определённую часть всего измеряемого тока *I*. Это расширение пределов измерения при помощи шунта характеризуется так называемым коэффициентом шунтирования (множитель шкалы) *nш*, равным .

Коэффициент шунтирования зависит от сопротивления амперметра *RA* и шунта *RШ* и может быть определён по формуле , где *UА* - падение напряжения на амперметре.

Откуда  и .

Коэффициент шунтирования (множитель шкалы), зависящий от сопротивлений *RA*и*RШ*  (при наличии одного шунта), постоянен, поэтому величина измеряемого тока *I* в неразветвлённой цепи определяется следующим образом: .

Шунты, выпускаемые промышленностью, имеют различные классы точности – 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

Для получения нескольких пределов измерений тока измерительным механизмом применяются схемы с несколькими однопредельными шунтами или же с одним многопредельным шунтом.

Необходимо запомнить, что применение шунтов дополнительно увеличивает погрешность измерения амперметра за счёт изменения параметров шунта во времени и за счёт разных температурных коэффициентов измерительного механизма и шунта.

**Вопросы для самопроверки:**

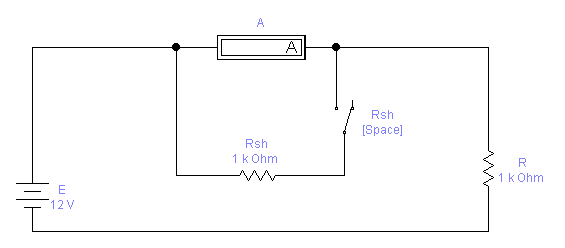
1. Как называются приборы для измерения силы тока в электрической цепи?
2. Что используют в амперметрах для ограничения тока в катушке прибора?
3. Как включают амперметр в электрической цепи и почему?
4. Какие дополнительные устройства используют для расширения пределов измерения тока?
5. Чему равен коэффициент шунтирования?
6. Какие классы точности имеют шунты, выпускаемые промышленностью?
7. По какой формуле рассчитывается сопротивление шунта?
8. Какие схемы применяют для получения нескольких пределов тока?
9. Как изменяется погрешность измерения тока при наличии дополнительного шунта?

**Программа выполнения практической работы:**

1. Используя компоненты пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench**Sources, Basic**и**Indicator**выберите элементы **Battery** (источник постоянного напряжения), **Resistor** (сопротивление), **Ammeter** (амперметр), **Voltmeter** (вольтметр);
2. Расставьте эти элементы на рабочем поле ElectronicsWorkbench в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 1. *Rsh* в этой схеме является сопротивлением шунта, *R* – сопротивление приёмника электроэнергии (нагрузки), nш – коэффициент шунтирования (множитель шкалы).
3. Проведите соединения этих элементов, проставьте обозначения этих элементов руководствуясь правилами ElectronicsWorkbench и схемой рисунка 1;

**Внимание:** Плюс источника питания представлен более длинной чертой. Более короткая черта – минус источника питания. Отрицательная клемма цифрового амперметра или вольтметра обозначена более жирной чертой его окантовки.

Рисунок 1



1. Определите величину ЭДС источника питания (Е) и величину сопротивления нагрузки (*R*) такими, чтобы амперметр показывал ток равный 1*А*. Проставьте эти величины, руководствуясь правилами ElectronicsWorkbench
2. Включите виртуальную схему ElectronicsWorkbench верхней правой кнопкой, прочитайте показания приборов и заполните ячейки первой строки табл. 1.;
3. Измените величину ЭДС источника или величину R, чтобы ток в цепи увеличился вдвое. Рассчитайте величину Rsh, чтобы показания амперметра не изменились.
4. Включите виртуальную схему ElectronicsWorkbench верхней правой кнопкой, прочитайте показания амперметра. Включите выключателем Rsh (кнопка «пробел» Rsh и прочитайте показания амперметра. Заполните ячейки второй строки табл. 1;
5. Руководствуясь п.п. 6 и7 повторите опыты еще три раза, увеличивая ток в три, пять и шесть раз по сравнению с первоначальным током. П о данным вычислений и измерений заполните третью, четвёртую и пятую строки табл. 1

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Е | R | RA | Rsh | Ток в цепи (I)  без шунта | Ток в цепи (I)  с включённым шунтом | nш |
| В | Ом | Ом | Ом | А | А |  |
| 1 |  |  | 0.001 |  |  |  |  |
| 2 |  |  | 0.001 |  |  |  |  |
| 3 |  |  | 0.001 |  |  |  |  |
| 4 |  |  | 0.001 |  |  |  |  |
| 5 |  |  | 0.001 |  |  |  |  |

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 8

***Подбор добавочных сопротивлений для расширения пределов измерения напряжений***

**Цель работы:** Расчётным путём определить величину добавочного сопротивления для расширения предела измерений вольтметра и проверить экспериментом правильность расчётов исследуя виртуальные схемы пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench.

**Теоретическое обоснование:**

Величиной, на которую непосредственно реагируют приборы всех систем (за исключением электростатической), является ток. Но поскольку величина тока, протекающего через измерительный механизм, пропорциональна приложенному к его зажимам напряжению, шкалу прибора можно проградуировать в единицах напряжения. Для ограничения тока в измерительном механизме вольтметра, а также для расширения пределов измерения вольтметра используют добавочные сопротивления (резисторы).

Для расширения пределов измерения вольтметров служат добавочные сопротивления (резисторы), включаемые последовательно с измерительным механизмом. Пусть вольтметр имеет предел измерения и его нужно увеличит до величины .

, , отсюда: , где - сопротивление вольтметра, - сопротивление добавочного резистора, *n-* множитель шкалы.

Таким образом, зная во сколько раз нужно расширить пределы измерения вольтметра (*п*) и его сопротивление, можно подсчитать величину сопротивления добавочного резистора (*RD*).

Добавочные резисторы, выпускаемые промышленностью, имеют классы точности – 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0. В большинстве случаев они монтируются внутри корпуса, но выпускаются также и наружные добавочные резисторы. Если вольтметр имеет несколько внутренних добавочных сопротивлений, то этот вольтметр называют многопредельным.

Для измерения высоких напряжений, а также в тех случаях, когда требуется прибор с большим входным сопротивлением, применяются электростатические вольтметры. Пределы измерения электростатических вольтметров на постоянном токе расширяют при помощи резисторных делителей напряжения.

Электронные вольтметры для измерения постоянного напряжения представляют собой сочетание измерительного механизма магнитоэлектрической системы и электронной схемы. Они применяются в тех случаях, когда требуется высокая чувствительность прибора и его большое входное сопротивление. Для расширения пределов измерения электронного вольтметра служит высокоомный делитель на резисторах. При этом следует иметь ввиду, что делитель несколько снижает входное сопротивление вольтметра и увеличивает его погрешность.

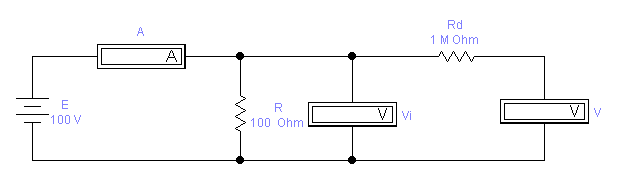
**Вопросы для самопроверки:**

1. Как называются приборы для измерения напряжения в электрической цепи?
2. Что используют в вольтметрах для ограничения тока в катушке прибора?
3. Как включают вольтметр в электрической цепи и почему?
4. Какие дополнительные устройства используют для расширения пределов измерения напряжения?
5. Чему равен множитель шкалы?
6. Какие классы точности имеют промышленные добавочные резисторы?
7. По какой формуле рассчитывается сопротивление добавочного резистора?
8. Какой прибор используют для измерения высоких напряжений?
9. Какой прибор используют для измерения напряжения с высокой степенью чувствительности и большим его входным сопротивлением?

**Программа выполнения практической работы:**

1. Используя компоненты пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench**Sources, Basic**и**Indicator**выберите элементы **Battery** (источник постоянного напряжения), **Resistor** (сопротивление), **Ammeter** (амперметр), **Voltmeter** (вольтметр);
2. Расставьте эти элементы на рабочем поле ElectronicsWorkbench в соответствии со схемой, приведённой на рисунке. Rd – сопротивлением добавочного резистора, R – сопротивление приёмника электроэнергии (нагрузки), Vi– вольтметр истинного значения напряжения, V – испытуемый вольтметр, n – множитель шкалы вольтметра V.
3. Проведите соединения этих элементов, проставьте обозначения этих элементов, руководствуясь правилами ElectronicsWorkbench и схемой рисунка;

**Внимание:** Плюс источника питания представлен более длинной чертой. Более короткая черта – минус источника питания. Отрицательная клемма цифрового амперметра или вольтметра обозначена более жирной чертой его окантовки.



1. Включите виртуальную схему ElectronicsWorkbench верхней правой кнопкой, прочитайте показания приборов и заполните ячейки первой строки табл. 1.;
2. Измените величину ЭДС источника чтобы напряжение на резисторе R увеличилось вдвое (Vi). Рассчитайте величину Rd, чтобы показания вольтметра V не изменились.
3. Включите виртуальную схему ElectronicsWorkbench верхней правой кнопкой, прочитайте показания приборов. Заполните ячейки второй строки табл. 1;
4. Руководствуясь п.п. 5 и 6 повторите опыты еще три раза, увеличивая напряжение резисторе R (Vi) в три, пять и шесть раз по сравнению с первоначальным током. По данным вычислений и измерений заполните третью, четвёртую и пятую строки табл. 1

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | E | I | Rv | Rd | Ui | U | n |
| В | A | MОм | MОм | В | B |  |
| 1 |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 3 |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 4 |  |  | 1 |  |  |  |  |
| 5 |  |  | 1 |  |  |  |  |

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 9

***Измерение напряжения и тока в электрических цепях постоянного тока комбинированным прибором (мультиметром)***

**Цель работы:** Измерить величины напряжения и силы тока в электрической цепи постоянного тока комбинированным прибором (мультиметром или тестером).

**Теоретическое обоснование:**

**Мультиме́тр** (от [англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*multimeter*, **те́стер** — от [англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*test* — испытание, **аво́метр** — от АмперВольтОмМетр) — комбинированный [электроизмерительный прибор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B), объединяющий в себе несколько функций. В минимальном наборе это [вольтметр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80), [амперметр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80) и [омметр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BC%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80). Существуют [цифровые](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) и [аналоговые](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) мультиметры.

Мультиметр может быть как лёгким переносным устройством, используемым для базовых [измерений](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и поиска неисправностей, так и сложным стационарным прибором со множеством возможностей.

Цифровые мультиметры наиболее просты в эксплуатации. Типичная погрешность цифровых мультиметров при измерении сопротивлений, постоянного напряжения и тока, также переменного напряжения и тока в диапазоне частот 20 Гц…5 кГц не превышает ± 0,2 - 0,3 %. В диапазоне высоких частот до 20 кГц погрешность возрастает, до 2,5 % от измеряемой величины, на частоте 50 кГц уже 10 %. С повышением частоты повышается погрешность измерения.

Входное сопротивление цифрового вольтметра до 11 МОм, емкость — 100 пФ, падение напряжения при измерении тока не более 0,2 В. Питание обычно осуществляется от батареи напряжением 9В, потребляемый ток не превышает 2 мА, при измерении постоянных напряжений и 7 мА, при измерении сопротивлений и переменных напряжений и токов. Мультиметр обычно работоспособен при разряде батареи до напряжения 7,5 В.

Аналоговый мультиметр состоит из стрелочного [магнитоэлектрического](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC) измерительного прибора, набора добавочных [резисторов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80) для измерения напряжения и набора [шунтов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BD%D1%82) для измерения тока. Измерение сопротивления производится с использованием встроенного или от внешнего источника.

**Основные режимы измерений:**

* ACV ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*alternating current voltage* — напряжение переменного тока) — измерение переменного напряжения.
* DCV ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*direct current voltage* — напряжение постоянного тока) — измерение постоянного напряжения.
* DCA ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*direct current amperage* — сила тока постоянного тока) — измерение постоянного тока.
* Ω — измерение электрического сопротивления.

**Дополнительные функции:**

В некоторых мультиметрах доступны также функции:

* Прозво́нка — измерение [электрического сопротивления](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) со звуковой (иногда и световой) сигнализацией низкого сопротивления цепи;
* Тестирование [диодов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BE%D0%B4);
* Тестирование [транзисторов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80);
* Измерение [электрической ёмкости](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%91%D0%BC%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C);
* Измерение [индуктивности](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) (редко);
* Измерение [температуры](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0);
* Измерение [частоты](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0) гармонического сигнала;
* Автоотключение питания;
* Автоматическое определение пределов измерения;
* Индикация перегрузки;
* Запись и хранение результатов измерений и др.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляют мультиметры?
2. Как ещё называют комбинированные многоцелевые измерительные приборы?
3. Как оценивается погрешность цифровых мультиметров.?
4. Можно ли измерять величины переменных напряжения и тока?
5. При каких частотах резко начинает возрастать погрешность измерения?
6. Какие типы мультиметров (кроме цифровых) Вы знаете?
7. Назовите основные режимы измерений?
8. Перечислите несколько дополнительных функций цифровых мультиметров?

**Необходимые стендовые приборы и оборудование:**

1. Блок питания БП-30 - 1 шт.

2. Цифровой или аналоговый (тестер) мультиметр - 1 шт.

3. Амперметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

4. Резисторы с переменным сопротивлением от 0 до 220 Ом - 3 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Используя источник питания БП-30 и переменные резисторы R1, R2, и R3,собрать электрическую схему последовательного соединения резисторов на стенде

+ R1R2

Е БП-30

-

R3

1. Изменяя сопротивления резисторов R1, R2, и R3, измерить токи в цепи и напряжения на каждом из резисторов мультиметром (тестером).
2. Провести требуемые вычисления и данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | | | | Вычислено | | | |
| Е | I | U1 | U2 | U3 | Rэ | R1 | R2 | R3 |
| В | А | В | В | В | Ом | Ом | Ом | Ом |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; ; ; .

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 10

***Изучение и описание реальных вольтметров и амперметров электромагнитнойсистемы измерительных механизмов***

**Цель работы:** Изучить стендовые вольтметры и амперметры электромагнитной системы и опытно-расчётным путём описать их свойства и погрешности измерений в различных областях их шкал. (<http://electrono.ru/>)

**Теоретическое обоснование:**

Для измерения напряжений промышленной частоты могут быть использованы любые вольтметры переменного тока, применяются обычно недорогие и достаточно точные приборы электромагнитной и электродинамической систем, также электростатические вольтметры. Для измерения тока промышленной частоты в основном используются электромагнитные и электродинамические (ферродинамические) амперметры.

Также как и в цепях постоянного тока в цепях переменного тока вольтметр подключают параллельно элементу электрической цепи, на концах которого необходимо замерить величину напряжения. Чем больше входное сопротивление вольтметра, тем меньше величина потребляемой им электроэнергии, тем качественней прибор, тем меньше его негативное влияние на работу всей цепи.

Амперметры включают последовательно с элементами той электрической ветви, в которой необходимо измерить величину силы тока. Чем меньше сопротивление амперметра, тем меньше на нём падение напряжения, тем качественней прибор, тем меньше его негативное влияние на работу всей цепи.

Шунты (амперметры) и добавочные резисторы (вольтметры) служат для расширения пределов измерения приборов.

Большинство современных измерительных приборов электромагнитной системы имеет класс точности: 1,0; 1,5; 2,5. Применение астатических механизмов, высококачественных сплавов для сердечников позволяет получать приборы классов 0,5 и 0,2.

*Достоинствами электромагнитных приборов являются:*

* возможность их применения в цепях переменного тока (до 8 кГц);
* простота конструкции и сравнительно низкая стоимость;
* надёжность в эксплуатации;
* устойчивость к перегрузкам.

*Основные недостатки электромагнитных приборов:*

* низкая чувствительность и точность;
* сравнительно большое потребление мощности;
* неравномерность шкалы.

Повышение точности за счёт применение астатических механизмов или высококачественных сплавов для сердечников усложняет конструкцию прибора и повышает его стоимость.

**Вопросы для самопроверки:**

1. С какой целью используются приборы электромагнитной системы?
2. Что используют в вольтметрах для расширения пределов измерения приборов?
3. Что используют в амперметрах для расширения пределов измерения приборов?
4. Как включают вольтметр в электрической цепи и почему?
5. Как включают амперметр в электрической цепи и почему?
6. В цепях какого тока используются электромагнитные приборы, на каких частотах?
7. Какими достоинствами обладают электромагнитные приборы?
8. Какие основные недостатки имеют электромагнитные приборы?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. Вольтметр стендовый электромагнитный - 1 шт.

2. Вольтметр стендовый выпрямительный - 1 шт.

3. Амперметр стендовый электромагнитный - 1 шт.

4. Амперметр электромагнитный выносной - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Заполнить ячейки табл. 1 в соответствии с обозначениями, указанными на шкале конкретного прибора.
3. Провести требуемые вычисления по определению максимально допустимых инструментальных погрешностей () каждого из приборов.
4. Провести вычисления относительных номинальных погрешностей () в первой половине шкалы, когда показания приборов (А) равны  максимальной величины измерения () и во второй половине шкалы, когда показания приборов (А) равны  максимальной величины измерения ().
5. Данные вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Наимено-вание  прибора | Эл.  цепь | Пре-дел изме-  рений  (Амах) | Цена деле-ния | Положе-ние шка-лы | Испы-татель-ное напря-жение изоля-ции | Класс точ-но-сти  () | Мах. абсо-лютная погреш-ность  ∆А | Относительная погрешность | |
|  |  |
| 1 | Вольтметр стендовый |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | Вольтметр выпрями-тельный |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Амперметр стендовый |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | Амперметр выносной |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления



1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

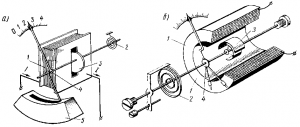
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Приложение к лабораторной работе №10

***Электромагнитные измерительные механизмы***

Принцип работы *приборов* этой системы основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого катушкой 1 со стальным сердечником 3, помещенным в поле этой катушки. *Электромагнитный* измерительный механизм выполняют с плоской или круглой (рис. 1) катушкой.

В приборах с плоской катушкой сердечник установлен на оси, несущей стрелку. При прохождении тока по катушке 1 сердечник 3 будет намагничиваться и втягиваться в катушку, поворачивая ось и стрелку. Повороту оси препятствует спиральная пружина 2. Когда усилие, создаваемое пружиной, уравновесит усилие, созданное катушкой, подвижная система прибора остановится и стрелка зафиксирует на шкале определенный ток.

[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/9-1-22.png)

*Рис. 1. Устройство электромагнитных измерительных механизмов с плоской или круглой катушками*

Вращающий момент, воздействующий на подвижную часть прибора, пропорционален силе притяжения F электромагнита, под действием которой сердечник втягивается в катушку. Сила притяжения F пропорциональна квадрату тока I в катушке. Поэтому вращающий момент:

***M = c1I2*** *,* где ***c1*** — постоянная величина, зависящая от конструктивных параметров прибора (числа витков и размеров катушки, материала и формы сердечника) и положения сердечника относительно катушки.

При втягивании сердечника в катушку вращающий момент М изменяется пропорционально I2.

Под действием момента М подвижная часть прибора будет поворачиваться до тех пор, пока этот момент не будет уравновешен противодействующим моментом Mпр, созданным пружинами или растяжками.

Следовательно, в приборах с электромагнитным измерительным механизмом угол поворота подвижной части и стрелки пропорционален квадрату тока, проходящего по катушке. Поэтому такой прибор имеет неравномерную (квадратичную) шкалу.

Устранение колебаний подвижной системы прибора при переходе стрелки из одного положения в другое осуществляется демпфером 5.

В приборах с круглой катушкой подвижная система поворачивается в результате взаимодействия двух стальных намагничивающихся пластинок 3, расположенных внутри катушки 1. Одна из них укреплена на оси прибора, а другая — на внутренней поверхности каркаса катушки. При прохождении тока по катушке пластины намагничиваются, и их одноименные полюсы оказываются расположенными друг против друга. Между ними возникают силы отталкивания и создается вращающий момент, поворачивающий ось со стрелкой 4.

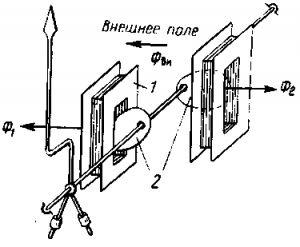
*Электромагнитные приборы* используют, главным образом, для измерения тока и напряжения в промышленных установках переменного тока. При периодическом изменении тока, проходящего через прибор, усилие, создаваемое его катушкой, не будет изменяться по направлению, так как оно пропорционально квадрату тока. Угол отклонения стрелки определяется некоторым средним усилием F, значение которого пропорционально среднему квадратичному значению тока или напряжения. Следовательно, электромагнитные приборы в цепях переменного тока измеряют действующие значения тока или напряжения.

Катушка при измерениях может быть включена в электрическую цепь последовательно или параллельно двум точкам, между которыми действует некоторое напряжение. В первом случае прибор будет работать в качестве амперметра, во втором — в качестве вольтметра.

Достоинством приборов электромагнитной системы являются простота и надежность конструкции, невысокая стоимость, стойкость к перегрузкам и пригодность для измерений в цепях переменного и постоянного тока. К недостаткам относятся невысокая точность, малая чувствительность, неравномерность шкалы и зависимость показаний от внешних магнитных полей и частоты переменного тока.

**Астатические приборы.**

Катушки электромагнитных приборов создают относительно слабое магнитное поле, так как силовые линии этого поля проходят в основном по воздуху. Поэтому такие приборы весьма чувствительны к влиянию внешних магнитных полей. Для защиты от этих влияний электромагнитные приборы окружают стальными экранами или выполняют астатическими.

[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/9-1-25.png)*Рис. 2. Устройство астатического измерительного механизма*

В астатическом приборе имеются две плоские катушки 1 и два сердечника 2, расположенные на общей оси (рис. 2). Обмотки катушек включают так, чтобы направления их магнитных потоков Ф1 и Ф2 были противоположны. Вращающие моменты действуют на подвижную систему прибора в одинаковом направлении. Поэтому внешний магнитный поток Фвн будет усиливать поле одной катушки и ослаблять поле другой; создаваемый же ими суммарный вращающий момент будет оставаться неизменным.

Лабораторная работа № 11

***Измерение напряжения и тока в электрических цепях переменного тока вольтметрами и амперметрами электромагнитной системы измерительных механизмов***

**Цель работы:** Измерить величины напряжения и силы тока в электрической цепи переменного тока стендовыми вольтметрами и амперметрами электромагнитной системы и опытно-расчётным путём вычислить величины сопротивлений резисторов электрической цепи методом вольтметра и амперметра. (<http://electrono.ru/>)

**Теоретическое обоснование:**

Измерение тока – одно из наиболее распространённых измерений в различных областях техники (энергетике, электронике, радиотехнике, связи и др.).

Частотный диапазон измерения тока лежит в пределах от нуля (постоянный ток) до сотен мегагерц и более. Пределы измерения величин тока также широки. Например, постоянный ток можно измерять от величины порядка 10-17*А* до величин порядка 105*А*.

В диапазоне звуковых (низких) частот для измерения тока чаще всего используются электромагнитные и электродинамические (ферродинамические) амперметры.

***Амперметры электромагнитной системы*** выпускаются в качестве щитовых приборов классов точности 0,5; 1,0; и 2,5 на частотах до 1500 Гц, а также классов точности 0,5; 1,0 на частотах до 2400 Гц.

Для расширения пределов измерения тока электромагнитными амперметрами шунты не применяются. Это достигается применением секционированных катушек или измерительных трансформаторов тока. Расширение пределов измерения тока при помощи измерительных трансформаторов тока основано на том, что амперметр включается в исследуемую цепь через понижающий по току трансформатор с определённым коэффициентом трансформации.

***Электродинамические амперметры*** могут иметь различные схемы включения обмоток. Последовательная схема включения обмоток применяется в амперметрах для измерения малых токов (до 0,5 *А*). Схема параллельного соединения катушек используется для измерения больших токов (свыше 0,5 *А*).

Электродинамические амперметры выпускаются различных классов точности вплоть до 0,1. Применяются они в основном на промышленных частотах, но существуют приборы, работающие и на более высоких частотах до 5 кГц.

Для расширения пределов измерения электродинамических амперметров применяют переключение катушек измерительного механизма с последовательного соединения на параллельное и трансформаторы тока.

Кроме электромагнитных и электродинамических амперметров для измерения токов диапазона звуковых (низких) частот широко используются ***выпрямительные приборы с магнитоэлектрическим измерительным механизмом***, которые имеют высокую измерительную чувствительность.

Принцип действия таких приборов основан на использовании выпрямительных свойств полупроводникового диода.

Сопротивление выпрямительного прибора для измерения тока должно быть как можно меньше не только в положительный полупериод измеряемого тока, но и в отрицательный. Поэтому выпрямительные приборы выполняются по схеме однополупериодного выпрямления с шунтирующим, встречно включённым диодом или по мостовой схеме. Иногда в мостовых схемах выпрямительных амперметров количество диодов сокращают, заменяя два из них (соседних) балластными сопротивлениями. Такая замена уменьшает зависимость показаний прибора от изменений окружающей среды, но существенно снижает его чувствительность.

Все амперметры обычно градуируются в действующих значениях синусоидального тока.

Измерение напряжения также является наиболее распространённым видом измерения электрических величин и также осуществляется в широком диапазоне частот и величин напряжения.

Для измерения напряжений звуковых (низких) частот могут быть использованы любые вольтметры переменного тока. Широкое применение нашли недорогие и достаточно точные приборы электромагнитной, электродинамической систем, а также электростатические вольтметры.

Большинство ***электромагнитных вольтметров*** предназначено для использования на частоте 50 Гц, но некоторые из них рассчитаны на более высокие частоты. Повышение частоты существенно увеличивает погрешность приборов, поэтому верхний частотный предел обычно не превышает 3000 Гц. Для расширения пределов измерения вольтметров этой системы применяют добавочные сопротивления или измерительные трансформаторы напряжения. Электромагнитные вольтметры выпускаются классов точности 2,5; 1,5; 1,0 и редко 0,5.

***Электродинамические вольтметры*** хотя и дороже, но точнее электромагнитных. Самые точные из них имеют класс точности 0,1. Подвижная и неподвижная катушки измерительного механизма включены последовательно с добавочным сопротивлением. Реактивным сопротивлением катушек пренебрегают, т.к. активное сопротивление добавочного резистора много больше реактивного сопротивления катушек. Электродинамические вольтметры применяются примерно в том же частотном диапазоне, что и электромагнитные. Для расширения пределов измерения вольтметров этой системы также применяют добавочные сопротивления или измерительные трансформаторы напряжения.

***Электростатические вольтметры*** применяют обычно для измерения высоких напряжений. Частотный диапазон измерений вольтметров электростатической системой достаточно широк и ограничен лишь скоростью распространения электромагнитной волны, которая близка к скорости света, и длины соединительных проводов. Но при высоких частотах (порядка 10 МГц) погрешность электростатического прибора может достигать 50%. Пределы измерений на переменном токе у этих вольтметров расширяют при помощи добавочных конденсаторов или емкостных делителей напряжения. Применение добавочного конденсатора существенно увеличивает погрешность прибора. Ёмкость вольтметра меняется при повороте подвижной части измерительного механизма, что и увеличивает погрешность прибора.

Кроме электромагнитных и электродинамических вольтметров для измерения напряжений диапазона звуковых (низких) частот широко используются ***выпрямительные приборы с магнитоэлектрическим измерительным механизмом***, которые имеют высокую измерительную чувствительность.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Амперметры каких систем используются для измерения переменных токов низких (звуковых) частот?
2. Каков частотный диапазон измерений переменных токов электромагнитных и электродинамических амперметров?
3. Каков принцип действия выпрямительных амперметров?
4. Измерительные механизмы какой системы используют в выпрямительных амперметрах?
5. Как расширяют предел измерения амперметров на переменном токе?
6. В каких величинах переменного тока градуируются амперметры?
7. Вольтметры каких систем используются для измерения переменных напряжений низких (звуковых) частот?
8. Каков частотный диапазон измерений переменных напряжений электромагнитных и электродинамических вольтметров?
9. Для измерений каких величин напряжений используют электростатические вольтметры и каков частотный диапазон измерений этих вольтметров?
10. Что используется для расширения пределов измерения вольтметров электромагнитной, электродинамической и электростатической систем?
11. Как влияет применение добавочного конденсатора для расширения пределов измерения электростатического вольтметра и почему?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. Автотрансформатор стендовый - 1 шт.

2. Вольтметр стендовый электромагнитный - 1 шт.

3. Вольтметр стендовый выпрямительный - 1 шт.

4. Амперметр выносной двухпредельный - 1 шт.

5. Резисторы с переменным сопротивлением от 0 до 220 Ом - 3 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Используя стендовый автотрансорматор и переменные резисторы R1, R2, и R3,собрать электрическую схему последовательного соединения резисторов на стенде

R1R2

U≈120В

R3

1. Изменяя сопротивления резисторов R1, R2, и R3, измерить токи в цепи и напряжения на каждом из резисторов.
2. Провести требуемые вычисления и данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | | | | Вычислено | | | |
| U | I | U1 | U2 | U3 | Rэ | R1 | R2 | R3 |
| В | А | В | В | В | Ом | Ом | Ом | Ом |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; ; ; .

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 12

***Измерение напряжения и тока в электрических цепях переменного тока комбинированным прибором (мультиметром)***

**Цель работы:** Измерить величины напряжения и силы тока в электрической цепи переменного тока комбинированным прибором (мультиметром или тестером).

**Теоретическое обоснование:**

**Мультиме́тр** (от [англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*multimeter*, **те́стер** — от [англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*test* — испытание, **аво́метр** — от АмперВольтОмМетр) — комбинированный [электроизмерительный прибор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B), объединяющий в себе несколько функций. В минимальном наборе это [вольтметр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80), [амперметр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80) и [омметр](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BC%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80). Существуют [цифровые](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) и [аналоговые](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) мультиметры.

Мультиметр может быть как лёгким переносным устройством, используемым для базовых [измерений](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и поиска неисправностей, так и сложным стационарным прибором со множеством возможностей.

Цифровые мультиметры наиболее просты в эксплуатации. Типичная погрешность цифровых мультиметров при измерении сопротивлений, постоянного напряжения и тока, также переменного напряжения и тока в диапазоне частот 20 Гц…5 кГц не превышает ± 0,2 - 0,3 %. В диапазоне высоких частот до 20 кГц погрешность возрастает, до 2,5 % от измеряемой величины, на частоте 50 кГц уже 10 %. С повышением частоты повышается погрешность измерения.

Входное сопротивление цифрового вольтметра до 11 МОм, емкость — 100 пФ, падение напряжения при измерении тока не более 0,2 В. Питание обычно осуществляется от батареи напряжением 9В, потребляемый ток не превышает 2 мА, при измерении постоянных напряжений и 7 мА, при измерении сопротивлений и переменных напряжений и токов. Мультиметр обычно работоспособен при разряде батареи до напряжения 7,5 В.

Аналоговый мультиметр состоит из стрелочного [магнитоэлектрического](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC) измерительного прибора, набора добавочных [резисторов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80) для измерения напряжения и набора [шунтов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BD%D1%82) для измерения тока. Измерение сопротивления производится с использованием встроенного или от внешнего источника.

**Основные режимы измерений:**

* ACV ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*alternating current voltage* — напряжение переменного тока) — измерение переменного напряжения.
* DCV ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*direct current voltage* — напряжение постоянного тока) — измерение постоянного напряжения.
* DCA ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*direct current amperage* — сила тока постоянного тока) — измерение постоянного тока.
* Ω — измерение электрического сопротивления.

**Дополнительные функции:**

В некоторых мультиметрах доступны также функции:

* Прозво́нка — измерение [электрического сопротивления](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) со звуковой (иногда и световой) сигнализацией низкого сопротивления цепи;
* Тестирование [диодов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BE%D0%B4);
* Тестирование [транзисторов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80);
* Измерение [электрической ёмкости](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%91%D0%BC%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C);
* Измерение [индуктивности](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) (редко);
* Измерение [температуры](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0);
* Измерение [частоты](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0) гармонического сигнала;
* Автоотключение питания;
* Автоматическое определение пределов измерения;
* Индикация перегрузки;
* Запись и хранение результатов измерений и др.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляют мультиметры?
2. Как ещё называют комбинированные многоцелевые измерительные приборы?
3. Как оценивается погрешность цифровых мультиметров.?
4. Можно ли измерять величины переменных напряжения и тока?
5. При каких частотах резко начинает возрастать погрешность измерения?
6. Какие типы мультиметров (кроме цифровых) Вы знаете?
7. Назовите основные режимы измерений?
8. Перечислите несколько дополнительных функций цифровых мультиметров?

**Необходимые стендовые приборы и оборудование:**

1. Автотрансформатор стендовый - 1 шт.

2. Цифровой или аналоговый (тестер) мультиметр - 1 шт.

2. Амперметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

3. Вольтметр стендовый выпрямительный - 1 шт.

3. Резисторы с переменным сопротивлением от 0 до 220 Ом - 3 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Используя стендовый автотрансформатор и переменные резисторы R1, R2, и R3,собрать электрическую схему последовательного соединения резисторов на стенде

R1R2

U≈120В

R3

1. Изменяя сопротивления резисторов R1, R2, и R3, измерить токи в цепи и напряжения на каждом из резисторов мультиметром (тестером).
2. Провести требуемые вычисления и данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | | | | Вычислено | | | |
| U | I | U1 | U2 | U3 | Rэ | R1 | R2 | R3 |
| В | А | В | В | В | Ом | Ом | Ом | Ом |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; ; ; .

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 13

***Изучение и описание реальных ваттметров ферродинамической системы измерительных механизмов***

**Цель работы:** Изучить стендовые ваттметры ферродинамической системы и опытно-расчётным путём описать их свойства и погрешности измерений в различных областях их шкал. (<http://electrono.ru/>)

**Теоретическое обоснование:**

Измерение мощности является распространённым видом электрических и радиотехнических измерений. Частотный диапазон измерения мощности очень широк, т.е. её измеряют в цепи постоянного тока и переменного тока в диапазоне звуковых и высоких частот, а также СВЧ.

В цепи постоянного тока мощность, потребляемая нагрузкой, представляет собой электроэнергию, выделяемую в цепи за единицу времени и преобразованную в другой вид энергии (тепловую, световую, химическую, механическую и др.). Эту мощность (по аналогии с цепями переменного тока) называют активной мощностью *Р.* Реактивная мощность (*Q*) в цепи постоянного тока отсутствует. В цепи постоянного тока мощность определяется по формуле:

.

В цепях переменного синусоидального тока:

; ; ,

где *R* – активное сопротивление нагрузки, *Х* – реактивное сопротивление нагрузки;

*I* и *U* – действующие значения тока и напряжения, а  - угол сдвига по фазе между ними;

*P*, *Q*, *S* – активная, реактивная и полная мощности в цепи соответственно.

На практике в цепях низких (звуковых) частот обычно измеряется полная (метод вольтметра и амперметра) и активная (ваттметр электродинамической или ферродинамической систем) мощности. Реактивная мощность, как правило, определяется расчётным путём.

В настоящее время для измерения мощности постоянного тока и активной мощности переменного тока используют электродинамические и ферродинамические ваттметры. Измерительные механизмы электродинамической и ферродинамической системы описаны в приложении к данной работе.

Электродинамический или ферродинамический ваттметры измеряют активную мощность и имеют равномерную шкалу. Таким образом, эти ваттметры можно использовать в цепях как постоянного, так и переменного тока. Градуировка и поверка этих приборов, как правило, производится на постоянном токе.

Ваттметр имеет четыре зажима: два токовых (I) и два зажима напряжения (U). При изменении направления тока в одной из катушек изменится знак угла поворота подвижной катушки. Поэтому, чтобы стрелка при изменениях отклонялась в нужную сторону, необходимо переключить зажимы напряжения. эти переключения в современных ваттметрах заложены конструктивно.

Один токовый и один потенциальный зажимы обозначаются звёздочками и называются генераторными, так как они присоединяются к одному полюсу источника питания. Наиболее часто применяется схема, когда генераторные зажимы соединяются между собой. Возможны другие схемы подключения ваттметра, но они используются очень редко.

Ваттметры обычно имеют несколько пределов измерения и неименованные шкалы.

**Вопросы для самопроверки:**

1. С какой целью используются приборы электродинамической системы?
2. Какую мощность измеряют ваттметры в цепях постоянного и переменного тока?
3. Как конструктивно выглядит ваттметр электродинамической системы?
4. Чем отличается ваттметр электродинамической системы от ферродинамической?
5. Какие зажимы подключения имеет ваттметр?
6. Какие зажимы ваттметра называют генераторными и почему?
7. Что приводит к изменению угла поворота подвижной катушки?
8. Что необходимо сделать, чтобы стрелка отклонялась в нужную сторону?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. Ваттметр ферродинамический - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительным прибором и его техническими данными.
2. Заполнить ячейки табл. 1 в соответствии с обозначениями, указанными на шкале прибора.
3. Провести требуемые вычисления по определению максимально допустимых инструментальных погрешностей () каждого предела измерений прибора.
4. Провести вычисления относительных номинальных погрешностей () в первой половине шкалы, когда показания прибора (А) равны  максимальной величины измерения () и во второй половине шкалы, когда показания приборов (А) равны  максимальной величины измерения ().
5. Данные вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Наимено-вание  прибора | Эл.  цепь | Пре-дел изме-  рений  (Амах) | Цена деле-ния | Положе-ние шка-лы | Испы-татель-ное напря-жение изоля-ции | Класс точ-но-сти  () | Мах. абсо-лютная погреш-ность  ∆А | Относительная погрешность | |
|  |  |
| 1 | Ваттметр |  | 75Вт |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | Ваттметр |  | 150Вт |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Ваттметр |  | 300Вт |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | Ваттметр |  | 600Вт |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления



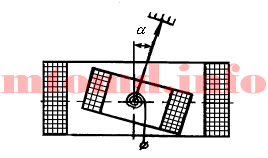
1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Приложение к лабораторной работе №13

**Прибор электродинамической системы**



Работа электродинамического прибора основана на взаимодействии двух катушек, одна из которых

неподвижная, а другая — подвижная. Обе катушки подключаются к сети, и взаимодействие их

магнитных полей приводит к повороту подвижной катушки относительно неподвижной.

Электродинамический измерительный механизм (рис. 1, а) состоит из двух катушек:

неподвижной 2 и расположенной внутри нее подвижной 1.

Подвижная катушка 1 связана с осью прибора со стрелкой и с двумя спиральными пружинами 4

(или растяжками), которые служат для создания противодействующего момента и подвода тока

к подвижной катушке 1. В приборе применяется демпфер 3, аналогичный ранее рассмотренному.

При прохождении по катушкам токов I1 и I2 возникают электродинамические силы F, которые

стремятся повернуть подвижную катушку относительно неподвижной на некоторый угол α.

Вращающий момент, действующий на подвижную катушку,

***M = c1I1I2***

где с1 — постоянная величина, зависящая от параметров катушек (числа витков и размеров), их

формы и взаимного расположения.

При переменном токе мгновенное значение вращающего момента М пропорционально

произведению мгновенных значений токов i1 и i2, проходящих по катушкам. Средний же за

период вращающий момент ***Mcp = c1I1I2 cos,***

где I1 и I2 — действующие значения токов i1 и i2;  — угол сдвига по фазе между ними.

Значение вращающего момента М, созданного катушками электродинамического прибора,

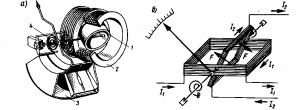
а, следовательно, и угол поворота стрелки пропорциональны произведению проходящих по

катушкам токов I1 и I2. Поэтому в зависимости от схемы включения катушек прибор может

быть использован в качестве амперметра, вольтметра и ваттметра.  
При включении обеих катушек прибора последовательно в цепь измеряемого тока (рис. 2,а)

прибор будет работать в качестве амперметра; при подключении катушек к двум точкам

(рис. 2,б), между которыми действует подлежащее измерению напряжение,

[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/9-1-29.png)*Рис. 1. Устройство (а)*

*и принципиальная схема (б) электродинамического измерительного механизма*

прибор будет работать в качестве вольтметра. При подключении же одной катушки последовательно,

а другой параллельно приемнику электроэнергии (рис. 2,в) угол отклонения стрелки будет

пропорционален произведению тока I и напряжения U, т. е. мощности в цепи постоянного тока Р=UI и,

следовательно, прибор будет работать в качестве ваттметра и измерять мощность, получаемую

приемником. При переменном токе и включении катушек по схеме (см. рис. 2,б) угол сдвига по фазе 

между токами **I1** и **I2** равен углу сдвига по фазе между током I и напряжением U. Поэтому

***α = kUI cos = kP***

т. е. угол поворота стрелки пропорционален измеряемой мощности.

**Достоинства электродинамической системы**

Достоинствами электродинамических приборов являются пригодность для измерения постоянного

и переменного тока, равномерность шкалы у ваттметров и относительно высокая точность по

сравнению с другими приборами, предназначенными для измерений в цепях переменного тока.

**Недостатки электродинамической системы**

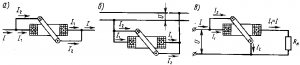
К недостаткам относится сильное влияние внешних магнитных полей на точность измерений,

чувствительность к перегрузкам и относительно, низкая чувствительность к малым сигналам,

высокая стоимость.

Электродинамические приборы применяют обычно в качестве точных лабораторных приборов,

а также в качестве ваттметров и счетчиков электрической энергии в цепях постоянного тока.

[](http://electrono.ru/wp-content/uploads/2010/08/9-1-32.png)*Рис. 2. Схемы включения*

*электродинамического прибора в качестве амперметра (а), вольтметра (б) и ваттметра (в)*

**Приборы ферродинамической системы** (рис.3)

|  |  |
| --- | --- |
| http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image055.gif | – подвижная катушка 1;  – неподвижные катушки 2;  – магнитопровод, из листов электротехнической стали, 3;  – неподвижный ферромагнитный цилиндр 4.  Подвижная катушка может перемещаться, не касаясь цилиндра и катушек. Кроме того, прибор имеет детали, общие для всех систем: противодействующие пружины, стрелку, шкалу, магнитоиндукционный успокоитель и корректор.  Схемы включения определяются видами измеряемых величин и аналогичны включению амперметра, вольтметра и ваттметра электродинамической системы.  *Рис. 3. Устройство ферродинамической системы* |

У приборов ферродинамической и электродинамической систем одинаковый принцип действия. Особенности заключаются в усилении магнитной индукции за счет дополнительного магнитопровода, что приводит к значительному увеличению вращающего момента и повышению чувствительности приборов.

**Достоинства:**

– незначительное влияние внешних магнитных полей;

– большой вращающий момент;

– небольшая потребляемая мощность.

## Недостатки:

## – дополнительные погрешности вследствие влияния гистерезиса и вихревых токов;

## – зависимость показаний от частоты;

## – невысокая точность щитовых приборов – обычно 1,5; 2,0.

## Область применения.Приборы ферродинамической системы используют для измерений в цепях переменного тока в качестве ваттметров, частотомеров, фазометров, реже – в качестве вольтметров и амперметров, а также в самопишущих устройствах.

(<http://electrono.ru/>).

Лабораторная работа № 14

***Измерение мощности в электрических цепях постоянного тока методом вольтметра и амперметра и ваттметрами ферродинамической системы***

**Цель работы:** Измерить величины мощности в электрической цепи постоянного тока опытно-расчётным методом вольтметра и амперметра используя стендовые вольтметрами и амперметрами магнитоэлектрической системы. Проверить опытным путём проведённые расчёты с помощью ваттметра ферродинамической системы.

**Теоретическое обоснование:**

Мощность в цепях постоянного тока можно измерять косвенным методом по показаниям вольтметра и амперметра. Тогда действительное значение мощности, потребляемой нагрузкой, вычисляют по формуле: *РН=UНIН*. В этой формуле *РН*, *UН*, *IН* – мощность нагрузки, падение напряжения на нагрузке и ток нагрузки соответственно.

В данном случае возможны два варианта включения приборов.

Если сопротивление амперметра много меньше сопротивления нагрузки, то амперметр включают непосредственно в цепь нагрузки, а вольтметр включают так, чтобы он измерял сумму падений напряжений на амперметре и на нагрузке. При точных расчётах малых мощностей вносят поправки на потребляемую мощность амперметра (*РА*).

Если сопротивление вольтметра много больше сопротивления нагрузки, вольтметр включают так, чтобы он измерял напряжение непосредственно на нагрузке, а амперметр измерял бы суммарный ток нагрузки и вольтметра. При точных расчётах малых мощностей вносят поправки на потребляемую мощность вольтметра (*РV*).

Недостатком такого метода является необходимость вычислений после каждого измерения тока или напряжения. Кроме того, этим методом затруднительно пользоваться при изменяющихся значениях *U* и *I* из-за сложности одновременного отсчёта по двум приборам.

В настоящее время для измерения мощности в цепях постоянного тока используют электродинамические и ферродинамические ваттметры. Неподвижная катушка прибора включается последовательно с нагрузкой (как амперметр) и называется катушкой тока. Подвижная катушка прибора (вместе с добавочным сопротивлением) включается параллельно нагрузке (как вольтметр) и называется катушкой напряжения. В этом случае угол поворота стрелки (подвижной части) ваттметра будет соответствовать произведению токов неподвижной катушки (пропорциональной току нагрузки) и подвижной катушки (пропорциональной напряжению на нагрузке).

Ваттметр имеет четыре зажима: два токовых и два зажима напряжения. Чтобы стрелка при измерениях отклонялась в нужную сторону, необходимо правильно включать зажимы подвижной катушки напряжения или переключить зажимы напряжения, что предусмотрено конструкцией современных ваттметров.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Как называются приборы непосредственного измерения мощности постоянного тока?
2. Что представляет собой косвенный метод измерения мощности по показаниям вольтметра и амперметра?
3. Какие два варианта включения вольтметра и амперметра в электрической цепи постоянного тока при измерении мощности нагрузки Вы знаете?
4. Что необходимо учитывать при точных измерениях малых мощностей?
5. Какими недостатками характеризуется метод вольтметра и амперметра?
6. Какие измерительные механизмы могут быть использованы для измерения мощности в цепях постоянного тока?
7. Как включаются подвижная и неподвижная катушки ваттметра при измерении мощности?
8. Что нужно сделать, чтобы стрелка при измерениях отклонялась в нужную сторону?

**Необходимые стендовые приборы и оборудование:**

1. Блок питания стендовый БП-30 - 1шт.

2. Вольтметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

3. Амперметр стендовый магнитоэлектрический - 1 шт.

4. Ваттметр ферродинамический - 1 шт.

5. Резисторы с переменным сопротивлением от 0 до 220 Ом - 3 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Используя источник питания БП-30 и переменные резисторы R1, R2, и R3,собрать электрическую схему на стенде в соответствии с рисунком.

\*

\*

A1

R3

+ R1

Е БП-30

\_ A2

R2

1. Установить величину ЭДС блока питания равную 20 В.
2. Измерить мощность всей цепи по показаниям ваттметра (W), токи в ветвях I (встроенный амперметр БП-30), I1 (амперметр А1), I2 (амперметр А2), а также падения напряжений на каждом из резисторов стендовым вольтметром магнитоэлектрической системы. Данные измерений занести в табл. 1.
3. Провести требуемые вычисления и данные вычислений занести в табл. 1.
4. Повторить дважды пункты 3, 4, 5 настоящей программы работ увеличивая ЭДС блока питания в пределах 20 – 30 вольт.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | | | | | | | Вычислено | | | |
| Е | I | I1 | I2 | Р | U1 | U2 | U3 | Р1 | Р2 | Р3 | Р∑ |
| В | А | A | A | Вт | В | В | В | Вт | Вт | Вт | Вт |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; ; ; .

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 15

***Измерение полной, активной и реактивной мощностей в электрических цепях переменного тока методом вольтметра и амперметра и ваттметрами ферродинамической системы***

**Цель работы:** Измерить величины полной, активной и реактивной мощностей в электрической цепи переменного тока опытно-расчётным методом используя стендовые вольтметрами и амперметрами электромагнитной системы и ваттметр ферродинамической системы.

**Теоретическое обоснование:**

Полную мощность электрической цепи переменного тока измеряют, как правило, косвенным методом по показаниям вольтметра и амперметра. Тогда значение полной (кажущейся) мощности цепи переменного тока, вычисляют по формуле: *S=UI*. В этой формуле *S*, *U*, *I* – полная (кажущаяся) мощность цепи, величина напряжения в цепи и общий ток всей цепи соответственно. Полная мощность ***S***в системе СИ измеряется в вольт-амперах (ВА).

В данном случае возможны также два варианта включения приборов, описанные в теоретическом обосновании лабораторной работы № 14.

В настоящее время для измерения активной мощности в цепях попеременного тока используют электродинамические и ферродинамические ваттметры. Описание этих измерительных приборов и методика их подключения в цепи дана в теоретическом обосновании лабораторной работы № 14. Активная мощность ***Р***(так же как и в цепях постоянного тока) в системе СИ измеряется в ваттах (Вт).

Реактивная мощность в электрических цепях переменного тока, чаще всего, определяется расчётным способом по формуле: . В этой формуле *S, P, Q*– полная (кажущаяся), активная и реактивная мощности электрической цепи переменного тока. Реактивная мощность ***Q***в системе СИ измеряется в вольт-амперах реактивных (Вар).

Реактивную мощность в цепи можно измерить косвенным методом с помощью вольтметра, амперметра и фазометра. Это следует из треугольника мощностей, где  или . Для измерения реактивной мощности можно также использовать ваттметр и фазометр. Ваттметр измерит величину активной мощности в цепи (*Р*), фазометр покажет угол сдвига по фазе между напряжением и током (), тогда (из треугольника мощностей).

Полная и реактивная мощности однофазной цепи могут быть измерены ваттметров. Подвижная катушка ваттметра (катушка напряжения) шунтируется резистором и катушкой индуктивности с активным и реактивным сопротивлениями. Подбором параметров данной схемы включения ваттметра достигают необходимого угла сдвига по фазе для измерения *S*или *Q.*

Оба эти способа приводят к значительному удорожанию и увеличению погрешности измерении и используются, как правило, для лабораторных исследований.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Каким образом можно определить полную (кажущуюся) (*S*), активную (*Р*) и реактивную (*Q*) мощности электрической цепи переменного тока?
2. В каких единицах в системе СИ измеряются величины *S, P*и *Q*?
3. Можно ли используя вольтметр, амперметр и фазометр косвенным методом измерить и полную и активную и реактивную мощности цепи переменного тока?
4. Использование каких формул определяет величины *S, P,* и *Q*при косвенном методе измерений с использованием вольтметра, амперметра и фазометра?
5. Какими недостатками характеризуется метод вольтметра, амперметра и фазометра?
6. Как можно использовать ваттметр для измерения полной и реактивной мощностей и какие недостатки имеет такой способ?

**Необходимые стендовые приборы и оборудование:**

1. Автотрансформатор стендовый - 1шт.

2. Вольтметр стендовый выпрямительный - 1 шт.

3. Амперметр стендовый электромагнитный - 1 шт.

4. Ваттметр ферродинамический - 1 шт.

5. Катушка индуктивности - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
2. Используя стендовые приборы и катушку индуктивности,собрать электрическую схему на стенде в соответствии с рисунком.

\*

\*

~ 0÷250 ВZK

1. Установить величину напряжения на зажимах автотрансформатора U≈80 -100 В.
2. Измерить параметры электрической цепи, определяемые показаниями измерительных приборов. Данные измерений занести в табл. 1.
3. Провести требуемые вычисления и данные вычислений занести в табл. 1.
4. Повторить дважды пункты 4, 5 настоящей программы работ изменяя индуктивность катушки ферромагнитным сердечником.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | | Вычислено | | | | | | | | |
| U | I | P | S | Q | ZK | RK | XК | LK |  |  |  |
| В | А | Вт | ВА | ВАр | Ом | Ом | Ом | Гн | - | - | град. |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; ; ; ; ;

; ; .

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 16

***Изучение и описание органов управления осциллографа-мультиметра С1-112А***

**Цель работы:** Изучить техническое описание осциллографа-мультиметра С1-112А и описать возможности его органов управления, вынесенных на лицевую панель осциллографа. (<http://www.chipmaker.ru/files/download/7659/>)

**Теоретическое обоснование:**

*Осцилло́граф* ([лат.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*oscillo* — качаюсь + [греч.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)γραφω — пишу) — прибор, предназначенный для исследования ([наблюдения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), [записи](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D1%8C); [измерения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) [амплитудных](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B0) и [временны́х](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F) параметров [электрического сигнала](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB), подаваемого на его вход, либо непосредственно на экране, либо записываемого на [фотоленте](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0&action=edit&redlink=1).

Используются в прикладных, лабораторных и [научно-исследовательских целях](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5), для контроля или изучения электрических сигналов как непосредственно, так и получаемых при воздействии различных устройств или сред на [датчики](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA), преобразующие эти воздействия в электрический сигнал.

Осциллограф можно примерять не только при исследовании различных электронных схем, наблюдая [временны́](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F)е диаграммы напряжения в различных точках, для настройки и регулировки, но также для всевозможных измерений очень многих электрических величин и параметров (частоты, угла сдвига фаз, глубины модуляции и т.д.).

Осциллограф-мультиметр С1-112А предназначен для исследования сигналов с амплитудой 10 мВ - 300 В и длительностью 0,1 мкс - 0,5 с в режиме осциллографа и измерения напряжений постоянного тока до 1000 В и активных сопротивлений до 2500 кОм с цифровой индикацией (четырехразрядная) на экране ЭЛТ в режиме мультиметра.  
Прибор С1-112А используется в службах ремонта, у радиолюбителей, в учебных заведениях при проверке и ремонте электронной и промышленной и бытовой аппаратуры.   
Благодаря совмещению в приборе функций осциллографа и мультиметра производительность труда при его использовании возрастает в 2 раза (отпадает необходимость одновременной эксплуатации нескольких приборов)

**Вопросы для самопроверки:**

1. Какой электрорадиоизмеритедьный прибор называют осциллографом?
2. Где используется осциллограф?
3. Какие параметры радиоэлектронных схем можно наблюдать и исследовать с помощью осциллографа?
4. Для каких целей предназначается осциллограф-мультиметр С1-112А?
5. Где используется Осциллограф-мультиметр С1-112А?
6. Каковы основные преимущества Осциллографа-мультиметра С1-112А?
7. Где применют осциллограф-мультиметр С1-112А?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. Осциллограф-мультиметр С1-112А - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации осциллографа-мультиметра С1-112А (<http://ndo.sibsutis.ru/>), лицевой панелью реального генератора заполнить графы табл.1.
2. Местоположение элементов управления определяется следующими понятиями:
3. вверху слева (справа, в центре); внизу слева (справа, в центре); в центре; в центре слева (справа, сверху, снизу).

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование функциональных блоков осциллографа-мультиметра С1-112А**,** элементы управления которых выведены на лицевую панель.  Местоположение элементов управления на лицевой панели. | Назначение данного функционального блока |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |
| 6 |  |  |
| 7 |  |  |
| 8 |  |  |
| 9 |  |  |
| 10 |  |  |
| 11 |  |  |
| 12 |  |  |
| 13 |  |  |
| 14 |  |  |
| 15 |  |  |
| 16 |  |  |
| 17 |  |  |

Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 17

***Измерение напряжения (амплитуды электрического сигнала) с помощью осциллографа-мультиметра»***

**Цель работы:** Измерить амплитудное значение электрического сигнала синусоидальной формы используя осциллограф-мультиметр С1-112А и генератор сигналов низкочастотных Г3-120.

(<http://ndo.sibsutis.ru/>), (<http://www.chipmaker.ru/files/download/7659/>)

**Теоретическое обоснование:**

Осциллограф-мультиметр С1-112А является электронным осциллографом. Электронный осциллограф в настоящее время является одним из наиболее распространённых радиоизмерительных приборов. Он применяется не только для исследования радиоэлектронных схем, но также и в других областях науки и техники, использующих методы электроники, например в биологии, медицине и т.д.

Такое распространение и широкое применение электронного осциллографа обусловлено его универсальностью и наглядностью получаемого на экране изображения исследуемого напряжения, а также параметрами прибора – большим входным сопротивлением, безынерционностью до очень высоких частот, высокой чувствительностью и широкополосностью.

Большое входное сопротивление осциллографа обеспечивает минимальное влияние его подключения на электрический режим исследуемой цепи. Безынерционность электронного осциллографа позволяет исследовать электрические процессы в очень широком диапазоне частот, а его высокая чувствительность даёт возможность получать осциллограммы напряжения малой амплитуды. Применение широкополосных усилителей вертикального отклонения позволяет исследовать несинусоидальные напряжения, включающие в себя широкий спектр частот, с минимальными искажениями.

**Вопросы для самопроверки:**

1. К какому виду осциллографов относится осциллограф-мультиметр С1-112А?
2. Чем обеспечивается широкое применение электронных осциллографов?
3. Какое преимущество измерений обеспечивается большим входным сопротивлением осциллографа?
4. Какие особенности электрических процессов позволяет исследовать безынерционность осциллографа?
5. Какие сигналы позволяет исследовать высокая чувствительность осциллографа?
6. В чём состоит преимущество осциллографа перед другими измерительными приборами наличием у осциллографа широкополосных усилителей?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. осциллограф-мультиметр С1-112А - 1 шт.

2. генератор сигналов низкочастотных Г3-120 - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 16 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора Г3-120 на вход осциллографа С1-112А.
2. Шнуры питания приборов подключить к сети 220В. Включить приборы (кнопка на лицевой панели осциллографа, тумблер на лицевой панели генератора).
3. Переключить осциллограф-мультиметр в режим «осциллограф». Установить луч осциллографа в центр экрана и отрегулировать его яркость и фокусировку. Выбрать режим синхронизации – «ВНУТР.».
4. Переключателями «Переключение поддиапазонов частот», «Ступенчатая регулировка выходного напряжения» и ручками «Плавная перестройка частоты», «Плавная регулировка выходного напряжения синусоидальной формы» генератора установить синусоидальный электрический сигнал на его выходном гнезде.
5. Переключателями «Установка открытого или закрытого входов», «Установка коэффициента отклонения», «Установка коэффициента развёртки», «Грубое переключение коэффициента развёртки» и др. осциллографа добиться устойчивого изображения синусоидального напряжения на экране осциллографа.
6. Руководствуясь показаниями переключателя «Установка коэффициента отклонения» и нанесённой на экран осциллографа разметки, в виде координатной сетки определите амплитудное значение выходного сигнала генератора UМ
7. Рассчитать действующее значение входного сигнала генератора.
8. Используя данные пунктов 2.3, 2.4 и 2.5 приложения 1 к лабораторной работе № 2 «наибольшее значение выходного напряжения (UГМ) не превышает 10В без нагрузки», «плавная регулировка выходного напряжения синусоидального сигнала осуществляется 10 В без нагрузки, до относительного уровня минус 14 дБ; «Ступенчатая регулировка выходного напряжения синусоидального сигнала осуществляется ступенями через 10 дБ в пределах от 0 до минус 60 дБ» вычислить величину напряжения на выходе генератораUГ и сравнить с показаниями осциллографа.
9. Используя данные пункт 2.6, приложения 1 к лабораторной работе № 2 «предел допускаемой основной приведенной погрешности (пр) измерителя выходного напряжения не превышает 6% в диапазоне частот от 20 Гц до 500 кГц и 10% в остальном диапазоне частот» вычислить максимально допустимую погрешность выходного напряжения генератора ∆UГ.
10. Повторить пункты 4, 5, 6, 7, 8, 9 настоящей программы изменив амплитудное значение выходного сигнала.
11. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | | Вычислено | | | | | |
| Переключатель  V/ДЕЛ. | Количество делений | UМ | U | UГ | UГМ | ∆UГ | ∆U |
| - | - | В | В | В | В | В | В |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; ; 

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 18

***Изучение и описание органов управления двухканального двухлучевого осциллографа АСК-1021***

**Цель работы:** Изучить техническое описание двухканального двухлучевого осциллографа АСК-1021 и описать возможности его органов управления, вынесенных на лицевую панель осциллографа. (<http://www.chipmaker.ru/files/download/7659/>)

**Теоретическое обоснование:**

*Осцилло́граф* ([лат.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)*oscillo* — качаюсь + [греч.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA)γραφω — пишу) — прибор, предназначенный для исследования ([наблюдения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), [записи](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D1%8C); [измерения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) [амплитудных](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B0) и [временны́х](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F) параметров [электрического сигнала](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB), подаваемого на его вход, либо непосредственно на экране, либо записываемого на [фотоленте](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0&action=edit&redlink=1).

Осциллограф **АСК-1021** является прибором лабораторного типа. Простота в обращении и высокая надежность делают **АСК-1021**  идеальным прибором с превосходными характеристиками для широкого спектра измерений, необходимых в исследованиях, производстве, в сфере образования и во многих других сферах применения.

**Технические характеристики АСК-1021:**  
*Электронно-лучевая трубка:*Тип прямоугольная с масштабной сеткой   
Область индикации 8 х 10 дел. (1 дел. = 1см)   
Напряжение системы ускорения 2,1 кВ   
Усилители системы отклонения по вертикали (канал 1 (СН1) и канал 2 (СН2))   
*Аттенюатор* на 10 шагов с последовательностью 1-2-5   
Система верньерной регулировки обеспечивает возможность плавного изменения значения между шагами с перекрытием всего диапазона.

*Режимы работы*СН 1 -  режим работы канала 1, СН 2 -  режим работы канала 2 (одиночные осциллограммы)   
ALT -  дуальная осциллограмма, попеременный режим   
СHOP -  дуальная осциллограмма, режим манипуляции   
ADD -  алгебраическая сумма режимов СН 1 + СН 2   
**Вопросы для самопроверки:**

1. Какой электрорадиоизмеритедьный прибор называют осциллографом?
2. Где используется осциллограф?
3. Назовите основные режимы работы осциллографа АСК-1021?
4. Назовите основные параметры электронно-лучевой трубки осциллографа АСК-1021?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. Осциллограф двухканальный АСК-1021 - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

Руководствуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации осциллографа АСК-1021, лицевой панелью реального осциллографа АСК-1021 заполнить графы табл.1.

Местоположение элементов управления определяется следующими понятиями:

вверху слева (справа, в центре); внизу слева (справа, в центре); в центре; в центре слева (справа, сверху, снизу).

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование функциональных блоков осциллографа дхухканального АСК-1021**,** элементы управления которых выведены на лицевую панель.  Местоположение элементов управления. | Назначение данного функционального блока |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |
| 6 |  |  |
| 7 |  |  |
| 8 |  |  |
| 9 |  |  |
| 10 |  |  |
| 11 |  |  |
| 12 |  |  |
| 13 |  |  |
| 14 |  |  |
| 15 |  |  |
| 16 |  |  |
| 17 |  |  |
| 18 |  |  |
| 19 |  |  |
| 20 |  |  |
| 21 |  |  |
| 22 |  |  |
| 23 |  |  |
| 24 |  |  |
| 25 |  |  |
| 26 |  |  |
| 27 |  |  |
| 28 |  |  |
| 29 |  |  |
| 30 |  |  |
| 31 |  |  |

Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 19

***Измерение напряжения электрического сигнала различных форм с помощью двухканального осциллографаАСК-1021***

**Цель работы:** Измерить амплитудное значение электрического сигнала синусоидальной формы используя двухканальный осциллограф АСК-1021 и генератор сигналов низкочастотных Г3-120.

**Теоретическое обоснование:**

Осциллограф — важнейший инструмент радиоинженера, позволяющий получить максимум информации о сигнале одновременно, ведь, кроме своей основной функции — визуализации сигнала, осциллограф может выполнять также функции вольтметра, частотомера, анализатора спектра и т.д. Тем не менее основная задача, для которой применяется осциллограф — это отладка аппаратуры, поиск и анализ сбоев.

Осциллографы разделяются на однолучевые и многолучевые, одноканальные и многоканальные (2, 4, 6, и т. д. каналов на входе). Многоканальные осциллографы позволяют одновременно сравнивать сигналы между собой (формы, амплитуды, частоты и пр.).

В многолучевых (многоканальных) осциллографах имеются две самостоятельные электронно-лучевые системы и один общий экран. Отклонение электронных лучей по горизонтали производят напряжением развёртки синхронно подачей общего пилообразного напряжения на горизонтально отклоняющие пластины обеих электронно-лучевых систем. Исследуемые взаимосвязанные напряжения подаются раздельно через отдельные усилители каналов осциллографа.

Большое входное сопротивление осциллографа обеспечивает минимальное влияние его подключения на электрический режим исследуемой цепи. Безынерционность электронного осциллографа позволяет исследовать электрические процессы в очень широком диапазоне частот, а его высокая чувствительность даёт возможность получать осциллограммы напряжения малой амплитуды. Применение широкополосных усилителей вертикального отклонения позволяет исследовать несинусоидальные напряжения, включающие в себя широкий спектр частот, с минимальными искажениями.

**Вопросы для самопроверки:**

1. На какие виды подразделяются электронные осциллографы?
2. К какому виду осциллографов относится двухканальный осциллограф АСК-1021?
3. Какое преимущество имеют двухканальные осциллографы перед одноканальными?
4. Чем конструктивно отличаются одноканальные и многоканальные осциллографы?
5. Как производится отклонение электронных лучей по горизонтали (развёртка)?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. двухканальный осциллограф АСК-1021 - 1 шт.

2. генератор сигналов низкочастотных Г3-120 - 1 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 18 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора Г3-120 на вход одного из каналов двухканальный осциллограф АСК-1021.
2. Шнуры питания приборов подключить к сети 220В. Включить приборы (переключатель на лицевой панели осциллографа, тумблер на лицевой панели генератора).
3. Установить луч осциллографа в центр экрана и отрегулировать его яркость и фокусировку.
4. Переключателями «Переключение поддиапазонов частот», «Ступенчатая регулировка выходного напряжения» и ручками «Плавная перестройка частоты», «Плавная регулировка выходного напряжения синусоидальной формы» генератора установить синусоидальный электрический сигнал на его выходном гнезде.
5. Добиться устойчивого изображения синусоидального напряжения на экране осциллографа.
6. С помощью нанесённой в виде координатной сетки на экран осциллографа разметки и показаниями переключателя *вольт/деление* определите амплитудное значение выходного сигнала генератора UМ
7. Рассчитать действующее значение входного сигнала генератора.
8. Повторить пункты 4, 5, 6, 7 настоящей программы подключив генерируемый синусоидальный сигнал генератора Г3-120 на вход другого канала двухканального осциллограф АСК-1021.
9. Поменяйте форму выходного сигнала генератора (синусоидальный, прямоугольный, треугольный) и повторите пункты 4,5,6 настоящей программы. Для сигналов прямоугольной и треугольной формы последний столбец таблицы не заполнять.
10. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Канал  СН | Форма сигнала | Измерено | |  | |
| Переключатель  V/ДЕЛ. | Количество делений | UМ | U |
| - | - | В | В |
| 1 | 1 |  |  |  |  |  |
| 2 | 2 |  |  |  |  |  |
| 3 | 1 |  |  |  |  | - |
| 4 | 2 |  |  |  |  | - |
| 5 | 1 |  |  |  |  | - |
| 6 | 2 |  |  |  |  | - |

Формулы для вычисления

.

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

**Подготовка к проведению лабораторной работы № 19, выполняемой на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench (Multisim):**

1. Включите компьютер.
2. Запуститепрограмму**Electronics Workbench (Multisim).**
3. Используякомпонентыпакетаприкладныхпрограмм Electronics Workbench **Instruments,** выберитеэлемент**Oscilloscope** (осциллограф) иэлемент**Function Generator** (многофункциональныйгенератор).
4. Используякомпонентыпакетаприкладныхпрограмм Electronics Workbench **Sources,**выберитеэлемент**Ground** (земля).
5. Расставьте выбранные элементы на рабочем поле так, чтобы соединить среднюю кнопку генератора с элементом **Ground**(земля), левый нижний зажим осциллографа (вход канала А) необходимо соединить с правой клеммой «+» одного из генераторов, правый нижний зажим осциллографа (вход канала В) также необходимо соединить с правой клеммой «+» генератора.
6. Установите на генераторе синусоидальный выходной сигнал с любым напряжением от 2 до 50 вольтичастотой 100 Гц.
7. Двойным щелчком по уменьшенному изображению осциллографа откройте изображение простой модели осциллографа. В полях **ChannelA**и **ChannelB** нажмите кнопку **АС** (внизу поля), а кнопками **«вверх-вниз»** в каждом из каналов осциллографа установите соответствующий выходному напряжению генератора масштаб (**V/DIV).**
8. Включите виртуальную схемуElectronicsWorkbench верхней правой кнопкой. В поле **Timebase** кнопками **«вверх-вниз»** добейтесь устойчивой и наглядной осциллограммы на экране. Нажмите кнопку **Expand** и откройте расширенную модель осциллографа. Выключите виртуальную схемуElectronicsWorkbench верхней правой кнопкой. В полях **ChannelA**и **ChannelB** переведите один из каналов из позиции **АС** (внизу поля) в позицию **0.**
9. В верхней части экрана осциллографа расположены два цветных курсора (один слева, другой справа). Перетащите мышкой курсоры так, чтобы один курсор находился на максимальном значении осциллограммы, а другой на минимальном. Максимальное и минимальное значения напряжения осциллограммы появятся на левом и на среднем табло (под экраном осциллографа), а на правом табло появится значение разности показаний правого и левого курсоров. *Амплитудное значение* замеряемого напряжения является *половиной* разности показаний правого и левого курсоров.
10. В полях **ChannelA**и **ChannelB** поменяйте позицию **АС** (внизу поля) одного из каналов в позицию **0,** а другого, наоборот, из позиции **0** в позицию **АС.** Повторите п. 9.
11. Поменяйте на генераторе синусоидальный выходной сигнал на другой (треугольный или прямоугольный) и повторите п.п. 7,8,9,10.
12. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1. Для сигналов прямоугольной и треугольной формы последний столбец таблицы не заполнять.
13. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2

Лабораторная работа № 20

***Измерение периода и частоты гармонического сигнала с помощью осциллографа-мультиметра***

**Цель работы:** Измерить период и вычислить частоту гармонических электрических сигналов различной формы используя осциллограф ***С1-112А*** и генератор сигналов низкочастотных ***Г3-120.***

**Теоретическое обоснование:**

Осциллограф — важнейший инструмент радиоинженера, позволяющий получить максимум информации о сигнале одновременно, ведь, кроме своей основной функции — визуализации сигнала, осциллограф может выполнять также функции вольтметра, частотомера, анализатора спектра и т.д. Тем не менее основная задача, для которой применяется осциллограф — это отладка аппаратуры, поиск и анализ сбоев.

Существует три основных метода осциллографических измерений периода и частоты гармонических колебаний.

Метод сравнения двух частот при помощи фигур Лиссажу наиболее распространён. Данный метод наиболее эффективен, когда отношение исследуемых частот не очень велико, т.к. нужно получить как можно более простую фигуру Лиссажу. Основным недостатком такого метода является обязательное наличие образцового генератора частот, с которым сравнивают частоту исследуемого сигнала. Кроме того некоторые осциллографы не имеют входных клемм на усилитель отклоняющих пластин Х.

Другим методом является метод круговой развёртки. Этот метод заключается в том, что меньшей частотой осуществляют эллиптическую или круговую развёртку, а большую подводят к модулирующему электроду трубки. В результате модуляции светового пятна по яркости эллиптическая (круговая) развёртка становиться прерывистой. Количество штрихов развёртки соответствует соотношению частот. Этот метод также относится к методу сравнения и требует наличия генератора образцовых частот. Основным достоинством этого метода перед методом фигур Лиссажу является то, что этот метод можно использовать при больших величинах отношений величин частот. Но основным недостатком этого метода является то, что не во всех промышленных типах осциллографов имеется вывод от модулятора трубки.

Если не требуется высокая точность , то измерения частоты f можно осуществить методом калибратора длительности, заключающемся в том, что вначале получают осциллограмму исследуемого напряжения, измеряют его период Т при помощи яркостных меток калибратора длительности (если осциллограф имеет калибратор длительности) или же калиброванной по времени развёртки, а затем определяют частоту исследуемого гармонического сигнала по формуле .

**Вопросы для самопроверки:**

1. Назовите основные осциллографические методы измерения частот.
2. В чём заключается метод фигур Лиссажу?
3. Назовите основные недостатки метода фигур Лиссажу.
4. В чём заключается метод круговой развёртки?
5. Назовите достоинство метода развёртки перед методом фигур Лиссажу.
6. Назовите основные недостатки метода круговой развёртки.
7. В чём заключается метод калибратора?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. осциллограф С1-112А - 1 шт.

2. генератор сигналов низкочастотных Г3-120 - 2 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 16 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора Г3-120 на вход осциллографа С1-112А.
2. Шнуры питания приборов подключить к сети 220В. Включить приборы (кнопка на лицевой панели осциллографа, тумблер на лицевой панели генератора).
3. Переключить осциллограф-мультиметр в режим «осциллограф». Установить луч осциллографа в центр экрана и отрегулировать его яркость и фокусировку. Выбрать режим синхронизации – «ВНУТР.».
4. Определить по калиброванной сетке трубки осциллографа и показаниям управляющих ручек осциллографа величину периода **Т** сигнала по полученной осциллограмме добившись чёткого и неподвижного изображения осциллограммы.
5. Рассчитать частоту сигнала генератора.
6. Изменить частоту генератора увеличив её ручкой умножителя частот и повторить пункты 4, 5 настоящей программы.
7. Повторить п. 6 ещё два раза.
8. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  п/п | Измерено | Вычиленно |
| Период сигнала, изображённого на экране  (Т) | Частота сигнала генератора  (f) |
| с | Гц |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |

Формулы для вычисления

fY=1/T

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 21

***Измерение периода и частоты гармонического сигнала различных форм с помощью двухканального осциллографаАСК-1021***

**Цель работы:** Измерить период и вычислить частоту гармонических электрических сигналов различной формы используя двухканальный осциллограф АСК-1021 и генераторы сигналов низкочастотных.

**Теоретическое обоснование:**

Осциллограф — важнейший инструмент радиоинженера, позволяющий получить максимум информации о сигнале одновременно, ведь, кроме своей основной функции — визуализации сигнала, осциллограф может выполнять также функции вольтметра, частотомера, анализатора спектра и т.д. Тем не менее основная задача, для которой применяется осциллограф — это отладка аппаратуры, поиск и анализ сбоев.

Осциллографы разделяются на однолучевые и многолучевые, одноканальные и многоканальные (2, 4, 6, и т. д. каналов на входе). Многоканальные осциллографы позволяют одновременно сравнивать сигналы между собой (формы, амплитуды, частоты и пр.).

Среди осциллографических способов измерения частоты наиболее распространён метод сравнения двух частот при помощи фигур Лиссажу.

Этот метод заключается в том, к отклоняющим пластинам (например, Y) подводят напряжение измеряемой частоты fY, а к отклоняющим пластинам Х – напряжение образцового генератора с частотой f0=fX.

Частоту образцового генератора изменяют до тех пор, пока на экране осциллографа не получится фигура Лиссажу, которая по возможности должна быть наиболее простой и неподвижной. При этом следует иметь в виду, что с увеличением частоты генераторов и уменьшением их стабильности получать неподвижную фигуру Лиссажу становится трудней. По полученной кривой находят соотношение частот .

Практически величину n удобно находить как отношение числа точек пересечения фигуры Лиссажу горизонтальной линией к числу точек пересечения фигуры Лиссажу вертикальной линией.

Если число точек пересечения фигуры Лиссажу вертикальной линией больше, то частота сигнала генератора, подключённого к вертикально отклоняющим пластинам осциллографа Y меньше частоты сигнала генератора, подключённого к горизонтально отклоняющим пластинам осциллографа Х. И наоборот.

Определив по кривой отношение частот находим: fY=nfX.

Если осциллограф имеет два входа Y и Х, то частоту исследуемого генератора можно подвести к любому из входов осциллографа.

**Вопросы для самопроверки:**

1. На какие виды подразделяются электронные осциллографы?
2. К какому виду осциллографов относится осциллограф АСК-1021?
3. Какое преимущество имеют двухканальные осциллографы перед одноканальными?
4. Какой осциллографический способ измерения частоты наиболее распространён?
5. В чём заключается осциллографический метод измерения частоты фигурами Лиссажу?
6. Как определяется частота исследуемого генератора, если известна частота эталонного?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. двухканальный осциллограф АСК-1021 - 1 шт.

2. генераторы сигналов низкочастотных - 2 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 18 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора Г3-120 на вход одного из каналов двухканальный осциллограф АСК-1021. На вход другого канала подключить синусоидальный сигнал ещё одного низкочастотного генератора.
2. Шнуры питания приборов подключить к сети 220В. Включить приборы.
3. Установить луч осциллографа в центр экрана и отрегулировать его яркость и фокусировку.
4. Переключателями осциллографа (см. приложение к методическим указаниям лабораторной работы №18) установить один вход в режим Х, а другой в режим Y.
5. Добиться устойчивого изображения фигуры Лиссажу на экране осциллографа.
6. Определить отношение числа точек пересечения фигуры Лиссажу горизонтальной линией к числу точек пересечения фигуры Лиссажу вертикальной линией
7. Рассчитать частоту сигнала одного из генераторов, определив частоту сигнала другого по показаниям его шкалы или информационного дисплея. Правильность осциллографического метода определить путём сравнения частот генераторов по их положению шкалы (приложение к методическим указаниям лабораторной работы №2) или показателям цифрового дисплея.
8. Изменить частоту одного из генераторов приблизительно в два раза и повторить пункты 5, 6, 7 настоящей программы.
9. Изменить частоту одного из генераторов приблизительно в три раза, по сравнению с частотой первого опыта и повторить пункты 5, 6, 7 настоящей программы.
10. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Форма фигуры Лиссажу | Измерено | | | Вычисленно | | |
| Число точек пересечения по горизонтали  (NГ) | Число точек пересечения по вертикали  (NВ) | Частота генератора, подклю-чённого к X (fX) | Соотно-шение  частот генера-торов  n | Частота сигнала генератора, подклю-чённого к Y (fY) | Период сигнала генератора, подклю-чённого к Y  (TY) |
| - | - | Гц | - | Гц | c |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для вычисления

; fY=nfX; TY=1/fY

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

**Подготовка к проведению лабораторной работы № 21, выполняемой на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench (Multisim):**

1. Включите компьютер.
2. Запуститепрограмму**Electronics Workbench (Multisim).**
3. Используякомпонентыпакетаприкладныхпрограмм Electronics Workbench **Instruments и Sources,** выберитеэлемент**Oscilloscope** (осциллограф) идваэлемента**AC Voltage Source** (источникпеременногонапряжения).
4. Используя навыки проведения лабораторной работы на ElectronicsWorkbench (см. лабораторную работу №19), собрать на рабочем поле схему, состоящую из двух генераторов и осциллографа. Установить на источниках переменного напряжения синусоидальные сигналы одинаковой частоты и примерно равных напряжений.
5. Переключателями осциллографа (см. приложение к методическим указаниям лабораторной работы №19) установить один вход осциллографа в режим Х, а другой в режим Y кнопками **А/В** или **В/А** (Timebase – слева внизу на расширенной модели осциллографа).
6. Определить отношение числа точек пересечения полученной на экране фигуры Лиссажу горизонтальной линией к числу точек пересечения фигуры Лиссажу вертикальной линией.
7. Рассчитать частоту сигнала одного из генераторов, определив частоту сигнала другого по установкам п. 4. Правильность осциллографического метода определить путём сравнения частот генераторов по их установкам в соответствии с п.4.
8. Изменить частоту одного из генераторов приблизительно в два раза и повторить пункты 4,5, 6, 7 настоящей программы.
9. Изменить частоту одного из генераторов приблизительно в три раза, по сравнению с частотой первого опыта и повторить пункты 4,5, 6, 7 настоящей программы.
10. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.
11. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2.

Лабораторная работа № 22

***Измерение сдвига фаз двух электрических гармонических сигналов различных форм помощью двухканального осциллографаАСК-1021***

**Цель работы:** Измерить сдвиг фазсигналов различных форм методом эллипса, используя двухканальный осциллограф АСК-1021 и генераторы сигналов низкочастотных.

**Теоретическое обоснование:**

Измерение сдвига фаз широко применяется как на промышленной частоте, так и в широком диапазоне частот от звуковых до сверхвысоких включительно.

В силовых цепях переменного тока практикуется измерение угла сдвига фаз между током и напряжением, определяющим коэффициент мощности .

В диапазоне звуковых и более высоких частот измерение угла сдвига фаз необходимо для определения фазовых искажений в том или ином устройстве (усилителях, трансформаторов, фильтрах и др.), т.е. снятия их фазовых характеристик, представляющих собой зависимость угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями от частоты.

Кроме того, измерение сдвига фаз находит широкое применение в аппаратуре связи и других областях техники при её отладке и эксплуатации.

В зависимости от точности измерения и частоты используют различные методы и способы.

Осциллографические методы измерения сдвига фаз находят широкое применение в электрорадиоизмерительной практике.

1. ***Метод осциллограммы*** заключается в том, что при помощи двухлучевого (двухканального) осциллографа или же однолучевого осциллографа с применением электронного коммутатора получают на экране трубки осциллографа осциллограммы исследуемых напряжений. Определяют временной интервал между исследуемыми сигналами (t) и период колебаний (Т). Угол сдвига по фазе определяют по следующей формуле: .

Недостатком этого метода является невысокая точность измерения  и необходимость использования электронного коммутатора или двухлучевого осциллографа.

1. ***Метод эллипса***заключается в том, что одно из исследуемых напряжений подаётся на вход Х, а другое – на вход Y осциллографа. В результате на экране получается фигура Лиссажу в виде эллипса. Измеряется максимальное расстояние между верхней и нижней точками эллипса по оси Y (2Uy) и расстояние между точками пересечения эллипса с вертикальной линией градуированной сетки, накладываемой на экран трубки (2uy). Либо определяют такие же расстояния по оси Х (2Ux и 2ux). Угол сдвига по фазе определяют и по следующим формулам:  или . Для получения большей точности измерения необходимо добиться равенства расстояний 2Ux и 2Uy.

Недостаток данного метода заключается в малой точности измерения угла , зависящей от его величины. При измерении фазового угла, близкого к 00 или 1800, погрешность измерений достигает 20 – 30 , а если  близко 900 или 2700 – порядка 100. Кроме того этот метод не определяет знак угла.

1. ***Метод круговой развёртки*** является наиболее удобным осциллографическим методом. Этот метод даёт возможность определить знак угла сдвига и имеет одинаковою точность во всём диапазоне изменения угла.

Одним из исследуемых напряжений (u1) при помощи фазовращающей цепочки *RC* осуществляют круговую развёртку. Другое исследуемое напряжение (u2) при помощи формирующего устройства преобразуют в прямоугольное и подают на управляющий электрод трубки. В результате на экране осциллографа получается половина окружности, т.к. в положительный полупериод этого напряжения трубка отпирается, а в отрицательный запирается. При этом измеряют угол , образующийся между горизонталью и диаметром получившейся полуокружности.

Затем вместо u2 на формирующее устройство подают напряжение u1, которое после преобразования также поступает на модулятор трубки. Круговая развёртка при этом осуществляется прежним синусоидальным напряжением u1. В результате при наличии угла сдвига фаз между u1 и u2 дуга повернётся на угол . Аналогично измеряют угол . Угол сдвига фаз получают по формуле: . Если движение светового пятна по окружности происходит против часовой стрелки, то при , напряжение u2 опережает u1. Точность измерения достигает 20 – 50.

Основным недостатком этого метода является то, что не во всех промышленных типах осциллографов имеется вывод от модулятора трубки.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Какие осциллографические методы измерения сдвига фаз Вы знаете?
2. Опишите метод осциллограмм.
3. Какие недостатки имеет метод осциллограмм?
4. Опишите метод эллипса.
5. Какие недостатки имеет метод эллипса?
6. Опишите метод круговой развёртки.
7. Какие недостатки имеет метод круговой развёртки?

**Необходимые приборы и оборудование:**

1. двухканальный осциллограф АСК-1021 - 1 шт.

2. генераторы сигналов низкочастотных - 2 шт.

**Программа работы, выполняемой на стендах лаборатории:**

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 18 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора Г3-120 на вход одного из каналов двухканальный осциллограф АСК-1021. На вход другого канала подключить синусоидальный сигнал ещё одного низкочастотного генератора.
2. Шнуры питания приборов подключить к сети 220В. Включить приборы.
3. Установить луч осциллографа в центр экрана и отрегулировать его яркость и фокусировку.
4. Переключателями осциллографа (см. приложение к методическим указаниям лабораторной работы №18) установить один вход в режим Х, а другой в режим Y.
5. Добиться устойчивого изображения фигуры Лиссажу в виде эллипса на экране осциллографа. Для получения данной фигуры Лиссажу необходимо равенство частот сигналов обоих генераторов.
6. Добиться максимально возможного равенства расстояний 2Ux и 2Uy. По градуированной сетке экрана осциллографа определите величины 2Ux, 2Uy, 2ux, 2uy.
7. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Измерено | | | | Вычислено | | | |
| 2Ux | 2Uy | 2ux | 2uy |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2:

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

**Подготовка к проведению лабораторной работы № 22, выполняемой на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench (Multisim):**

1. Включите компьютер.
2. Запуститепрограмму**Electronics Workbench (Multisim).**
3. Используякомпонентыпакетаприкладныхпрограмм Electronics Workbench **Instruments и Sources,** выберитеэлемент**Oscilloscope** (осциллограф) идваэлемента**AC Voltage Source** (источникпеременногонапряжения).
4. Используя навыки проведения лабораторной работы на ElectronicsWorkbench (см. лабораторную работу №19), собрать на рабочем поле схему, состоящую из двух генераторов и осциллографа. Установить на источниках переменного напряжения синусоидальные сигналы одинаковой частоты и равных напряжений.
5. Переключателями осциллографа (см. приложение к методическим указаниям лабораторной работы №19) установить один вход осциллографа в режим Х, а другой в режим Y кнопками **А/В** или **В/А** (Timebase – слева внизу на расширенной модели осциллографа).
6. Добиться максимально возможного равенства расстояний 2Ux и 2Uy. По градуированной сетке экрана осциллографа определите величины 2Ux, 2Uy, 2ux, 2uy.
7. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.
8. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2.

Лабораторная работа № 23

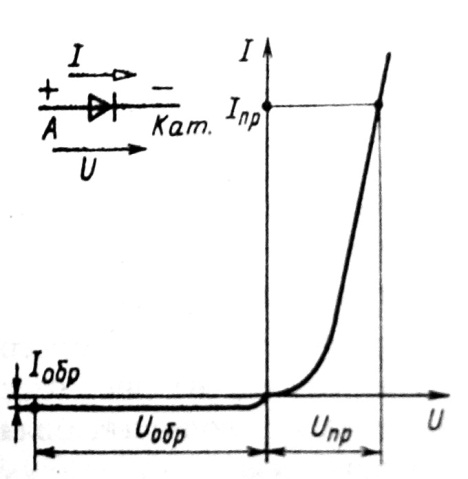
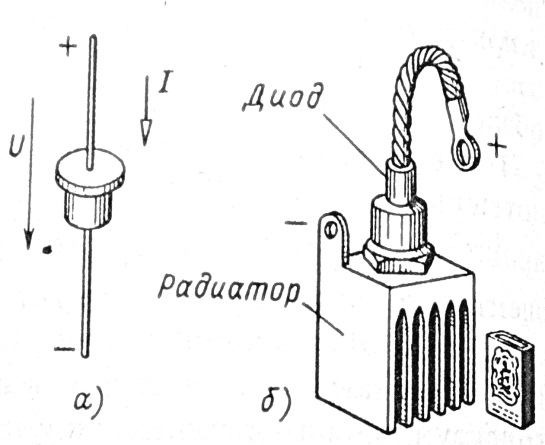
***Измерениепараметров германиевого полупроводникового диода***

**Цель работы**:Опытным путём исследовать на электротехнических стендах параметры германиевого полупроводникового диода по его вольтамперной характеристике.

**Теоретическое обоснование:Полупроводниковый диод**— прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами.

В полупроводниковых диодах используется свойство *p-n* перехода, а также других электрических переходов хорошо проводить электрический ток в одном направлении и плохо пропускать его в противоположном направлении. Эти токи и соответствующие им напряжения между выводами полупроводникового диода называются прямым и обратным токами, прямым и обратным напряжениями.

Для полупроводникового диода задают вольт‑амперную характеристику, вид которой зависит от способа получения p-nперехода, концентрации свободных дырок и электронов, конструкции и т. д.

***Рисунок 1. Рисунок 2.***

На ***рисунке 1*** приведено условное изображение полупроводникового диода на схемах электрических цепей и его типовая вольт-амперная характеристика.

Прямой ток в полупроводниковом диоде направлен от одного вывода к другому, которые соответственно называются анодным и катодным выводами. В качестве параметров, характеризующих нагрузочную способность полупроводникового диода, обычно указывают допустимый прямой Ток ***IПР*** и соответствующее ему прямое напряжение ***UПР***, допустимое обратное напряжение **UОБР** и соответствующий ему обратный ток ***IОБР*** и допустимую температуру окружающей среды (до 50 °С для германиевых и до 140 °С для кремниевых диодов).

По типу конструкции перехода различаются точечные и плоскостные полупроводниковые диоды.

Точечный диод ‑ это прибор, в котором все размеры электрического перехода меньше размеров областей, окружающих его и определяющих физические процессы в переходе. Такой переход возникает, например, при вплавлении кончика металлической иглы в полупро­водниковую пластину с одновременной присадкой легирующего вещества. Из-за малой площади перехода точечный диод относится к маломощным приборам и применяется главным образом в аппаратуре сверхвысоких частот. Допустимая мощность рассеяния точечных диодов — около 10 мВт при значениях прямого тока 10—20 мА.

Плоскостной диод представляет собой прибор, в котором р-nпереход возникает на значительной по площади (до 1000 мм2) границе между полупроводниками р- и n-типов. В таких диодах переход получается методами сплавления полупроводниковых пластин p- и n- типов или диффузии в исходную полупроводниковую пластину примесных атомов. Вследствие большой площади p-nперехода допустимая мощность рассеяния плоскостных диодов малой мощности с естественным охлаждением (***рисунок 2,* а**) достигает 1 Вт при значениях прямого тока до 1 А. Такие плоскостные диоды часто применяются в цепях автоматики и в приборостроении.

У плоскостных диодов большой мощности (***рисунок 2, б***) с радиаторами и искусственным охлаждением (воздушным или водяным) допустимая мощность рассеяния достигает 10 кВт, прямого тока до 1000 А и обратного напряжения до 1500 В. Плоскостные диоды большой мощности применяются главным образом в выпрямителях (преобразователях переменного тока в постоянный). К особой разновидности плоскостных диодов относятся полупроводниковые стабилитроны, которые применяются для стабилизации напряжения в электрических цепях. В этих диодах используется явление неразрушающего электрического пробоя p-nперехода при определенных значениях ***UПРОБ*** обратного напряжения (***рисунок 3,* а**). Значение напряжений неразрушающего пробоя определяется конструкцией р-п перехода и электрофизическими свойствами полупроводника.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляет полупроводниковый диод?
2. Опишите внутреннее состояние диода в режиме покоя.
3. Что происходит при обратном включении диода цепь?
4. Что происходит при прямом включении диода в цепь?
5. Что называют напряжением пробоя и каковы его последствия?
6. Что представляет собой вольтамперная характеристика диода?

**Программа выполнения лабораторной работы:**

Используя элементыэлектротехнического стенда провести следующие измерения параметров германиевого диода используя программу работ на стенде, приведённую ниже.

* + 1. Перед включением стенда убедится, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
    2. Установить перемычку *НТЦ-01.01Б/12* «Нелинейные элементы» на лицевой панели стенда.
    3. Для снятия обратной характеристики диода, собрать схему, представленную на рисунке 3.

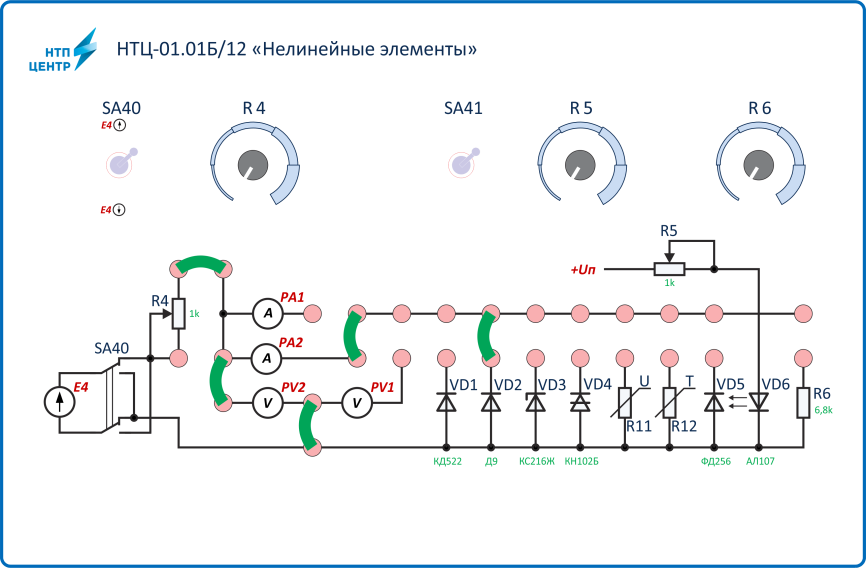
****

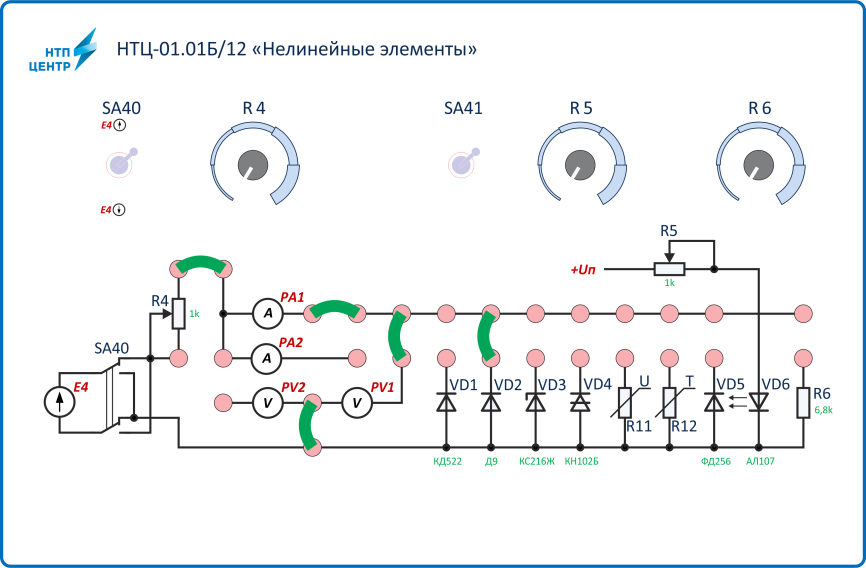
Рисунок 3.

* + 1. Установить резистор*R4*на сменной панели в максимальное положение по часовой стрелке.
    2. Установить тумблер *SA40* в верхнее положение.
    3. Убедиться, что устройство защитного отключения *QF1* в блоке *БВ-01* включено.
    4. Подключить стенд к сети, нажав кнопку*S1* в блоке *БВ-01*.
    5. Включить питание измерительной системы тумблером *SA1* в блоке *БП-01*.
    6. В блоке индикации *БИ-01* при помощи *Задатчика SA1* выбрать профиль отображения приборов *L12*. Для этого нажать на рукоятку *SA1* и дождаться мерцания буквы *L*, отпустить рукоятку и вращением влево или вправо выбрать значение *L12*, далее коротко нажать на рукоятку для того, чтобы завершить выбор профиля*.*
    7. В блоке *БП-03* установить регулятор напряжения в положение *MIN*.
    8. Включить источник *ЭДС Е4* тумблером *SA1 в блоке БП-03*.
    9. Увеличивая величину напряжения ЭДС *Е4* до*30В (PV2)*(регулятором в *блоке БП-03*)снять обратную характеристику диода, данные занести в таблицу 1.

*Таблица 1*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***I(PA2), мкА*** |  |  |  |  |  |  |
| ***U (PV2), В*** | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 |

* + 1. Выключить источник ***ЭДС Е4***тумблером ***SA1*** *в* ***блоке БП-03***.
    2. В блоке ***БП-03*** установить регулятор напряжения в положение ***MIN***.
    3. Для снятия прямой характеристики диода, изменить схему по рисунку 4.

****

***Рисунок 4.***

* + 1. Установить резистор ***R4***на сменной панели в максимальное положение по часовой стрелке.
    2. Установить тумблер ***SA40***в нижнее положение**.**
    3. Включить источник ***ЭДСЕ4*** тумблером ***SA1в блоке БП-03*.**
    4. Установить ручку регулятора в блоке ***БП-03*** в положение ***1/3*** от ***MIN*.**
    5. Плавно уменьшая добавочное сопротивление *R4* на сменной панели против часовой стрелки. Снять прямую вольт-амперную характеристику по приборам *PV1* и *PA1*. Данные занести в *таблицу 2*.

*Таблица 2*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***I(PA1), мА*** |  | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| ***U (PV1), В*** |  |  |  |  |  |  |

* + 1. Выключить стенд в следующем порядке:
* Выключить источник *ЭДС Е4* тумблером *SA2 в блоке БП-03*.
* Установить регулятор в положение *MIN* в блоке *БП-03.*
* Выключить блок питания тумблером*SA1 в блоке БП-01.*
* Отключить стенд от сети, нажав кнопку *S2* в блоке *БВ-01*.
* Убрать перемычки и сменную панель.
* Убедится, что все остальные переключатели в начальном состоянии.
  + 1. Построить Вольт-Амперную характеристику диода.
    2. Рассчитать дифференциальное сопротивление ***rD*** в середине рабочего участка и сопротивление по постоянному току ***RD*** на прямом и обратном участке.

24. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 3.

Таблица 3

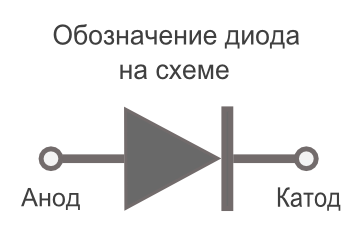
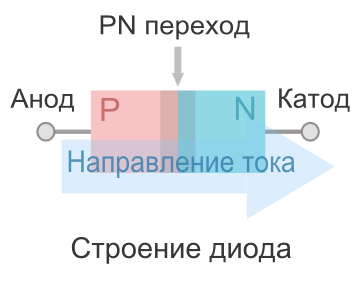
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 24

***Исследование параметров и построение вольт-амперной характеристики полупроводникового диода***

**Цель работы**:Опытным путём исследовать параметры полупроводникового диода по его вольтамперной характеристике, используя ППП **Multisim**.

**Теоретическое обоснование:** Полупроводниковый диод - самый простой полупроводниковый прибор, состоящий из одного PN перехода. Основная его функция - это проводить электрический ток в одном направлении, и не пропускать его в обратном. Состоит диод из двух слоев полупроводника типов N и P.



На стыке соединения P и N областей образуется PN-переход (PN-junction). Электрод, подключенный к P, называется анод. Электрод, подключенный к N , называется катод. Диод проводит ток в направлении от анода к катоду, и не проводит обратно.

В состоянии покоя,то есть тогда, когда ни к аноду, ни к катоду не подключено напряжения, в части N имеются в наличии свободные *электроны* – отрицательно заряженные частицы. В части P находятся положительно заряженные ионы – *дырки*. В результате, в том месте, где есть частицы с зарядами разных знаков, возникает электрическое поле, притягивающее их друг к другу.

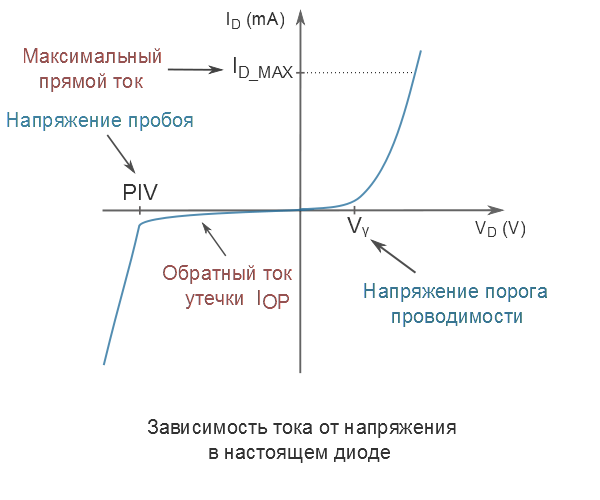
Под действием этого поля свободные электроны из части N дрейфуют через PN переход в часть P и заполняют некоторые дырки. В итоге появляется очень слабый электрический ток, измеряемый в наноамперах. Появляется электрическое поле, препятствующее дальнейшему переходу электрически заряженных частиц через PN-переход (потенциальный барьер).

При обратном включении диода плюс источника питания подключают к катоду, а минус к аноду.Электроны из N – области начнут движение к плюсу и отдалятся от PN перехода. Аналогично, дырки из P - области будут стремиться к минусу, и также отдалятся от PN-перехода. В результате, потенциальный барьер повышается, т.к. электрическое поле источника питания увеличивает внутреннее электрическое поле PN-перехода.

При прямом включении меняется полярность источника питания - плюс к аноду, минус к катоду. Отрицательно заряженные электроны отдаляются от минуса и двигаются сторону PN-перехода. В свою очередь, положительно заряженные дырки направляются навстречу электронам. Потенциальный барьер PN-перехода(внутреннее электрическое поле PN-перехода) компенсируется превуалирующим электрическим полем источника питания.Электроны начинают дрейфовать на сторону P. Часть из них рекомбинируют с дырками (заполняют место в атомах, где не хватает электрона). Остальные электроны устремляются к плюсу источника питания. Через диод протекает прямой ток.

При обратном подключении напряжения, возникает очень маленький ток, измеряемый в микро, или наноамперах ( в зависимости от модели прибора ). Если напряжение чрезмерно велико может разрушиться кристаллическая структура полупроводника в диоде. В этом случае, диод начнет хорошо проводить ток также и при обратном включении. Такое напряжение называется *напряжение пробоя*. Процесс разрушения структуры полупроводника невосстановим, и прибор приходит в негодность.

При прямом подключении, напряжение между анодом и катодом должно быть достигнуть определенного значения, чтобы диод начал хорошо проводить ток. Это значение определяется видом или типом диода и регламентируется вольтамперной характеристикой (ВАХ) конкретного диода.



**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляет полупроводниковый диод?
2. Опишите внутреннее состояние диода в режиме покоя.
3. Что происходит при обратном включении диода цепь?
4. Что происходит при прямом включении диода в цепь?
5. Что называют напряжением пробоя и каковы его последствия?
6. Что представляет собой вольтамперная характеристика диода?

**Программа выполнения лабораторной работы:**

1. Используя компоненты пакета прикладных программ **Multisim**,выберете компоненты исследуемой схемы и расположите их в соответствии с рисунком 1;
2. Проведите соединения этих элементов, и установите значения их номиналов, руководствуясь правилами **Mulnisim**,рисунком 1 и таблицей 1;

Рисунок 1.Схема исследования диодов, включенных в прямом направлении.



1. Двойным щелчком левой кнопки мыши на источнике постоянного тока открыть его свойства и на вкладке «параметры» установить ток **Iпр** в соответствии с таблицей 1;
2. Запишите тип выбранного Вами диода в соответствующую ячейку первого столбца табл.2 (внутри проставленных скобок);
3. Включите виртуальную схему **Multisim**, прочитайте показание прибора и занесите его в соответствующую ячейку табл. 1;
4. После каждого опыта следует верхней правой кнопкойвиртуальную схему отключать перед изменением любого параметра схемы;
5. Выключите схему и повторите п. 4 ещё два раза, меняя тип диода марки **SB**в соответствии с пунктами2, 3 и 4;
6. Используя компоненты пакета прикладных программ **Multisim**,выберете компоненты исследуемой схемы и расположите их в соответствии с рисунком 2;
7. Проведите соединения этих элементов, и установите значения их номиналов, руководствуясь правилами **Mulnisim**рисунком2 и таблицей 2;

Рисунок 2.Схема исследования диодов, включенных в обратном направлении.



1. Запишите тип выбранного Вами диода в соответствующую ячейку первого столбца табл.2 (внутри проставленных скобок).
2. Включите виртуальную схему **Multisim**, прочитайте показание прибора и занесите его в соответствующую ячейку табл. 1;
3. Выключите схему и повторите п. 10 ещё два раза, меняя тип диода марки **SB**в соответствиис пунктами8 и 9;

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ток генератора Iпр, мА | 0,01 | 0,1 | 1 | 5 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
| Напряжение на диоде VD1 (\_\_\_\_) Uпр, мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Напряжение на диоде VD1 (\_\_\_\_) Uпр, мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Напряжение на диоде VD1 (\_\_\_\_) Uпр, мВ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обратное напряжение на диоде Uобр, В | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 |
| Ток через диод VD1 (\_\_\_\_) Iобр, мкА |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ток через диод VD1 (\_\_\_\_) Iобр, мкА |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ток через диод VD1 (\_\_\_\_) Iобр, мкА |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Нарисовать вольтамперную характеристику исследуемых диодов с соблюдением масштаба.
2. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 25

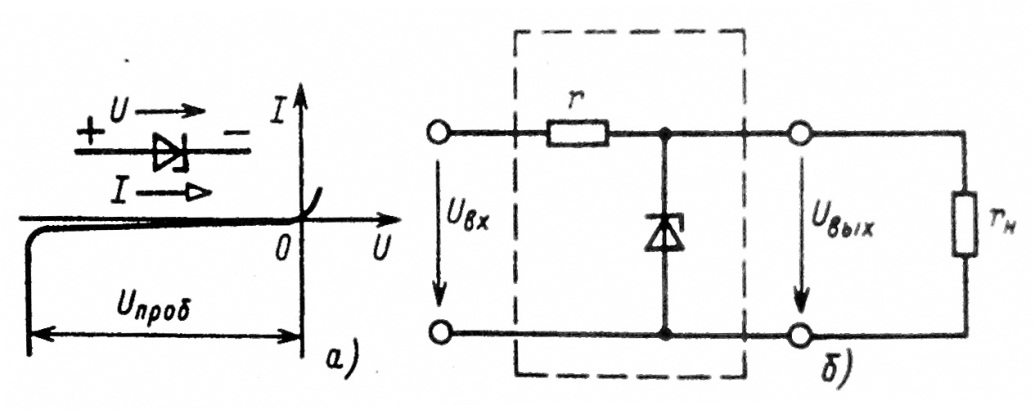
***Измерение параметров и снятие вольтамперной характеристики стабилитрона***

**Цель работы**:Опытным путём исследовать на электротехнических стендах параметры полупроводникового стабилитрона по его вольтамперной характеристике.

**Теоретическое обоснование:** Стабилитроном называется полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации уровня постоянного напряжения.

Стабилизация – поддержание какого-тоуровня неизменным. По конструкции стабилитроны всегда плоскостные и кремниевые. Принцип действия стабилитрона основан на том, что на его вольтамперной характеристике имеется участок, на котором напряжение практически не зависит от величины протекающего тока. Этот участок называется участок электрического пробоя.

На ***рисунке 1*б**приведена простейшая схема стабилизатора напряжения со стабилитроном. Исследуя вольтамперную характеристику стабилитрона на участке электрического пробоя видно, что при изменении напряжения **UВХ**между входными выводами стабилизатора и условии **UВХ>U**ПРОБнапряжение между выходными выводами **UВЫХ=UПРОБ**изменяется незначительно.



***Рисунок 1.***

За счёт легирующих добавок в полупроводник ток электрического пробоя может изменяться в широком диапазоне, не переходяв тепловой пробой.

Так как участок электрического пробоя – это обратное напряжение, то стабилитрон включается обратным включением. При уменьшении входного напряжения ток через стабилитрон может уменьшаться, а напряжения на стабилитроне и на нагрузке останутся

постоянными. При увеличении входного напряжения ток через стабилитронувеличивается, а напряжение на нагрузке всё равно остаётся

постоянным и равным напряжению стабилизации.

Вывод: стабилитрон поддерживает постоянство напряжения при изменении тока через негоот Iст.min до Iст.max.

Основные параметры стабилитронов:

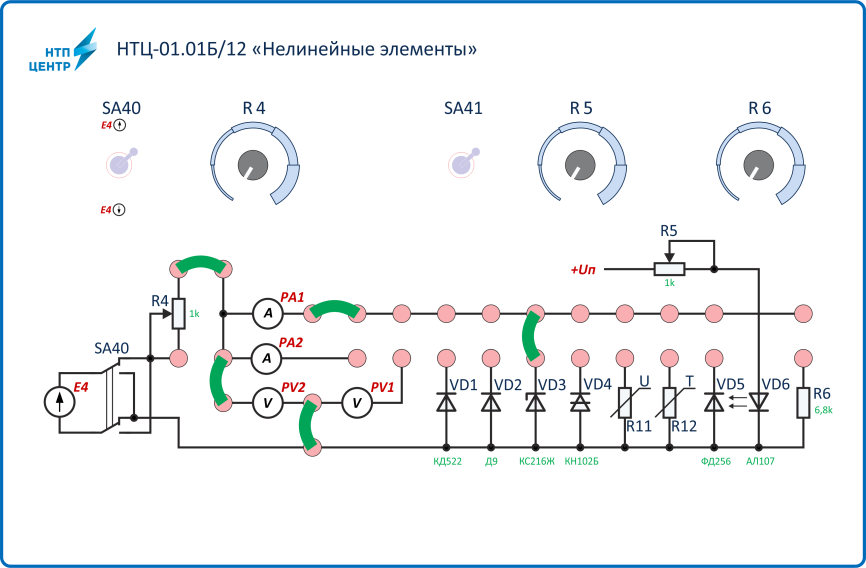
* Напряжение стабилизации Uст.
* Минимальное, максимальное и номинальное значение тока стабилизации Iст.min, Iст.max.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что называют стабилитроном?
2. Для чего предназначен стабилитрон?
3. Опишите принцип действия стабилитрона.
4. за счёт чего ток электрического пробоя может изменяться в широком диапазоне, не переходя в тепловой пробой?
5. Назовите основные параметры стабилитрона.
6. Что представляет собой вольтамперная характеристика стабилитрона?

**Программа выполнения лабораторной работы:**

* + 1. Перед включением стенда убедится, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
    2. Установить перемычку *НТЦ-01.01Б/12* «Нелинейные элементы» на лицевой панели стенда.
    3. Для снятия обратной характеристики стабилитрона, собрать схему, представленную на *рисунке 2*.

****

*Рисунок 2.*

* + 1. Установить резистор*R4*на сменной панели в максимальное положение по часовой стрелке.
    2. Установить тумблер *SA40* в верхнее положение.
    3. Убедиться, что устройство защитного отключения *QF1* в блоке *БВ-01* включено.
    4. Подключить стенд к сети, нажав кнопку*S1* в блоке *БВ-01*.
    5. Включить питание измерительной системы тумблером *SA1* в блоке *БП-01*.
    6. В блоке индикации *БИ-01* при помощи *Задатчика SA1* выбрать профиль отображения приборов *L12*. Для этого нажать на рукоятку *SA1* и дождаться мерцания буквы *L*, отпустить рукоятку и вращением влево или вправо выбрать значение *L12*, далее коротко нажать на рукоятку для того, чтобы завершить выбор профиля*.*
    7. В блоке *БП-03* установить регулятор напряжения в положение *MIN*.
    8. Включить источник *ЭДС Е4* тумблером *SA1 в блоке БП-03*.
    9. Увеличивая величину напряжения ЭДС *Е4* до*момента стабилизации (PV2≈14В)* (регулятором в *блоке БП-03*)снять обратную характеристику диода, данные занести в*таблицу 1*.
    10. Продолжить снятие характеристики плавно уменьшаядобавочное сопротивление *R4* на сменной панели против часовой стрелки.

*Таблица 1*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***I(PA2), мА*** |  |  |  |  |  |  |
| ***U (PV2), В*** |  |  |  |  |  |  |

* + 1. Выключить источник ***ЭДС Е4***тумблером ***SA1*** *в* ***блоке БП-03***.
    2. В блоке ***БП-03*** установить регулятор напряжения в положение ***MIN***.
    3. Установить резистор ***R4***на сменной панели в максимальное положение по часовой стрелке.
    4. Установить тумблер ***SA40***в нижнее положение**.**
    5. Включить источник ***ЭДСЕ4*** тумблером ***SA1в блоке БП-03*.**
    6. Установить ручку регулятора в блоке ***БП-03*** в положение ***1/3*** от ***MIN*.**
    7. Плавно уменьшая добавочное сопротивление *R4* на сменной панели против часовой стрелки. Снять прямую вольт-амперную характеристику по приборам *PV2* и *PA2*. Данные занести в *таблицу 2*.

*Таблица 2*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***I(PA2), мА*** |  | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| ***U (PV2), В*** |  |  |  |  |  |  |

* + 1. Выключить стенд в следующем порядке:
* Выключить источник *ЭДС Е4* тумблером *SA2 в блоке БП-03*.
* Установить регулятор в положение *MIN* в блоке *БП-03.*
* Выключить блок питания тумблером*SA1 в блоке БП-01.*
* Отключить стенд от сети, нажав кнопку *S2* в блоке *БВ-01*.
* Убрать перемычки и сменную панель.
* Убедится, что все остальные переключатели в начальном состоянии.
  + 1. Построить Вольт-Амперную характеристику стабилитрона.
    2. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 3.

Таблица 3

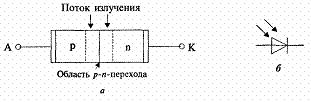
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

Лабораторная работа № 26

***Измерение параметров и снятие вольт-амперной характеристики фотодиода***

Цель работы:изучить влияние светового потока на величину обратного тока фотодиода.

**Теоретическое обоснование:**Фотодиод – фоточувствительный полупроводниковый диод с р-n-переходом (между двумя типами полупроводника или между полупроводником и металлом).



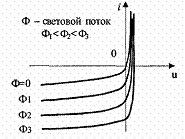
Физические процессы, протекающие в фотодиодах, носят обратный характер по отношению к процессам, протекающим в светодиодах. Основным физическим яв­лением в фотодиоде является генерация пар электрон–дырка в области р-n–перехода и в прилегающих к нему областях под действием излучения.

Электрическое поле р-n-перехода разделяет электроны и дырки. Неосновные носители электричества, для кото­рых поле является ускоряющим, выводятся этим полем за переход. Основные носители задерживаются полем в сво­ей области проводимости.

Генерация пар электрон–дырка приводит к увеличению обратного тока диода при наличии обратного напряжения и к появлению напряжения uак между анодом и катодом при разомкнутой цепи. Причем в соответствии со сделан­ным замечанием о разделении электронов и дырок uак>0 (дырки переходят к аноду, а электроны – к катоду).

Фотодиоды удобно ха­рактеризовать семейством вольт-амперных характеристик, соответствующих различным световым потокам или различным освещенностям.

Обратимся к вольт-амперным характеристикам (ВАХ) фотодиода.



Пусть вначале световой поток ра­вен нулю, тогда ВАХ фотодиода фактически повторяет ВАХ обычного диода. Если световой поток не равен нулю, то фотоны, проникая в область p-n-перехода, вызывают генерацию пар электрон–дырка. Под действием электри­ческого поля p-n-перехода но­сители заряда движутся к электродам (дырки – к электроду слоя р, электроны – к электроду слоя n). В результате между электродами воз­никает напряжение, которое возрастает при увеличении светового потока. При положительном напряжении анод–катод ток диода может быть отрицатель­ным (четвертый квадрант характеристики). При этом прибор не потребля­ет, а вырабатывает энергию.

На практике фотодиоды используют и в режиме фотогенератора (фотогальванический режим, вентильный режим), и в режиме фотопреобразователя (фотодиодный режим).

*Режим фотогенератора* имеет место при *u*>0 и *i*<0 (четвертый квадрант). При этом диод отдает энергию во внешнюю цепь (*u·i*<0). В этом режиме работают солнеч­ные элементы. В настоящее время коэффициент полезно­го действия солнечных элементов достигает 20%. Пока энергия, вырабатываемая солнечными элементами, при­мерно в 50 раз дороже энергии, получаемой из угля, не­фти или урана. Но ожидается, что стоимость энергии, получаемой с помощью солнечных батарей, будет сни­жаться.

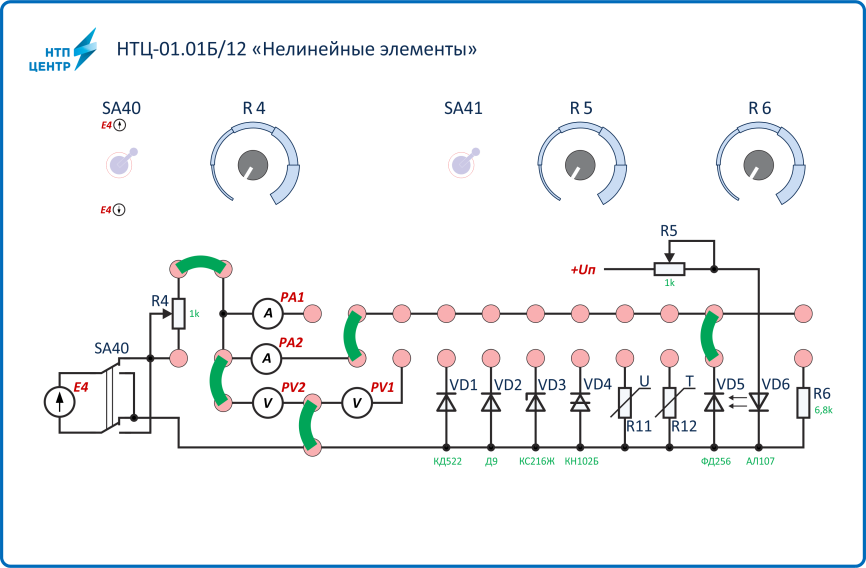
*Режим фотопреобразователя* соответствует соотноше­ниям *u*<0 и *i*<0 (третий квадрант). В этом режиме фо­тодиод потребляет энергию (*u·i*>0) от некоторого обя­зательно имеющегося в цепи внешнего источника напряжения. Графический анализ этого режи­ма выполняется при использовании линии нагрузки, как и для обычного диода. При этом характеристики обычно условно изображают в первом квадранте.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что называют фотодиодом?
2. Опишите основные физические процессы, происходящие в фотодиодах.
3. Нарисуйте схемотично ВАХ фотодиода, соответствующие различным световым потокам..
4. Какие режимах работы фотодиода используются в основном на практике?
5. Какой режим называют режимом фотогенератора?.
6. Какой режим называют режимом фотопреобразователя?

**Программа выполнения лабораторной работы:**

1. Перед включением стенда убедится, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
2. Установить перемычку *НТЦ-01.01Б/12* «Нелинейные элементы» на лицевой панели стенда.
3. Для снятия обратной характеристики диода, собрать схему, представленную на *рисунке 1.*

****

*Рисунок .*

1. Установить резистор*R4*на сменной панели в максимальное положение по часовой стрелке.
2. Установить резистор*R5*на сменной панели в максимальное положение по часовой стрелке.
3. Установить тумблер *SA40* в верхнее положение.
4. Убедиться, что устройство защитного отключения *QF1* в блоке *БВ-01* включено.
5. Подключить стенд к сети, нажав кнопку*S1* в блоке *БВ-01*.
6. Включить питание измерительной системы тумблером *SA1* в блоке *БП-01*.
7. В блоке индикации *БИ-01* при помощи *Задатчика SA1* выбрать профиль отображения приборов *L12*. Для этого нажать на рукоятку *SA1* и дождаться мерцания буквы *L*, отпустить рукоятку и вращением влево или вправо выбрать значение *L12*, далее коротко нажать на рукоятку для того, чтобы завершить выбор профиля*.*
8. В блоке *БП-03* установить регулятор напряжения в положение *MIN*.
9. Включить источник *ЭДС Е4* тумблером *SA1 в блоке БП-03*.
10. Установить величину напряжения ЭДС *Е4* равную *30В (PV2)* (регулятором в *блоке БП-03*).
11. Плавно уменьшая добавочное сопротивление *R5* на сменной панели против часовой стрелки изучить влияние светового потока на величину обратного тока фотодиода
12. Выключить стенд в следующем порядке:
13. Выключить источник *ЭДС Е4* тумблером *SA2 в блоке БП-03*.
14. Установить регулятор в положение *MIN* в блоке *БП-03.*
15. Выключить блок питания тумблером*SA1 в блоке БП-01.*
16. Отключить стенд от сети, нажав кнопку *S2* в блоке *БВ-01*.
17. Убрать перемычки и сменную панель.
18. Убедится, что все остальные переключатели в начальном состоянии.
19. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

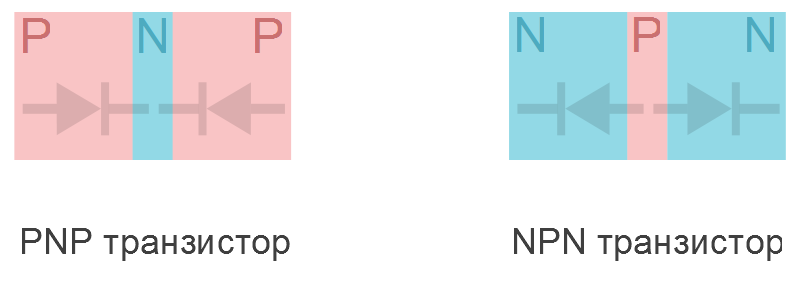
Лабораторная работа № 27

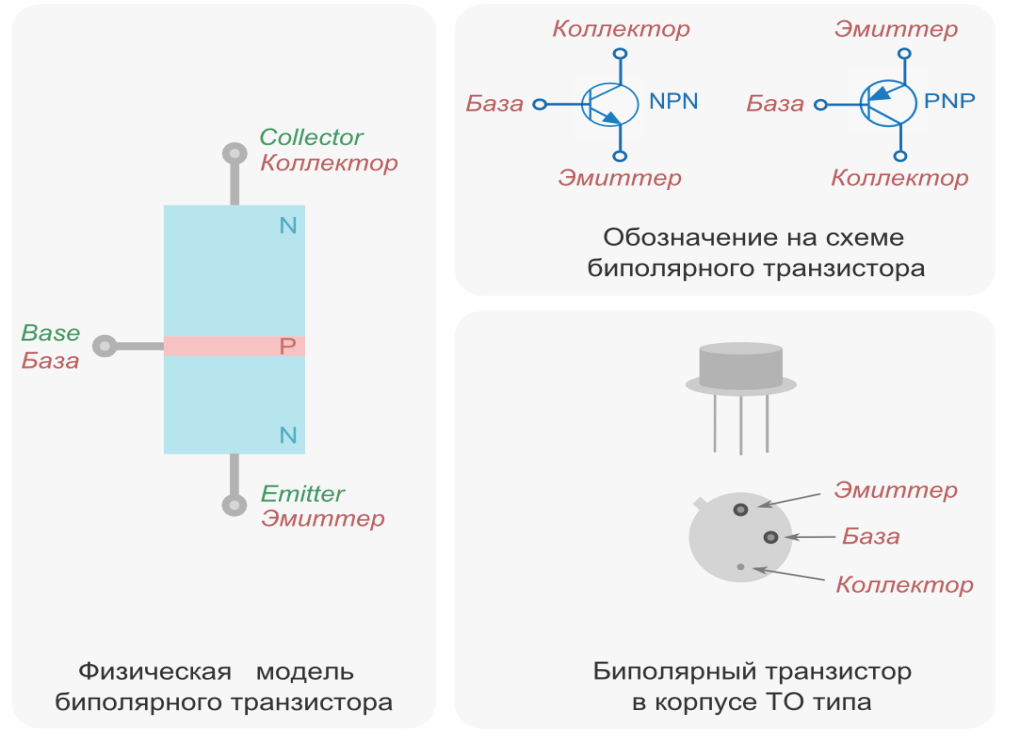
***Измерениепараметров биполярного транзистора***

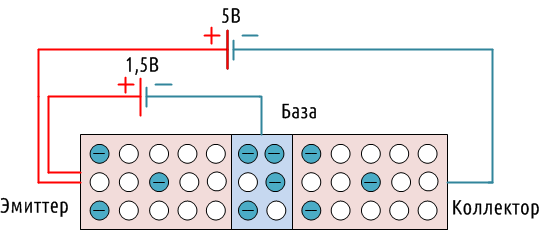
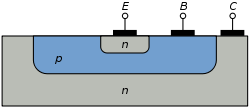
**Цель работы**:Снятие и анализ статических характеристик биполярного транзистора, определение параметров по его характеристикам.

**Теоретическое обоснование:** Биполярный[транзистор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80) — трёхэлектродный [полупроводниковый прибор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B), один из типов [транзистора](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80). Электроды подключены к трём последовательно расположенным слоям полупроводника с чередующимся типом [примесной проводимости](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%81%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2). По этому способу чередования различают *n-p-n* и *p-n-p* транзисторы, где *n* (*negative*) — электронный тип примесной проводимости, *p* (*positive*) — дырочный. В биполярном транзисторе, в отличие от [полевого транзистора](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80), используются заряды одновременно двух типов, носителями которых являются электроны и дырки (от слова «би» — «два»). Схематическое устройство транзистора показано на втором рисунке.

Электрод, подключённый к центральному слою, называют *базой*, электроды, подключённые к внешним слоям, называют *коллектором* и *эмиттером*.





Рассмотрим пример работы *pnp*-транзистора. Для этого подключим к транзистору две батарейки на 1,5 и на 5 вольт, плюсом к эмиттеру, а минусом к базе и коллектору соответственно (смотри рисунок):  
  
На контакте базы и эмиттера появится электромагнитное поле, которое буквально вырывает электроны с внешней орбиты атомов базы и переносит их в эмиттер. Свободные электроны оставляют за собой дырки, и занимают вакантные места уже в эмиттере. Это же электромагнитное поле оказывает такое же воздействие на атомы коллектораи электроны коллектора достаточно легко проходят сквозь неё в эмиттер, причём в гораздо большем количестве чем из базы.  
Если же мы отключим напряжение от базы, то никакого электромагнитного поля не будет, а база будет выполнять роль диэлектрика, и транзистор будет закрыт. Таким образом при подаче на базу достаточно малого напряжения, можно контролировать большее поданное напряжение на эмиттер и коллектор.  
Рассмотренный нами транзистор *pnp*-типа, так как у него две *p*-зоны и одна *n*-зона. Так же существуют *npn*-транзисторы, принцип действия в них такой же, но электрический ток течёт в них в противоположную сторону, чем в рассмотренном нами транзисторе. [](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Npn_bjt_cross_section.svg?uselang=ru)Упрощенная схема поперечного разреза биполярного *npn*-транзистора

Характеристики транзистора, включенного по схеме ОЭ (общий эмиттер)

Входной характеристикой является зависимость:

IБ = f(UБЭ) приUКЭ = const

Выходной характеристикой является зависимость:

IК = f(UКЭ) при IБ = const  
**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляет биполярный транзистор?
2. Почему биполярный транзистор имеет такое название?
3. Какую роль в биполярном транзисторе играет база?
4. Как обозначаются на схемах pnp-транзисторы, npn-транзисторы?
5. Как называются выводы транзистора и что показывает стрелка эмиттера?
6. Опишите кратко принцип действия биполярного транзистора.
7. Что представляют из себя статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме ОЭ (общий эмиттер)

**Программа выполнения практической работы:**

1. Используя компоненты пакета прикладных программ **Multisim**,выберете компоненты (выбрать любой транзистор типа **MPS37…**) и расположите их в соответствии с рисунком 1;
2. Проведите соединения этих элементов, и установите значения их номиналов, руководствуясь правилами **Mulnisim**ирисунком 1;

Рисунок 1.Схемы исследования статических характеристик биполярного транзистора.



1. Двойным щелчком левой кнопки мыши попеременно на каждом источнике напряжения постоянного тока **V1**и**V2**(левый рисунок) открыть их свойства и на вкладке параметры установить напряжение в соответствии с таблицей 1;
2. Включите виртуальную схему **Multisim**, прочитайте показание прибора и занесите его в соответствующую ячейку табл. 1;
3. После каждого опыта следуетотключать виртуальную схему перед изменением любого параметра схемы;
4. Двойным щелчком левой кнопки мыши попеременно на источнике постоянного тока и источнике напряжения постоянного тока **V3** открыть их свойства и на вкладке «параметры» установить ток **Iпр** в соответствии с таблицей 2;
5. Включите виртуальную схему **Multisim**, прочитайте показание прибора и занесите его в соответствующую ячейку табл. 1;

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Напряжение база-коллектор  UКЭ= 0 В | Напряжение база-эмиттер UБЭ, В | 0 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| Ток эмиттера IЭ, мА |  |  |  |  |  |
| Напряжение база-коллектор  UКЭ= 10 В | Напряжение база-эмиттер UБЭ, В | 0 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| Ток эмиттера Iэ, мА |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ток базы  IБ= 0мкA | Напряжение коллектор-эмиттер UКЭ, В | 0 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| Ток коллектораIК, мА |  |  |  |  |  |
| Ток базы  IБ= 300мкA | Напряжение коллектор-эмиттер UКЭ, В | 0 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| Ток коллектора IК, мА |  |  |  |  |  |
| Ток базы  IБ= 500мкA | Напряжение коллектор-эмиттер UКЭ, В | 0 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| Ток коллектораIК, мА |  |  |  |  |  |

1. Нарисовать входные статические характеристики биполярного транзистора с соблюдением масштаба (табл. 1);
2. Нарисовать выходные статические характеристики биполярного транзистора с соблюдением масштаба (табл.2).
3. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

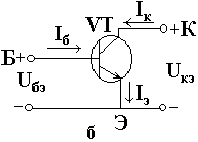
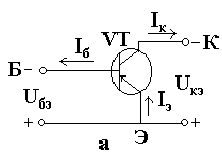
Лабораторная работа № 28

***Снятие статических характеристик биполярного транзистора.***

**Цель работы**:Опытным путём исследовать на электротехнических стендах параметры биполярного транзистора по его статическим характеристикам, определение параметров по его характеристикам.

**Теоретическое обоснование:** Транзистором называется трехэлектродный полупроводниковый прибор, структура которого содержит два электронно-дырочных перехода. Транзистор представляет собой монокристаллическую пластину полупроводника, в которой с помощью особых технологических приемов созданы три области, две из них имеют одинаковый тип электропроводности и разделены между собой областью с иной электропроводностью. Эта средняя область называется базой, а две другие, крайние – эмиттером и коллектором.

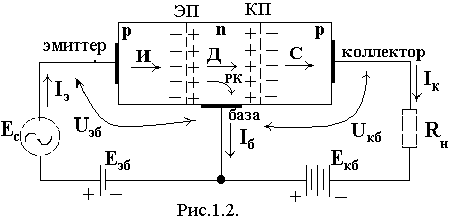
Эмиттер осуществляет инжекцию (т.е. введение) неосновных носителей зарядов в базу, а коллектор–экстракцию (сбор) носителей. Транзистор, у которого эмиттер и коллектор имеют электропроводность р-типа относятся к p-n-p–типу. Если же база р–типа, а коллектор и эмиттер n-типа, то это транзистор n-p-n-типа (***рисунок 1***). Так, если коллектор транзистора p-n- p-типа подключается к отрицательному полюсу источника, то коллектор транзистора n-p-n-типа к положительному. В условных графических изображениях эмиттер изображается в виде стрелки, которая указывает прямое направление тока эмиттерного перехода.



***Рисунок 1.***

Принцип работы транзисторов обоих типов одинаков, различие заключается лишь в том, что в транзисторе n-p-n–типа через базу к коллектору движутся электроны, инжектированные эмиттером, а в транзисторе p-n-p–типа–дырки. Для этого к электродам транзистора подключают источники тока обратной полярности.

Принцип работы биполярного транзистора рассмотрим на примере транзистора p-n-p типа включенного по схеме с (ОБ) общей базой (***рисунок 2***). Между р- и n-областями возникают p-n переходы. Переход между эмиттером и базой называется эмиттерным (ЭП), а переход между коллектором и базой - коллекторным (КП). Как показано на ***рисунке 2***, коллекторная цепь транзистора подключается к источнику э.д.с.***-ЕКБ*** т.е. КП смещен в обратном направлении. В коллекторном переходе напряженность поля под действием ***ЕКБ*** возрастает. Это приводит к появлению незначительного обратного тока ***IКО*** в коллекторной цепи, обусловленного движением неосновных носителей зарядов. Этот ток существенно возрастает с увеличением температуры, поэтому его называют тепловым током коллектора – ***IКО***.



***Рисунок 2.***

Эмиттерный переход внешним источником напряжения смещен в прямом направлении (ЭП, ***рисунок 2***). Напряженность поля эмиттерного перехода при этом уменьшается. Через эмиттерный переход происходит инжекция дырок из эмиттера в базу и электронов из базы в эмиттер. В цепи эмиттера появится ток, равный сумме токов, обусловленных электронной ***IЭ(n)*** и дырочной ***IЭ(p)*** электропроводностями:

Особенность транзистора состоит, в том, что концентрация дырок в эмиттере намного больше концентрации электронов в базе. Поэтому дырочная составляющая тока эмиттера значительно больше электронной. В базе происходит накопление неосновных носителей зарядов–дырок. В результате диффузии дырки перемещаются к коллекторному переходу. Часть дырок при этом рекомбинирует в базе с электронами, что создают ток в цепи базы ***IБ***. Но так как толщина базы очень мала (несколько микрометров), доля рекомбинированных дырок незначительна. Вблизи коллекторного перехода дырки оказываются под действием электрического поля, обратновключенного перехода, увлекаются им через переход в коллекторную область и далее – к выводу коллектора, где рекомбинируют с электронами, поставляемыми через внешнюю цепь источником э.д.с, что создает ток в коллекторной цепи ***IК***.

Таким образом, ток эмиттера равен сумме токов базы ***IБ*** и коллектора ***IК***:

Ток коллектора состоит из потока дырок инжектируемых эмиттером за вычетом тока базы и собственного теплового тока коллекторного перехода:

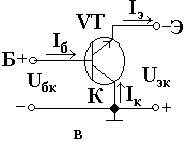
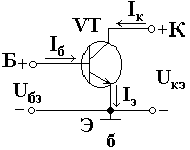
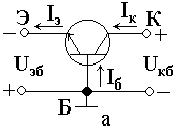
где – коэффициент передачи тока эмиттера; – тепловой ток обратно включенного коллекторного перехода.

Отсюда, ток базы равен:

Этот ток составляет не более 1% от тока эмиттера.

Все сказанное справедливо также для транзистора n-p-n–типа с учетом высказанных ранее замечаний о перемене на противоположное направление движения токов и смене знаков источников питания схемы транзистора.

В зависимости от того какой из выводов транзистора является общим между входным источником сигнала и выходной цепью транзистора существуют три основные схемы включения транзистора в электрическую цепь: с общим эмиттером (ОЭ), с общим коллектором (ОК), с общей базой (ОБ) (***рисунок 3***).

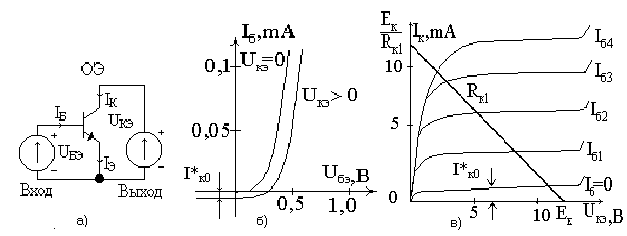


***Рисунок 3.***

Основными вольтамперными характеристиками транзистора являются входная и выходная характеристики.

Зависимость – называют входной статической вольт–амперной характеристикой (ВАХ), а зависимость выходной статической ВАХ. ВАХ снимают в режиме по постоянному току и представляют собой зависимости постоянных токов и напряжений. Характеристики транзистора зависят от схемы его включения.

Наиболее часто на практике применяют схему включения транзистора с общим эмиттером ОЭ. При таком включении входным электродом является база, эмиттер заземляется (общий электрод), а выходным электродом по-прежнему является коллектор (***рисунок 5***).



***Рисунок 5.***

Основным передаточным параметром для схемы включения с ОЭ является коэффициент усиления тока базы **β**:

Параметр **β** связан с коэффициентом передачи тока эмиттера соотношением:

По порядку величина β лежит в интервале значений **β *=10…200***.

Из остальных h-параметров важное значение имеют входное дифференциальное сопротивление транзистора:

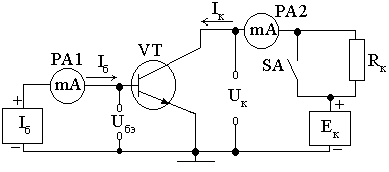
и выходная дифференциальная проводимость

Для схемы с ОЭ входное сопротивление единицы составляет единицы кОм, а выходная проводимость - 10-**4**-10**-5**

Входная и выходная характеристики транзистора с ОЭ несколько отличаются от характеристик транзистора с ОБ (***рисунок 5***).

Входной характеристикой транзистора, включенного по схеме с ОЭ, является зависимость напряжения ***UБЭ*** от входного тока ***IБ***, ***UБЭ =f1(IБ)*** при заданном напряжении***UКЭ***. Совокупность таких зависимостей называется семейством входных характеристик транзистора (***рисунок 5, б***). При ***UКЭ =0*** тепловой ток ***IКО*** в цепи коллектора отсутствует и зависимость***UБЭ=f1(IБ)*** соответствует ВАХ эмиттерного р-n–перехода, включенного в прямом направлении. При***UКЭ>0*** в цепи коллектора появляется ток ***-IКО***, направленный навстречу току ***IБ***. Для компенсации этого тока в цепи базы нужно создать ток ***IБ=IКО***, приложив соответствующее напряжение ***UБЭ***. Это приводит к смещению входной характеристики вправо вниз.

Выходной характеристикой транзистора по схеме с ОЭ считывается зависимость ***IК=f2(UКЭ)***при заданном токе ***IБ***(***рисунок 5, в***). Если ***UБЭ=0***, в цепи коллектора протекает только тепловой ток, так как в этом случае инжекция дырок из эмиттера в базу (для p-n-p-транзистора ***IКО=-IБ***) или инжекция электронов из эмиттера в базу (для n-p-n–транзистора) отсутствует. При ***UКЭ=0*** ток в цепи коллектора не проходит, это объясняется тем, что напряжение ***UБЭ***и ***UКЭ***направлены встречно друг другу, т.е. потенциал коллектора выше потенциала базы и коллекторный переход оказывается при этом закрыт. Поэтому выходные характеристики не пересекают ось ординат.



***Рисунок 6.***

На ***рисунке 6*** приведена принципиальная схема стенда для снятия вольт-амперных характеристик транзистора, включенного с ОЭ. Входная цепь (цепь базы) питается от регулируемого источника тока ***I*** положительной полярности, которой поддерживает заданной ток базы. Величина тока базы ***IБ***измеряется миллиамперметром ***РА1***. Напряжение между эмиттером и базой ***UБЭ*** измеряется внешним вольтметром. Напряжение на коллекторе устанавливается от регулируемого источника напряжения ***ЕК*.** Напряжение коллектора ***UКЭ***измеряется с помощью внешнего вольтметра. Для измерения коллекторного тока ***IК*** служит миллиамперметр ***РА2***.

При работе транзистора с коллекторной нагрузкой ***RК*** связь между коллекторным током ***IК***и напряжением на коллекторе ***UК***выражается уравнением нагрузочной характеристики:

Нагрузочная характеристика представляет прямую на семействе коллекторных характеристик транзистора (***рисунок 5, в***), пересекающуюся с осями координат ***ЕК/RК***и ***ЕК***соответственно.

Экспериментально нагрузочную характеристику можно снять посредством регулировки тока базы ***IБ***.

*Методика графического определения h–параметров транзистора.*

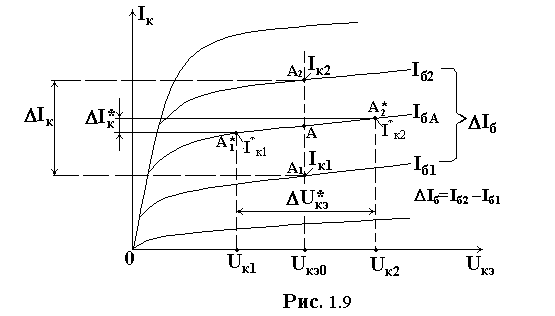
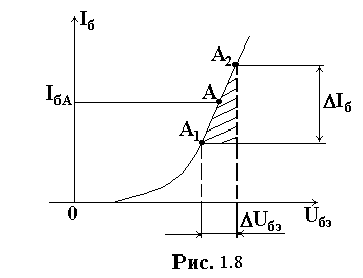
Располагая вольт–амперными характеристиками транзистора, можно графическим путем определить низкочастотные значения h-параметров. Для определения h-параметры необходимо задать рабочую точку, например ***А*** (***IБА, UКЭА***), в которой требуется найти параметры.

Параметры ***h11Э*** и ***h12Э*** находят по входной характеристики .

Определим ***h11Э*** для заданной рабочей точки ***А*** (***IБА, UКЭА***). На входной характеристике находим точку ***А***, соответствующую заданной рабочей точке (***рисунок 7***). Выбираем вблизи рабочей точки ***А*** две вспомогательные точки ***А1*** и ***А2***(приблизительно на одинаковом расстоянии), определим по ними ***∆UБЭ*** и ***∆IБ*** и рассчитаем входное дифференциальное сопротивление, по формуле:

Приращения ***∆UБЭ*** и ***∆IБ***выбирают так, чтобы не выходить за пределы линейного участка, их можно примерно принять за (10-20)% от значений рабочей точки.

Графическое определение параметра затруднено, так как семейство входных характеристик при различных ***∆UКЭ>0*** практически сливается в одну (***рисунок 7***).



***Рисунок 7. Рисунок 8.***

Параметры ***h22Э*** и ***h21Э*** определяются из семейства выходных характеристик транзистора ***IК=f1 (UКЭ)*** (***рисунок 8***).

Параметр находится в заданной рабочей точке ***А*** (***IБА, UКЭА***). Для нахождения приращений выбирают две вспомогательные точки ***А1*** и ***А2*** вблизи рабочей точки ***А*** при постоянном ***UКЭ =UКЭ0***. Приращение тока базы ***∆IБ*** следует брать, как ***∆IБ=IБ2 – IБ1***, где ***IБ2***и ***IБ1***определены как токи базы в точках ***А2*** и ***А1***. Этому приращению ***∆IБ***соответствует приращение коллекторного тока ***∆IК = IК2 – IК1***, где ***IК2***и ***IК1***.определены в точках ***А2*** и ***А1***. Тогда дифференциальный коэффициент передачи тока базы рассчитаем по формуле:

.

Параметр определяется по наклону выходной характеристики (***рисунок 8***) в заданной рабочей точке ***А*** (***IБА, UКЭА***), при постоянном токе базы ***IБ***. Для нахождения приращений выбирают две вспомогательные точки ***А\*1*** и ***А\*2*** . Для этих точек определяют ***∆U\*КЭ=UК2–UК1*** – приращение коллекторного напряжения, и приращение коллекторного тока ***∆I\*К=I\*К2–I\*К1***. При этом из семейства выходных характеристик следует выбирать ту характеристику, которая снята при выбранном значение тока базы ***IБ=IБА***.

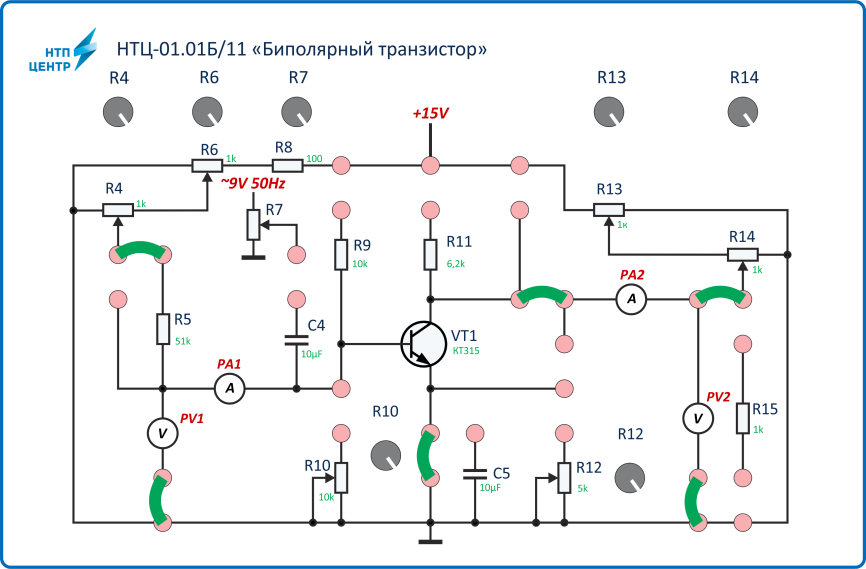
Если рабочая точка не совпадает ни с одной траекторией приведенной на графике, то такую траекторию надо провести самостоятельно, между и по аналогии с соседними значения тока базы которых известно, и присвоить ей свое значение тока базы равное ***IБА***.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляет биполярный транзистор?
2. Почему биполярный транзистор имеет такое название?
3. Какую роль в биполярном транзисторе играет база?
4. Как обозначаются на схемах pnp-транзисторы, npn-транзисторы?
5. Как называются выводы транзистора и что показывает стрелка эмиттера?
6. Опишите кратко принцип действия биполярного транзистора.
7. Что представляют из себя статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме ОЭ (общий эмиттер)

**Программа выполнения практической работы:**

* + 1. Перед включением стенда убедится, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
    2. Установить перемычку *НТЦ-01.01Б/11* «Биполярный транзистор» на лицевой панели стенда.
    3. Собрать схему, представленную на *рисунке 11*для определения статических характеристик биполярного транзистора.

**

*Рисунок 11.*

* + 1. Установить резисторы*R4*, *R6*, *R13*и*R14*в минимальное значение по часовой стрелке.
    2. Убедиться, что устройство защитного отключения *QF1* в блоке *БВ-01* включено.
    3. Подключить стенд к сети, нажав кнопку*S1* в блоке *БВ-01*.
    4. Включить питание измерительной системы тумблером *SA1* в блоке *БП-01*.
    5. В блоке индикации *БИ-01* при помощи *ЗадатчикаSA1* выбрать профиль отображения приборов *L11*. Для этого нажать на рукоятку *SA1* и дождаться мерцания буквы *L*, отпустить рукоятку и вращением влево или вправо выбрать значение *L11*, далее коротко нажать на рукоятку для того, чтобы завершить выбор профиля*.*
    6. Для снятия входных статических характеристик установить напряжение ***UКЭ=0В***. Для этого установить потенциометры ***R12*** и ***R12*** в минимум по часовой стрелке. Напряжение ***UКЭ*** контролировать по прибору ***PV2***.
    7. Увеличивая напряжение ***UБЭ*** от ***0*** до ***1,2 В*** снять ВАХ ***–IБ=f(UБЭ)***. Напряжение ***UБЭ*** контролировать по прибору ***PV1***, ток ***IБ*** по прибору ***PA1***. Регулировка напряжения ***UБЭ*** осуществляется резисторами ***R6*** грубо и ***R4*** точно. Данные занести в ***таблицу 1***.
    8. Повторить опыт при ***UКЭ=5*** и ***10 В***. Напряжение ***UКЭ*** устанавливается резисторами ***R13*** грубо и ***R14*** точно, контролируется по прибору ***PV2***. Данные занести в ***таблицу 1***.

*Таблица 1*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***UКЭ, В (PV1)*** | ***UКЭ=0 В (PV2)*** | ***UКЭ=5 В (PV2)*** | ***UКЭ=10 В (PV2)*** |
| ***IБ, мкА*** | | |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

* + 1. Установить резисторы ***R4***, ***R6***, ***R13*** и ***R14***в минимальное значение по часовой стрелке.
    2. Для Снятия выходных статических характеристик транзистора установить ток базы ***IБ=50мкА***. Установка тока базы ***IБ*** осуществляется резисторами ***R6*** грубо и ***R4***  точно. Контролировать ток базы ***IБ*** по прибору ***PA1***.
    3. Увеличивая напряжение ***UКЭ*** от ***0*** до ***10 В*** снять ВАХ ***–К=f(UКЭ)***. Напряжение ***UКЭ*** контролировать по прибору ***PV2***, ток ***IК*** по прибору ***PA2***. Регулировка напряжения ***UКЭ*** осуществляется резисторами ***R13*** грубо и ***R14*** точно. Данные занести в ***таблицу 2***.

*Таблица 2*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***UКЭ, В (PV2)*** | ***IБ=50мкА (PA1)*** | ***IБ=100мкА (PA1)*** | ***IБ=150мкА (PA1)*** | ***IБ=200мкА (PA1)*** |
| ***IК, мА*** | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

* + 1. Повторить опыт при ***IБ=100, 150*** и ***200 мкА***. Установка тока базы ***IБ*** осуществляется резисторами ***R13*** грубо и ***R14*** точно. Контролировать ток базы ***IБ*** по прибору ***PA1***. Данные занести в ***таблицу 2***.
    2. Выключить стенд в следующем порядке:
* Выключить блок питания тумблером*SA1 в блоке БП-01.*
* Отключить стенд от сети, нажав кнопку *S2* в блоке *БВ-01*.
* Убрать перемычки и сменную панель.
* Убедится, что все остальные переключатели в начальном состоянии.
  + 1. По результатам измерений построить графики семейства входных и выходных ВАХ.
    2. Определить входное сопротивление *RВХ* транзистора и коэффициент усиления по току β для рабочей точки и сравнить их с паспортными данными транзистора.
    3. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 3

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |

*Паспортные данные транзистора КТ315Б1*

Структура: n-p-n

Макс. напр. к-б при заданном обратном токе коллектора

и разомкнутой цепи эмиттера.(Uкбо макс),В20

Макс. напр. к-э при заданном токе коллектора

и заданном сопр. в цепи б-э.(Uкэr макс),В20

Максимально допустимый ток к ( Iкмакс,А)0.1

Статический коэффициент передачи тока h21э мин50

Граничная частота коэффициента передачи тока fгр,МГц250.00

Максимальная рассеиваемая мощность к (Рк,Вт)0.15

Корпус ТО-92

Лабораторная работа № 29

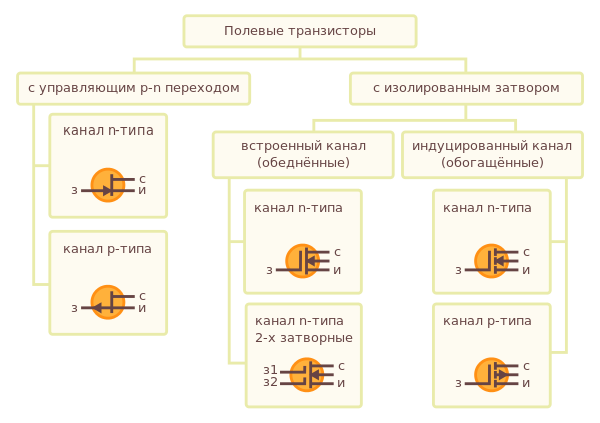
***Измерение параметров полевого транзистора***

**Цель работы**:Снятие и анализ входных и выходных характеристик полевого транзистора, определение соответствия параметров по его характеристикам.

**Теоретическое обоснование:** Полевой транзистор — [полупроводниковый](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA) прибор, в котором [ток](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA) изменяется в результате действия «перпендикулярного» току [электрического поля](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5), создаваемого напряжением на затворе.

Протекание в полевом транзисторе рабочего тока обусловлено носителями заряда только одного знака (электронами или [дырками](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%8B%D1%80%D0%BA%D0%B0)), поэтому такие приборы часто включают в более широкий класс ***униполярных*** электронных приборов (в отличие от биполярных).

По физической структуре и механизму работы полевые транзисторы условно делят на 2 группы. Первую образуют транзисторы с управляющим р-n переходом, или переходом металл — полупроводник ([барьер Шоттки](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%80%D1%8C%D0%B5%D1%80_%D0%A8%D0%BE%D1%82%D1%82%D0%BA%D0%B8)), вторую — транзисторы с управлением посредством изолированного электрода (затвора), так называемые транзисторы [МДП](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%9E%D0%9F_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0) (металл — диэлектрик — полупроводник).

[](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Field_effect_transistors_(ru).svg?uselang=ru)

Полевой транзистор с управляющим p-n переходом — это полевой транзистор, затвор которого изолирован (тоесть отделён в электрическом отношении) от канала [p-n переходом](http://ru.wikipedia.org/wiki/P-n_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4), смещённым в обратном направлении.

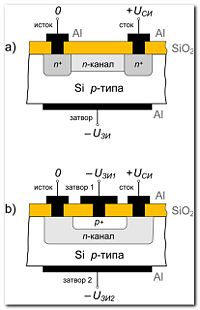
Такой транзистор имеет два невыпрямляющих [контакта](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82) к области, по которой проходит управляемый ток основных носителей заряда, и один или два управляющих электронно-дырочных перехода, смещённых в обратном направлении. При изменении обратного напряжения на p-n переходе изменяется его толщина и, следовательно, толщина области, по которой проходит управляемый ток основных носителей заряда. Область, толщина и поперечное сечение которой управляется внешним напряжением на управляющем p-n переходе и по которой проходит управляемый ток основных носителей, называют каналом. Электрод, из которого в канал входят основные носители заряда, называют истоком (Source). Электрод, через который из канала уходят основные носители заряда,называют стоком (Drain). Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют затвором (Gate).

[Проводимость](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) канала может быть как n-, так и p-типа. Поэтому по типу проводимости канала различают полевые транзисторы с n-каналом и р-каналом. Полярность напряжений смещения, подаваемых на электроды транзисторов с n- и с p-каналом, противоположны.

Управление током стока, то есть током от внешнего относительно мощного источника питания в цепи нагрузки, происходит при изменении обратного напряжения на p-n переходе затвора (или на двух p-n переходах одновременно). В связи с незначительностью обратных токов p-n перехода мощность, необходимая для управления током стока и потребляемая от источника сигнала в цепи затвора, оказывается ничтожно малой.

Таким образом, полевой транзистор по принципу действия аналогичен вакуумному [триоду](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B4). Исток в полевом транзисторе подобен катоду вакуумного триода, затвор — сетке, сток — аноду. Но при этом полевой транзистор существенно отличается от вакуумного триода. Во-первых, для работы полевого транзистора не требуется подогрева катода. Во-вторых, любую из функций истока и стока может выполнять каждый из этих электродов транзистора. В-третьих, полевые транзисторы могут быть сделаны как с n-каналом, так и с p-каналом, что позволяет удачно сочетать эти два типа полевых транзисторов в схемах.

От биполярного транзистора полевой транзистор отличается, во-первых, принципом действия: в биполярном транзисторе управление выходным сигналом производится входным током, а в полевом транзисторе — входным напряжением или электрическим полем. Во-вторых, полевые транзисторы имеют значительно большие входные [сопротивления](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), что связано с обратным смещением p-n-перехода затвора в рассматриваемом типе полевых транзисторов. В-третьих, полевые транзисторы могут обладать низким уровнем [шума](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BC) (особенно на низких частотах), так как в полевых транзисторах не используется явление [инжекции неосновных носителей заряда](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) и канал полевого транзистора может быть отделён от поверхности полупроводникового кристалла. Процессы рекомбинации носителей в p-n переходе и в базе [биполярного транзистора](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80), а также генерационно-рекомбинационные процессы на поверхности кристалла полупроводника сопровождаются возникновением низкочастотных шумов.

[](http://traditio-ru.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Polevoy_transistor_s_p-n-perechodom.jpg)Устройство полевого транзистора с управляющим p-n переходом.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что собой представляет полевой транзистор?
2. Почему полевой транзистор называют униполярным электронным прибором (в отличие от биполярного)?
3. Какой электрод транзистора называют стоком?
4. Какой электрод транзистора называют истоком?
5. Какой электрод транзистора называют затвором?
6. Опишите кратко принцип действия биполярного транзистора.
7. Почему полевой транзистор по принципу действия сравнивают с вакуумным [триод](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B4)ом?
8. Чем отличается полевой транзистор от биполярного?

**Программа выполнения практической работы:**

1. Используя компоненты пакета прикладных программ **Multisim**,выберете компоненты (выбрать любой транзистор) и расположите их в соответствии с рисунком 1;
2. Проведите соединения этих элементов, и установите значения их номиналов, руководствуясь правилами **Mulnisim**ирисунком 1;

Рисунок 1.Схема исследования входных и выходных характеристик полевого транзистора.



1. Двойным щелчком левой кнопки мыши попеременно на каждом источнике напряжения постоянного тока **V1** и**V2** открыть их свойства и на вкладке параметры установить напряжение в соответствии с таблицами 1 и 2;
2. Включите виртуальную схему **Multisim**, прочитайте показание прибора и занесите его в соответствующие ячейки табл. 1 и 2;
3. После каждого опыта следует верхней правой кнопкой виртуальную схему ElectronicsWorkbench отключать перед изменением любого параметра схемы;

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Напряжение затвор-исток UЗИ, В | - 2 | - 1.9 | - 1.5 | - 1 | - 0.5 | - 0.1 | 0 |
| Ток стока IС, мкА |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Напряжение затвор-исток UЗИ, = 0 В | Напряжение сток-исток UСИ, В | 0 | 0,1 | 0,5 | 1 | 5 | 10 | 20 |
| Ток стока IС, мА |  |  |  |  |  |  |  |
| Напряжение затвор-исток UЗИ, = - 0.5 В | Напряжение сток-исток UСИ, В | 0 | 0,1 | 0,5 | 1 | 5 | 10 | 20 |
| Ток стока IС, мА |  |  |  |  |  |  |  |
| Напряжение затвор-исток UЗИ, = - 1 В | Напряжение сток-исток UСИ, В | 0 | 0,1 | 0,5 | 1 | 5 | 10 | 20 |
| Ток стока IС, мА |  |  |  |  |  |  |  |
| Напряжение затвор-исток UЗИ, = - 2 В | Напряжение сток-исток UСИ, В | 0 | 0,1 | 0,5 | 1 | 5 | 10 | 20 |
| Ток стока IС, мА |  |  |  |  |  |  |  |

1. Нарисовать входные (стокозатворные) характеристики полевого транзистора с соблюдением масштаба в соответствии с полученными данными табл. 1.
2. Нарисовать выходные (стоковые) характеристики полевого транзистора с соблюдением масштаба и в соответствии с полученными данными табл. 2.
3. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнено | | Защищено | | |
| Дата | Подпись преподавателя | Дата | Оценка | Подпись преподавателя |
|  |  |  |  |  |