

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
«РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ КОЛЛЕДЖ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ,
ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
(ГБПОУ РО «РКРИПТ»)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ (ЛАБОРАТОРНЫХ) РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

ОП.09 ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Специальность:

11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт
электронных приборов и устройств

Квалификация выпускника:


Специалист по электронным приборам и устройствам

Форма обучения: очная

Ростов-на-Дону
2023

СОГЛАСОВАНО


Начальник методического отдела


Н.В. Вострякова
«28» марта 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по учебно-методической работе


С.А. Будасова
«28» марта 2023 г.

ОДОБРЕНО

Цикловыми комиссиями радиоэлектроники

и технического обслуживания

радиоэлектронной техники

Пр. № 8 от «1» февраля 2023 г.

Председатель ЦК


В.Ю. Махно

Методические указания по выполнению практических (лабораторных) работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.09 Электрорадиоизмерения для специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств.

Разработчик(и):

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Ростовской области «Ростовский-на-Дону колледж радиоэлектроники, информационных и промышленных технологий»

Рецензенты:

Колесников Е.Э. – преподаватель первой квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ»

Маскаев Е.Н. – главный конструктор АО «Алмаз»

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Лабораторная работа №1 «Изучение технического описания и органов управления генераторов низкой и высокой частоты».	8
2. Лабораторная работа №2 «Изучение технического описания и органов настройки и регулировки импульсного генератора»	11
3. Лабораторная работа №3 . Измерение напряжения и тока в электрических цепях комбинированным прибором (мультиметром)»	18
4. Лабораторная работа №4 «Измерение мощности в цепи с включённой нагрузкой (выполняется на ЭВМ с применением программы Multisim)»	22
5. Лабораторная работа №.5 «Изучение техники осциллографических измерений. Измерение напряжения (амплитуды электрического сигнала) с помощью осциллографа»	25
6. Лабораторная работа №6 «Измерение периода и частоты гармонического сигнала с помощью осциллографа»	29
7. Лабораторная работа №7 «Изучение органов управления двухлучевого осциллографа и режимов работы каналов»	34
8. Лабораторная работа №8 «Измерение временных интервалов осциллографом, определение погрешностей измерения»	37
9. Лабораторная работа №9 «Измерение частоты сигнала частотомером, определение погрешностей измерений»	40
10. Лабораторная работа №10 «Измерение сдвига фаз двух электрических гармонических сигналов двухлучевым осциллографом»	43
11. Лабораторная работа №11 «Исследование спектров сигналов»	47
12. Лабораторная работа №12 «Измерение параметров полупроводниковых приборов»	56
Список используемой литературы	61

Введение

Лабораторные занятия по учебной дисциплине ОП.09 «Электрорадиоизмерения» составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки и направлены на подтверждение теоретических положений и формирование практических умений и практического опыта:

- пользоваться контрольно-испытательной и измерительной аппаратурой;
- измерять с заданной точностью различные электрические и радиотехнические величины.

Лабораторные занятия относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами лабораторных работ направлено:

- на обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;
- формирование умений применять полученные знания на практике;
- реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений (аналитических, проектировочных, конструкторских и др.) у будущих специалистов;
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных (решать задачи по математике, физике, химии, информатике и др.), необходимых в последующей учебной деятельности.

Содержанием лабораторных работ по дисциплине являются экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения экспериментов, установление свойств веществ, их качественных и количественных характеристик, наблюдение развития явлений, процессов и др. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками,

лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Содержанием практических занятий по дисциплине / являются решение разного рода задач, в том числе профессиональных (анализ производственных ситуаций, решение ситуационных производственных задач, выполнение профессиональных функций в деловых играх и т.п.), выполнение вычислений, расчетов, чертежей, работа с измерительными приборами, оборудованием, аппаратурой, работа с нормативными документами, инструктивными материалами, справочниками, составление проектной, плановой и другой технической и специальной документации и другое.

Содержание лабораторных занятий охватывают весь круг профессиональных умений, на подготовку к которым ориентирована данная дисциплина, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются в процессе курсового проектирования, практикой по профилю специальности и преддипломной практикой.

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных учебных лабораториях. Практическое занятие должно проводиться в учебных кабинетах или специально оборудованных помещениях (площадках). Продолжительность занятия – не менее 2-х академических часов. Необходимыми структурными элементами занятия, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения работы.

Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.

Выполнению лабораторных и практических работ предшествует проверка знаний студентов, их теоретической готовности к выполнению задания.

Лабораторные и практические работы студенты выполняют под руководством преподавателя. При проведении лабораторных и практических занятий учебная группа может делиться на подгруппы численностью не менее 8 человек. Объем заданий для лабораторных и практических занятий спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством студентов.

Формы организации работы обучающихся на лабораторных работах занятия: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу. При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек. При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Отчет по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практической, лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме доклада обучающегося по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Оценки за выполнение лабораторных работ занятий могут выставляться по пятибалльной системе или в форме зачета и учитываться как показатели текущей успеваемости студентов.

Критерии оценки лабораторных работ.

Оценка «5» ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; соблюдает требования правил безопасности труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ погрешностей.

Оценка «4» ставится, если выполнены требования к оценке «5», но было допущено два - три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.

Оценка «3» ставится, если работа выполнена не полностью, н
о
объем
выполненной части таков, позволяет получить правильные результаты и выводы: если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки.

Оценка «2» ставится, если работа выполнена не полностью и
объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №1

Изучение технического описания и органов управления генераторов низкой и высокой частоты

1. Цель работы

Научиться работать с измерительным генератором ВЧ диапазона и измерять погрешности установки его выходного напряжения и частоты.

2. Перечень используемого оборудования

- 2.1 Генератор
- 2.2 Вольтметр цифровой В7-35
- 2.3 Частотомер Ч 3-64
- 2.4 Нагрузка 50 Ом
- 2.5 Питающие и измерительные кабели
- 2.6 Описания к приборам

3. Краткие теоретические сведения

Устройство генератора ВЧ и методику работы с ним см. Б.П. Хромой и Ю.Г. Моисеев «Электрорадиоизмерения», М., Радио и связь, 1985, стр. 117-125 и в описания к прибору.

4. Порядок выполнения работы

- 3.1 Заземлить корпуса приборов и включить приборы в сеть.
- 3.2 Установить частоту генератора Г4-102-200 кГц
- 3.3 Подключить к выходному разъему « μV » согласованную нагрузку 50 Ом и с нагрузки сигнал подать на вход вольтметра В 7-35.
- 3.4 Устанавливать по шкале аттенюатора прибора Г4-102 выходное напряжение 0,05... 0,5 В и производить измерение напряжения вольтметром В 7-35. Результаты измерений заносить в табл. 1».

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Таблица 1.

U уст., В по Г 4-102	U изм., В по В 7-35	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность	
			%	дБ

Примечание: количество измерений – 10, напряжение выбирать произвольно.

3.5 Определить абсолютную и относительную погрешности установки выходного напряжения Г 4-102, приняв за действительные значения напряжения показания вольтметра В 7-35.

Относительная погрешность вычисляется по формуле:

$$\beta_{гБ} = 20 \lg \frac{I_{изм}}{I_{уст}}$$

Где $I_{изм}$ – измеренное значение напряжения

$I_{уст}$ – установленное значение напряжения

3.6 С выхода генератора Г 4-102 подать сигнал на вход «А» частотомера Ч 3-64. Произвести поверку двух диапазонов генератора Г4-102 (по указанию преподавателя). Для этого устанавливать **ВСЕ ОЦИФРОВАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ** указанных диапазонов и измерять частоту с помощью прибора ЧЗ-64.

Результаты измерений заносить в табл.2

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ

Таблица 2.

№№ Изм.	Установленное значение частоты, кГц	Измеренное значение частоты, кГц	Погрешности	
			Абсолютная кГц	Относительная %

3.7 Определить абсолютную и относительную погрешности установки частоты.

3.8 Сделать вывод о соответствии погрешности установки частоты и выходного напряжения генератора Г 4-102 требованиям ТУ на прибор.

6. Контрольные вопросы

5.1 Перечислите основные технические характеристики и начертите функциональную схему генератора Г 4-102.

5.2 Установите значение выходного напряжения и частоты указанной преподавателем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Изучение технического описания и органов настройки и регулировки импульсного генератора

1. 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.

2. Перечень используемого оборудования

- генератор импульсных сигналов Г5-54.

3. Краткие теоретические сведения

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](#) с глубокой [положительной обратной связью](#). 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](#), ждущие синхронизации), видам связи между усилительными элементами, способам регулировки длительности и частоты генерируемых импульсов и так далее.

Отнесение мультивибратора к классу [автогенераторов](#) оправдано лишь при автоколебательном режиме его работы. В ждущем режиме мультивибратор вырабатывает импульсы только тогда, когда на его вход поступают синхронизирующие сигналы. Режим [синхронизации](#) 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](#)) для автоколебательных мультивибраторов.

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

Блокинг-генератор — [генератор](#) с глубокой трансформаторной обратной связью, формирующий кратковременные (обычно около 1 мкс) [электрические](#) импульсы, повторяющиеся через сравнительно большие интервалы. Применяются в [радиотехнике](#) и в устройствах импульсной техники. Выполняются с использованием одного транзистора или одной лампы.

Блокинг-генератор представляет собой [релаксационную схему](#), содержащую усилительный элемент (например, [транзистор](#)), работающий в ключевом режиме, и трансформатор, осуществляющий положительную обратную связь. Достоинствами блокинг-генераторов являются сравнительная простота, возможность подключения нагрузки через трансформатор ([гальваническая развязка](#)), способность формировать мощные импульсы, близкие по форме к прямоугольным.

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

Рисунок 1

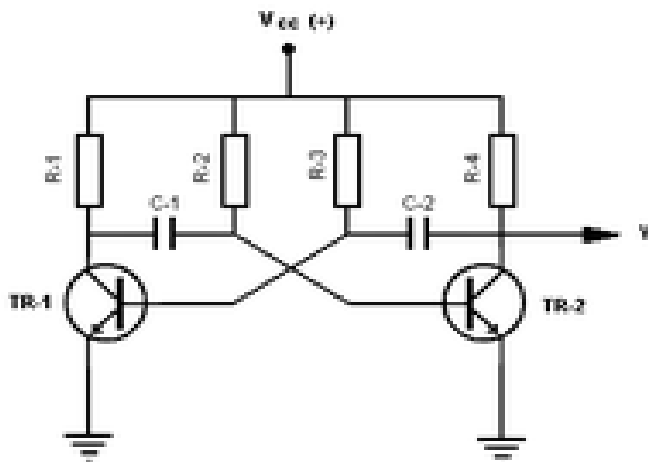
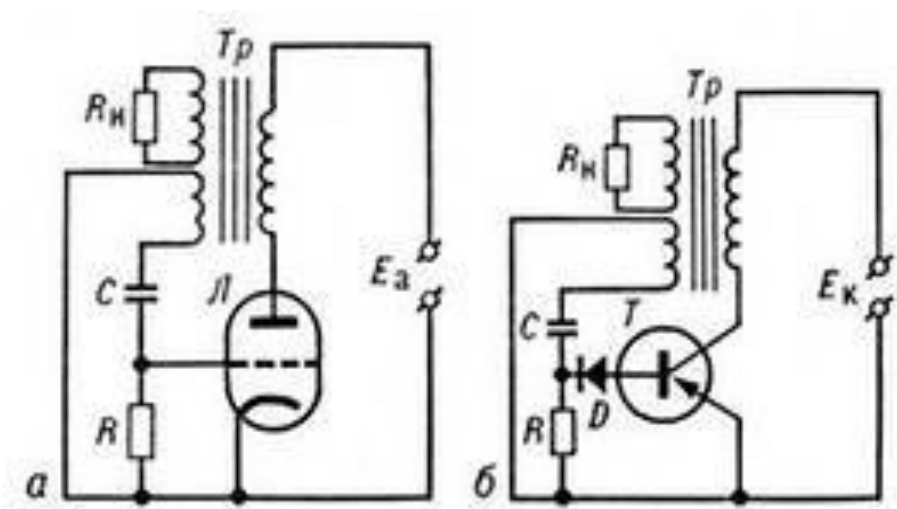


Рисунок 2



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.

4. Порядок выполнения 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

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. Временной сдвиг (задержка) выходного импульса относительно синхроимпульса регулируется плавно – ступенчато.

Назначение органов управления, настройки и подключения приведено в таблице.

Таблица.

Обозначение	Назначение
1. Тумблер "СЕТЬ"	Включение питающего напряжения
2. Группа кнопок "ЗАПУСК"	Управления запуском генератора
Нажата кнопка \lrcorner \lrcorner	Запуск внешним отрицательным импульсом
Нажата кнопка \hat{u} \lrcorner	Запуск внешним положительным импульсом или синусоидальным сигналом
При нажатии кнопки "("	Разовый (ручной) запуск
При нажатой верхней кнопке	Внутренний запуск
3. Группа кнопок и шкальное устройство "ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ"	Ступенчатая и плавная регулировка частоты повторения выходных импульсов
4. Группа кнопок и шкальное	Ступенчатая и плавная регулировка задержки выходного импульса относительно синхроимпульса.

устройство "ВРЕМЕННОЙ СДВИГ"	Ступенчатая и плавная регулировка длительности выходных импульсов
5. Группа кнопок и шкальное устройство "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ"	Ступенчатая и плавная регулировка амплитуды выходных импульсов
6. Группа кнопок регулировки выхода, гнезда 1:100, 1:10, 1:1, ручка "АМПЛ"	Установка полярности выходных импульсов
7. Группа кнопок "_ □ □ _ "] _ [

Подготовка к проведению измерений.

i. Убедиться 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 $_ \square \square _$, $\square _ \square$ 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. Выставьте тумблером "" необходимую полярность и ручкой "АМПЛ" (синхроимпульсы), необходимую амплитуду синхроимпульсов.

5. Контрольные вопросы

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 типами 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?

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №3

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

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

2. Перечень используемого оборудования

1. Блок питания БП-30 шт.	- 1
2. Цифровой или аналоговый (тестер) мультиметр шт.	- 1
3. Амперметр стендовый магнитоэлектрический шт.	- 1
4. Резисторы с переменным сопротивлением от 0 до 220 Ом шт.	- 3

3. Краткие теоретические сведения

Мультиметр (от англ. *multimeter*, **тестер** — от англ. *test* — испытание, **авометр** — от АмперВольтОмМетр) — комбинированный электроизмерительный прибор, объединяющий в себе несколько функций. В минимальном наборе это вольтметр, амперметр и омметр. Существуют цифровые и аналоговые мультиметры.

Мультиметр может быть как лёгким переносным устройством, используемым для базовых измерений 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 $\pm 0,2 - 0,3 \%$. 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 измерительного прибора, набора добавочных резисторов для измерения напряжения и набора шунтов для измерения тока. Измерение сопротивления производится с использованием встроенного или от внешнего источника.

Основные режимы измерений:

- ACV (англ. *alternating current voltage* — напряжение переменного тока) — измерение переменного напряжения.
- DCV (англ. *direct current voltage* — напряжение постоянного тока) — измерение постоянного напряжения.
- DCA (англ. *direct current amperage* — сила тока постоянного тока) — измерение постоянного тока.
- Ω — измерение электрического сопротивления.

Дополнительные функции:

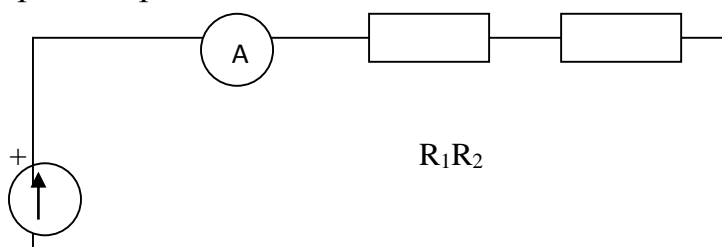
В некоторых мультиметрах доступны также функции:

- Прозвонка — измерение электрического сопротивления со звуковой (иногда и световой) сигнализацией низкого сопротивления цепи;
- Тестирование диодов;
- Тестирование транзисторов;
- Измерение электрической ёмкости;
- Измерение индуктивности (редко);
- Измерение температуры;
- Измерение частоты гармонического сигнала;
- Автоотключение питания;
- Автоматическое определение пределов измерения;
- Индикация перегрузки;
- Запись и хранение результатов измерений и др.

4. Порядок выполнения работы

1) Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.

2) Используя источник питания БП-30 и переменные резисторы R_1 , R_2 , и R_3 , собрать электрическую схему последовательного соединения резисторов на стенде



Е БП-30

R₃

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

Таблица 1.

№ п/п	Измерено					Вычислено			
	E	I	U ₁	U ₂	U ₃	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃
	B	A	B	B	B	Ом	Ом	Ом	Ом
1									
2									
3									
4									

Формулы для вычисления

$$R_3 = \frac{E}{I}; \quad R_1 = \frac{U_1}{I}; \quad R_2 = \frac{U_2}{I}; \quad R_3 = \frac{U_3}{I}.$$

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

Таблица 2

Выполнено		Защищено		
Дата	Подпись преподавателя	Дата	Оценка	Подпись преподавателя

5. Контрольные вопросы

- 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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Измерение мощности в цепи с включённой нагрузкой (выполняется на ЭВМ с применением программы Multisim)

1. 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.

2. Перечень используемого оборудования

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

3. Краткие теоретические сведения

Мощность в цепях постоянного тока можно измерять косвенным методом по показаниям вольтметра и амперметра. Тогда действительное значение мощности, потребляемой нагрузкой, вычисляют по формуле: $P_H = U_H I_H$. В этой формуле P_H , U_H , I_H – 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 (P_A).

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 (P_V).

Недостатком такого метода является необходимость вычислений после каждого измерения тока или напряжения. Кроме того, этим методом

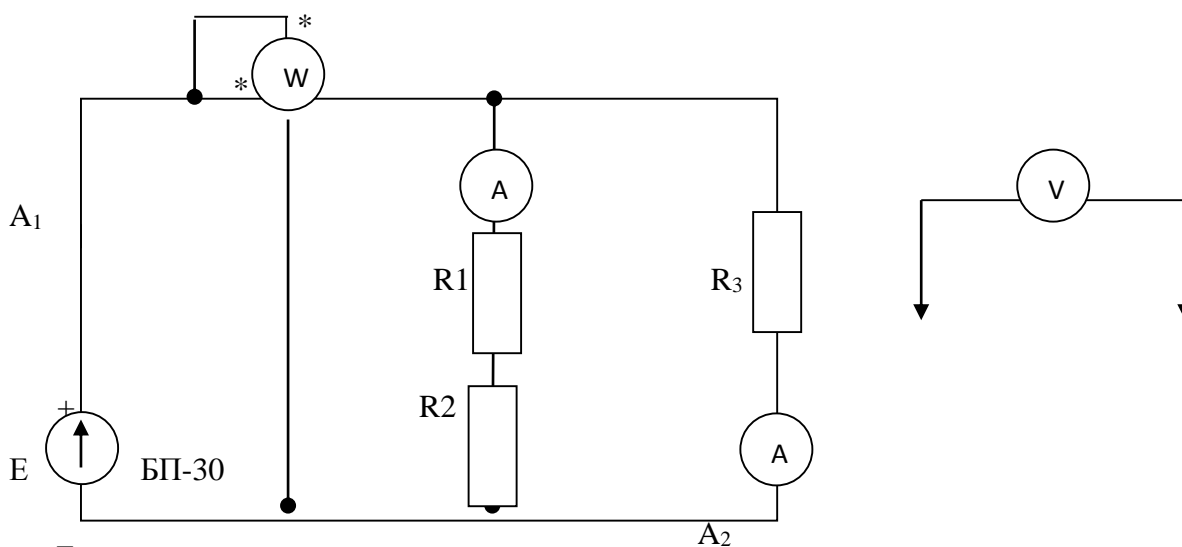
затруднительно пользоваться при изменяющихся значениях U и I из-за сложности одновременного отсчёта по двум приборам.

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.

4. Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомьтесь с измерительными приборами и их техническими данными.
- 2) Используя источник питания БП-30 и переменные резисторы R_1 , R_2 , и R_3 , собрать электрическую схему на стенде в соответствии с рисунком.



- 3) Установить величину ЭДС блока питания равную 20 В.

- 4) Измерить мощность всей цепи по показаниям ваттметра (W), токи в ветвях I (встроенный амперметр БП-30), I_1 (амперметр A_1), I_2 (амперметр A_2), а также падения напряжений на каждом из резисторов стендовым вольтметром магнитоэлектрической системы. Данные измерений занести в табл. 1.
- 5) Провести требуемые вычисления и данные вычислений занести в табл. 1.
- 6) Повторить дважды пункты 3, 4, 5 настоящей программы работ увеличивая ЭДС блока питания в пределах 20 – 30 вольт.

Таблица 1.

№ п/п	Измерено								Вычислено			
	E	I	I_1	I_2	P	U_1	U_2	U_3	P_1	P_2	P_3	P_{Σ}
	В	А	А	А	Вт	В	В	В	Вт	Вт	Вт	Вт
1												
2												
3												

Формулы для вычисления

$$P_1 = I_1 U_1; \quad P_2 = I_1 U_2; \quad P_3 = I_2 U_3; \quad P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3.$$

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

Таблица 2

Выполнено		Защищено		
Дата	Подпись преподавателя	Дата	Оценка	Подпись преподавателя

5. Контрольные вопросы

- 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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №.5

Изучение техники осциллографических измерений. Измерение напряжения (амплитуды электрического сигнала) с помощью осциллографа

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

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

2. Перечень используемого оборудования

1. осциллограф-мультиметр С1-112А - 1 шт.
2. генератор сигналов низкочастотных ГЗ-120 - 1 шт.

3. Краткие теоретические сведения

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.

4. Порядок выполнения работы

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 16 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора ГЗ-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 U_M
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 ($U_{ГМ}$) 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 генератора U_G и сравнить с показаниями осциллографа.
9. Используя данные пункт 2.6, приложения 1 к лабораторной работе № 2 «предел допускаемой основной приведенной погрешности ($\gamma_{пр}$) 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 ΔU_G .

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	U_M	U	U_Γ	$U_{\Gamma M}$	ΔU_Γ	ΔU
	-	-	В	В	В	В	В	В
1								
2								

Формулы для вычисления

$$U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}; \quad \Delta U_\Gamma = \frac{\gamma_{np} U_{\Gamma M}}{100}; \quad \Delta U = |U_M - U_\Gamma|$$

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

Таблица 2

Выполнено		Защищено		
Дата	Подпись преподавателя	Дата	Оценка	Подпись преподавателя

5. Контрольные вопросы

- 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?

б) В чём состоит преимущество осциллографа перед другими измерительными приборами наличием у осциллографа широкополосных усилителей?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Измерение периода и частоты гармонического сигнала с помощью осциллографа

1. Цель работы: приобретение навыков работы с осциллографом по исследованию непрерывных процессов.

2. Перечень используемого оборудования

1. Генератор НЧ ГЗ-112.
2. Осциллограф С1-65А.
3. Цифровой вольтметр.
4. Соединительные кабели.
5. Технические описания к приборам.

3. Краткие сведения из теории.

Осциллограф – прибор для наблюдения или регистрации электрических сигналов, а также для измерения их параметров. Основная функция осциллографа заключается в воспроизведении в графическом виде различных электрических колебаний (осциллограм), так как это принято в радиотехнике. Чаще всего с помощью осциллограмм наблюдается зависимость напряжения (тока) от времени $u(t)$ в декартовой системе координат. Ось X является осью времени, а по оси Y откладывается напряжение сигнала. Осциллограф позволяет осуществить измерение различных параметров сигнала, например амплитуды, длительности, частоты, глубины модуляции, фазового сдвига. Осциллографы делятся на электромеханические и электронные. Согласно ГОСТ 9810 – 69 осциллографы обозначаются буквой С. Следующая за ней цифра характеризует тип прибора:

С1 – универсальный; С7 – скоростной; С8 – запоминающий; С9 – специальный.

Частоту периодических колебаний можно легко измерить при наличии в осциллографе калиброванной развертки. Для этого измеряют

период колебаний, а затем, пользуясь формулой $f = 1/T$, вычисляют частоту.

При любом периоде (или соответственно частоте) развертки, т.е. при любой ее длительности, число периодов сигнала на длине шкалы (в сантиметрах или делениях) зависит от частоты исследуемого сигнала. Так, например, если осциллограф имеет длину шкалы на экране $l = 10\text{см}$, а коэффициент развертки выбран $0,1\text{ мкс/дел}$ (что соответствует длительности развертки 1 мкс или ее частоте 1 МГц), то на всей длине шкалы (на 10см) получится осциллограмма с изображением 6 периодов – частота исследуемого сигнала 6 МГц , 5 периодов – 5 МГц , 4 периода – 4 МГц и т.д. Это объясняется тем, что отношения периодов исследуемого сигнала и развертки соответственно равны $1:6$; $1:5$ и $1:4$.

В современных осциллографах при измерении *амплитуды* сигнала и его временных параметров применяют метод непосредственного отсчета по шкале на экране прибора. При этом методе перед измерением предварительно калибруют шкалу осциллографа по чувствительности и длительности развертки с помощью сигналов встроенного калибратора, а затем отсчитывают по ней амплитуду и временные параметры исследуемого сигнала. Поэтому иногда этот метод измерения называют *методом калиброванной чувствительности*.

Для получения неподвижной осциллограммы необходимо, чтобы в одном периоде развертки точно укладывалось целое число периодов сигнала. Выполнение этого условия обеспечивается *синхронизацией* генератора развертки исследуемым сигналом. При этом генератор развертки работает в непрерывном режиме, т.е. продолжает работу при отключении сигнала синхронизации.

4. Порядок выполнения работы

4.1 Собрать схему измерений, указанную на Рис. 1.

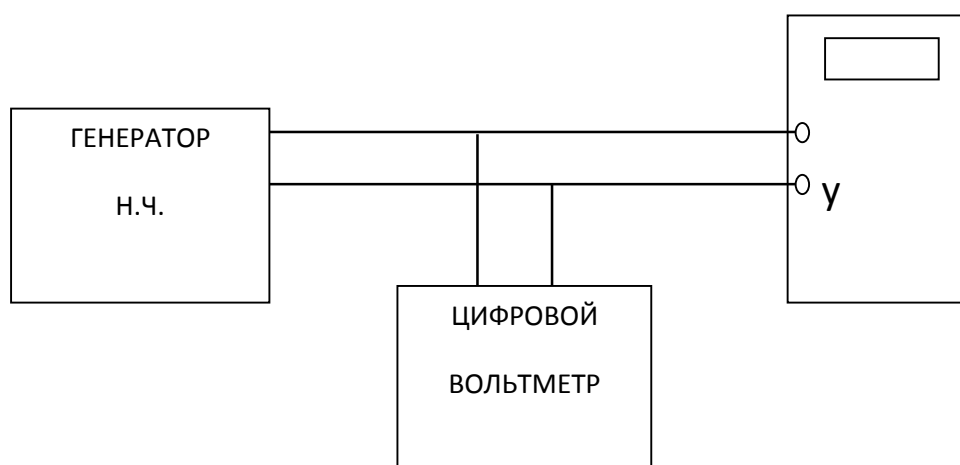


Рисунок 1.

4.2 Согласно описаниям к приборам, включить приборы в сеть и, используя цифровой вольтметр, установить выходное напряжение генератора 1В, а частоту 1000 Гц.

4.3 Получить на экране осциллографа устойчивое изображение, позволяющее получить наиболее точные результаты (сигнал должен занимать большую часть экрана)

4.4. После этого произвести измерение напряжения с помощью осциллографа.

4.6 Результаты измерений занести в табл.1. Устанавливая затем выходные напряжения генератора 2, 3, 4, 5В производить измерение напряжения с помощью осциллографа. Результаты измерений заносить в табл.1.

4.7 Электронный вольтметр показывает действующее значение синусоидального напряжения, а на экране осциллографа измеряется амплитудное его значение.

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФОМ

Таблица 1.

Установленное значение напряжения, В U	Измеренное значение напряжения, В U _m U		Погрешность	
			Абсолютная, В	Относительная, %
1				
2				
3				
4				
5				

4.8 По результатам измерений определить относительную и абсолютную погрешности. Относительную погрешность определять по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{U_{уст}} \cdot 100\%$$

где Δ – абсолютная погрешность, В;

$U_{уст}$ – установленное по вольтметру значение напряжения, В.

4.9 Разобраться и сделать вывод КАКИМ ИЗ ПРИБОРОВ – вольтметром или осциллографом измерения производятся точнее.

4.10 Установить выходное напряжение генератора – 2В. Произвести поверку установки частотной шкалы генератора в диапазонах «×10» и «×100». Для этого устанавливать ВСЕ оцифрованные значения частоты по шкале генератора в диапазонах «×10» и «×100» и измерять частоту по осциллографу. Результаты измерений и расчетов заносить в таблицу 2.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ

Таблица 2.

Диапазон	Установленное значение частоты, Гц	Измеренное значение		Абсолютная погрешность, Гц ΔF	Относительная погрешность, %	
		период а мс	частоты, Гц		Допуск по ТУ	Измеренное значение
×10	200					
	300					
	400					
	500					
	1000					
×100	2000					
	3000					
	4000					
	5000					
	10000					

4.11 По результатам измерений и расчетов сделать вывод о соответствии погрешности установки частоты генератора требованиям ТУ на прибор.

5. Содержание отчета

- 1) Наименование и цель работы.
- 2) Перечень используемого оборудования.
- 3) Результаты измерений (Табл. 1 и 2) и расчетов.
- 4) Выводы.

6. Контрольные вопросы

- 1) Как измерить частоту гармонических колебаний с помощью осциллографа?
- 2) Как измерить амплитуду гармонических колебаний с помощью осциллографа?
- 3) Какой вид развертки применяется в осциллографах при исследовании гармонических колебаний?
- 4) Необходимость синхронизации в осциллографе. Виды синхронизации.
- 5) Необходимость и назначение калибратора осциллографа. Уметь пользоваться калибратором.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Изучение органов управления двухлучевого осциллографа и режимов работы каналов

1. Цель работы: Изучение двухлучевого осциллографа и приобретение навыков работы с прибором.

2. Перечень используемого оборудования

- 1.1. Осциллограф С1-96;
- 1.2. Генератор низкой частоты Г 3-112;
- 1.3. Макет фазовращателя;
- 1.4. Питающие и измерительные кабели;
- 1.5. Технические описания к приборам С 1-96 и Г 3-112.

3. Краткие теоретические сведения

Осциллограф двухлучевой С1-96 предназначен для одновременного исследования и сопоставления формы двух электрических сигналов путём визуального наблюдения и фотографирования периодических и однократных сигналов, а также изменения временных интервалов от 0,8 мкс до 1 с (с растяжкой от 0,16 мкс) и амплитуд от 4 мВ до 400 В.

Осциллограф соответствует 2 классу точности ГОСТ 22737 - 77. Максимальная расчётная погрешность измерения амплитуды прямоугольных импульсов не превышает $\pm 4\%$, при работе с выносным делителем 1:10 не превышает $\pm 5\%$. Максимальная расчётная погрешность измерения временных интервалов не превышает $\pm 5\%$.

Схема такого осциллографа (С1-96) представлена на рисунке.

Исследуемые сигналы подаются на входы усилителей вертикального отклонения.

При помощи входных аттенюаторов, которые представляют собой компенсированные делители напряжения, устанавливают величину сигнала удобную для наблюдения на экране электронно-лучевой трубки.

Предварительные оконечные усилители вертикального отклонения усиливают сигналы до необходимой величины перед поступлением их на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Для обеспечения возможности наблюдения и исследования фронта импульсов в каналах вертикального отклонения используют линии задержки.

4. Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться со структурной схемой двухлучевого осциллографа С 1-96 и зарисовать её, определив назначение её узлов. (См. Техническое описание к прибору С 1-96).
- 2) Начертить переднюю панель (эскиз) осциллографа С 1-96 с указанием органов управления.
- 3) Из технического описания на прибор С 1-96 выписать основные технические характеристики осциллографа С 1-96.
- 4) Подготовить осциллограф С 1-96 к работе согласно Технического описания на прибор С 1-96.
- 5) Подавать последовательно на входы У1 и У2 осциллографа С 1-96 гармонический сигнал от генератора Г 3-112 частотой 1000 Гц и произвольным значением напряжения: получать неподвижное изображение на экране; определять амплитуду и частоту сигнала, поданные на входы У1 и У2
- 6) Результаты измерений занести в табл.1

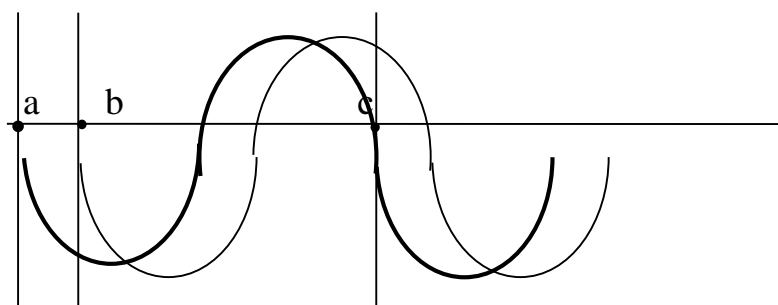
Таблица I. Измерение напряжения и частоты сигнала.

№ Изм.	Установленное значение частоты, Гц	Измеренные значения					
		Напряжение, В		Период, мс		Частота, Гц	
		У ₁	У ₂	У ₁	У ₂	У ₁	У ₂
1.	1000						
2.	2000						
3.	500						

- 7) Аналогично проделать измерения для частоты сигнала 2000 Гц и 500 Гц. Результаты измерений занести в табл.1 и сравнить измененные значения частоты с показаниями шкалы "Частота" генератора Г 3-1Х2.
- 8) Подать на вход фазовращателя сигнал с генератора Г 3-112 с частотой, указанной на фазовращателе.
- 9) С выхода фазовращателя подать напряжения на входы У1 и У2 осциллографа С 1-96 и определить фазовый сдвиг в двух любых положениях ручки фазовращателя по осциллографу методом "осциллограммы".

10) Сдвиг фаз методом "осциллограммы" определять по формуле:

$$\varphi = \frac{[ab]}{[ac]} \cdot 360^\circ,$$



где [ab] – сдвиг по фазе

[ac] – период колебания

Рисунок 1

5.. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Структурная схема осциллографа С 1-96.
3. Основные характеристики осциллографа С 1-96.
4. Эскиз передней панели осциллографа С 1-96
5. Результаты измерений частоты и напряжения /табл.1/
6. Значение угла сдвига фаз.
7. Вывод о возможностях двухлучевых осциллографов и о сравнении измеренных значений частоты с показаниями шкалы генератора Г 3-112.
- 8.

6. Контрольные вопросы

1. Из каких основных узлов состоит двухлучевой осциллограф, каково назначение каждого из них.
2. Приведите основные параметры, характеризующие осциллограф.
3. Укажите последовательность получения неподвижного изображения сигнала на экране осциллографа.
4. Какие измерения и как осуществляются на осциллографе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Измерение периода и частоты гармонического сигнала с помощью осциллографа-мультиметра

1. Цель работы: Измерить период и вычислить частоту гармонических электрических сигналов различной формы используя осциллограф *C1-112A* и генератор сигналов низкочастотных *ГЗ-120*.

2. Перечень используемого оборудования

- | | |
|---|---------|
| 1. осциллограф C1-112A | - 1 шт. |
| 2. генератор сигналов низкочастотных ГЗ-120 | - 2 шт. |

3. Краткие теоретические сведения

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 X.

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 становится 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 T 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 $f = \frac{1}{T}$.

4. Порядок выполнения работы

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 16 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора ГЗ-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 T 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	Вычисленно
	Период сигнала, изображённого на экране	Частота сигнала генератора
	(T)	(f)
	с	Гц

1		
2		
3		
4		

Формулы для вычисления

$$f_Y = 1/T$$

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

Таблица 2

Выполнено		Защищено		
Дата	Подпись преподавателя	Дата	Оценка	Подпись преподавателя

5. Контрольные вопросы

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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Измерение частоты сигнала частотомером, определение погрешностей измерений

1. Цель работы: Научиться измерять частоту и интервалы времени с помощью электронно-счетного частотомера и определять соответствие погрешностей установки частоты и временных интервалов генератора импульсов требованиям ТУ.

2. Перечень используемого оборудования

- 2.1 Частотомер электронно-счетный ЧЗ-63.
- 2.2 Генератор импульсов Г5-54.
- 2.3 Соединительные кабели.
- 2.4 Технические описания к приборам.

3. Краткие теоретические сведения

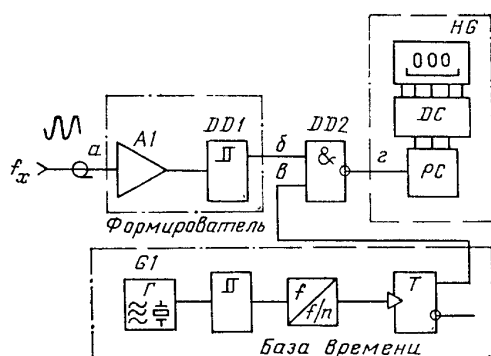
Принцип действия электронно-счетного частотомера основан на измерении частоты в соответствии с ее определением, т.е. на счете числа импульсов за интервал времени.

В цифровом (электронно-счетном) частотомере подсчитывается число импульсов N , соответствующее числу периодов неизвестной частоты f_x за известный высокоточный интервал времени, называемый временем измерения T_0 . Если за время T_0 подсчитано N импульсов, то среднее значение измеряемой частоты $f_x = N/T_0$.

При времени измерения $T_0 = 1$ с количество подсчитанных импульсов (периодов) N и есть значение измеряемой частоты (Гц), т.е. $f_x = N$.

Число импульсов, подсчитанных триггерным счетчиком, РС, преобразуется дешифратором ДС в код, поступающий на цифровое отсчетное устройство НО.

На упрощенной схеме не показано устройство управления, задающее режим работы частотомера, время начала отсчета, время индикации, сброса первоначального показания и т.п.

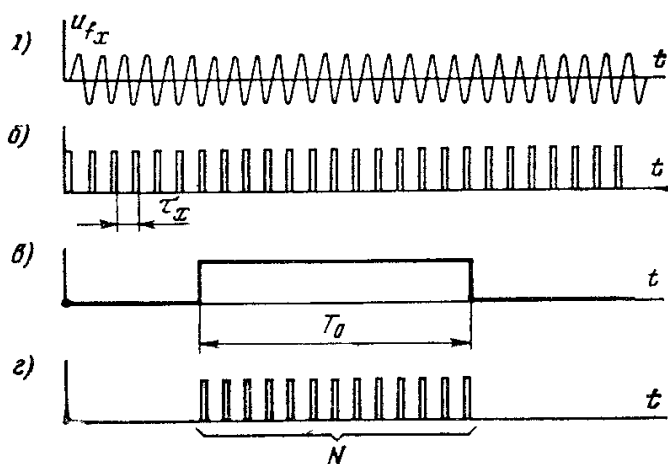


Максимальная систематическая погрешность измерения частоты таким методом (в процентах):

$\delta_1 = (\Delta T_0 / T_0 + \Delta N / N) 100$, где $\Delta T_0 / T_0$ – нестабильность временного интервала; $\Delta N / N$ – погрешность дискретности.

Нестабильность интервала равна относительной нестабильности частоты кварцевого генератора (в процентах):

$$\Delta T_0 / T_0 = \Delta N / N = \delta_{f_{кв}}$$



4. Порядок проведения работы

- 1) Получить задание у преподавателя;
- 2) Подготовить указанные в п.1 измерительные приборы согласно техническим описаниям;
- 3) Произвести измерение частоты следования импульсов согласно полученного задания. Результаты измерений внести в таблицу 1.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ СЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

Таблица 1

Установленное значение	Измеренное значение	Абсолютная погрешность,	Допуск по ТУ, кГц	Примечание

частоты, кГц	частоты, кГц	кГц		

4) Произвести измерение периода следования импульсов согласно полученного задания. Результаты измерений внести в таблицу 2.

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРИОДА СЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

Таблица 2

Установленное значение частоты, кГц	Установленное значение периода, мкс	Измеренное значение периода, мкс	Абсолютная погрешность, мкс	Допуск по ТУ, мкс	Примечание

5. Содержания отчета

- 1 Наименование и цель работы;
- 2 Перечень используемого оборудования;
- 3 Результаты измерений (табл. 1,2)
- 4 Вывод

6. Контрольные вопросы

- 1) Сущность измерения частоты методом дискретного счета;
- 2) Сущность измерения периода методом дискретного счета;
- 3) Из каких соображений следует выбирать при измерениях погрешность дискретности при измерениях частоты, периода?
- 4) Что понимают под основной погрешностью частотомера при измерении частоты, периода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

Измерение сдвига фаз двух электрических гармонических сигналов двухлучевым осциллографом

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

2. Перечень используемого оборудования

- | | |
|---------------------------------------|---------|
| 1. двухканальный осциллограф АСК-1021 | - 1 шт. |
| 2. генераторы сигналов низкочастотных | - 2 шт. |

3. Краткие теоретические сведения

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 $\cos \varphi$.

В диапазоне звуковых и более высоких частот измерение угла сдвига фаз необходимо для определения фазовых искажений в том или ином устройстве (усилителях, трансформаторах, 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 (T). Угол сдвига по фазе определяют по следующей формуле: $\varphi = \frac{t}{T} 360^\circ$.

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

2. **Метод эллипса** заключается в том, что одно из исследуемых напряжений подаётся на вход X, 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 ($2U_y$) и расстояние между точками пересечения эллипса с вертикальной линией градуированной сетки, накладываемой на экран трубки ($2u_y$). Либо определяют такие же расстояния по оси X ($2U_x$ и $2u_x$). Угол сдвига по фазе определяют и по следующим формулам: $\varphi = \arcsin \frac{2u_y}{2U_y}$ или $\varphi = \arcsin \frac{2u_x}{2U_x}$.

Для получения большей точности измерения необходимо добиться равенства расстояний $2U_x$ и $2U_y$.

Недостаток данного метода заключается в малой точности измерения угла φ , зависящей от его величины. При измерении фазового угла, близкого к 0° или 180° , погрешность измерений достигает $2^\circ - 3^\circ$, а если φ близко 90° или 270° – порядка 10° . Кроме того этот метод не определяет знак угла.

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

Одним из исследуемых напряжений (u_1) при помощи фазовращающей цепочки RC осуществляют круговую развёртку. Другое исследуемое напряжение (u_2) 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 α_2 , образующийся между горизонталью и диаметром получившейся полуокружности.

Затем вместо u_2 на формирующее устройство подают напряжение u_1 , которое после преобразования также поступает на модулятор трубки. Круговая развёртка при этом осуществляется прежним синусоидальным напряжением u_1 . В результате при наличии угла сдвига фаз между u_1 и u_2 дуга повернётся на угол φ . Аналогично измеряют угол α_1 . Угол сдвига фаз получают по формуле: $\varphi = \alpha_2 - \alpha_1$. Если движение светового пятна по

окружности происходит против часовой стрелки, то при $\alpha_1 > \alpha_2$, напряжение u_2 опережает u_1 . Точность измерения достигает $2^0 - 5^0$.

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

4. Порядок выполнения работы

1. Руководствуясь методическими указаниями к лабораторным работам № 2 и № 18 подключить генерируемый синусоидальный сигнал генератора ГЗ-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 X, 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 $2U_x$ и $2U_y$. По градуированной сетке экрана осциллографа определите величины $2u_x$, $2u_y$.

7. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1.

Измерено				Вычислено			
$2U_x$	$2U_y$	$2u_x$	$2u_y$	$\sin \varphi = \frac{2u_y}{2U_y}$	φ	$\sin \varphi = \frac{2u_x}{2U_x}$	φ

8. 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 № 10, выполняемой на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ ElectronicsWorkbench (Multisim):

1. Включите компьютер.
2. Запустите программу **Electronics Workbench (Multisim)**.
3. Используя компоненты пакета прикладных программ **Electronics Workbench Instruments** и **Sources**, выберите элемент **Oscilloscope** (осциллограф) и два элемента **AC Voltage Source** (источник переменного напряжения).
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 **X**, а другой в режим **Y** кнопками **A/B** или **B/A** (**Timebase** – слева внизу на расширенной модели осциллографа).
6. Добиться максимально возможного равенства расстояний $2U_x$ и $2U_y$. По градуированной сетке экрана осциллографа определите величины $2U_x$, $2U_y$, $2u_x$, $2u_y$.
7. Данные измерений и вычислений занести в табл. 1.
8. Правильность выполнения работы и расчетов определяется преподавателем при заполнении таблицы 2.

5. Контрольные вопросы

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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

Исследование спектров сигналов

1. Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства анализатора спектра последовательного типа и принципа работы основных его узлов; приобретение навыков по наблюдению спектров периодических сигналов различной формы, овладение техникой измерений спектральных составляющих исследуемых сигналов с помощью анализатора спектра последовательного типа.

2 Перечень используемого оборудования

- 1) Анализатора спектра С4-77
- 2) Генератора сигналов специальной формы Г6-33

3. Краткие теоретические сведения

Исследование формы сигнала с помощью осциллографа позволяет получить зависимость напряжения от времени. Спектральное представление детерминированного сигнала в виде совокупности его частотных составляющих дает более полную информацию о его форме и, дополнительно, о качестве радиотракта, через который этот сигнал прошел. Измерение спектра используется для количественной оценки искажений импульсных сигналов, нелинейности радиотехнических устройств и гармонических сигналов, параметров модулированных сигналов любого вида модуляции и для физических исследований.

Характеристики, описывающие свойства сигнала при частотном представлении, называют *спектральными*.

К ним относятся:

- 1 – *частотные спектры амплитуд и фаз* (наиболее полные характеристики);
 - 2 – *коэффициент гармоник*;
 - 3 – *коэффициент модуляции* (для амплитудно-модулированного сигнала);
 - 4 – *девиация частоты* (для частотно-модулированного сигнала);
 - 5 – *индекс угловой модуляции* (для модулированного по фазе сигнала);
 - 6 – *кепстр* (для регулярных стационарных случайных процессов) и др.
- Для периодических сигналов $u(t)$ справедливо следующее соотношение (рис. 1):

$$u(t) = u(t + nT),$$

где t – текущее значение времени ($-\infty \leq t \leq \infty$); n – произвольное целое число; T – фиксированное значение времени, называемое периодом.

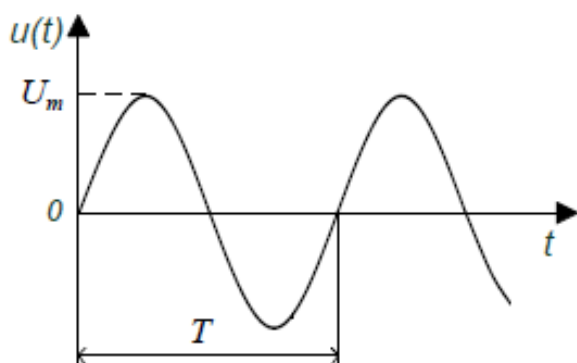


Рис.1. Изображение периодического сигнала

Реальные электрические сигналы можно считать периодическими только с определенной степенью приближения, так как все они ограничены во времени. Однако для упрощения анализа примем допущение об их периодичности. Простейшим периодическим сигналом является гармоническое колебание типа (рис.1)

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = U_m \cdot \sin(2\pi t / T + \varphi_0) = U_m \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_0),$$

где U_m – амплитуда колебания;

ω – круговая частота, рад/с;

f – частота, Гц;

φ_0 – начальная фаза;

$(\omega t + \varphi_0)$ – мгновенное значение фазы.

Совокупность амплитуд гармонических составляющих называется **амплитудным спектром** колебания. Амплитудный спектр графически представляют в прямоугольной системе координат, откладывая по оси ординат (y) амплитуду, а по оси абсцисс (x) – частоту соответствующей гармонической составляющей. В случае элементарного гармонического сигнала $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$ амплитудный спектр представляется единственной составляющей, амплитуда которой равна U_m , а частота – f или ω (рис.2).

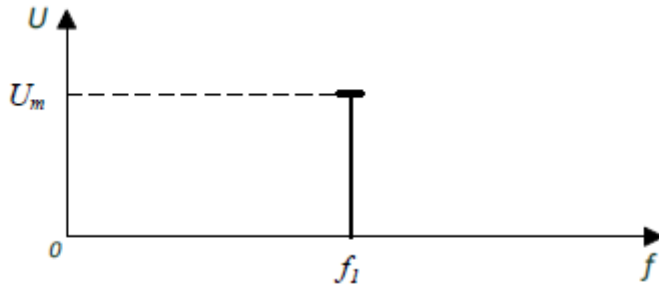


Рис.2. Амплитудный спектр гармонического сигнала

Периодические сигналы сложной формы (например, амплитудно- или частотно-модулированные) с помощью преобразования Фурье можно представить в виде суммы составляющих, меняющихся во времени по гармоническому закону. Совокупность гармоник составляет полный спектр сигнала:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot \exp(-j\omega t) dt.$$

Анализ спектра включает измерение как амплитуд гармоник – *спектр амплитуд*, так и их начальных фаз – *спектр фаз*. Однако для многих практических задач достаточно знать лишь спектр амплитуд. $S(\omega)$ – комплексная функция. Модуль этой функции и есть спектр амплитуд. Значение $|S(\omega)|$ выражает не непосредственную амплитуду, а спектральную плотность. Спектр периодического сигнала $u(t)$ – *линейчатый*. Для непериодических сигналов характерен *сплошной* спектр.

К *спектральным характеристикам*, используемым на практике, также относятся:

- *текущий спектр*;
- *мгновенный спектр*.

Реальные физические процессы исследуются в течение конечного интервала времени t . С учетом этого определяемый спектр может быть представлен в следующем виде:

$$S(\omega, t) = \int_0^t u(\tau) \cdot \exp(-j\omega \tau) d\tau.$$

Функция $S(\omega, t)$ является функцией не только частоты, но и времени и носит название *текущего спектра*. Это понятие важно для теории и техники анализа спектра. Дело в том, что периодичность процесса проявляется лишь

за достаточно большое время – по крайней мере, за несколько периодов. В течение же небольшой части периода характерные черты процесса вырисовываться не успевают. Спектр короткого отрезка процесса – сплошной, так как этот отрезок по существу является коротким импульсом. Переход к линейчатому спектру происходит лишь в пределе, когда $t \rightarrow \infty$ (строго теоретически); на практике длительность процесса оказывается достаточной при условии $t = nT$ ($n \gg 1$). Форма текущего спектра, в общем случае, отличается от истинного тем больше, чем меньше t .

Мгновенный спектр описывается функцией

$$S_T(\omega, t) = \int_{t-T}^t u(\tau) \cdot \exp(-j\omega\tau) d\tau$$

и определяется как спектр отрезка сигнала длительностью T , непосредственно предшествующего данному моменту времени t . Спектральной характеристикой стационарных случайных процессов (напряжения или тока) служит **спектральная плотность мощности $G_x(t)$** . Она выражает приходящуюся на единицу полосы частот среднюю мощность процесса. Изменение формы гармонического сигнала, возникающее в результате его прохождения через устройство, содержащее нелинейные элементы, называется **нелинейным искажением**. Искаженный негармонический сигнал содержит в своем спектре постоянную составляющую, первую гармонику (основную частоту f) и высшие гармоники с частотами $2f, 3f, \dots$

Степень нелинейного искажения гармонического сигнала характеризуется **коэффициентом гармоник K_2** , равным отношению среднеквадратического значения всех гармоник напряжения (или тока) искаженного сигнала, кроме первой, к среднеквадратическому значению напряжения (или тока) первой гармоники:

$$K_2 = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} = \frac{U_2}{U_1}$$

Коэффициент гармоник K_2 часто выражается в процентах. Нелинейные искажения сигнала любой формы оцениваются **коэффициентом нелинейности K_n** , который вычисляется по формуле

$$K_n = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} = \frac{U_2}{U_e}$$

(отношение среднеквадратического значения высших гармоник напряжения (или тока) к среднеквадратическому значению всех гармоник напряжения (или тока), т.е. к напряжению (или току) сигнала).

Коэффициенты гармоник и нелинейности связаны соотношением

$$K_2 = \frac{K_n}{\sqrt{1 - K_n^2}}.$$

Если искажения не очень велики ($K_2 < 0,1$), то коэффициенты K_2 и K_n отличаются мало (меньше чем на 1%).

4. Порядок выполнения работы

1) Изучить устройство и принцип работы анализатора спектра последовательного типа (см. п. 11.2.3), основные технические характеристики и назначение основных органов управления, контроля и присоединения анализатора спектра С4-77 (см. п. 11.3.2, п. 11.3.3).

2) Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе. При этом в исходном положении все приборы должны быть в выключенном состоянии. Каждый прибор готовится отдельно (в исходном положении выход генератора Г6-33 и вход анализатора спектра С4-77 не соединены).

3) У генератора Г6-33 тумблер «ОПОРН. ГЕН. ВНУТР.-ВНЕШ.» (расположен на задней панели) переключить в положение «ВНУТР». Остальные органы управления могут находиться в произвольном положении.

4) Включить генератор Г6-33 тумблером «СЕТЬ». При этом должны загореться индикаторы параметров на табло лицевой панели, указывающие следующие исходные значения: частоты « F » – 0 Гц; фазового сдвига « α » – 0; ослабления выходного напряжения первого канала (ВЫХОДА I) «VI» – 70 дБ; ослабления выходного напряжения второго канала (ВЫХОДА II) «VII» – 70 дБ; коэффициента заполнения прямоугольного сигнала « τ/T » (τ – длительность импульсов, T – период следования импульсов) третьего канала (ВЫХОДА III) – 0,1. При включении прибора индикаторы формы сигналов могут устанавливаться в произвольные состояния. □

5) Установить требуемый режим работы генератора Г6-33. Для этого ввести: заданную форму исследуемого сигнала (см. п. 11.5.6); заданное значение частоты « F », ослабление выходного сигнала на ВЫХОДЕ I «VI» – 10 дБ (при синусоидальной, треугольной и пилообразной формах сигнала),

коэффициент заполнения « τ/T » – 0,2 (при прямоугольной форме сигнала) – см. п. 7. Остальные параметры в работе не используются.

6) Для ввода заданной формы сигнала нажать соответствующую клавишу. При этом на табло должен загореться соответствующий световой индикатор.

7) Для ввода остальных параметров нажать клавиши в следующей последовательности: клавишу вводимого параметра (при этом на табло загорается буква **H** индикатора набора «НАБОР»); клавиши численного значения параметра (при этом на табло высвечивается набранное значение); клавишу «ВВОД» (при этом индикатор «НАБОР» гаснет);

8) У генератора Г6-33 ручку плавного регулирования выходного напряжения на ВЫХОДЕ I установить в крайнее правое положение (на максимальное значение).

Генератор Г6-33 готов к проведению работы.

9) Включить анализатор спектра С4-77 тумблером «СЕТЬ |». Прибор автоматически устанавливает органы управления в следующие положения (начальная установка):

- включены клавиши: «ОПТИМ», «АВТ», «100dB»;
- установлены значения:
 - полосы обзора – 200 kHz;
 - времени развертки – 0,2 s;
 - постоянной времени – 0,1 ms;
 - полосы пропускания – 3 kHz;

10). Проверить калибровку анализатора спектра С4-77. Для этого:

- ручкой «» установить умеренную яркость изображения;
- дискретный переключатель «Ат ВХ × 10dB» установить в положение «3» («30dB»);
- дискретный переключатель (отсчетный аттенюатор) «Ат ОТСЧЕТ – dB» установить в положение «0dB»;
- включить клавиши «КАЛИБР», «V» и тумблер «»;
- ручками «ЧАСТОТА ▼ » и «ЧАСТОТА ▼ ▼ » установить на табло «ЧАСТОТА kHz» частоту, равную 128 kHz;
- проверить совмещение вершины отклика на экране ЭЛТ с верхней горизонтальной линией масштабной сетки;
- выключить клавишу «КАЛИБР».

11) Произвести селекцию высоких уровней составляющих спектра (откликов) собственных шумов анализатора спектра С4-77:

- включить клавишу «100dB»;
- включить клавишу «МЕТКА»; на экране ЭЛТ должна появиться яркостная вертикальная линия (при необходимости воспользоваться ручкой «РУЧ»);
- вращая ручку «ЧАСТОТА » во всем диапазоне регулировки, вывести на рабочую часть экрана ЭЛТ отклики, имеющие относительно высокие уровни; вращая ручку «РУЧ» и совмещая светящуюся метку с положением вершин откликов, определить по показанию частотомера (световому табло «ЧАСТОТА kHz») частоту этих спектральных составляющих;
- зафиксировать частоты высоких уровней откликов собственных шумов, включая отклик с частотой 50 Гц, и занести их значения в протокол исследований.

12) Установить тумблер «600Ω/100kΩ» анализатора спектра С4-77 в положение «600Ω», соответствующее выходному сопротивлению генератора Г6-33.

Анализатор спектра С4-77 готов к проведению измерений.

13) Для измерения спектра исследуемого периодического сигнала по частоте и амплитуде:

- дискретный переключатель «Ат ВХ × 10dB» установить в положение «7» («70dB»);
- соединительный кабель подключить к ВЫХОДУ I (или ВЫХОДУ III, в зависимости от формы сигнала) генератора Г6-33 и к входу «» анализатора спектра С4-77;
- при помощи ручки «ЧАСТОТА » настроиться так, чтобы спектр исследуемого сигнала находился в пределах рабочей части экрана ЭЛТ;
- переключением клавиш «ПОЛОСА ОБЗОРА kHz» и клавиши множителя «×100» выбрать соответствующую полосу обзора;
- не допуская перегрузки (свечения индикатора «>>»), переключением ослабления входного аттенюатора «Ат ВХ × 10dB» установить вершину наибольшего отклика в верхней части масштабной сетки ЭЛТ;
- вращая ручку «РУЧ» и совмещая светящуюся метку с положением вершин основного и боковых откликов, определить по показанию частотомера частоты этих спектральных составляющих; результаты измерений частот $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ (где n – число откликов; f_1 – частота

основного отклика; f_2, f_3, \dots, f_n – частоты боковых откликов) занести в табл. 1;

Таблица 1

Результаты измерения и расчета спектра исследуемого сигнала по частоте и амплитуде

Частота, кГц	Измерение	f_1	f_2	f_3	...	f_n
	Расчет	f_{p1}	f_{p2}	f_{p3}	...	f_{pn}
Амплитуда, В (дВ)	Измерение	U_1	U_2	U_3	...	U_n
	Расчет	U_{p1}	U_{p2}	U_{p3}	...	U_{pn}

- определить уровень амплитуд напряжения основной (U_1) и боковых (U_2, U_3, \dots, U_n) спектральных составляющих исследуемого сигнала в абсолютных (см. п. 11.5.14) или относительных (см. п. 11.5.15) единицах; результаты измерений амплитуд $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$, соответствующих измеренным частотам $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$, занести в табл. 11.3;
- спектрограмму исследуемого сигнала сфотографировать (скопировать на кальку – наложением на экран ЭЛТ – или срисовать в масштабе на клетчатую бумагу).

5. Контрольные вопросы

- 1) Что называется спектром сигнала? Для чего используются спектры сигналов?
- 2) Какие характеристики называются спектральными? Назовите основные виды спектральных характеристик.
- 3) Какой математический аппарат используется для спектрального представления периодического сигнала?
- 4) Что включает в себя анализ спектра? Дайте определение спектра амплитуд, спектральной плотности.
- 5) Какую форму имеют спектры периодического, непериодического сигналов и короткого одиночного импульса?
- 6) Дайте понятие текущего и мгновенного спектров.

- 7) Что является спектральной характеристикой стационарных случайных процессов?
- 8) Дайте определения нелинейного искажения, коэффициентов гармоник и нелинейности. Как связаны аналитически коэффициенты гармоник и нелинейности?
- 9) Какой метод используется для экспериментального анализа спектра? Назовите основные способы его реализации. Какой из способов получил преимущественное распространение?
- 10) В чем заключается способ одновременного анализа? Назовите области его применения.
- 11) В чем заключается способ последовательного анализа? Назовите области его применения.
- 12) Общее устройство и принцип работы анализатора спектра последовательного типа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

Измерение параметров полупроводниковых приборов

1. Цель работы: Изучение технических характеристик, устройства и принципа работы характериографа в составе электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО) С1-122, приобретение навыков по исследованию вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов (ППП) и измерению по ВАХ их основных статических параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

1. Осциллограф универсальный С1-122А
2. Сменные адаптеры
3. Исследуемый ППП

3. Краткие теоретические сведения

В качестве простейшего характериографа для наблюдения ВАХ ППП можно использовать практически любой ЭЛО с дополнительной схемой сопряжения в соответствии с рис. 1.

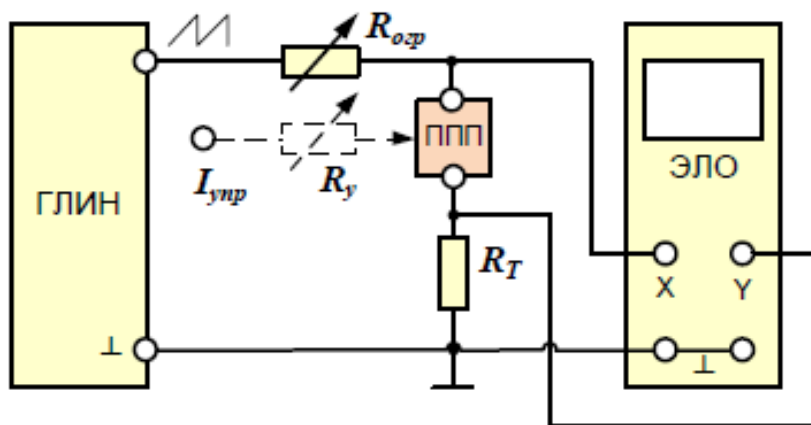


Рис. 1. Схема простейшего характериографа

ЭЛО используется в одноканальном режиме. Генератор развертки ЭЛО отключается, а электронный луч (светящаяся точка) перемещается либо в левый нижний, либо в правый верхний угол экрана ЭЛО в зависимости от полярности ветви ВАХ исследуемого ППП. **Генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН)** выступает одновременно в качестве источника однополярного напряжения питания для ППП и источника

развертывающего напряжения по оси X для ЭЛО. ГЛИН может быть отдельным устройством, как показано на рис. 12.1, либо встроенным узлом ЭЛО. Во втором случае используется отключенный генератор развертки, выходной разъем которого имеется на многих типах ЭЛО. С помощью **токоограничивающего резистора $R_{огр}$** и амплитудой напряжения ГЛИН задается диапазон изменения рабочего тока, через исследуемый ППП. Падение напряжения на ППП подается на вход X ЭЛО. Падение напряжения на **токосъемном резисторе RT** небольшой величины прямо пропорционально протекающему через ППП рабочему току и подается на вход Y ЭЛО. Для этого сопротивление резистора **RT** должно быть много меньше сопротивления ППП в открытом состоянии с целью наименьшей погрешности воспроизведения ВАХ. При этом минимальное значение сопротивления резистора **RT** (обычно единицы Ом) ограничено чувствительностью канала Y ЭЛО.

Для наблюдения ВАХ ППП в трехэлектродном включении (транзисторов, тиристоров и др.) используется дополнительный источник питания (на рис. 12.1 не показан) для задания управляющего тока **$I_{упр}$** . Последовательно устанавливая величину тока **$I_{упр}$** посредством изменения сопротивления токоограничивающих резисторов в цепи управления **R_y** , возможно последовательно получить семейство ВАХ исследуемого ППП.

Для проведения измерения статических параметров исследуемых ППП по полученной ВАХ необходима предварительная калибровка масштабных коэффициентов отклонения каналов X и Y (соответствуют положениям переключателей входных аттенюаторов ЭЛО). Результаты калибровки оформляются в виде специальной переводной таблицы для данного ЭЛО. Используя эту таблицу и метод калиброванных шкал, измеряют статические параметры ППП в соответствующих точках ВАХ. Для расширения функциональных возможностей характеристики графа, в частности для одновременного наблюдения семейства ВАХ трехэлектродных ППП и задания числа ВАХ в семействе, дополнительно используется **генератор ступенчатого напряжения (ГСН)**. Схема такого характеристики графа на примере исследования семейства ВАХ биполярного транзистора приведена на рис.2.

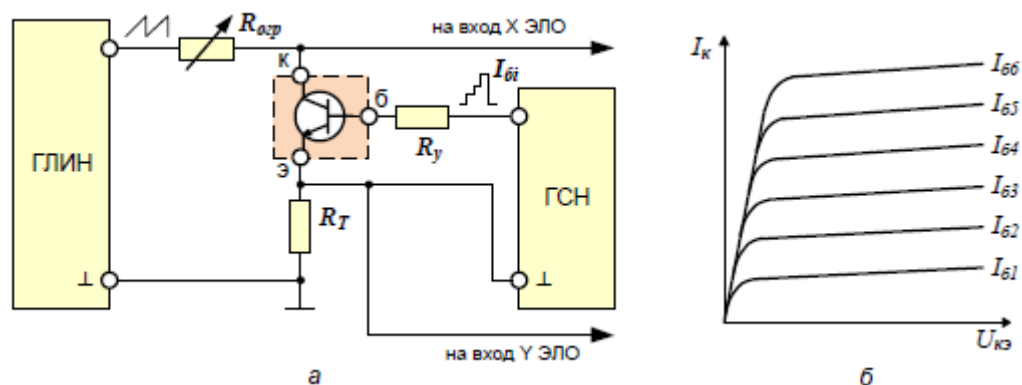


Рис.2. Схема для измерения ВАХ (а) и изображение семейства ВАХ на экране ЭЛО (б) биполярного транзистора

В схеме на рис.2 ток базы I_{bi} задается ГСН и резистором R_y . Временные параметры ступенчатого напряжения согласованы с периодом изменения напряжения ГЛИН таким образом, чтобы в течение каждого периода ГЛИН (на каждом ходе развертки) высвечивалась ВАХ, соответствующая одному значению тока базы I_{bi} (одной ступеньке). За счет частоты ГСН и развертывающего напряжения ГЛИН, выше частоты мелькания глаза, на экране ЭЛО воспроизводится семейство ВАХ биполярного транзистора, число характеристик в котором равняется количеству ступенек в одном периоде напряжения ГСН.

Для исследования ППП различного типа проводимости данная схема может содержать переключатель изменения полярности подключения ППП.

По данному принципу устроены специальные осциллографы (на-пример, С1-91, С1-122А и др.), в которых предусмотрены сменные блоки различного функционального назначения, в том числе и блок характернографа для измерения ВАХ различных типов ППП. Кроме этого, на аналогичных методах построены специализированные измерители ВАХ – характернографы (например, ПНХТ-1, ПНХТ-2, Л2-56, TR4805 (Венгрия) и др.).

4. Порядок выполнения работы

1. Получите у преподавателя заданный тип ППП в соответствии с табл.1.

Исходные данные

№ варианта	1	2	3	4
Тип ППП	стабилитрон	биполярный транзистор	полевой транзистор	тиристор

2. Изучите основные технические характеристики, устройство и принцип работы, назначение основных органов управления, контроля и присоединения базового и сменных блоков ЭЛО С1-122.
3. Изучите по справочнику конструкцию (цоколевку) и паспортные значения основных параметров (характеристик) исследуемого ППП.
4. Воспроизведите ВАХ (или семейство ВАХ) исследуемого ППП на экране ЭЛО С1-122. Проведите по полученной ВАХ осциллографические измерения методом калиброванных шкал основных статических параметров исследуемого ППП. Сфотографируйте ВАХ (или семейство ВАХ) (скопируйте на кальку или клетчатую бумагу).
5. Сравните основные параметры по исследованным ВАХ ППП с паспортными данными по справочнику.
6. Сформулируйте выводы о проделанной работе.

5. Контрольные вопросы

- 1) В чем состоит принцип схемного решения и работы характериографа на базе осциллографа (воспроизведения на экране ЭЛТ осциллограммы в виде ВАХ)?
- 2) Какую роль выполняют токоограничивающий $R_{огр}$ и токосъемный R_T резисторы? Какие требования предъявляются к величине токосъемного резистора?
- 3) Какой электронный узел в блок-схеме характериографа обеспечивает воспроизведение на экране ЭЛТ семейства ВАХ? Как согласованы временные параметры ступенчатого напряжения ГСН с периодом изменения развертывающего напряжения ГЛИН?
- 4) Назовите типы известных серийно выпускаемых характериографов.
- 5) Назначение всех органов управления, присоединения и индикации блока характериографа Я4С-92 в составе ЭЛО С1-122А.
- 6) Какую роль выполняют адаптеры? Каково назначение гнезда В в сочетании с гнездом А? В чем отличие изображений ВАХ при подключении исследуемого ППП к гнезду А и гнезду В?

7) Последовательность действий для воспроизведения на экране ЭЛТ ВАХ стабилитрона.

8) Последовательность действий для воспроизведения на экране ЭЛТ семейства выходных ВАХ БТ.

Список используемой литературы

1. Булгаков О.М. Теоретические основы, методы и техника электрорадиоизмерений : учебное пособие / Булгаков О.М., Четкин О.В.. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2023. — 158 с. — ISBN 978-5-4486-0117-0. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/70282.html> (дата обращения: 15.12.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/70282>
2. Булгаков, О. М. Электрорадиоизмерения : учебное пособие для СПО / О. М. Булгаков, О. В. Четкин. — Саратов : Профобразование, 2023. — 151 с. — ISBN 978-5-4488-1443-3. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/116620.html>
3. Волегов, А. С. Метрология и измерительная техника: электронные средства измерений электрических величин : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. С. Волегов, Д. С. Незнахин, Е. А. Степанова. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 103 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10717-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/456821>
4. Волегов, А. С. Метрология и измерительная техника: электронные средства измерений электрических величин : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. С. Волегов, Д. С. Незнахин, Е. А. Степанова. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 103 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10717-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/456821>
5. Данилин, А. А. Измерения в радиоэлектронике / А. А. Данилин, Н. С. Лавренко. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 408 с. — ISBN 978-5-507-45731-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/282365> .
6. Ким, К. К. Средства электрических измерений и их поверка : учебное пособие для спо / К. К. Ким, Г. Н. Анисимов, А. И. Чураков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 316 с. — ISBN 978-5-8114-6981-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153944>
7. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника. Лабораторный практикум : учебное пособие для среднего

профессионального образования / К. П. Латышенко, С. А. Гарелина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 186 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-07352-2. — URL : <https://urait.ru/bcode/452421>

8. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника. Лабораторный практикум : учебное пособие для среднего профессионального образования / К. П. Латышенко, С. А. Гарелина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 186 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-07352-2. — URL : <https://urait.ru/bcode/452421>

9. Угольников, А. В. Электрические измерения : практикум для СПО / А. В. Угольников. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-4488-0266-9, 978-5-4497-0025-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/82687>