

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «**Метрология, стандартизация и технические измерения**»
для студентов направления
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (Профиль)
Интеллектуальные программируемые системы и устройства

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Лабораторная работа 1 Обработка результатов измерений с использованием табличного процессора Excel

Лабораторная работа 2 Измерение активных сопротивлений прямым и косвенным методами

Лабораторная работа 3 Измерение сопротивления, емкости и индуктивности с помощью измерителя RLC E7-22. Статистическая обработка результатов измерений

Лабораторная работа 4 Исследование средств измерения напряжений

Лабораторная работа 5 Исследование универсального электронно-лучевого осциллографа

Лабораторная работа 6 Исследование генератора сигналов низкой частоты

Лабораторная работа 7 Исследование универсального электронно-счетного частотомера

Лабораторная работа 8 Исследование косвенного метода измерения мощности нагрузки

Лабораторная работа 9 Измерение затухания сигнала в линиях связи

Лабораторная работа 10 Исследование спектра основных видов сигналов

Лабораторная работа 11 Исследование виртуальных средств измерений

ВВЕДЕНИЕ

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель освоения дисциплины: формирование у студентов общепрофессиональных компетенций, направленных на самостоятельное проведение экспериментальных исследований и использование средств измерения, освоение основных приемов обработки и представления, полученных данных на основе существующих стандартов и иной нормативной документации

Задачи освоения дисциплины:

1. Систематизация фундаментальных знаний по теории электрических цепей и методов измерения параметров электрических сигналов.

2. Формирование системы знаний, умений и навыков по проведению всех видов измерений, организации и выполнению мероприятий по метрологическому обеспечению производственных процессов промышленной электроники;

3. Формирование представлений по осуществлению контроля соответствия разрабатываемых проектов и технической документации к требованиям, предъявляемыми национальными стандартами и нормативными документами, международными рекомендациями и техническими регламентами в области промышленной электроники.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных (ОПК-2)	ИД-5 _{ОПК-2} Демонстрирует знание методов и средств проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации	Демонстрирует отличные знание методов и средств проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации.
	ИД-6 _{ОПК-2} Выбирает способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования	Корректно выбирает способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования.
	ИД-7 _{ОПК-2} Применяет способы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений	Успешно применяет способы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.

Лабораторная работа №1

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА EXCEL

Цель: Исследование встроенных средств Excel для статистического анализа данных.

Учебные вопросы:

1. Теоретические сведения
2. Выполнение индивидуальных заданий по вариантам
3. Оформление отчета

1. Теоретические сведения

Метрология – наука об измерениях, об обеспечении их единства, о способах достижения требуемой точности, а также о методах и средствах достижения указанных целей. Единство измерений – это состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

В основе метрологии лежит теория статистического анализа данных, а одним из основных инструментальных средств обработки измерений является табличный процессор Excel.

Основными средствами анализа статистических данных в Excel являются *статистические процедуры* надстройки Пакет анализа (Analysis ToolPak) и *статистические функции* библиотеки встроенных функций. Основные сведения обо всех этих средствах имеются в электронной справочной системе Excel.

1.1 Статистические процедуры Пакета анализа

Наиболее развитыми средствами анализа данных являются статистические процедуры Пакета анализа. Они обладают большими возможностями, чем статистические функции. С их помощью можно решать более сложные задачи обработки статистических данных и выполнять более тонкий анализ этих данных.

В Пакет анализа входят следующие статистические процедуры:

1. генерация случайных чисел (Random number generation);
2. выборка (Sampling);
3. гистограмма (Histogram);
4. описательная статистика (Descriptive statistics);
5. ранги перцентиль (Rank and percentile);
6. двухвыборочный z-тест для средних (z-Test: Two Sample for Means);

7. двухвыборочный t-тест для средних с одинаковыми дисперсиями (t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances);
8. двухвыборочный t-тест для средних с различными дисперсиями (t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances);
9. парный двухвыборочный t-тест для средних (t-Test: Paired Two Sample for Means);
10. двухвыборочный F-тест для дисперсий (F-Test: Two Sample for Variances);
11. ковариация (Covariance);
12. корреляция (Correlation);
13. регрессия (Regression);
14. однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA: Single Factor);
15. двухфакторный дисперсионный анализ без повторений (ANOVA: Two Factor Without Replication);
16. двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями (ANOVA: Two Factor With Replication);
17. скользящее среднее (Moving Average);
18. экспоненциальное сглаживание (Exponential Smoothing);
19. анализ Фурье (Fourier Analysis).

Для доступа к процедурам Пакета анализа необходимо в меню Сервис (Tools) щелкнуть указателем мыши на строке Анализ данных (Data Analysis). Откроется диалоговое окно с соответствующим названием, в котором перечислены процедуры статистического анализа данных (рисунок 1).

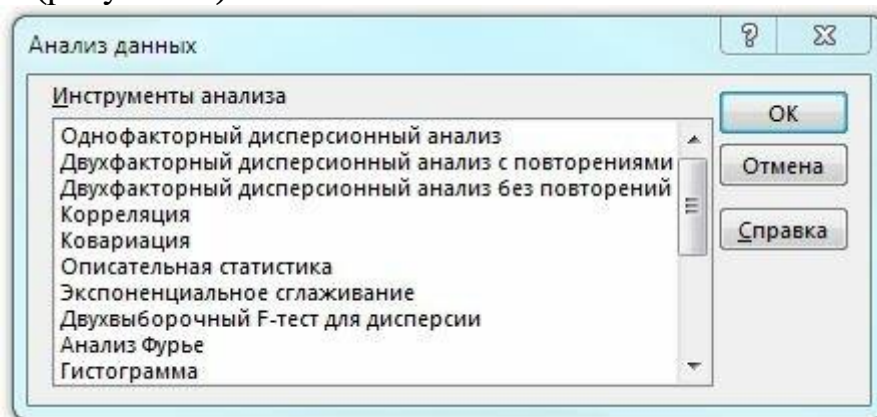


Рисунок 1- Диалоговое окно Анализ данных

Если Пакет анализа отсутствует необходимо выполнить настройку программы Excel как показано на рисунках 2 и 3. Для этого после нажатия кнопки “Office” в правом верхнем углу рабочего окна необходимо выбрать вкладку «Параметры Excel».

Прежде всего необходимо проверить установлена ли соответствующая надстройка «Анализ данных», а при наличии активной надстройки вынести на панель инструментов кнопку «Анализ» в раздел «Данные».

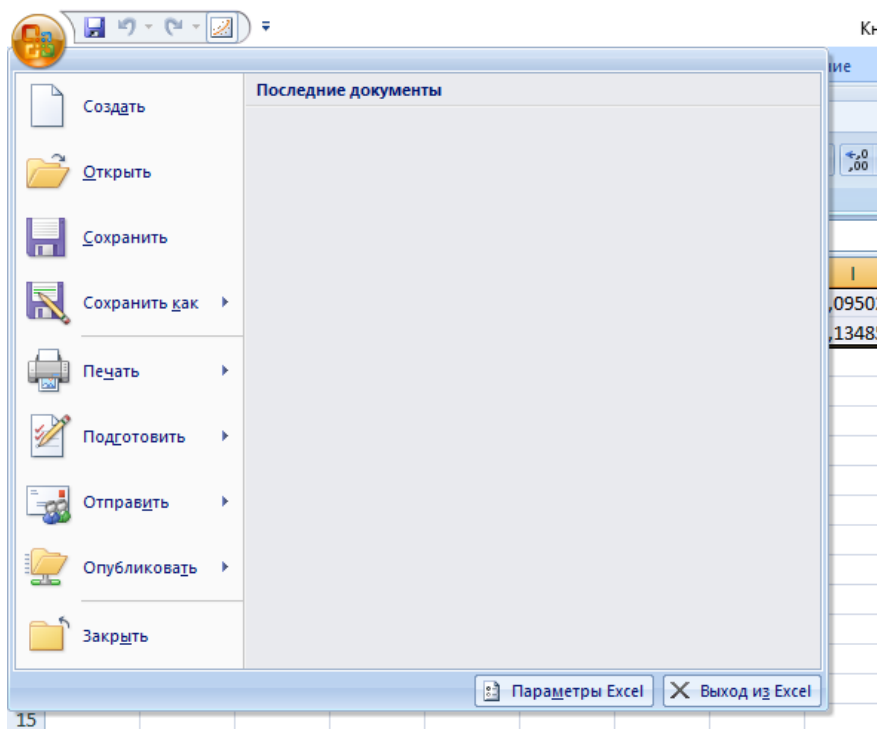


Рисунок 2- Окно, открывающееся после нажатия кнопки «Office»

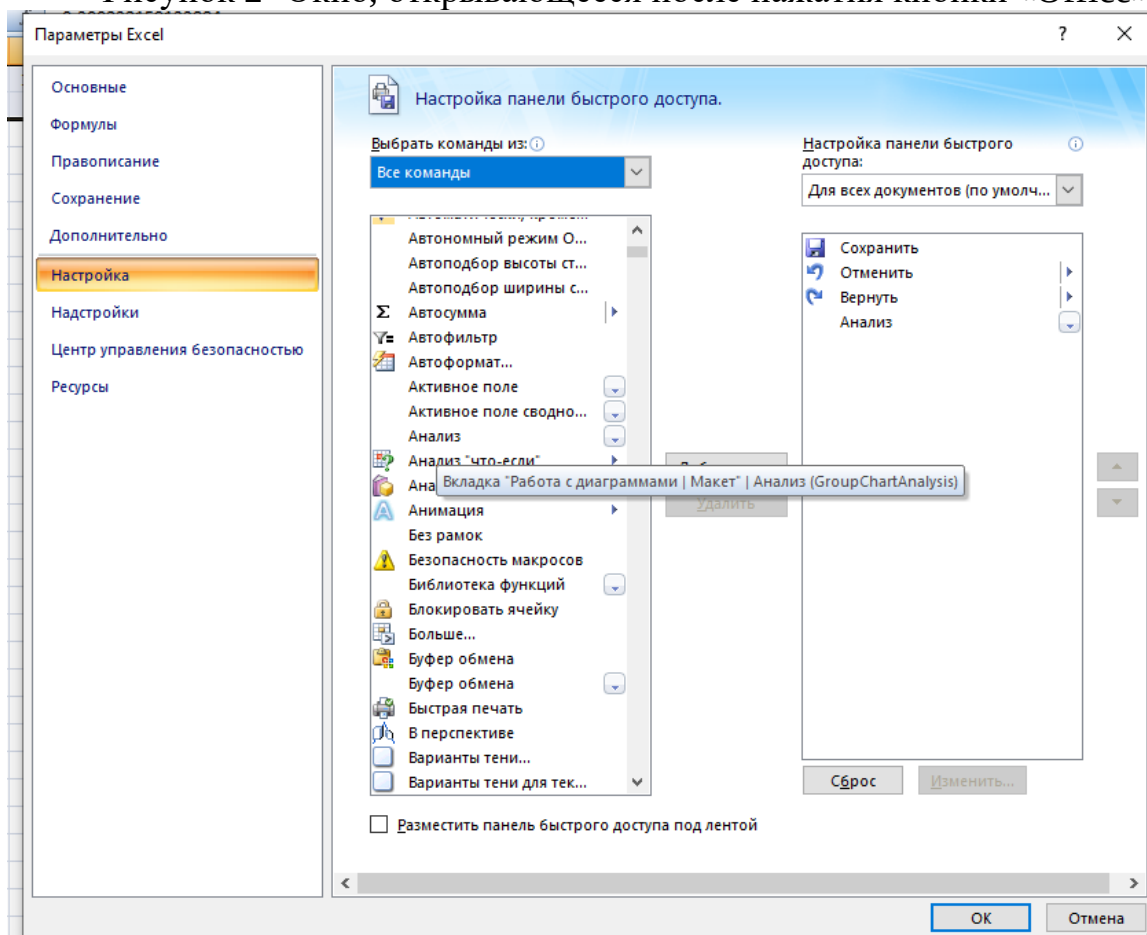


Рисунок 3- Добавление кнопки Анализ на панель инструментов

Для того чтобы запустить в работу нужную статистическую процедуру, нужно выделить ее указателем мыши и щелкнуть на кнопке ОК. На экране появится диалоговое окно вызванной процедуры. На рисунке 4 для примера

показано диалоговое окно процедуры Описательная статистика (Descriptive statistics).

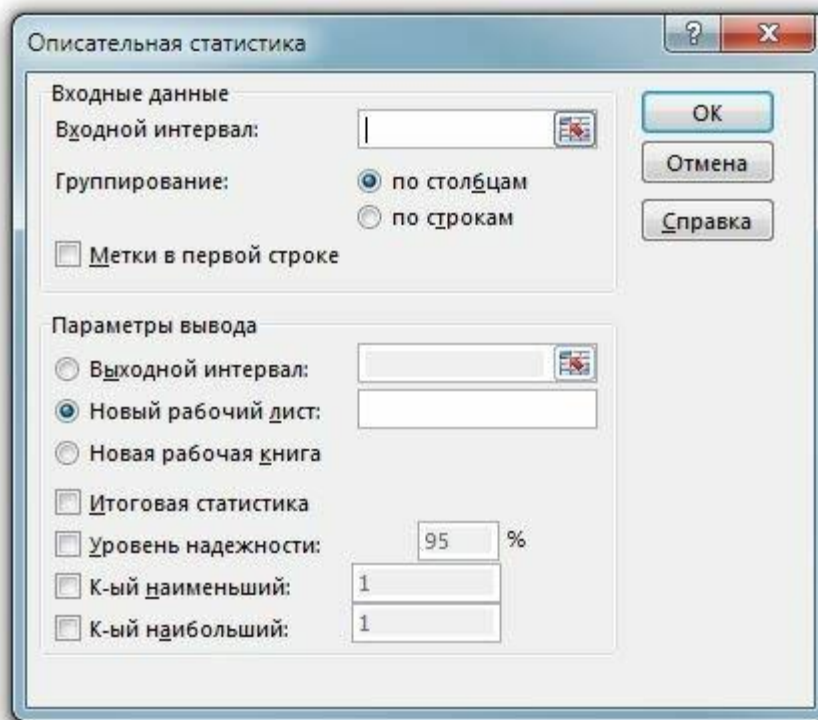


Рисунок 4 - Диалоговое окно процедуры Описательная статистика

Диалоговое окно каждой процедуры содержит элементы управления: поля ввода, раскрывающиеся списки, переключатели, флажки и т. п. Эти элементы позволяют задать нужные параметры используемой процедуры. Некоторые элементы управления имеют специфический характер, присущий одной процедуре или небольшой группе процедур. Назначение таких элементов управления будет рассмотрено при описании соответствующих процедур. Другие элементы управления присутствуют в диалоговых окнах почти всех статистических процедур.

К числу общих для большинства процедур элементов управления относятся:

- поле ввода Входной интервал (Input Range). В это поле вводится ссылка на диапазон, содержащий статистические данные, подлежащие обработке. Входной диапазон может быть столбцом или группой столбцов (строкой или группой строк);
- переключатель Группирование (Grouped By). В том случае, когда входной диапазон представляет собой столбец или группу столбцов, переключатель устанавливается в положение по столбцам (Columns). Если же входной диапазон представляет собой строку или группу строк, то переключатель устанавливается в положение по строкам (Rows). Более точным названием этого переключателя было бы название Расположение;
- флажок Метки (Labels in First Row). Флажок устанавливается в тех случаях, когда первая строка (первый столбец) входного диапазона содержит

заголовки. Если такие заголовки отсутствуют, флажок Метки не устанавливаются. При этом Excel автоматически создает и выводит на экран стандартные названия для данных выходного диапазона (Столбец1, Столбец2,... или Строка 1. Строка2,...);

- переключатели Выходной интервал/Новый рабочий лист/Новая книга (Output Range/New Worksheet/New Workbook). Эти переключатели определяют место вывода таблицы, содержащей результаты реализации статистической процедуры. В группе может быть выбран только один переключатель.

При выборе переключателя Выходной интервал таблица результатов решения выводится на тот же рабочий лист, на котором находятся исходные данные. Справа от переключателя открывается поле ввода, в которое надо ввести ссылку на левую верхнюю ячейку таблицы результатов. Если возникает опасность наложения таблицы результатов на уже заполненные ячейки, на экране появляется сообщение о такой опасности. В ответ на это сообщение пользователь должен разрешить удаление старых данных и вывод на их место новых.

В положении Новый рабочий лист открывается новый лист рабочей книги. На этот лист, начиная с ячейки A1, и выводится таблица результатов решения. Справа от переключателя имеется поле ввода, в которое в случае необходимости можно ввести имя нового рабочего листа. При выборе переключателя Новая рабочая книга открывается новая рабочая книга. На первый лист этой новой книги, начиная с ячейки A1, выводится таблица результатов решения.

Следует заметить, что результаты, получаемые с помощью статистических процедур Пакета анализа, не имеют постоянной связи с исходными данными — в случае изменения исходных данных результаты решения автоматически не изменяются. В том случае, когда необходимо получить результаты, автоматически изменяющиеся вместе с исходными данными, нужно использовать подходящие статистические функции библиотеки встроенных функций.

Эффективным и очень удобным в использовании средством парного регрессионного анализа и анализа временных рядов является процедура Добавить линию тренда (Add Trendline), входящая в комплекс графических средств Excel.

1.2 Статистические функции библиотеки встроенных функций Excel

Табличный процессор Excel имеет библиотеку встроенных функций рабочего листа (Worksheet function). Одним из разделов этой библиотеки является раздел Статистические функции. В этот раздел входят 83 функции, предназначенные для решения некоторых наиболее востребованных задач теории вероятностей и математической статистики.

Аргументы статистических функций должны быть числами или ссылками на диапазоны, которые содержат числа. Если аргумент, который является массивом или ссылкой, содержит тексты, логические значения или пустые ячейки, то такие значения игнорируются, однако ячейки с нулевыми значениями учитываются.

Когда в качестве какого-либо аргумента встроенной статистической функции введен текст, функция выдает сообщение об ошибке #ЗНАЧ! (#VALUE!). Если в качестве аргумента, который по определению должен быть целым числом, введено число не целое, Excel использует в качестве аргумента целую часть этого числа. Никакие сообщения об этом «несанкционированном округлении» на экран не выводятся.

2. Задания для самостоятельной работы

Таблица 1- Варианты исходных данных

Номер варианта	Закон распределения	Среднее значение	Стандартное отклонение	
1	Равномерное	между 10 - 15	-	
2	Нормальное	12	1	
3	Равномерное	между 13 - 18	-	
4	Нормальное	14	1	
5	Равномерное	между 15 - 20	-	
6	Нормальное	16	1	
7	Равномерное	между 17 - 22	-	
8	Нормальное	18	2	
9	Равномерное	между 19 - 24	-	
10	Нормальное	20	2	
11	Равномерное	между 21 - 26	-	
12	Нормальное	22	2	
13	Равномерное	между 23 - 28	-	
14	Нормальное	14	2	
15	Равномерное	Между 25-30	-	

Порядок выполнения задания

2.1 Выполнить генерацию случайных чисел, соответствующих измеряемым параметрам

В диалоговом окне Анализ данных (Data Analysis) выбрать процедуру Генерация случайных чисел (рисунок 5).

Генерация случайных чисел

Число переменных: 10

Число случайных чисел: 1

Распределение: Равномерное

Параметры

Между 10 и 12

Случайное рассеивание: 0

Параметры вывода

☐ Выходной интервал:

☒ Новый рабочий лист:

☐ Новая рабочая книга

OK Отмена Справка

Рисунок 5 - Окно настройки параметров процедуры Генерация случайных чисел

Задать число переменных равным 10. Число случайных чисел – 1. Закон распределения и его параметры в соответствии с вариантом исходных данных (см. таблицу 1).. Все остальные параметры оставить без изменения.

После нажатия кнопки ОК в верхней строке будут выведены 10 значений чисел сформированных в соответствии с заданными исходными данными (рисунок 6).

Книга1 - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	11,27067	11,41038	11,3068	10,45088	10,17792	11,54131	10,75002	11,42979	10,8663	11,94891	
2											
3											

Рисунок 6 – Строка сгенерированных значений

2.2 Построить графики по результатам измерений

Для этого выделить строку сгенерированных ранее значений и выбрать кнопку «Вставка», а затем «График» (рисунок 7).

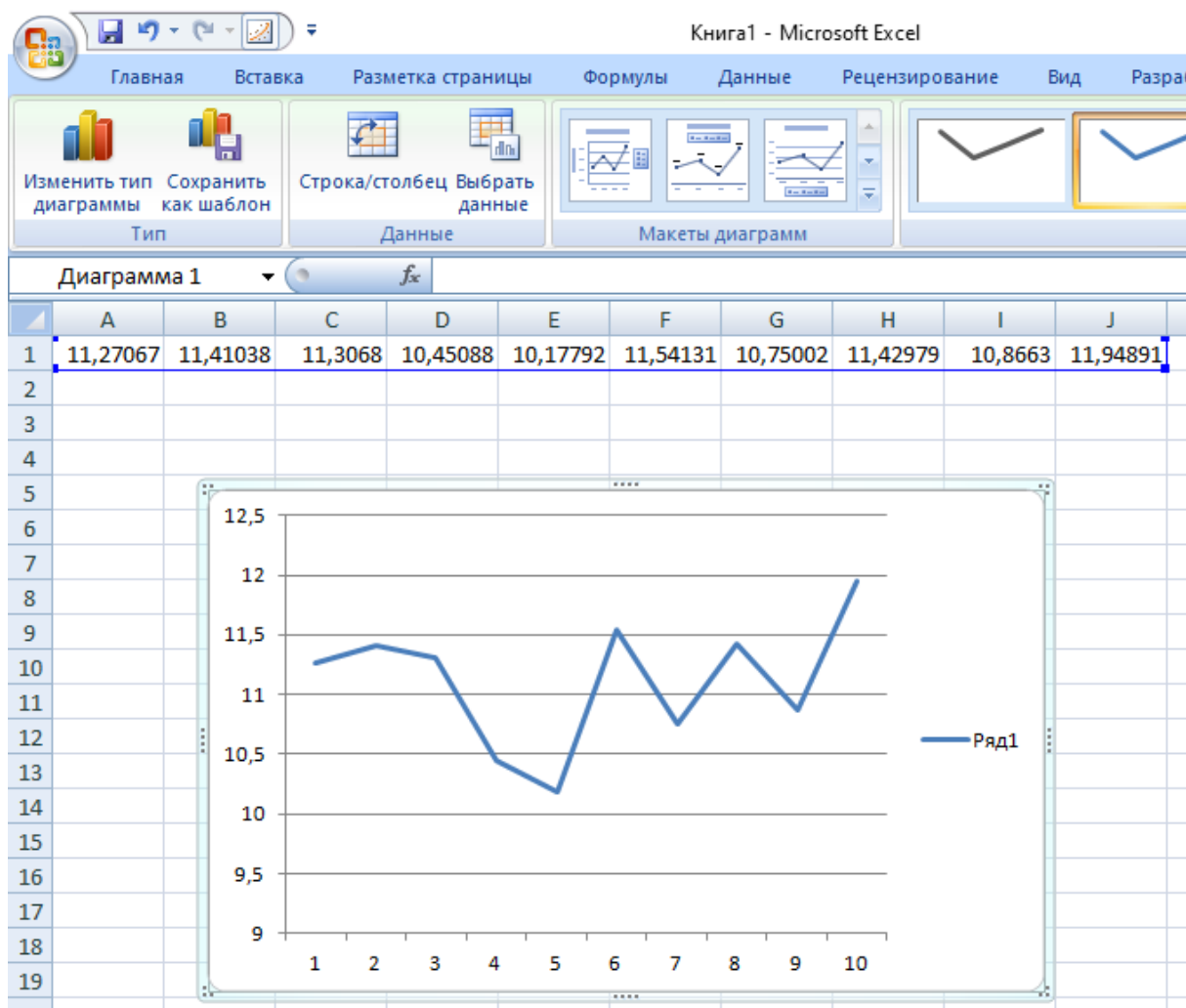


Рисунок 7 – Построение графика измеренных значений

Для лучшей читаемости графика добавим заголовок, название осей и поясняющую подпись.

Для ввода названия графика выбираем «Макет» - «Название диаграммы» и в открывшемся текстовом окне вводим название.

Для ввода названия осей выбираем «Макет» - «Название осей» и выбираем место и вид названия основной горизонтальной и основной вертикальной осей и вводим соответствующий текст.

Для ввода поясняющего текста необходимо выбрать «Конструктор»-«Выбрать данные»-«Элементы легенды» и в открывшемся окне введите название для строки значений, например, Напряжение питания (рисунок 8).

Выполним операцию, нажав клавишу Enter.

Для распространения действий операции на другие ячейки выполним копирование первой ячейки с текстом операции и выделим оставшиеся ячейки строки как показано на рисунке 11.

B2											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	11,27067	11,41038	11,3068	10,45088	10,17792	11,54131	10,75002	11,42979	10,8663	11,94891	11,1153
2	0,15537										

После чего нажмите кнопку вставить.

Для сгенерированных случайных чисел необходимо вычислить дисперсию (функция ДИСП), среднее квадратическое отклонение (функция КВАДРОТКЛ), среднее значение (СРЗНАЧ), моду (функция МОДА), медиану (функция МЕДИАНА) выборки. Сравнить полученные значения. Обосновать их отличия.

3. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

- номер и название темы лабораторной работы, а также её цель;
- перечень учебных вопросов;
- результаты выполненных исследований в соответствии с вариантами исходных данных;
- выводы по отдельным пунктам работы и по всей работе в целом.

Пример оформления титульного листа отчета представлен в приложении

А

Дополнительное задание: Построить графики, определить стат. характеристики

Экспериментальные данные измерения постоянного тока I_i , мА

№ наблюдений	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
X_1	2,96	0,04	0,26	0,08	0,75	2,16	1,93	0,92
X_2	3,94	1,10	1,28	0,93	0,01	1,24	2,56	0,56
X_3	4,29	0,37	0,52	0,06	1,12	2,09	3,24	0,11
X_4	2,98	1,38	0,12	0,06	0,32	1,18	3,73	0,73
X_5	1,91	2,21	0,64	0,91	0,36	2,04	2,52	0,90
X_6	1,03	2,87	0,56	0,32	0,82	1,14	3,13	0,24
X_7	0,32	1,82	0,08	0,21	1,78	0,40	2,03	0,21
X_8	0,29	2,57	0,60	0,30	2,57	0,21	1,13	0,98
X_9	0,37	1,22	0,49	0,10	1,22	2,49	1,87	0,73
X_{10}	0,21	2,11	0,23	0,52	2,11	1,43	1,49	0,49
X_{11}	0,77	3,17	1,03	0,59	1,50	0,91	1,99	0,97
X_{12}	0,44	2,06	1,38	0,48	2,34	1,82	1,10	0,96
X_{13}	1,44	1,15	1,67	0,56	3,03	2,56	0,36	0,04
X_{14}	0,65	2,01	1,90	0,59	1,87	1,57	1,36	0,85
X_{15}	0,02	2,72	2,10	0,41	0,92	0,76	2,18	0,75
X_{16}	1,07	1,70	0,65	0,45	0,14	0,09	2,86	0,84
X_{17}	1,94	0,85	1,06	0,24	1,24	0,47	1,82	0,60
X_{18}	1,06	0,17	0,20	0,52	0,41	0,69	0,96	0,30
X_{19}	0,45	0,96	0,36	0,33	0,96	1,59	0,43	0,20
X_{20}	0,24	1,90	0,93	0,14	1,90	0,70	1,44	0,87

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Пример оформления титульного листа отчета по лабораторной работе

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инфокоммуникаций

Дисциплина « Основы метрологии и технического регулирования»

Отчет по лабораторной работе №1

**Обработка результатов измерений с использованием табличного процессора
Excel**

Выполнил студент группы ИВТ-б-о-21-1

Иванов И.И. «_»_____ 2022

Подпись студента _____

Работа защищена «__»_____2022

К.т.н., профессор Баженов А.В. _____

Ставрополь, 2026

Лабораторная работа 2

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРЯМЫМ И КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: освоение методов измерения сопротивлений резистивных элементов с помощью мультиметра, экспериментальное подтверждение аналитических расчётов электрических параметров элементов.

Общие сведения

Стенд для лабораторных работ включает в себя наборное поле, радиоэлементы и соединительные провода, мультиметр. Наборное поле содержит источники энергии, электронные ключи, соединительные гнезда и регулируемые пассивные элементы.

Порядок выполнения работы

1. Получить от преподавателя номера пяти резисторов из представленных на стенде резистивных элементов $R_{01} \div R_{11}$.
2. С помощью цифрового вольтметра произвести измерения сопротивлений и заполнить верхнюю строчку таблицы 1.
3. Собрать схему для измерения величины сопротивлений выбранных резисторов по методу амперметра и вольтметра (рисунок 1).

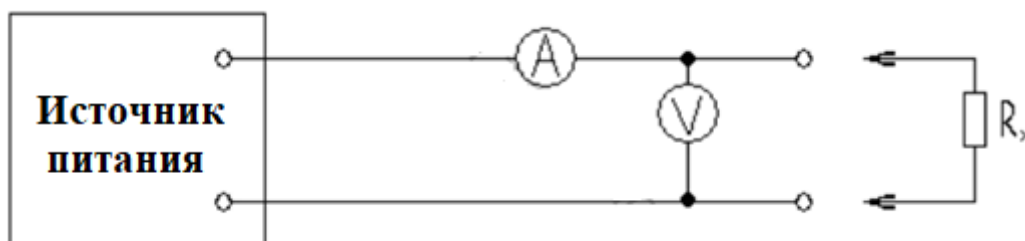


Рисунок 1- Схема эксперимента

4. Определить по закону Ома вычисленные значения сопротивлений резисторов и записать во второй строчке таблицы 1.

Таблица 1

	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом
Измеренные значения					
Расчетные значения					

5. Собрать схему (рисунок 2).
 6. Измерить токи в ветвях и занести их значения в таблицу 2.
- Напряжения источника устанавливать в 15 В

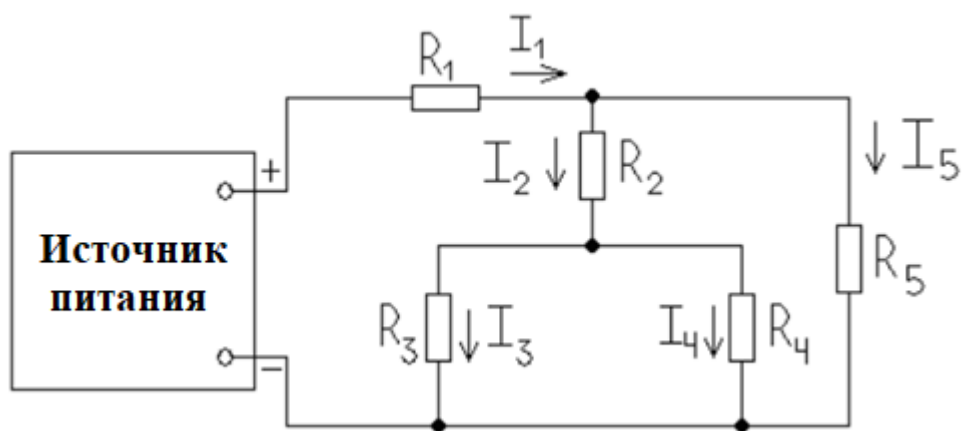


Рисунок 2

Таблица 2

Измеренные величины	I_1, mA	I_2, mA	I_3, mA	I_4, mA	I_5, mA
Расчётные величины					
Измеренные величины	U_1, V	U_2, V	U_3, V	U_4, V	U_5, V
Расчётные величины					

7. Рассчитать методом сворачивания схемы по известному значению U источника питания и измеренным $R_1 \div R_5$ токи в ветвях и падение напряжений на сопротивлениях. Измеренные и расчётные значения токов и напряжений должны совпадать.

Контрольные вопросы

1. Порядок измерения напряжений, токов и сопротивлений с использованием мультиметра
2. Объяснить законы Ома для участка цепи и для полной цепи.
3. Дать определения параллельного и последовательного соединения резисторов.
4. Проанализировать изменения электрических величин при внесённом преподавателем каком-либо изменении в схеме лабораторной работ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Методики измерения токов и напряжений в цепи постоянного тока

Измерение силы тока

Для измерения силы тока в проводнике применяют специальный прибор — амперметр, который включают последовательно с этим проводником (рис. П1).

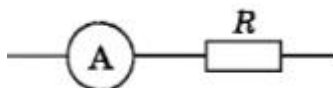


Рисунок- П.1

Измерение напряжения

Вольтметр присоединяют параллельно участку цепи, напряжение на котором хотят измерить (рис. П.2).

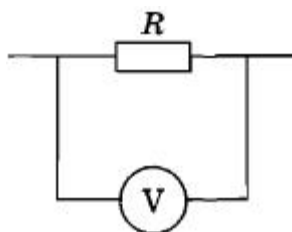


Рисунок - П.2

Напряжение на вольтметре такое же, как и на участке цепи. Однако включение вольтметра в цепь изменяет сопротивление участка, где он включен. Для уменьшения влияния на результаты измерений сопротивление вольтметра должно быть много больше измеряемого.

Измерение сопротивления амперметром и вольтметром

Включив в цепь постоянного тока приборы, соединенные по схеме, изображенной на рисунке П.3 , и записав их показания, можно по формуле

$$R'_x = \frac{U}{I}$$

определить значение сопротивления участка цепи между точками В и С.

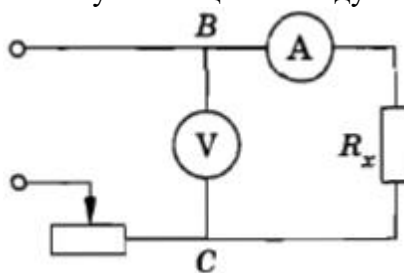


Рисунок П.3

Лабораторная работа №3
ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ
С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЯ RLC E7-22. СТАТИСТИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: освоение методов измерения сопротивления, индуктивности и емкости радиоэлементов с использованием измерителя RLC E7-22. Приобретение навыков расчета погрешности измерений.

Общие сведения

Стенд для лабораторных работ включает в себя наборное поле, радиоэлементы, измеритель RLC E7-22 и соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать по указанию преподавателя выбрать из имеющихся радиоэлементов по два резистора, два конденсатора и две индуктивности на каждый вариант исходных данных.
2. Не менее 30 раз выполнить измерение сопротивлений с использованием измерителя RLC E7-22 при двух значениях опорных частот (120 Гц и 1кГц). Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерения сопротивлений с помощью E7-22, Ом.

Номер опыта	Опорная частота 120 Гц		Опорная частота 1000 Гц	
	R ₁	R ₂	R ₁	R ₂
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				
Среднее значение				

3. Не менее 30 раз выполнить измерение емкостей с использованием измерителя RLC E7-22 при двух значениях опорных частот (120 Гц и 1кГц). Схема замещения последовательная (переключатель «ПАР/ПОСЛ» в положение ПОСЛ («PAR/SER»- SER). Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерения емкости конденсатора с помощью E7-22. Частота тест сигнала 120 Гц и 1000 Гц, схема замещения «Последовательная»

Номер опыта	Опорная частота 120 Гц		Опорная частота 1000 Гц	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
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				
Среднее значение				

4. Не менее 30 раз выполнить измерение емкостей с использованием измерителя RLC E7-22 при двух значениях опорных частот (120 Гц и 1кГц). Схема замещения параллельная (переключатель «ПАР/ПОСЛ» в положение ПАР («PAR/SER»- PAR). Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты измерения емкости конденсатора с помощью E7-22. Частота тест сигнала 120 Гц и 1000 Гц, схема замещения «Параллельная»

Номер опыта	Опорная частота 120 Гц		Опорная частота 1000 Гц	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
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				
Среднее значение				

5. Не менее 30 раз выполнить измерение индуктивностей с использованием измерителя RLC E7-22 при двух значениях опорных частот (120 Гц и 1кГц). Схема замещения последовательная (переключатель «ПАР/ПОСЛ» в положение ПОСЛ («PAR/SER»- SER). Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты измерения индуктивности катушки с помощью E7-22. Частота тест сигнала 120 Гц и 1000 Гц, схема замещения «Последовательная»

Номер опыта	Опорная частота 120 Гц		Опорная частота 1000 Гц	
	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂
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				
Среднее значение				

6. Не менее 30 раз выполнить измерение индуктивностей с использованием измерителя RLC E7-22 при двух значениях опорных частот (120 Гц и 1кГц). Схема замещения параллельная (переключатель «ПАР/ПОСЛ» в положение ПАР («PAR/SER»- PAR). Результаты измерений занести в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты измерения индуктивности катушки с помощью E7-22. Частота тест сигнала 120 Гц и 1000 Гц, схема замещения «Параллельная»

Номер опыта	Опорная частота 120 Гц		Опорная частота 1000 Гц	
	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂
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				
Среднее значение				

7. Построить гистограммы по результатам всех измерений R,L и C.

8. Выполнить расчет абсолютной, относительной и приведенной погрешности относительно среднего значения по всем измерениям R,L и C.

Формулы для расчетов приведены ниже.

- абсолютная погрешность

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1)$$

где x – номинальное значение величины, указанное на стенде, x_0 – среднее значение измеряемой величины;

- относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (2)$$

- приведённая погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\% \quad (3)$$

где x_N – нормированный множитель, равный длине шкалы.

9. Рассчитать среднеквадратическое отклонение для результатов измерений в предположении нормального закона распределения случайных величин.

10. Выполнить расчет погрешности средних значений измерений R и C с использованием измерителя Е7-22 по формулам, приведенным в таблицах 6, 7 и 8.

Таблица 6- Расчет погрешности измерения индуктивности (L)

Частот а	Пределы измерения	Разрешени е		Погрешность измерения	Примеч ания
120 Гц	20 мГц	1 мкГц	L	$\pm(0,02 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровк и КЗ
			D	$\pm(0,1 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	200 мГц	10 мкГц	L	$\pm(0,01 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,03 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 мГц 20 ГГц 200 ГГц	100 мкГц 1 мГц 10 мГц	L	$\pm(0,007 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровк и ХХ
			D	$\pm(0,012 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 ГГц	100 мГц	L	$\pm(0,01 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,02 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	20000 ГГц	1 ГГц	L	Не нормируется	
			D	Не нормируется	

Продолжение таблицы 6

1 кГц	2000 мкГц	0,1 мкГц	L	$\pm(0,02 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровк и КЗ
			D	$\pm(0,1 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	20 мГц	1 мкГц	L	$\pm(0,012 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,05 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	200 мГц 2000 мГц 20 ГГц	10 мкГц 100 мкГц 1 мГц	L	$\pm(0,007 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,012 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	200 ГГц	10 мГц	L	$\pm(0,01 \cdot L_{\text{изм}} + L_X / 10000 + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровк и ХХ
			D	$\pm(0,012 \cdot D_{\text{изм}} + 100 / L_X + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 ГГц	100 мГц	L	Не нормируется	
			D	Не нормируется	

Таблица 7 - Расчет погрешности измерения сопротивления (R)

Частота тест-сигнала	Пределы измерения	Разрешение	Погрешность измерения	Примечания
120 Гц,	20 Ом	1 МОм	$\pm(0,02 \cdot R_{\text{изм}} + 8 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки КЗ
	200 Ом	10 МОм	$\pm(0,005 \cdot R_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2 кОм	100 МОм	$\pm(0,005 \cdot R_{\text{изм}} + 3 \text{ ед. мл. разряда})$	-
	20 кОм	1 Ом		
	200 кОм	10 Ом		
	2 МОм	100 Ом	$\pm(0,008 \cdot R_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки ХХ
	10 МОм	1 кОм	$\pm(0,012 \cdot R_{\text{изм}} + 8 \text{ ед. мл. разряда})$	
1 кГц,	20 Ом	1 МОм	$\pm(0,02 \cdot R_{\text{изм}} + 8 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки КЗ
	200 Ом	10 МОм	$\pm(0,005 \cdot R_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2 кОм	100 МОм	$\pm(0,005 \cdot R_{\text{изм}} + 3 \text{ ед. мл. разряда})$	
	20 кОм	1 Ом		
	200 кОм	10 Ом		
	2 МОм	100 Ом	$\pm(0,008 \cdot R_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки ХХ
	10 МОм	1 кОм	$\pm(0,012 \cdot R_{\text{изм}} + 8 \text{ ед. мл. разряда})$	

Таблица 8 – Расчет погрешности измерения емкости (C)

Частота	Пределы измерения	Разрешение		Погрешность измерения	Примечания
120 Гц	20 нФ	1 пФ	C	$\pm(0,01 \cdot C_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки ХХ
			D	$\pm(0,02 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	200 нФ	10 пФ	C	$\pm(0,007 \cdot C_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,007 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 нФ 20 мкФ 200 мкФ	100 пФ 1 нФ 10 нФ	C	$\pm(0,007 \cdot C_{\text{изм}} + 3 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки КЗ
			D	$\pm(0,007 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 мкФ	100 нФ	C	$\pm(0,01 \cdot C_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,02 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
1 кГц	20 мФ	1 мкФ	C	$\pm(0,05 \cdot C_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,1 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 пФ	0,1 пФ	C	$\pm(0,01 \cdot C_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки ХХ
			D	$\pm(0,02 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	20 нФ 200 нФ	1 пФ 10 пФ	C	$\pm(0,007 \cdot C_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,007 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 нФ 20 мкФ	100 пФ 1 пФ	C	$\pm(0,007 \cdot C_{\text{изм}} + 3 \text{ ед. мл. разряда})$	После калибровки КЗ
			D	$\pm(0,007 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	200 мкФ	10 нФ	C	$\pm(0,01 \cdot C_{\text{изм}} + 3 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,02 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
	2000 мкФ	100 нФ	C	$\pm(0,05 \cdot C_{\text{изм}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	
			D	$\pm(0,1 \cdot D_{\text{изм}} + 100/C_{\text{X}} + 5 \text{ ед. мл. разряда})$	

11. Выполнить сравнение результатов оценки погрешности для различных условий измерения

Оформление и защита отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- тему и цель работы;
- результаты измерений сопротивлений и емкостей;
- результаты статистической обработки;
- анализ влияния частоты и вида схемы замещения на погрешности измерений;
- выводы по всем этапам работы и по работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Что называется погрешностью измерений?
2. Как классифицируются погрешности:
 - в зависимости от условий применения средств измерений;
 - в зависимости от характера проявления погрешности;
 - в зависимости от источника возникновения;
 - в зависимости от способа математического выражения?
3. Как определяются точечные и интервальные оценки случайной погрешности?
4. Каковы методы обнаружения и исключения систематических игровых погрешностей?

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы: освоение методов измерения напряжений постоянного и переменного токов с помощью аналогового комбинированного прибора Ц4313 и цифрового мультиметра. Оценка погрешности измерений.

1.Измерение напряжений с использованием аналогового вольтметра

Общие сведения

Стенд для лабораторных работ включает в себя наборное поле, источник напряжений постоянного тока, генератор синусоидального напряжения, соединительные провода и комбинированный прибор Ц4313.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему для измерения напряжений постоянного тока аналоговым вольтметром (рисунок 1).

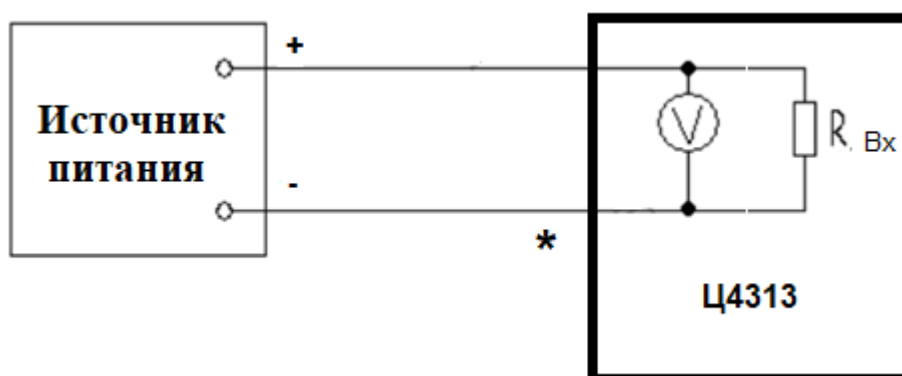


Рисунок 1- Схема эксперимента

2. Задать значения измеряемого напряжения в соответствии с содержимым таблицы 1.

Таблица 1

	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	U_4 , В	U_5 , В
Напряжение на выходе источника питания					
Измеренные значения					
Расчетные значения погрешности					

3. Измерить уровень передачи сигнала в дВ для напряжений 0,5; 1; 3 В.

4. Собрать схему (рисунок 2).

5. Измерить действующие напряжения переменного тока и занести их значения в таблицу 2.

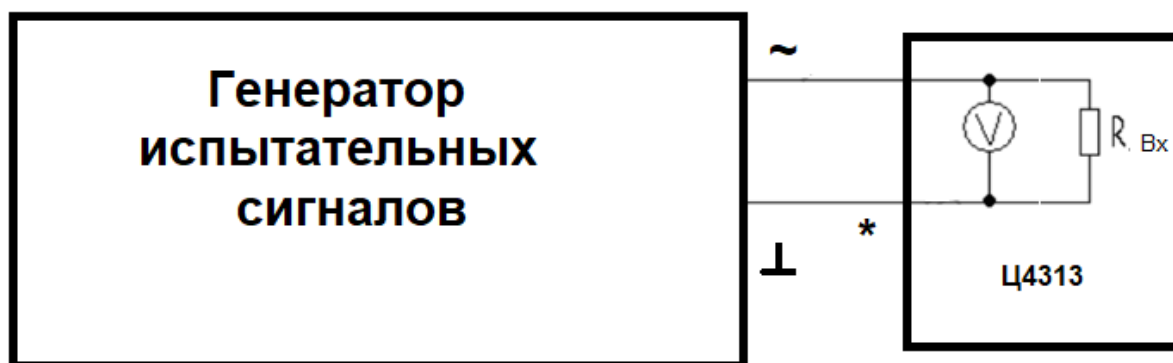


Рисунок 2

Таблица 2

	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$U_4, \text{В}$	$U_5, \text{В}$
Амплитудное напряжение на выходе генератора					
Измеренные значения					
Расчетные значения погрешности					

6. Рассчитать погрешности измерений. Сделать выводы о зависимости точности измерений от рода тока и пределов измерений.

2 Выполнения измерений с помощью цифрового мультиметра

2.1 Измерение напряжения постоянного тока

1. Вставьте красный щуп в гнездо «V, Ω , A» черный - в гнездо "COM"

2. Установите переключатель пределов в положение V= и подсоедините концы щупов к измеряемому источнику напряжений.

Полярность напряжения на дисплее при этом будет соответствовать полярности напряжения на красном щупе.

Замечание

Не подключайте прибор к напряжению более 1000В. Индикация возможна и на больших напряжениях, но при этом есть опасность повреждения схемы прибора.

Заполните таблицу 3.

Таблица 3

	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$U_4, \text{В}$	$U_5, \text{В}$
Напряжение на выходе источника питания					

Измеренные значения					
Расчетные значения погрешности					

2.2 Измерение напряжения переменного тока

1. Вставьте красный щуп в гнездо «V, Ω , A» черный - в гнездо "COM"
2. Установите переключатель пределов в положение V= и подсоедините концы щупов к измеряемому источнику напряжений

Замечание

Не подключайте прибор к напряжению более 700В. Индикация возможна и на больших напряжениях, но при этом есть опасность повреждения схемы прибора.

Заполните таблицу 4.

Таблица 4

	U ₁ , В	U ₂ , В	U ₃ , В	U ₄ , В	U ₅ , В
Амплитудное напряжение на выходе генератора					
Измеренные значения					
Расчетные значения погрешности					

Контрольные вопросы

1. Порядок измерения напряжений постоянного тока с использованием комбинированного прибора Ц4313.
2. Порядок измерения напряжений переменного тока с использованием комбинированного прибора Ц4313.
3. Измерения уровня напряжения на пределе «дБ».
4. Расшифровать графические обозначения на шкале прибора.
5. Назначение цифрового мультиметра.
6. Сравните погрешности измерений аналогового и цифрового измерителей напряжений

Лабораторная работа №5

ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Цель работы:

- изучение устройства универсального электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО), принципа работы основных его узлов и технические характеристики;
- приобретение навыков по измерению амплитудных и временных параметров сигналов с помощью ЭЛО методом калиброванных шкал

Состав лабораторного оборудования.
В состав лабораторного оборудования для выполнения данной работы входят: универсальный электронно-лучевой осциллограф GOS 602 FG, генератор сигналов низкой частоты GAG 810 (или им аналогичные).

1. Основные теоретические положения

1.1 Устройство и принцип работы универсального ЭЛО

ЭЛО – прибор для визуального наблюдения электрических сигналов, а также измерения их параметров и характеристик. Доминирующее положение в науке и на производстве пока занимают ЭЛО на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Хотя они активно вытесняются современными ЭЛО на основе плоских матричных экранов. Обобщенная структурная схема универсального ЭЛО на основе ЭЛТ

приведена на рисунке 1. Наблюдаемое на экране ЭЛО изображение формы сигнала называют **осциллограммой**.

КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ (Y) (канал Y, канал сигнала). Предназначен для передачи напряжения источника исследуемого сигнала на вход вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ.

Входной блок содержит:

дискретный аттенюатор, позволяющий ослабить исследуемый сигнал большой амплитуды в определенное число раз и согласовать входное сопротивление канала сигнала с волновым сопротивлением кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал;

эмиттерный повторитель, уменьшающий влияние канала вертикального отклонения на источник исследуемого сигнала и позволяющий получить высокое входное сопротивление.

Линия задержки (в импульсных ЭЛО) обеспечивает небольшую временную задержку исследуемого импульса относительно начала горизонтально отклоняющего напряжения, что дает возможность наблюдать фронт исследуемого импульса.

Усилитель вертикального отклонения (Y) усиливает исследуемый сигнал малой амплитуды до значения, достаточного для вертикального отклонения луча в пределах экрана ЭЛТ.

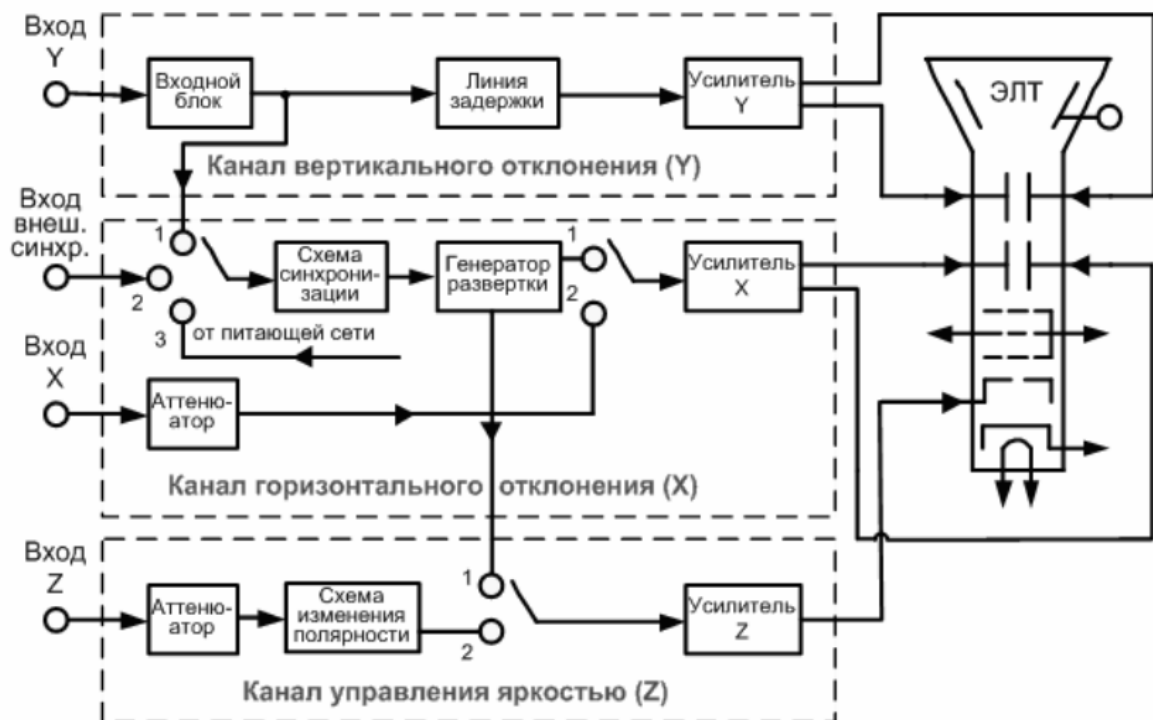


Рисунок 1- Обобщенная структурная схема универсального ЭЛО на основе ЭЛТ

КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ (X) (канал X, канал развертки). Служит для создания напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени. Вторая функция этого канала – усиление (ослабление) сигнала, передаваемого от входа X на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Схема синхронизации и запуска развертки предназначена для управления генератором развертки и обеспечивает кратность периодов исследуемого сигнала и развертки для получения неподвижного изображения на экране ЭЛТ. Процесс привязки начала развертки к характерным точкам сигнала (фронту, срезу, максимуму и пр.) называют **синхронизацией** (в автоколебательном режиме) и **запуском** (в ждущем режиме). Различают три режима синхронизации:

- внутреннюю;
- внешнюю;
- от питающей сети.

При **внутренней синхронизации** синхроимпульсы вырабатываются из усиленного входного (исследуемого) сигнала до его задержки. Такую синхронизацию целесообразно применять при наблюдении периодических процессов.

Синхронизация от питающей сети удобна при осциллографировании напряжений, частоты которых равны или кратны частоте напряжения питающей сети (например, выходных напряжений трансформаторов, питаемых от сети, и т.п.).

При **внешней синхронизации** синхроимпульсы подают на специальный вход ЭЛО от внешнего источника, обеспечивая запуск генератора развертки с опережением относительно момента появления фронта исследуемого сигнала на вертикально отклоняющих пластинах ЭЛТ. При регулировании времени опережения (задержки) возможно осуществлять перемещение изображения сигнала по горизонтальной координате в удобное для наблюдения место.

Генератор развертывающего напряжения (генератор развертки) вырабатывает линейно-изменяющееся (пилообразное) напряжение, обеспечивающее горизонтальное отклонение луча с постоянной скоростью. Для получения какой-либо другой развертки (например, синусоидальной) соответствующее напряжение подается на вход X канала от внешнего источника. На входе X имеется **дискретный аттенюатор** для ослабления сигналов большой амплитуды.

Назначение **усилителя горизонтального отклонения (X)** то же, что и усилителя Y.

КАНАЛ УПРАВЛЕНИЯ ЯРКОСТЬЮ (Z) (канал Z, канал модуляции луча по яркости). Предназначен, в основном, для подсветки прямого хода луча развертки. Для формирования необходимой амплитуды импульса напряжения подсвета, поступающего с генератора развертки на модулятор ЭЛТ, служит **усилитель Z**. Возможна также модуляция изображения по яркости внешним

сигналом, поступающим со входа Z через **аттенюатор** и **схему изменения полярности** модулирующего напряжения.

1.2 Техника осциллографических измерений

Измерение амплитуды напряжения и временных интервалов – основные процессы, выполняемые с помощью ЭЛО. Для отсчета значений этих величин применяют:

- метод калиброванных шкал;
- компенсационный метод;
- метод сравнения.

Метод калиброванных шкал применяют для измерения параметров сигнала на прямоугольной шкале – масштабной сетке, имеющей равноотстоящие вертикальные и горизонтальные линии. Как правило, предусматривается регулируемая подсветка шкалы, улучшающая условия измерения.

Размеры шкалы согласованы с рабочей площадью экрана ЭЛТ: коэффициенты отклонения и развертки (масштабные коэффициенты каналов Y и X) приводятся по отношению к большому делению шкалы (которое содержит 5 или 10 малых). Процесс измерения заключается в подсчете числа делений N (по вертикали) или L (по горизонтали) шкалы, укладывающихся в интересующий интервал измеряемого параметра. При этом за целое деление принимается большое деление шкалы, соответствующее клетке масштабной сетки. Перевод в значения напряжения $U_{\text{изм}}$ или длительности $t_{\text{изм}}$ осуществляется умножением измеряемой величины (N или L) на масштабный коэффициент:

$$U_{\text{изм}} = N \cdot d; t_{\text{изм}} = L \cdot q,$$

где d, q – масштабные коэффициенты отклонения, соответственно, по вертикали и горизонтали.

Числа d и q обозначают положения соответствующих переключателей амплитуды (В/ДЕЛ) и длительности развертки (ВРЕМЯ/ДЕЛ) на передней панели ЭЛО. Для достижения минимальных погрешностей измерения необходимо стремиться к тому, чтобы изображение исследуемого сигнала занимало как можно большую часть (~ 80...90%) рабочей площади экрана ЭЛТ, не выходя при этом за пределы масштабной сетки. В этом случае, с помощью входного аттенюатора Y и переключателя длительности развертки необходимо как можно больше растянуть изображение исследуемого сигнала в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Компенсационный метод позволяет увеличить точность измерения и может применяться в ЭЛО, содержащих усилитель Y с двумя дифференциальными входами (прямым и инвертирующим) и генератор двойной развертки. Сущность метода состоит в компенсации измеряемой величины образцовой физической величиной. При этом изображение на экране используется как нуль-индикатор. Выигрыш в точности в этом методе достигается за счет исключения большинства погрешностей, связанных с

нелинейностью отклонения и развертки, геометрическими искажениями ЭЛТ, параллаксом, дискретностью шкалы и пр.

Метод сравнения измеряемой величины с образцовой заключается в предварительном формировании на экране ЭЛТ двух светящихся (реперных) точек, расстояние между которыми может независимо регулироваться и является образцовым по вертикали для измерения напряжения, по горизонтали – для измерения длительности. Процесс измерения заключается в совмещении точек с интересующим размером изображения без использования шкалы. Считывание показаний измерения производится либо по положению органов регулирования расположения светящихся точек, либо результат измерения автоматически индицируется на предусмотренном для этих целей цифровом табло.

Метод интерференционных фигур (фигур Лисажу) осуществляется в одноканальном режиме ЭЛО. Генератор развертки ЭЛО выключается, а электронный луч (светящаяся точка) совмещается с началом координат шкалы на экране ЭЛО. Гармоническое напряжение с неизвестной (измеряемой) частотой f_x подается на один из входов: Y-вход канала вертикального отклонения или X-вход канала горизонтального отклонения. Гармоническое напряжение с регулируемой известной (образцовой) частотой f_0 подается на второй вход (соответственно, X или Y). Электронный луч вычерчивает на экране ЭЛО фигуру Лисажу. Для получения неподвижного изображения фигуры регулируется частота f_0 образцового напряжения. При этом выполняется следующее условие:

$$f_x/f_0 = m/n,$$

где m, n – целые числа.

Форма фигуры зависит от отношения m/n и сдвига начальных фаз φ сравниваемых напряжений (примеры форм фигуры приведены в табл. 1).

Таблица 1- Формы фигуры Лисажу при сравнении частот

Отношение частот, m/n	Сдвиг фаз между измеряемым и образцовым сигналами, φ				
	0°	45°	90°	135°	180°
$1/1$					
$1/2$					
$1/3$					
$2/3$					

Соотношение частот f_x/f_0 определяется графическим способом. Через фигуру на экране ЭЛО (или скопированной на бумаге) проводятся горизонтальная и вертикальная прямые линии, не проходящие через точки пересечения самой фигуры (рисунок 2).

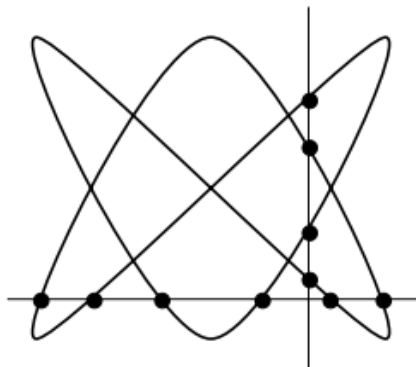


Рисунок 2- Определение соотношения частот f_x/f_0 методом фигур Лисажу

Число пересечений горизонтальной линии с фигурой соответствует числу n (на рис. 2 $n=6$), число пересечений вертикальной линии – числу m (на рис. 2 $m=4$). Для неподвижной фигуры справедливо соотношение:

$$f_x/f_0 = m/n,$$

которое позволяет найти измеряемую частоту f_x по известной образцовой частоте f_0 .

Метод круговой развертки с модуляцией яркости также, как и метод интерференционных фигур осуществляется в одноканальном режиме ЭЛО. При этом измеряемая частота f_x должна быть соизмерима или выше частоты f_0 образцового генератора. Напряжение частоты f_0 подается одновременно на оба входа ЭЛО (Y и X) со сдвигом по фазе $\varphi=90^\circ$ на одном из входов, достигаемым с помощью фазовращателя. Усиления обоих каналов регулируются таким образом, чтобы луч на экране ЭЛО вычерчивал окружность (круговая развертка).

Напряжение измеряемой частоты f_x подается в канал управления яркостью (на вход Z). Частота f_0 образцового генератора перестраивается до получения на экране ЭЛО неподвижного изображения, состоящего из ярких отрезков окружности с одинаковыми темными промежутками между ними (рисунок 3). Число ярких дуг или темных промежутков между дугами N определяет соотношение частот: $N = f_x/f_0$.

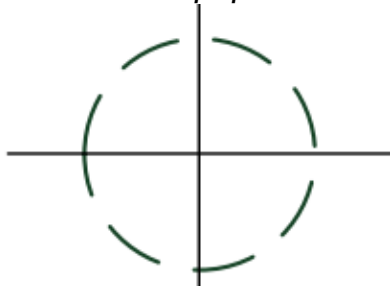


Рисунок 3- Определение отношения частот f_x/f_0 методом круговой развертки

2. Порядок выполнения работы

2.1 Изучите устройство и принцип работы ЭЛО (см. п. 1), основные технические характеристики и назначение основных органов управления и

присоединения ЭЛО GOS-620 FG (или иного, заданного преподавателем), находя их месторасположение на приборной панели выключенного ЭЛО.

2.2 Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе.

Установите органы управления осциллографа в соответствии с таблицей

2.

Наименование	Номер	Положение переключателя
POWER	(6)	Отжат
INTEN	(2)	Среднее положение
FOCUS	(3)	Среднее положение
VERT MODE	(14)	CH1
ALT/CHOP	(12)	Отжат (ALT)
CH2 INV	(16)	Отжат
POSITION	(11), (19)	Среднее положение
VOLTS/DIV	(7), (22)	0,5 В/дел
VARIABLE	(9), (21)	CAL (крайнее правое положение, по часовой стрелке)
AC-DC-GND	(10), (18)	GND
SOURCE	(23)	CH 1
SLOPE	(26)	+
TRIG ALT	(27)	Отжат
TRIGGER MODE	(25)	AUTO
TIME/DIV	(18)	0,5 мс/дел
SWP.VAR	(30)	Крайнее правое положение
POSITION	(32)	Среднее положение
X10 MAG	(31)	Отжат
LEVEL	(28)	Среднее положение

2.3 После установки органов управления в положения, указанные выше, подключите сетевой шнур к розетке и затем действуйте в указанной последовательности:

1). Включите кнопку СЕТЬ и убедитесь, что загорается индикатор сети. В течение приблизительно 20 секунд на экране должна появиться линия развертки. Если луч не появляется приблизительно в течение 60 секунд, проверьте правильность установки органов управления.

2). Установите желательную яркость и фокус изображения с помощью ручек ЯРКОСТЬ и ФОКУС.

3). Подайте на вход CH1 (Канал 1) сигнал (например, с выхода калибратора).

4). Установите переключатель AC-DC-GND в положение AC. На экране должно наблюдаться изображение сигнала.

5). Отрегулируйте четкость изображения ручкой ФОКУС.

6). С помощью переключателей VOLTS/DIV и TIME/DIV установите желаемые размеры сигнала.

7). Совместите с помощью переключателей изображение сигнала с линиями шкалы так, чтобы можно было легко рассчитать амплитуду (V_{p-p}) и период (T).

Описанное выше — это основные положения работы с осциллографом при включении канала 1 (CH1).

При работе с каналом 2 (CH2) следует поступать аналогично.

2.4 Использование осциллографа в двухканальном режиме.

Установите переключатель VERT MODE в положение DUAL. На экране, кроме сигнала с канала 1, будет наблюдаться прямая линия развертки канала 2 (органы управления должны быть установлены, как описано выше).

Подайте сигнал на второй канал. Переключатель AC-DC-GND установите в положение AC. Установите «удобный» размер изображения с помощью ручек В/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ.

При использовании двухканального режима (DUAL или ADD режим) сигнал канала 1 или канала 2 может быть засинхронизирован посредством переключения выключателя SOURCE. Если сигналы, подаваемые на CH1 (Канал 1) и CH2 (Канал 2), эквивалентны по частоте, то они могут быть стабильно отображены одновременно.

Если нет, (то есть сигналы автономны), то только сигнал канала, выбранный переключателем SOURCE в качестве синхронизирующего, может быть отображен стационарно. Однако, если нажать кнопку TR1G.ALT, то возможно стабильное наблюдение двух неэквивалентных по частоте сигналов. **(Не используйте «CHOP» и «ALT» переключатель одновременно).** Переключение между CHOP-режимом и ALT-режимом автоматически происходит путём изменения положения переключателя TIME/DIV.

2.5. Режим сложения

На экране осциллографа можно наблюдать алгебраическую сумму сигналов CH1 (Канал 1) и CH2 (Канал 2), установив переключатель VERT MODE в положение ADD. Если одновременно нажат переключатель CH2 INV - на экране отображается разность сигналов - (CH1-CH2).

Для более точных вычислений желательно, чтобы чувствительность каждого из **двух** каналов была одинаковой, что можно сделать с помощью VARIABLE-кнопок. Вертикальное перемещение изображения может **быть** осуществлено ручкой VERTICAL POSITION любого канала. Ввиду линейности вертикальных усилителей поставьте обе кнопки в их средние положения.

2.6. Исследование режимов синхронизации

Выбор синхронизации необходим для эффективных действий с осциллографом.

2.6.1 Выбор режима синхронизации

Управление режимами синхронизации осуществляется переключателем **MODE, имеющим следующие положения :**

AUTO (автоматический). В этом случае генератор **развертки** работает в автоколебательном режиме без сигнала синхронизации. Как только появится сигнал синхронизации, генератор развертки будет работать синхронно со входным сигналом. Режим AUTO удобно использовать **при** включении прибора для наблюдения **луча** и входного сигнала и последующего включения других режимов работы прибора. При установке органов управления в необходимые положения можно вернуться в режим NORM. Режим AUTO должен использоваться при исследовании постоянных напряжений и сигналов

с малыми амплитудами, когда отсутствуют сигналы синхронизации развертки или их уровень недостаточен.

NORM (ждущий). Генератор **развертки** не будет запускаться до тех пор, пока не будет установлен необходимый уровень запуска развертки ручкой «УРОВЕНЬ». Генератор развертки формирует только один ход луча и в дальнейшем активируется только при поступлении другого сигнала синхронизации. В режиме NORM на экране не будет отображения луча до тех пор, пока не поступит сигнал синхронизации. В режиме сложения сигнала от канала I и 2 и режиме синхронизации NORM не будет отображения ни одного канала до тех пор, пока не поступит сигнал синхронизации.

Режимы TV-V и TV-H в лабораторных работах не используются.

2.6.2 Выбор источника сигналов синхронизации

Источник сигнала синхронизации выбирается с помощью переключателя **SOURCE**.

Положение CH1. В качестве сигнала синхронизации, запускающего генератор развертки, используется сигнал, поступающий на вход усилителя CH1 (наиболее часто применяемый режим);

Положение CH2: в качестве сигнала синхронизации используется сигнал усилителя CH2;

Положение LINE: в качестве сигнала синхронизации используется сигнал с частотой питающей сети.

Положение EXT. Развёртка запускается внешним сигналом, который подаётся на внешний вход. Так как развёртка синхронизируется одним и тем же сигналом, это позволяет исследовать сигналы различной амплитуды, частоты и формы без перестройки регулировок синхронизации.

2.6.3 Выбор уровня запуска и полярности

Запуск развертки осуществляется при установке определенного уровня ручкой запуска «LEVEL». Вращение ручки приводит к изменению начальной точки запуска генератора развертки. При вращении ручки в область «+» запуск будет происходить положительной полуволной; при вращении ручки в область «-» запуск будет осуществляться отрицательной полуволной; когда ручка находится в центральном положении, запуск развертки будет осуществляться с нулевой линии.

Вращая ручку TRIG LEVEL, установите необходимый уровень запуска. При исследовании синусоидального сигнала начальная фаза может быть изменена. Вращением ручки TRIG LEVEL можно добиться синхронизации сигнала от пика до пика.

Когда переключатель TRIG SLOPE находится в положении «+», развёртка запускается положительной частью синхронизирующего сигнала.

Когда переключатель TRIG SLOPE находится в положении «-», развёртка запускается отрицательной частью синхронизирующего сигнала. Выбор полярности сигнала показан на рисунке 4.

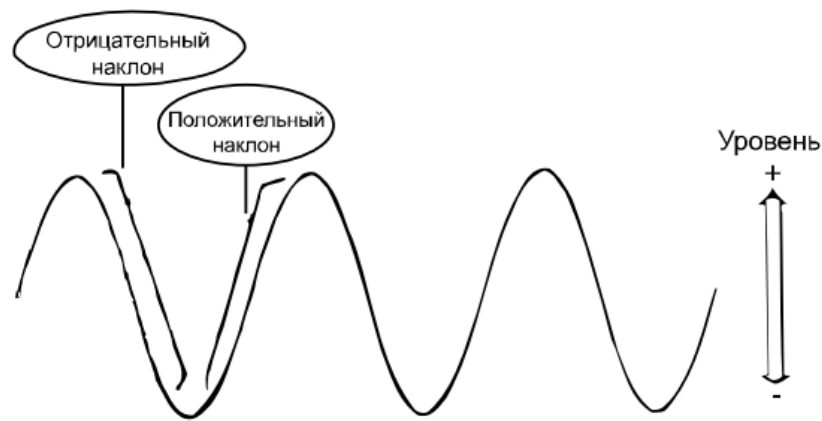


Рисунок 4

2.6.4 Синхронизация суммарным сигналом (кнопка TRIG ALT)

Кнопка TRIG ALT используется для выбора различных источников синхронизации в двухканальном режиме (выбирается переключателем VERT MODE). В этом режиме запуск развертки осуществляется **поочередно** сигналом от канала 1 и сигналом от канала 2. Это необходимо при исследовании сигналов с разной частотой или периодами. В этом режиме оба сигнала будут засинхронизированы, и изображение на экране осциллографа будет неподвижным. **Этот режим нельзя использовать при измерении разности фаз между сигналами канала 1 и канала 2!**

2.7 Измерение временных параметров сигнала

Выбрать форму генерируемых сигналов на выходе генератора $\square\square\square$. Установить частоту следования импульсов на выходе генератора GAG 810 $f_{сл} = 400$ Гц. Установить на передней панели ЭЛО (переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ») коэффициент развертки 20 мкс/дел и переключением коэффициента развертки на передней панели ЭЛО добиться устойчивого изображения на экране осциллографа двух прямоугольных импульсов. Зарисовать картинку с экрана осциллографа

Изменяя частоту следования импульсов на выходе генератора от 400 Гц до 2,5 кГц, измерить по шкале осциллографа длительность интервала времени τ между окончанием одного прямоугольного импульса и началом другого и записать результаты измерения в таблицу 2.

Таблица 2- Зависимость длительности τ интервала времени между импульсами от частоты следования

Измеряемый параметр	Частота следования импульсов $f_{сл}$, Гц						
	400	600	800	1000	1500	2000	2500
τ , мс							

2.8 Построить график зависимости $\tau(f_{сл})$ и пояснить его.

2.9 Изучить порядок измерения и методику оценки погрешности измерения амплитуды электрических сигналов ЭЛО по техническому описанию осциллографа. Измерить чувствительность каналов вертикального отклонения ЭЛО для нескольких диапазонов изменения амплитуды сигнала.

2.10. Собрать измерительную схему, показанную на рисунке 5.

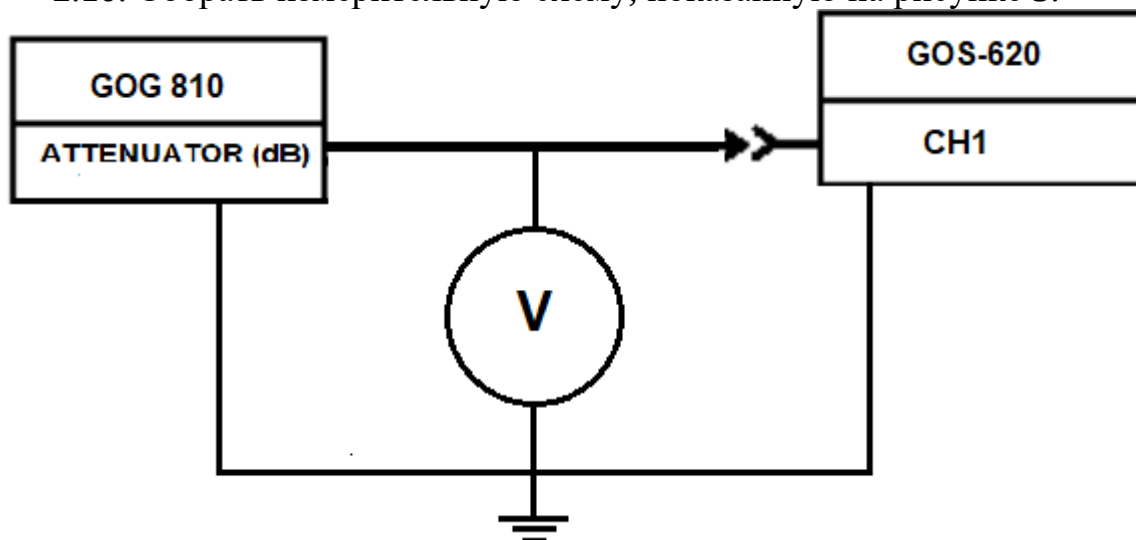


Рисунок 5 Схема соединения приборов для измерения чувствительности каналов вертикального отклонения

Установить на генераторе частоту синусоидальных колебаний $f_c = 1$ кГц, переключатель «ATTENUATOR» генератора установить в положение «0».

2.11 С помощью ручки «AMPLITUDE» на передней панели генератора установить действующее напряжение выходного сигнала 7 В, что соответствует амплитуде выходного сигнала равной 10 В. Изменяя действующее значение напряжения на выходе генератора в соответствии с заданными в первой строке таблицы 3 значениями, измерить амплитуду колебаний в мелких делениях по шкале осциллографа. Результаты измерения занести в таблицу 3. Рассчитать амплитудное значение выходного сигнала и чувствительность осциллографа.

2.12 Переключатель «ATTENUATOR» генератора установить в положение «-10» и повторить выполнение задания по п. 2.11

Таблица 3- Результаты измерения высоты изображения импульса и расчета чувствительности осциллографа

Измеряемый параметр	Действующее значение напряжения на выходе генератора, В									
	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,7	6,4	7,0
	Расчетное значение амплитуды на выходе генератора U_m , В									
U_m , В										
h , дел										
S , [дел/В]										
Измеряемый параметр	Действующее значение напряжения на выходе генератора, В									
	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,43	0,5	0,57	0,64	0,7

	Расчетное значение амплитуды на выходе генератора U_m , В									
U_m , В										
h , дел										
S , [дел/В]										

Для обоих диапазонов изменения амплитуды импульсов рассчитать чувствительность осциллографа S [дел/В] по формуле

$$S = \Delta h / \Delta U_m,$$

где ΔU_m и Δh и изменение амплитуды сигнала и высоты его изображения на экране соответственно; записать результаты расчета в таблицу 3. Построить графики зависимости чувствительности осциллографа от амплитуды $S = f(U_{\text{имп}})$ для обоих диапазонов.

2.13 Измерить величину фазового сдвига двух синусоидальных сигналов.

Подключить сигнал с выхода встроенного генератора в синусоидальном режиме с частотой 1 кГц и амплитудой 1 В ко входу CH2.

Установить на выходе генератора GOG 810 аналогичный по частоте и уровню сигнал и подать его на вход CH2 осциллографа. Выбором различных способов синхронизации добиться устойчивого изображения синусоидальных сигналов на экране осциллографа.

Зарисовать в отчет осциллограмму и измерить величину фазового сдвига.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислить основные блоки и узлы универсального осциллографа.
2. Пояснить назначение и принцип работы блока развертки осциллографа.
3. Перечислить основные и специальные виды развертки, пояснить их назначение.
4. Объяснить устройство и назначение блока синхронизации, его работу.
5. Перечислить основные элементы электронно-лучевой трубки и пояснить их назначение.
6. Пояснить принцип стробоскопического преобразования в осциллографии.
7. Как устроены элементы памяти запоминающих осциллографов? Каковы их основные характеристики?
8. В чем особенности скоростных и импульсных осциллографов?
9. Перечислить основные характеристики осциллографов.
10. Какие характеристики канала ЭЛО определяют точность измерений: амплитуды, интервала времени?
11. Объяснить устройство канала вертикального отклонения (КВО). Пояснить назначение каждой структурной составляющей КВО.

12. Объяснить устройство канала горизонтального отклонения (КГО). Пояснить назначение каждой структурной составляющей КГО.

13. Объяснить устройство и назначение канала управления яркостью.

14. В чем заключается метод калиброванных шкал? Как при этом достигается минимальная погрешность измерения?

Лабораторная работа №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Цель работы:

- изучить устройство генератора сигналов низкой частоты GAG-810, принципы работы основных его узлов и технические характеристики;
- приобрести практические навыки формирования периодических сигналов различной формы и с различными характеристиками;
- совершенствование навыков анализа погрешности средств измерения, на примере погрешности установки параметров сигналов, формируемых измерительными генераторами.

Учебные вопросы:

1. Изучение назначения, характеристик и порядка использования генератора сигналов низкой частоты.
2. Исследование погрешности установки параметров сигналов

1. Изучение назначения, характеристик и порядка использования генератора сигналов низкой частоты

2.

Генератор НЧ GW Instek GAG-810 позволяет формировать электрические сигналы синусоидальной формы. Высокая точность, надежность и набор функций делает этот прибор незаменимым в лабораториях и научных центрах, особенно для настройки и проверки радиоэлектронных устройств и радиозимерительных приборов. Внешний вид генератора показан на рисунке 1.



Рисунок 1. Внешний вид генератора GAG 810 (809)

Радиоэлектронное оборудование, в том числе устройства радиосвязи, характеризуются особо низким уровнем гармонических искажений. Используя это устройство, оператор с легкостью сможет настраивать высокоточные приборы, применяемые в вычислительной технике и

автоматике. Устройство позволяет использовать широкий спектр настроек: установка нестабильности частоты, ее точность и многое другое.

Устройство позволяет сохранять настройки и тем самым заметно экономит время на повторных операциях. Низкочастотный генератор GW Instek GAG-810 позволяет генерировать различные типы сигналов.

Синусоидальный сигнал

Диапазон частот 10 Гц - 1 МГц содержит 5 поддиапазонов.

Погрешность генерации 3% + 1Гц.

Индикация частот происходит на шкале лимба.

Выходной уровень составляет 5 В_{ср.кв.} на нагрузку 600 Ом.

Коэффициент гармоник 500 Гц - 20 кГц < 0.02%, 100 Гц - 100 кГц < 0.05%.

Прямоугольный сигнал

Размах сигнала более 10 В_{пик-пик}.

Время нарастания и среза менее 200 наносекунд.

Выбросы на вершине импульса меньше 2% на частоте 1 кГц.

Неравномерность вершины меньше 5% на частоте 50 Гц

Аттенюатор работает на уровнях 0 -50 дБ с шагом в 10 дБ.

Низкочастотный генератор имеет синхронный вход с полосой синхронизации шириной 5% от фиксированной частоты. Максимальный уровень синхросигнала составляет 15 В, а входное сопротивление 150 кОм.

Характеристики:

Низкий уровень гармоник	0.02%
-------------------------	-------

Максимальный выходной уровень	5 В _{ср.кв.} на 600 Ом
-------------------------------	---------------------------------

Ослабление выходного уровня	На 50 дБ (шаг 10 дБ)
-----------------------------	----------------------

Генерация импульсного сигнала	10 В
-------------------------------	------

Генерация импульсного сигнала, нарастание/спад	< 200 нс
--	----------

Вход внешней синхронизации	в наличии
----------------------------	-----------

Назначение органов управления ГНЧ GAG 810 показано на рис. 2.

На рисунке 2 приняты следующие обозначения:

1. Лампа загорается, когда переключатель POWER находится в положении ON (включено).

2. POWER SWITCH (переключатель питания). Этот переключатель включает и отключает питание.

3. ATTENUATOR (аттенюатор). Обеспечивает ослабление выходного сигнала с соответствующим шагом.

4. OUTPUT TERMINAL (выходной разъем). Выходной разъем используется для выдачи сигнала синусоидальной или прямоугольной волны.

5. WAVE FORM. Переключатель формы выходной формы.

6. FREQ. RANGE. Переключатель диапазона частоты генерации.

7. AMPLITUDE. Регулятор амплитуды выходного напряжения.

8. FREQUENCY DIAL (шкала частот). Шкала регулирует частоту генерации. Вы можете считывать частоты, умножая на шкале коэффициент FREQ. RANGE.

9. DIAL SCALE. Указатель обозначает частоты на шкале.

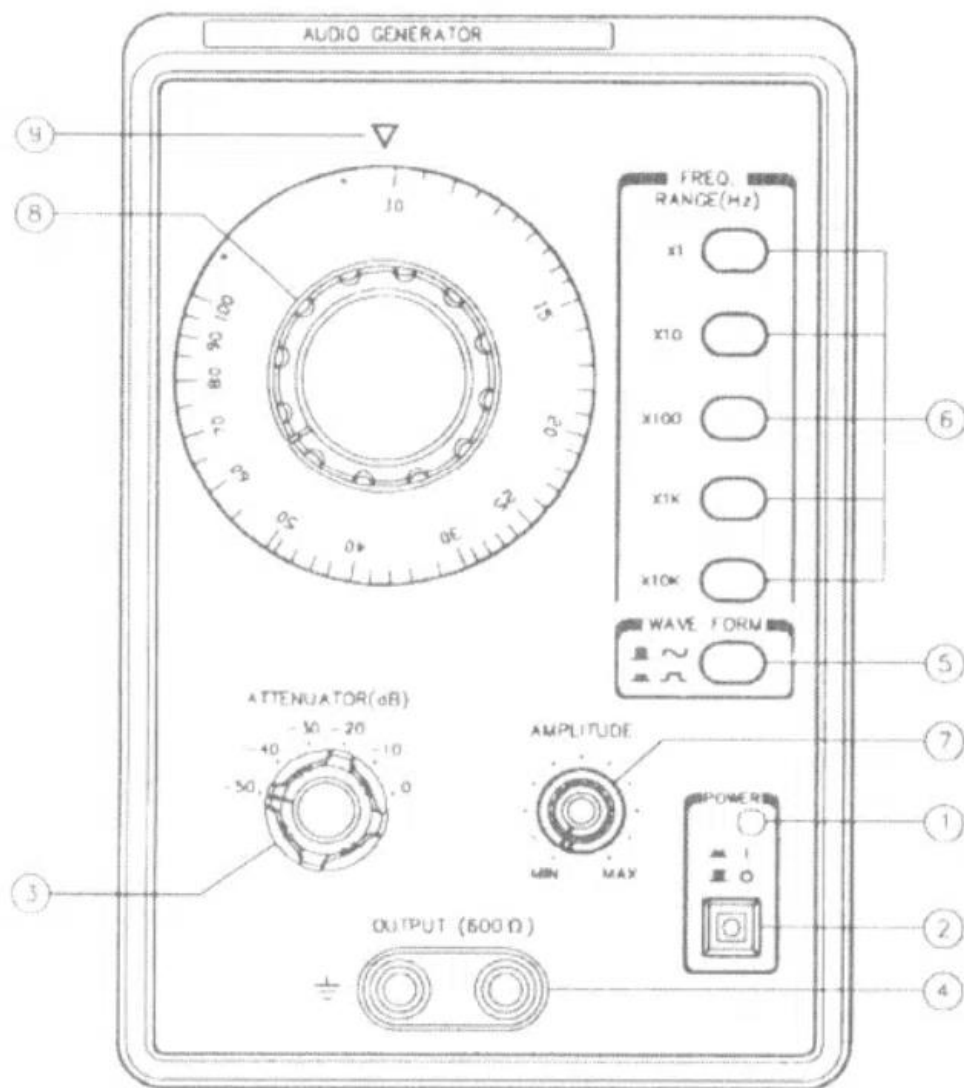


Рисунок 2. Назначение органов управления

2. Исследование погрешности установки параметров сигналов

Состав лабораторного оборудования. В состав лабораторного оборудования для выполнения исследований входят: генератор сигналов низкой частоты GAG 810 (или им аналогичные) и электронный осциллограф GOS-620 (GOS-620FG).

Порядок выполнения работы.

Установите с помощью переключателей (6) и регулятора (7) значения частоты синусоидального сигнала в соответствии с содержимым таблицы 1. Указатель амплитуды сигнала установите в среднее положение. Аттенюатор в положение 0. С помощью осциллографа выполните измерение частоты сигнала и его амплитуды. Измеренные значения и абсолютную погрешность установки частоты сигнала запишите в таблицу 1.

Таблица 1

Номер исследования	1	2	3	4	5
Частота выходного сигнала, Гц	15	150	1500	15000	150000
Измеренное значение частоты					
Абсолютная погрешность установки					
Амплитуда сигнала, В					

Установите частоту синусоидального сигнала 1500 Гц. Последовательно изменяйте значение ослабления амплитуды выходного сигнала с 0 до -50 дБ.

Заполните вторую и 3 строки таблицы 2. Установленное значение выходного сигнала в вольтах вычислите из формулы $U_{дБ} = 20 \lg(U_0/U_{уст})$

Таблица 2

Ослабление, дБ	0	-10	-20	-30	-40	-50
Измеренное значение амплитуды, В						
Установленное значение амплитуды, В						

Установите переключатель формы выходного сигнала в положение **П** и проведите исследования точности установки частоты для режима генерации последовательности прямоугольных импульсов. По результатам исследований заполните таблицу 3.

Сравните полученные значения погрешности установки частоты и амплитуды с паспортными характеристиками генератора. Сделайте выводы по результатам исследований.

Таблица 3

Номер исследования	1	2	3	4	5
Частота выходного сигнала, Гц	15	150	1500	15000	150000
Измеренное значение частоты					
Абсолютная погрешность установки					
Размах сигнала, В					

3. Оформление отчета

Записать в отчет тему, цель и учебные вопросы. Заполнить таблицы 1-3. Сделать выводы о:

- точности установки частоты выходного сигнала генератором GAG 810 в режиме синусоидального напряжения;
- точности установки частоты выходного сигнала генератором GAG 810 в режиме прямоугольных импульсов;
- точность установки амплитуды синусоидального напряжения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и классификация генераторов измерительных сигналов
2. Структурная схема генератора звуковой частоты.
3. Что такое частота, как определяется погрешность и нестабильность частоты?
4. Какие методы используются для измерения частоты?
5. Как измерить частоту с помощью осциллографа:
 - методом линейной калиброванной развертки;
 - методом линейной развертки с внешним генератором образцовой частоты;
 - методом синусоидальной развертки;
 - методом круговой развертки?

Лабораторная работа №7

ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНОГО ЧАСТОТОМЕРА

Цель работы:

- изучить устройство универсального электронно-счетного частотомера (ЭСЧ) GFC-8010H, принципы работы основных его узлов и технические характеристики;
- приобрести практические навыки проведения измерений частоты и периода электрических сигналов;
- совершенствование навыков анализа погрешности средств измерения.

Состав лабораторного оборудования.
В состав лабораторного оборудования для выполнения данной работы входят: генератор сигналов низкой частоты GAG 810 (или им аналогичные) и универсальный электронно-счетный частотомер GFC-8010H.

1. Порядок выполнения работы

1.1 Изучите устройство и принцип работы ЭСЧ GFC-8010H), основные технические характеристики и назначение основных органов управления и порядок выполнения измерений.

1.2 Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе. Установите органы управления ЭСЧ в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Наименование	Номер	Положение переключателя
ATT	2	1/10
ON/OFF	6	OFF
GATE	5	1 с
FREQ/PRID	4	FREQ

Установите органы управления генератора в соответствии с таблицей 2.
Таблица 2

Таблица 9- Результаты измерения частоты синусоидального сигнала, ослабл. -30dB

[illegible]

Таблица 10-Результаты измерения частоты синусоидального сигнала, ослабл.
-30dB

[illegible]

1.6 Установите переключатель «ATTENUATOR» генератора в положение «0dB». Ручку регулировки амплитуды выходного сигнала установить в среднее положение. Последовательно устанавливайте на генераторе частоту прямоугольных импульсов в соответствии с таблицей 11 (12, 13, 14). Для каждого значения частоты определите ошибку установки частоты с использованием выражения: $\pm 3\% + 1\text{Гц}$.

Измеренные с использованием ЭСЧ GFC 8010H значения частоты $F_{изм}$, запишите в таблицу. Рассчитайте абсолютную погрешность измерений.

Таблица 11-Результаты измерения частоты прямоугольных импульсов, ослабл. 0dB

[illegible]

Таблица 12-Результаты измерения частоты прямоугольных импульсов, ослабл. 0dB

[illegible]

Таблица 17- Результаты измерения частоты прямоугольных импульсов, осл. - 30dB

Измеряемый параметр	Частота сигнала на выходе генератора, кГц											
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta F_{уст}, \text{Гц}$												
$F_{изм}, \text{Гц}$												
$\Delta F_{изм}, \text{Гц}$												

Таблица 18- Результаты измерения частоты прямоугольных импульсов, осл. - 30dB

Измеряемый параметр	Частота сигнала на выходе генератора, кГц											
	10 0	15 0	20 0	25 0	30 0	40 0	50 0	60 0	70 0	80 0	90 0	100 0
$\Delta F_{уст}, \text{Гц}$												
$F_{изм}, \text{Гц}$												
$\Delta F_{изм}, \text{Гц}$												

2. Оформление отчета

Записать в отчет тему, цель и учебные вопросы. Заполнить таблицы 3-18. Сделать выводы о:

- точности установки частоты выходного сигнала генератором GAG 810;
- точности измерения частоты ЭСЧ GFC 8010H в различных вариантах выполнения измерений (для различных уровней входного сигнала, различной формы входного сигнала).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6. Что такое частота, как определяется погрешность и нестабильность частоты?
7. Какие методы используются для измерения частоты?
8. Как измерить частоту с помощью осциллографа:
 - методом линейной калиброванной развертки;
 - методом линейной развертки с внешним генератором образцовой частоты;
 - методом синусоидальной развертки;
 - методом круговой развертки?
4. Как измерить частоту резонансным методом?
5. Как измерить частоту гетеродинным методом?
6. В чем заключается сущность дискретного счета, применяемого в цифровых частотомерах?
7. Какова структурная схема цифрового частотомера в режиме:

- измерения частоты;
- измерения периода;
- измерения отношения частот?

8. Каковы соотношения (формулы), описывающие погрешности измерения частоты, периода, отношения двух частот?

9. Как регулируются погрешности измерения частоты, периода, отношения двух частот при работе с цифровым частотомером?

Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ КОСВЕННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ

Цель работы: провести исследование косвенного метода измерения мощности электрической цепи постоянного тока при неизменном напряжении в начале цепи и переменной нагрузке в конце.

Общие сведения

Схема простейшей цепи передачи электрической энергии постоянного тока изображена на рисунке 1.

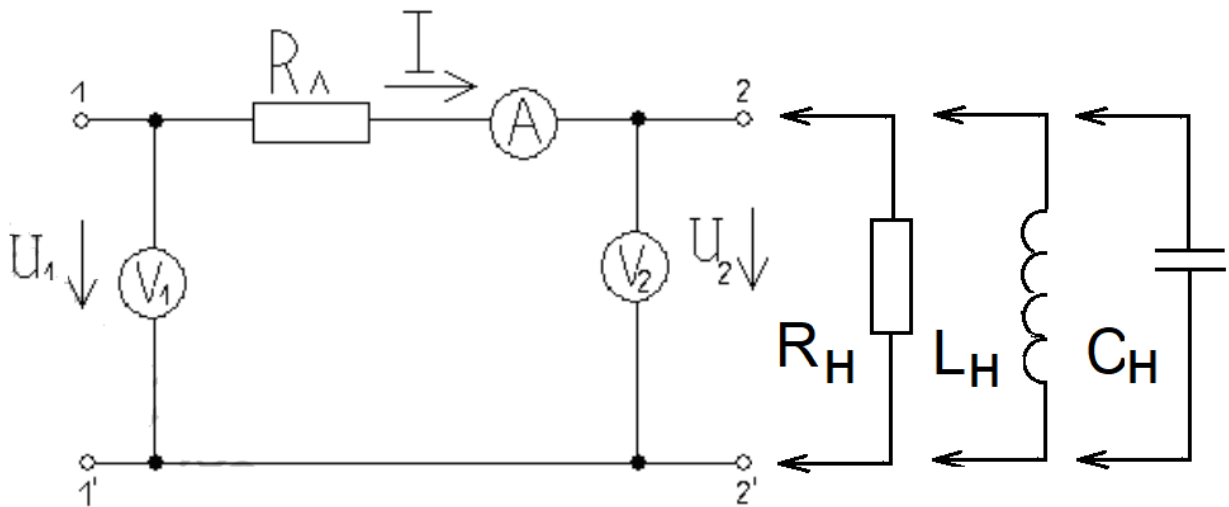


Рисунок 1

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: U_1 – напряжение в начале цепи, U_2 – напряжение на нагрузке, R_H – сопротивление нагрузки, R_L – сопротивление проводов линии электропередачи.

При известных U_1 , R_H , R_L ток в цепи равен:

$$I = \frac{U_1}{R_L + R_H}. \quad (1)$$

Откуда соотношение между напряжениями в линии определяется выражением

$$U_1 = U_2 + I \cdot R_L = U_2 + \Delta U, \quad (2)$$

где $\Delta U = IR_L$ – падение напряжений на сопротивлении линии электропередачи.

Умножив уравнение (2) на ток I , получим уравнение баланса мощностей в линии:

$$U_1 \cdot I = U_2 \cdot I + I^2 \cdot R_L$$

$$\text{или } P = P_H + \Delta P ,$$

где $P = U_1 \cdot I$ – мощность, отдаваемая источником во внешнюю цепь,

$P_H = U_2 \cdot I$ – мощность, потребляемая нагрузкой,

$\Delta P = I^2 \cdot R_L$ – потери мощности в линии электропередачи.

Если напряжение U_1 в начале цепи остаётся неизменным, то при изменении сопротивления нагрузки R_H будет изменяться ток в цепи и напряжение на нагрузке, так как падение напряжения в линии пропорционально величине тока.

В предельных режимах холостого хода (х.х.) ($R_H = \infty$) и короткого замыкания (к.з.) ($R_H = 0$) ток в линии и напряжение на нагрузке будут, используя (1) и (2), равны:

1) режим холостого хода $I = 0$; $U_2 = U_1$;

2) режим короткого замыкания $I_{кз} = U_1 / R_L$; $U_2 = 0$.

Мощность, потребляемая нагрузкой:

$$P_H = U_2 \cdot I = I^2 R_H = \frac{U_1^2}{(R_L + R_H)^2} \cdot R_H , \quad (3)$$

будет изменяться от нуля при холостом ходе до нуля при коротком замыкании.

Максимальная мощность $P_{H \max}$ нагрузке передаётся в согласованном режиме. Значение P_H для этого режима можно получить, исследуя выражение (3) на максимум ($(\partial P_H / \partial R_H) = 0$) . Отсюда следует, что согласованный режим работы электрической цепи наступает, если сопротивления линии и нагрузки будут равны $R_H = R_L$.

Величина мощности, потребляемой при этом нагрузкой, определится выражение

$$P_{H \max} = \frac{U_1^2}{4R_H} .$$

Важной характеристикой цепи является её коэффициент полезного действия, который равен отношению мощности, потребляемой нагрузкой, к мощности, отдаваемой источником:

$$\eta = P_H / P .$$

Используя (1) и (3), имеем:

$$\eta = 1 - (R_L I) / U_1 = R_H / (R_L + R_H) = U_2 / U_1 . \quad (4)$$

Из (4) следует, что к.п.д. цепи изменяется от 1 в режиме холостого хода до нуля в режиме короткого замыкания. В согласованном режиме $\eta = 0,5$.

Порядок выполнения работы

1. Используя омметр, выбрать из набора резистор R_L с сопротивлением приблизительно 500 Ом, имитирующим сопротивление проводов линии электропередачи.

2. Собрать схему (см. рис. 1), состоящую из источника постоянного тока с регулируемым напряжением; резистора R_L ; переменного резистора R_H , являющегося нагрузкой, используя блок переменного сопротивления, и измерительных приборов (вольтметров V_1 и V_2 , амперметра A).

3. При отключенной нагрузке R_H в точках 2–2' установить заданное преподавателем значение напряжения источника U_1 .

Показания приборов для данного режима (холостой ход) занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Измерено			Вычислено					
	U_1 , В	U_2 , В	I , мА	ΔU , В	P , мВт	P_H , мВт	ΔP , мВт	R , Ом	$\eta\%$
1									
2									
.									
11									

4. Подключить нагрузку к линии. Установить наибольшее значение сопротивления переменного резистора R_H и дискретно через 100 Ом, уменьшая его до нуля, снять полученные данные и занести их в таблицу 1.

5. Закоротить цепь в точках 2–2' (режим короткого замыкания) и снять данные для этого режима.

6. Рассчитать величины, содержащиеся в таблице 1 в графе «Вычислено».

7. На основании экспериментальных и расчётных данных построить графики зависимостей от тока I следующих величин:

$$P=f(I); P_H=f(I); \Delta P=f(I).$$

Контрольные вопросы

1. Напряжение на нагрузке больше или меньше напряжения на источнике?

2. Как зависит падение напряжения и потери мощности в цепи электропередачи от тока?

3. При каких условиях для данной цепи возникает согласованный режим?

4. В каких пределах изменяется к.п.д. цепи? Назовите значение к.п.д. для режимов холостого хода, короткого замыкания и согласованного.

Лабораторная работа №9

ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛА В ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Цель работы: исследование методов измерения параметров ВОЛС с использованием осциллографа и оптического тестера

Учебные вопросы:

1. Исследование затухания сигнала в ВОЛС с использованием осциллографа
2. Измерение затухания сигнала в ВОЛС с использованием оптического тестера

1 Теоретические сведения

Направляющей средой оптического кабеля является оптический волновод- круглый стержень из оптически прозрачного диэлектрика. Диаметр волновода колеблется у различных типов кабелей от 6 до 62.5 мкм. Сердцевина волновода покрыта оболочкой с коэффициентом преломления отличным от сердцевины.

Носителем информации в оптических линиях является лазерный луч. Лазерный луч удерживается в волноводе за счет полного отражения от границы волновод-оболочка. Эта граница и является границей направляющей среды. Ввиду малых диаметров обычно оптические волноводы называют оптическим волокном.

Различают одномодовые и многомодовые волокна. В одномодовом волокне лазерный луч может распространяться только одним единственным путем. В многомодовом волокне лазерный луч может распространяться различными путями, имеющими разную протяженность и соответственно различное время прохождения. В многомодовом волокне короткий импульс по дороге «разваливается». С увеличением дальности передачи полоса пропускания многомодовой линии связи резко уменьшается. По техническим характеристикам одномодовое волокно значительно превосходит многомодовое. Однако в настоящее время одномодовые оптические кабели и аксессуары имеют стоимость на порядок выше многомодовых, поэтому они используются в основном для линий большой протяженности.

В технике оптоволоконных линий связи широко используются разъемные соединения в которых могут существовать воздушные зазоры и поперечные смещения одного кабеля относительно другого. Потери сигнала вызванные продольным и поперечным смещением оптоволоконна пропорциональны относительным смещениям в процентах относительно диаметра световода. Поэтому требования к абсолютной точности соединений одномодового волокна на порядок выше относительно многомодовых.

Тип оптического кабеля, используемого в лабораторной установке:

многомодовый ММ 62,5/125 мкм; тип соединителей ST/ST; максимальная длина линии связи 100 м.

Меры предосторожности:

- Защитные заглушки капилляра снимать только при подключении.
- Подключение выполнять осторожно, направляющая ключа розетки должна быть совмещена с ключом вилки, Усилие прикладывать только к соединителю и ни в коем случае к кабелю.
- Радиусы изгиба соединителей при эксплуатации должны быть не менее 40 мм
- Не прикладывайте значительных усилий к устройству внесения неоднородностей и микрометрическим винтам.

2. Исследование затухания сигнала в ВОЛС с использованием осциллографа

Порядок выполнения работы:

1. Органами управления генератора импульсных сигналов установите амплитуду выходного сигнала равную 1,5 В, длительность импульса порядка 1 - 5 мкс и частоту следования импульсов порядка 50 кГц (рисунок 1);



Рисунок 1 – Генератор тестового сигнала и осциллограф с изображением входного и выходного сигналов

2. С помощью соединительного коаксиального кабеля подключите выход генератора импульсных сигналов ко входу (4) линии (рисунок 2);

3. С помощью оптического соединительного кабеля соедините оптический выход (5) с оптическим входом устройства внесения неоднородностей в стык оптического кабеля (6);

4. С помощью второго оптического соединительного кабеля соедините второй оптический вход устройства (6) с оптическим входом оптоэлектронного преобразователя (7);

5. Подключите вход осциллографа для контроля входного сигнала ко входу (4);

6. Подключите второй вход осциллографа для контроля выходного сигнала к выходу линии (7);

7. Наблюдая сначала визуально за совмещением световодов в устройстве (6) и вращая винты поперечного и продольного перемещения, добейтесь совмещения световодов, а затем по осциллографу максимального значения сигнала на выходе. Запишите значение максимального сигнала;

8. Снимите семейство значений зависимости амплитуды выходного сигнала от продольного смещения световодов при различных значениях величины продольного зазора 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0 мм (таблица 1)

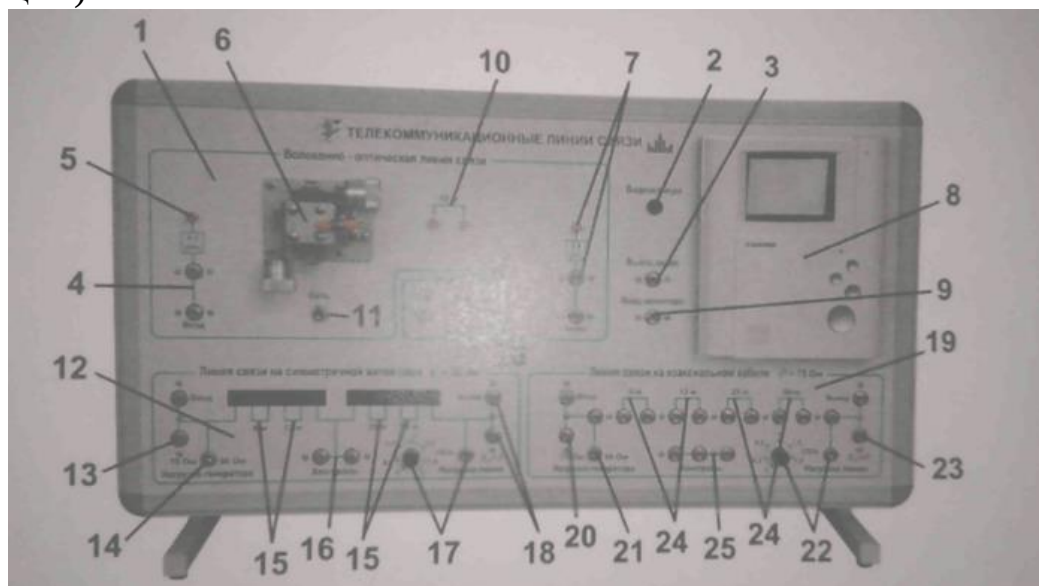


Рисунок 2

Таблица 1

Величина продольного зазора, мм	0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
Амплитуда выходного сигнала, В									
Отношение амплитуды выходного сигнала к входному									
Уровень затухания, дБ									

9. Снимите семейство значений зависимости амплитуды выходного сигнала от поперечного смещения световодов при значениях величины смещения 0,0125; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,125 мм (таблица 2)

10. Построить графики зависимости затухания сигнала в оптическом кабеле от величины продольного зазора и поперечного смещения.

11. Определить по минимальной величине затухания при максимально соосном и близком расположении оптических волокон величину погонного затухания (дБ/км). Длина отрезка оптического кабеля в лабораторной установке равна 100 м.

Таблица 2

Величина поперечного смещения, мм	0,0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,1125
Амплитуда выходного сигнала, В							
Отношение амплитуды выходного сигнала к входному							
Уровень затухания, дБ							

12. Сделайте вывод о влиянии продольного и поперечного зазоров на затухание оптического сигнала

2. Измерение затухания сигнала в ВОЛС с использованием оптического тестера

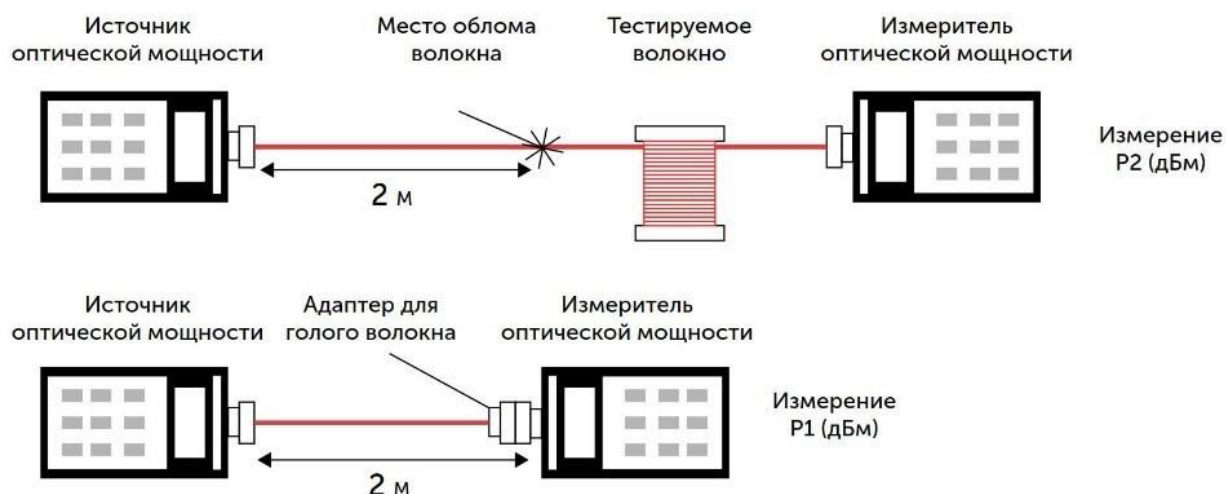
2.1 Схемы измерения затухания с использованием оптического тестера

В общем случае оптический тестер (OLTS) представляет из себя комбинацию генератора оптического излучения и измерителя оптической мощности. Комбинации эти, в зависимости от производителя и модели, могут быть совершенно различными, но принцип измерения потерь остаётся одним и тем же.

В соответствии с требованиями рекомендаций ITU-T G.651 и G.652, а также ГОСТ 26814-86 различают две основных методики измерений с помощью OLTS — метод обрыва волокна и метод вносимых потерь.

Рассмотрим их подробнее.

Схема измерений по методу обрыва представлена на рисунке 3.



Потери в тестируемом волокне:

$$A = P_1 - P_2, \text{ дБ}$$

Рисунок 3- Измерение по методу обрыва волокна

На выходе источника оптического излучения устанавливается оптический шнур (пиг-тейл), который приваривается к тестируемой линии. С другого конца линии, используя адаптер голого волокна, тестируемое волокно подключается к измерителю оптической мощности. Источник излучения включают и регистрируют величину средней оптической мощности, выраженную в дБм, прошедшей через линию (P_2). Далее волокно обрывается на расстоянии порядка 2 метров от источника и через адаптер подключается к измерителю. Измеритель регистрирует уровень оптической мощности в отсутствие линии (P_1). Искомая величина потерь находится как разница между этими величинами и выражается в дБ.

Необходимо помнить, что для обеспечения наивысшей точности нельзя допускать даже малейших смещений коннектора в разъеме источника, так как это приведёт к изменению значения потерь на этом коннекторе. В случае с адаптером голого волокна на измерителе мощности, перекоммутация волокна не меняет величину потерь, поскольку в этом разъёме отсутствует внутренний коннектор.

При соблюдении всех перечисленных требований получаем эталонное измерение потерь.

Основным недостатком этого метода является необходимость доступа к неограниченному волокну, а этой возможности, как правило, нет, если речь идёт о введенных в эксплуатацию ВОЛС. Этот метод актуален для лабораторных измерений.

На практике же пользуются вторым, альтернативным методом — методом вносимых потерь. Его условно тоже можно разделить на несколько разновидностей. В первом случае на рисунке 4 показана схема измерений с двумя эталонными перемычками.

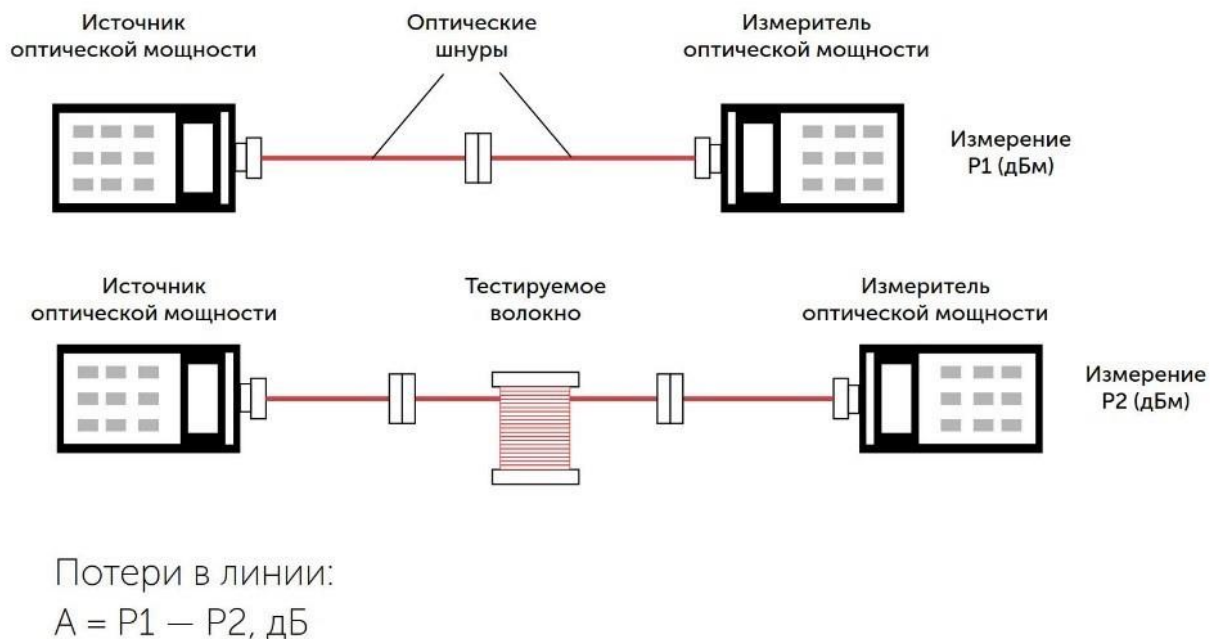


Рисунок 4- Измерение по методу вносимых потерь (две эталонные перемычки)

В источник и измеритель оптической мощности устанавливаются оптические шнуры типа патч-корд. Соединив их между собой в промежуточной оптической розетке, проводятся измерения уровня мощности без линии (P1). Затем, коннекторы из розетки извлекаются, и подключаются к розеткам на концах тестируемой линии. Производится измерение мощности прошедшего через волокно излучения (P2).

Потери в этом волокне определяются так же, как и в предыдущем случае, в виде разницы P1 и P2.

Основное отличие заключается в том, что остаются неизвестными точные потери в коннекторах оптических шнуров. Разъединив их и соединив снова (уже с другими коннекторами), получим некоторое отличие в величине потерь.

Тем не менее, этот метод также обладает большой точностью при измерении суммарных потерь в линии, если сравнивать его с измерением обратного рассеяния (OTDR).

Существует разновидность этого метода, а именно — измерение с одной эталонной перемычкой (рисунок 5). Этот метод рекомендуется стандартом TIA-568-C.3 как единственно правильный. Отличие заключается в том, что опорное значение мощности (P1) измеряется только с одним патч-кордом, который остаётся на источнике. Далее к измерителю подключается второй патч-корд и проводится измерение мощности, прошедшей через линию (P2).

Разница заключается в том, что в первом случае получаем потери только с учётом коннекторов тестируемой линии, а во втором к ним прибавляются потери от присоединяемых коннекторов.

Самым правильным решением при выборе методики будет следование пожеланиям заказчика, которому будут сдаваться результаты измерений. В

любом случае, необходимо чётко понимать, что и в каком случае измеряем и как можно трактовать полученные результаты.



Потери в линии:

$$A = P1 - P2, \text{ дБ}$$

Рисунок 5- Измерение по методу вносимых потерь

Если говорить об отличиях разных моделей тестеров, то они, разумеется, есть. Конструктивно тестеры могут совмещать в одном корпусе и источник, и измеритель, могут быть выполнены в виде отдельных приборов. В некоторых моделях, имеющих первую конструкцию, предусматривается тестирование линии в дуплексном режиме. То есть, два таких прибора подключаются к двум волокнам линии с обеих сторон, так, чтобы излучающий порт одного прибора соединялся с приёмным портом второго. В этом режиме тестеры позволяют определить также и длину линии.

Отличие может быть в номинальной мощности излучателя и в чувствительности фотоприёмника. Излучение в различных моделях может проводиться не на двух длинах волн, а на трёх. (Приёмники при этом, как правило, позволяют измерять сигнал на любой длине волны). Некоторые, совсем уж продвинутые модели имеют большие и даже цветные дисплеи и позволяют подключать к ним видеомикроскопы для визуализации поверхностей коннекторов...

Несмотря на эти обстоятельства, основную свою задачу — прямое измерение оптических потерь позволяют решать абсолютно все существующие модели.

В качестве примера рассмотрим оптический измеритель мощности DXR-40D (рисунок 4).

Волоконно-оптический измеритель мощности и источник света. FTTH волоконно-оптический источник света и измеритель мощности Предназначен для проверки затухания ВОЛС при установке, эксплуатации и техническом обслуживании волоконно-оптической сети. Это компактное устройство с переключателем подсветки и возможностью автоматического

включения и выключения. Кроме того, он обеспечивает следующие характеристики:

- Более 40 часов непрерывной работы;
- Отображение результатов измерения в линейном (мВт) и логарифмическом (дБм) виде;
- Поддержка оптических разъемов FC/SC/ST
- Автоматическое переключение диапазонов длин волн;
- Подсветка дисплея при необходимости;
- Диапазон уровней тестируемого сигнала: -70 до + 10дБм;
- Тип датчика: InGaAs
- Стандартные диапазоны длин волн (nm): 850/980/1300/1310/1490/1550/1625;
- Разрешение дисплея: линейные отображения 0.1%; логарифмический дисплей 0.01dBm;
- Рабочая температура: -10 до + 60С;
- Температура хранения: -25 до + 70С;
- Время автоматического выключения (мин): 10 мин.
- Период работы аккумулятора: не менее чем 40 часов
- Габаритные размеры (мм): 180x83x28



Рисунок 4- Оптический измеритель мощности DXP-40D

2. 2 Выполнение исследований затухания в ВОЛС

Порядок выполнения работы:

1. Подключите источник оптического сигнала к входу линии;
2. С помощью соединительного оптического кабеля подключите измеритель DXR-40D к выходу оптической линии (10) (рисунок 2);
3. С помощью оптического соединительного кабеля соедините оптический выход (5) с оптическим входом устройства внесения неоднородностей в стык оптического кабеля (6);
4. Подключите вход осциллографа для контроля входного сигнала ко входу (4);
5. Подключите второй вход осциллографа для контроля выходного сигнала к выходу линии (7);
6. Наблюдая сначала визуально за совмещением световодов в устройстве (6) и вращая винты поперечного и продольного перемещения, добейтесь совмещения световодов, а затем по измерителю DXR-40D максимального значения сигнала на выходе. Запишите значение максимального сигнала;
7. Снимите семейство значений зависимости амплитуды выходного сигнала от продольного смещения световодов при различных значениях величины продольного зазора (таблица 3)
8. Верните регулятор формирования продольного зазора в исходное состояние (минимальное затухание). Снимите семейство значений зависимости амплитуды выходного сигнала от поперечного смещения световодов при различных значениях величины смещения (таблица 4).
9. Постройте графики по результатам исследований (таблицы 3,4)
10. Сравните результаты измерений затухания различными методами.

Таблица 3

Величина продольного зазора, мм	0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
Уровень выходного сигнала, мВт									
Уровень выходного сигнала дБм									

Таблица 4

Величина поперечного смещения, мм	0,0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,1125
Уровень выходного сигнала, мВт							
Уровень выходного сигнала дБм							

3. Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Результаты экспериментальных исследований.
3. Результаты измерений и вычислений (таблицы 1,2,3,4).
4. Графики зависимостей уровней сигнала от величины продольного и поперечного смещений по каждому из методов измерений.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какова конструкция световодов?
2. Как распространяется световая волна в световодах?
3. Перечислить схемы проведения измерений параметров ВОЛС
4. Как определяются затухания сигнала при измерении амплитуды и мощности выходного сигнала.

Лабораторная работа № 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Цель и содержание:

Цель

1. Научиться измерять параметры сигналов различными осциллографическими методами на математических моделях.
2. Закрепление навыков оценки погрешности измерений параметров сигналов.

Содержание

1. Измерение амплитуды сигнала методом сравнения.
2. Измерение амплитуды сигнала методом калиброванной шкалы.
3. Определение среднеквадратического значения напряжения импульсного сигнала.

Теоретическое обоснование:

Амплитуда - максимальное значение периодически изменяющейся величины. (лат. *Amplitudo* – величина).

Метод сравнения. Метод сравнения позволяет увеличить точность измерений за счет исключения погрешностей, связанных с нелинейностью амплитудной характеристики, геометрическими искажениями ЭЛТ. Осциллограф используется лишь как устройство сравнения исследуемого сигнала с эталонным, а изображение - как индикатор сравнения.

Метод калиброванных шкал. Измерять амплитуду сигнала можно, калибруя масштабную сетку на экране осциллографа (т.е. определяя цену деления сетки в вольтах на сантиметр). В этом случае сетка становится шкалой. Масштаб указывается на переключателе чувствительности осциллографа. При наличии ручки плавной регулировки чувствительности указанный масштаб получается лишь при одном ее положении, фиксируемом при повороте (это положение обычно обозначается специальной меткой у ручки). Из-за влияния ряда факторов - погрешностей калибровки, визуального отсчета, нелинейной амплитудной характеристики канала горизонтального отклонения и т.д. - этот метод дает погрешность измерения напряжения около 5%.

Определение среднеквадратического значения напряжения импульсного сигнала. Среди средств измерения переменного тока и напряжения особое внимание уделяется средствам измерений среднеквадратического значения (СЗ) тока и напряжения. Это обусловлено тем, что единственной истинной мерой мощности электрического сигнала, т. е. его способности выделять теплоту, является его СЗ, независимо от того, является ли сигнал постоянным, синусоидальным, переменным с постоянным смещением, случайным или представляет собой последовательность импульсов. Среднеквадратическое значение — фундаментальная физическая характеристика процесса.

Необходимость прямого измерения СЗ приобретает особую важность в связи с широким распространением сигналов несинусоидальной формы (прямоугольных, треугольных, шумоподобных и т. д.). При определении количества и качества электроэнергии в энергосистемах, измерениях мощности, проверке систем связи, контроле уровня шума в звуковом диапазоне частот и измерениях в цифровых системах, полезную информацию о сигнале может дать только его СЗ.

Аппаратура и материалы. Для выполнения практического занятия необходим персональный компьютер и программа Electronics Workbench.

Указания по технике безопасности. Техника безопасности при выполнении лабораторных и практических работ совпадает с общепринятой для пользователей ПК, в частности: самостоятельно не производить ремонт ПК, установку и удаление программного обеспечения; в случае неисправности ПК сообщить об этом обслуживающему персоналу лаборатории; соблюдать правила техники безопасности при работе с электрооборудованием; содержать рабочее место в чистоте.

Методика и порядок выполнения работы:

Методика

Измерение амплитуды сигнала методом сравнения

Составить схему в соответствии с рисунком 1. К осциллографу на вход канала **А** подать исследуемый синусоидальный сигнал с источника переменного напряжения, а на вход канала **В** – эталонный сигнал прямоугольной формы с функционального генератора.

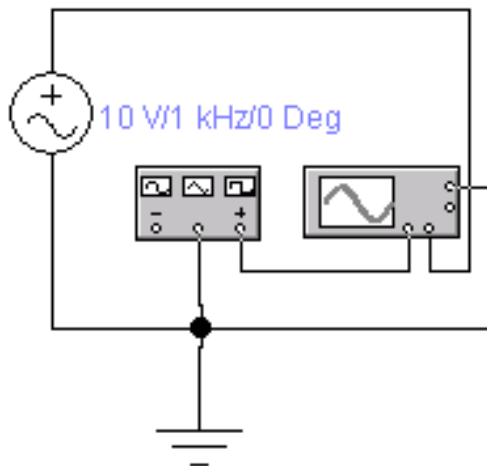


Рисунок 1 – Схема для измерения амплитуды сигнала методом сравнения

Установить действующие значения напряжения U источника в соответствии с таблицей 1. Подобрать значения масштабных коэффициентов: отклонения K_O (Вольт/деление – V/Div) и развертки K_P (Время/деление – $s(ms)/div$), чтобы изображение синусоидального сигнала по вертикали

занимало большую часть экрана, а по горизонтали – 4-5 периода (рисунок 2).

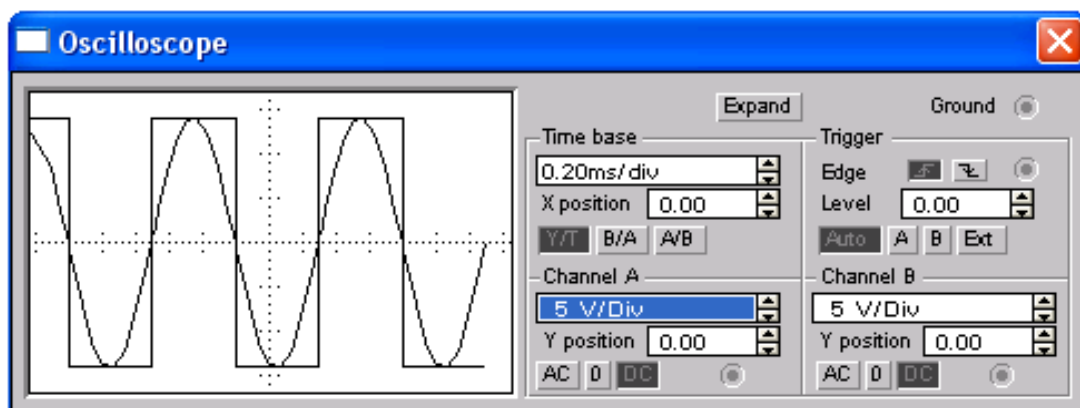


Рисунок 2 – Экран осциллографа при совпадении размаха прямоугольного сигнала с размахом исследуемого сигнала

На функциональном генераторе подобрать такие значения амплитуды $U_m \PhiГ$, чтобы размах прямоугольного сигнала совпадал с размахом исследуемого сигнала (рисунок 2) и полученные результаты занести в таблицу. Амплитуду сигнала $U_{m \text{ расч}}$ рассчитать по формуле:

$$U_{m \text{ расч}} = U \cdot \sqrt{2}$$

где U - напряжение на источнике.

Для результата измерения амплитуды сигнала методом сравнения рассчитать погрешность

$$\delta = |U_{m \text{ расч}} - U_{m \PhiГ}| / U_{m \text{ расч}}$$

Занести результаты моделирования и расчета погрешности в таблицу 1. Представленные в таблице 1 и выделенные желтым цветом значения показаны в качестве примера.

Таблица 1 – Результаты измерения амплитуды сигнала методом сравнения

U , В - на источнике	5	10	20	40	100
$U_{m \PhiГ}$, В – по генератору	7	14	28	56	140
$U_{m \text{ расч}}$, В – рассчитано	7.07	14.14	28,28	56,57	141.4
δ - погрешность	0,0099	0,0099	0,0099	0.0099	0.0099

Измерение амплитуды сигнала методом калиброванной шкалы

Собрать схему в соответствии с рисунком 3. Установить действующие значения напряжения U . Измерить линейные размеры размаха l в делениях (рисунок 4). По формуле $U_{m \text{ изм}} = K_O [V/Div]$ определить результат измерения амплитуды напряжения. Полученные расчеты занести в таблицу с результатами.

Сравнить полученные значения амплитуды сигнала с рассчитанной амплитудой напряжения источника $U_{m \text{ расч}} = U \cdot \sqrt{2}$. Найти погрешность

измерения

$$\delta = \left| \frac{U_{m \text{ расч}} - U_{m \text{ изм}}}{U_{m \text{ расч}}} \right|$$

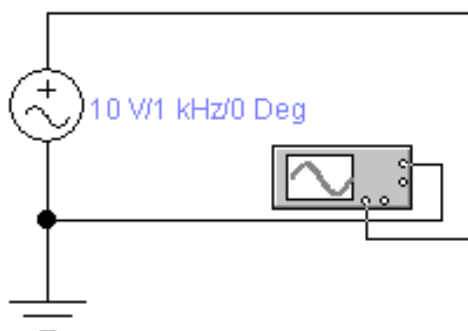


Рисунок 3 – Схема для измерения напряжения

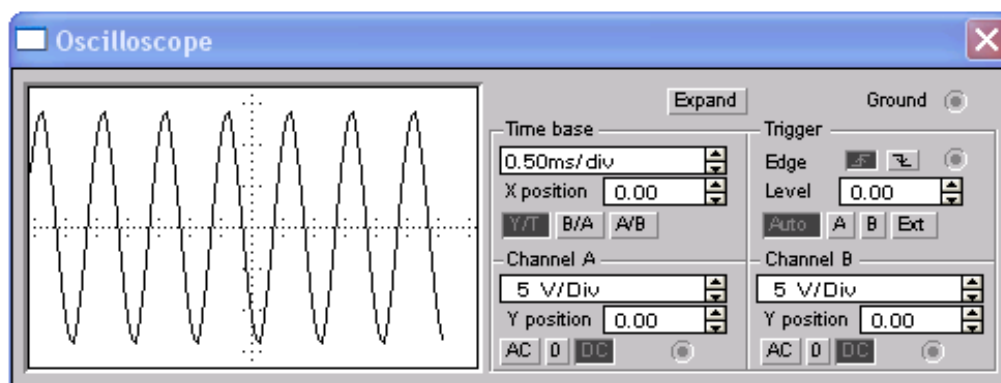


Рисунок 4 – Линейный размеры размаха l в делениях

Занести результаты моделирования и расчета погрешности в таблицу 2. Представленные в таблице 2 и выделенные желтым цветом значения показаны в качестве примера.

Таблица 2 – Результаты измерения амплитуды сигнала методом калиброванной шкалы

U , В - на источнике	10	15	25	50	120
$U_{m \text{ изм}}$, В – по осциллографу	14.1	21	34	70	170
$U_{m \text{ расч}}$, В – рассчитано	14.14	21.21	35.35	70.7	169.68
δ - погрешность	0.003	0.009	0.0038	0.009	0.0018

Определение среднеквадратического значения напряжения импульсного сигнала

Собрать схему в составе функционального генератора, осциллографа и мультиметра (рис. 5). Задать следующие параметры: режим генератора - импульсный сигнал; amplitude =10 V; frequency =1000 Hz; duty cycly (

$\tau/T \cdot 100\%$) и offset (U_0). Здесь T – период, τ - длительность положительной части импульсного сигнала. Измерить амплитуду исследуемого сигнала $U_{изм}$ на мультиметре.

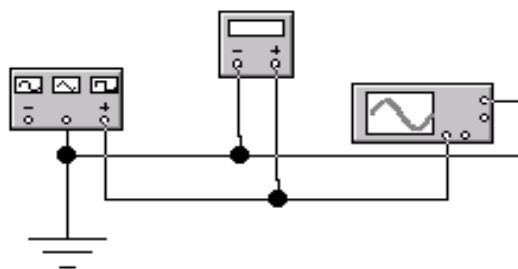


Рисунок 5 – Схема для определения среднеквадратического значения напряжения импульсного сигнала

Рассчитать действующее значения напряжения $U_{расч}=f(U_m, T, \tau)$ по формуле:

$$U_{расч} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) \cdot dt} = U / \sqrt{2}.$$

Рассчитать погрешность измерения $\delta = |U_{расч} - U_{изм}| / U_{расч}$.

Занести результаты моделирования и расчета погрешности в таблицу 3. Представленные в таблице 3 и выделенные желтым цветом значения показаны в качестве примера.

Таблица 3 – Результаты определения среднеквадратического значения напряжения импульсного сигнала

$\tau/T \cdot 100\%$ генератор	10		30		50		80	
U_0 , В - генератор	0	5	0	5	0	5	0	5
$U_{изм}$, В мультиметр	6.002	5.012	9.152	9.172	10	10	7.992	7.993
$U_{расч}$, В рассчитано	7.071	7.071	7.071	7.071	7.071	7.071	7.071	7.071
δ - погрешность	0.015	0.015	0.294	0.297	0.414	0.414	0.13	0.13

Порядок самостоятельного выполнения заданий по вариантам исходных данных.

Задание 1. Выполнить измерение амплитуды сигнала методом сравнения в соответствии со своим вариантом задания (таблица 4).

Задание 2. Выполнить измерение амплитуды сигнала методом калиброванной шкалы в соответствии со своим вариантом задания (таблица 4).

Задание 3. Определить среднеквадратическое значение напряжения импульсного сигнала при $U_0 = 0$ и 5 В, в соответствии со своим вариантом задания (таблица 5).

Таблица 4 – Варианты заданий

Номер варианта	Задание 1 $U_{ист}$					Задание 2 $U_{ист}$				
1	6	12	24	48	96	11	22	44	88	176
2	7	14	28	56	112	12	24	48	96	192
3	8	16	32	64	128	13	26	52	104	208
4	9	18	36	72	144	14	28	56	112	224
5	10	20	40	80	160	15	30	60	120	240
6	11	22	44	88	176	16	32	64	128	256
7	12	24	48	96	192	17	34	68	136	272
8	13	26	52	104	208	18	36	72	144	288
9	14	28	56	112	224	19	38	76	152	304
10	15	30	60	120	240	20	40	80	160	320
11	16	32	64	128	256	21	42	84	168	336
12	17	34	68	136	272	22	44	88	176	352
13	18	36	72	144	288	23	46	92	184	368
14	19	38	76	152	304	24	48	96	192	384
15	20	40	80	160	320	25	50	100	200	400

Таблица 5 – Варианты заданий

Номер варианта	Задание 3 τ/T			
1	11	22	44	88
2	12	24	48	96
3	13	26	52	104
4	14	28	56	112
5	15	30	60	120
6	16	32	64	128
7	17	34	68	136
8	18	36	72	144
9	19	38	76	152
10	20	40	80	160
11	21	42	84	168
12	22	44	88	176
13	23	46	92	184
14	24	48	96	192
15	25	50	100	200

Содержание отчета и его форма:

Отчет должен содержать: название практического занятия, фамилию, имя, отчество студента, цель работы, описание выполнения индивидуального задания; ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

Базовый уровень

1. Структурная схема осциллографа, назначение элементов.
2. Назначение и состав электронно-лучевой трубки осциллографа.
3. Структурная схема канала вертикального отклонения луча, назначение элементов.
4. Горизонтальная развертка.

Повышенный уровень

5. Режимы $Y(t)$, X/Y , Y/X .
6. Физическая сущность коэффициента отклонения.
7. Источник формирует синусоидальное напряжение, действующее значение которого равно $U=5$ В. Какой следует установить коэффициент отклонения, чтобы изображение сигнала занимало большую часть экрана осциллографа по вертикали (см. рисунок 2)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических занятий
по дисциплине «**Метрология, стандартизация и технические измерения**»
для студентов направления подготовки
Направление подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность (профиль)
Интеллектуальные программируемые системы и устройства

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие 1	Перевод национальных неметрических единиц измерения в единицы международной системы СИ
Практическое занятие 2	Стандартизация в области телекоммуникаций
Практическое занятие 3	Градуировка шкал средств измерений
Практическое занятие 4	Классы точности средств измерений
Практическое занятие 5	Комбинированные аналоговые измерители электрических величин
Практическое занятие 6	Двухлучевой осциллограф GOS-620 (GOS-620FG)
Практическое занятие 7	Назначение органов управления и порядок использования электронно-счетного частотомера GFC 8010H
Практическое занятие 8	Исследование универсального электронно-лучевого осциллографа
Практическое занятие 9	Цифровой многофункциональный генератор сигналов

Практическое занятие №1

ПЕРЕВОД НАЦИОНАЛЬНЫХ НЕМЕТРИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ В ЕДИНИЦЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ СИ

Цель работы: Научиться определять соотношение между единицами измерения СИ и наиболее часто встречающимися единицами других систем и внесистемными.

Материалы для выполнения работы: ГОСТ 8.417-2002 — единицы физических величин.

1. Общие теоретические сведения

Физическая величина (ФВ) - характеристика одного из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общая в качественном отношении по многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальна для каждого объекта.

Значение физической величины - оценка ее размера в виде некоторого числа по принятой для нее шкале.

Единица физической величины - ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено значение равное единице и применяемая для количественного выражения однородных ФВ.

Различают основные, производные, кратные, дольные, когерентные (СИ), системные и внесистемные единицы.

Международная система единиц физических величин

Совокупность основных и производных единиц ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется *системой единиц физических величин*. Единица основной ФВ является *основной единицей* данной *системы*. В Российской Федерации используется система единиц СИ, введенная ГОСТ 8.417-2002 «ГСИ. Единицы физических величин». В качестве основных единиц приняты метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и канделла (таблица 1).

Производная единица - это единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнениями, связывающими ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными. Некоторые производные единицы системы СИ, имеющие собственное название, приведены в таблице 2.

Таблица 1- Основные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Обозначение		Наименование	Обозначение	
	Размерность	Рекомендуемое		русское	международное
Длина	L	l	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	I	ампер	А	A
Термодинамическая температура	Θ	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, ν	моль	моль	mol
Сила света	J	J	канделла	кд	cd

Таблица 2 - Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через ед.СИ
Частота	T^{-1}	герц	Гц	c^{-1}
Сила, вес	LMT^{-2}	ньютон	Н	$m * кг * c^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1} MT^{-2}$	паскаль	Па	$m^{-1} * кг * c^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2 MT^{-2}$	джоуль	Дж	$m^2 * кг * c^{-2}$
Мощность	$L^2 MT^{-3}$	ватт	Вт	$m^2 * кг * c^{-3}$
Количество электричества	TI	кулон	Кл	$c * A$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	$L^2 MT^{-3} I^{-1}$	вольт	В	$m^2 * кг * c^{-3} * A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$	фарад	ф	$m^{-2} * кг^{-1} * c^4 * A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2 MT^{-3} I^{-2}$	ом	Ом	$m^2 * кг * c^{-3} * A^{-2}$
Магнитная индукция	$MT^{-2} I^{-1}$	тесла	Тл	$кг * c^{-2} A^{-1}$

Для установления производной единицы следует:

- выбрать ФВ, единицы которых принимаются в качестве основных;
- установить размер этих единиц;
- выбрать определяющее уравнение, связывающее величины, измеряемые основными единицами, с величиной, для которой устанавливается производная единица. При этом символы всех величин, входящих в определяющее уравнение, должны рассматриваться не как сами величины, а как их именованные числовые значения;

Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными. *Внесистемная единица* - это единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц. Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяют на 4 вида:

- допускаемые наравне с единицами СИ, например: единицы массы - тонна; плоского угла - градус, минута, секунда; объема - литр и др. Некоторые внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с едини- цей СИ
Масса	тонна	т	10^3 кг
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Объем	литр	л	10^{-3} м^3
Площадь	гектар	га	10^4 м^2

- допускаемые к применению в специальных областях, например: астрономическая единица, парсек, световой год - единицы длины в астрономии; диоптрия - единица оптической силы в оптике; электрон-вольт - единица энергии в физике и т.д.

- временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например: морская миля- в морской навигации; карат - единица массы в ювелирном деле и др. Эти единицы должны изыматься из употребления в соответствии с международными соглашениями;

- изъятые из употребления, например; миллиметр ртутного столба – единица давления; лошадиная сила - единица мощности и некоторые другие.

Различают кратные и дольные единицы ФВ. *Кратная единица*- это единица ФВ, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу. Например, единица длины - километр равна 10 м, т.е. кратная метру. *Дольная единица* - единица ФВ, значение которой в целое число раз меньше системой или внесистемной единицы. Например, единица длины миллиметр равна 10 м, т.е. является дольной. Приставки для образования кратных и дольных единиц СИ приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
10^{18}	экса	Э	10^{-1}	деци	d
10^{15}	пета	П	10^{-2}	санتي	с
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	милли	м
10^9	гига	Г	10^{-6}	микро	мк
10^6	мега	М	10^{-9}	нано	н
10^3	кило	к	10^{-12}	пико	п
10^2	гекто	г	10^{-15}	фемто	ф

10^1	дека	да	10^{-18}	атто	а
--------	------	----	------------	------	---

Существует соотношение между единицами измерения СИ и наиболее часто встречающимися единицами других систем и внесистемными (см. таблицу 5)

Таблица 5 - Соотношения между единицами измерения.

№ п.п	Величины	Единицы измерения в СИ	Соотношение между единицами измерения СИ и наиболее часто встречающимися единицами других систем и внесистемными.
1.	Длина	м	$1\text{мкм} = 10^{-6}\text{м}$
2.	Масса	кг	$1\text{т} = 1000\text{кг}$ $1\text{ц} = 100\text{кг}$
3.	Температура	К	$0 = (t^{\circ}\text{C} + 273,15)\text{К}$
4.	Вес (сила тяжести)	Н	$1\text{кг} = 9,81\text{Н}$ $1\text{дин} = 10^{-5}\text{Н}$
5.	Давление	Па	$1\text{бар} = 10^5\text{Па}$ $1\text{мбар} = 100\text{Па}$ $1\text{дин} / \text{см}^2 = 1\text{мкбар} = 0,1\text{Па}$ $1\text{кгс} / \text{см}^2 = 1\text{ат} = 9,81 \times 10^4\text{Па} = 735\text{мм.рт.ст.}$ $1\text{кгс} / \text{м}^2 = 9,81\text{Па}$ $1\text{мм.вод.ст.} = 9,81\text{Па}$ $1\text{мм.рт.ст.} = 133,3\text{Па}$
6.	Мощность	Вт	$1\text{кгс} \times \text{м} / \text{с} = 9,81\text{Вт}$ $1\text{эрг} / \text{с} = 10^{-7}\text{Вт}$ $1\text{ккал} / \text{ч} = 1,163\text{Вт}$
7.	Объем	м^3	$1\text{л} = 10^{-3}\text{м}^3 = 1\text{дм}^3$
8.	Плотность	$\text{кг} / \text{м}^3$	$1\text{т} / \text{м}^3 = 1\text{кг} / \text{дм}^3 = 1\text{г} / \text{см}^3 = 10^3\text{кг} / \text{м}^3$ $1\text{кгс} \times \text{с}^2 / \text{м}^4 = 9,81\text{кг} / \text{м}^3$
9.	Работа, энергия, количество теплоты	Дж	$1\text{кгс} \times \text{м} = 9,81\text{Дж}$ $1\text{эрг} = 10^{-7}\text{Дж}$ $1\text{кВт} \times \text{ч} = 3,6 \times 10^6\text{Дж} = 4,19\text{кДж}$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ:

Выразить в соответствующих единицах значения физических величин (повариантное задание по таблице 6).

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с единицами физических величин и их размерностью по ГОСТ 8.417-2002 или по методическому указанию.

Оформить заголовочную часть практической работы и выполнить задание.

2. Оформить ответ на задание по своему варианту (см. таблицу 6) в форме таблицы. Используя таблицы 1-5 данных методических рекомендаций, выразить в соответствующих единицах физические величины.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение метрологии.
2. Продолжите: физическая величина...
значение физической величины...
единица физической величины...
3. Перечислите основные единицы Международной системы СИ.
4. Приведите примеры производных единиц СИ.
5. Выразить 1м в км, Мм, мм, дм.
6. Выразить 1 мм. рт. ст. в Па.

Таблица 6

Варианты заданий.					
1,7, 13, 19		2,8, 14, 20		3, 9, 15, 21	
Задание	Ответ	Задание	Ответ	Задание	Ответ
10м	мкм	100м	мм	100см	м
100кг	т	100кг	ц	100кг	г
37 °C	Θ =	32 °C	Θ =	25 °C	Θ =
250К	°C	450К	°C	210 К	°C
10Па	бар	10Па	Мбар	10Па	дин/см ²
100Па	мм.рт.ст.	100Па	кгс/см ²	100Па	мм.вод.ст.
1000 мм.рт.ст.	мбар	1000 мм.рт.ст.	Па	1000 мм.рт.ст.	кгс/ см ²
10 Н	кг	10 Н	дин	10 Н	г
10Вт	ккал/ч	10Вт	эрг/с	10Вт	кгс*м/с
10Дж	ккал	10Дж	кВт*ч	10Дж	эрг
0,1л	см ³	0,1л	дм ³	0,1л	м ³
0,1 м/с	м/ч	0,1 м/с	км/с	0,1 м/с	км/ч
10 А	ГА	10 А	кА	10 А	МА
100Вт	МВт	100Вт	сВт	100Вт	дВт
1 кг / м ³	кг/дм ³	1 кг / м ³	г/см ³	1 кг / м ³	г/м ³
Варианты заданий.					
4, 10,16, 22		5, 11, 17, 23		6,12,18, 24	
Задание	Ответ	Задание	Ответ	Задание	Ответ
1Мм	м	10мкм	м	100мм	м
10т	кг	100ц	т	100г	кг
48 °C	Θ =	53 °C	Θ =	70 °C	Θ =
375К	°C	273К	°C	300К	°C
10Па	ат	10Па	мм.рт.ст.	10Па	мбар
100Па	кгс/м ²	100Па	мкбар	100Па	дин/м ²
1000 мм.рт.ст.	дин/см ²	1000 мм.рт.ст.	ат	1000 мм.рт.ст.	кгс/м ²
10 Н	дг	10 Н	сг	10 Н	дин
1Вт	ккал/ч	1Вт	кгс*м/с	1Вт	эрг/с
1Дж	ккал	1Дж	кВт*ч	1Дж	эрг
0,01л	см ³	0,01л	дм ³	0,01л	м ³
0,1 м/с	м/мин	0,1 м/с	км/мин	0,01 м/с	км/ч
0,1 А	гА	0,1 А	сА	0,1 А	МА
1Вт	МВт	1Вт	сВт	1Вт	дВт
1 кг / м ³	кг/дм ³	1 кг / м ³	г/см ³	1 кг / м ³	мг/ м ³

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЯ №2

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Цель занятия: изучить систему национальных и международных стандартов, обеспечивающих единство измерений параметров телекоммуникационного оборудования

Учебные вопросы:

1. Международные организации стандартизации в области телекоммуникационного оборудования
2. Стандарты Российской Федерации, регламентирующие метрологическое обеспечение телекоммуникационных сетей

При проведении измерений требуется обеспечить их единство, что необходимо для достижения сопоставимых результатов измерений одних и тех же параметров, выполненных в разное время и в различных местах, с помощью разных методов и средств.

Одной из основных научно-административных мер обеспечения единства измерений является система международных и национальных стандартов в области метрологии.

Общие требования и основные метрологические правила установлены законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений». Конкретные метрологические нормы и правила изложены в нормативных документах (стандартах, правилах, рекомендациях и пр.). Комплекс стандартов и нормативных документов, обеспечивающий достижение и поддержание единства измерений, составляет государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ).

1. Международные организации стандартизации в области телекоммуникационного оборудования

Одной из проблем при построении и эксплуатации телекоммуникационных сетей является совместимость оборудования различных производителей. Кроме того, для эффективного функционирования различных элементов сетей необходимо использование единых протоколов их взаимодействия. С этой целью организациями по стандартизации в области телекоммуникаций ведется разработка соответствующих стандартов. Членами таких организаций, как правило, являются государственные учреждения и известные фирмы-производители разных стран. Выпуск стандартов происходит в несколько этапов: разработка проектов стандартов, голосование и официальный выпуск. Наиболее известными организациями стандартизации в области телекоммуникаций являются:

1) *Международный союз электросвязи МСЭ (ITU – International Telecommunications Union)*, который осуществляет координацию работ по

стандартизации в телекоммуникациях и в настоящее время включает в себя три сектора:

- *ITU-T* – сектор стандартизации по телекоммуникациям, организованный для разработки стандартов в области телекоммуникаций (стандарты называются *рекомендациями*, которые объединяются в серии, обозначаемые латинскими буквами с соответствующим порядковым номером);

- *ITU-R* – сектор радиосвязи, который рассматривает вопросы радиосвязи и координирует распределение частот для радио- и телевизионных служб, спутниковой связи, а также рассматривает технические аспекты мобильной связи;

- *ITU-D* – сектор развития, который решает вопросы экономического, социального и культурного развития.

2) **Международная организация по стандартизации (OSI - International Standards Organization)**, которая является автором стандартом в различных областях деятельности, включая стандарты по телекоммуникациям (например, эталонная модель взаимодействия открытых систем ЭВОС).

3) **Европейская конференция администраций почт и электросвязи (CEPT – Conference of European Posts and Telegraphs)**, в сферу деятельности которой входит кооперация участников телекоммуникационного рынка, а также стандартизация по техническим и организационным вопросам.

4) **Европейский институт в области стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI – European Telecommunications Standards Institute)**, который был создан организацией СЕРТ и, который определяет техническую политику в области телекоммуникаций для стран-членов Европейского сообщества.

5) **Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers)**, которая является организацией по разработке стандартов для сетей (наиболее известным стандартом является стандарт для локальных вычислительных сетей LAN).

6) **Американский национальный институт стандартизации (ANSI – American National Standards Institute)**, который является координирующим органом групп по стандартизации в США. Наиболее известными группами по стандартизации в США являются:

- *TIA (Telecommunication Industrial Association)* – ассоциация телекоммуникационной промышленности;

- *EIA (Electronic Industrial Association)* – ассоциация электронной промышленности.

7) **Федеральная комиссия по связи (FCC – Federal Communication Commission)**, которая является правительственной организацией в США, занимающейся регулированием в отрасли связи, в том числе распределением спектра радиочастот.

В России работы по стандартизации и регулированию в области телекоммуникаций проводит Министерство информатизации и связи РФ, а

также его подразделения: комиссия по электросвязи, комиссия по радиочастотам, комиссия по информатизации. Для надзора за выполнением условий лицензий для участников телекоммуникационного рынка России осуществляется государственный надзор за связью и информатизацией.

2. Стандарты Российской Федерации, регламентирующие метрологическое обеспечение телекоммуникационных сетей

Для изучения содержания федерального закона «Об обеспечении единства измерений» воспользуйтесь ссылкой [Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 N 102-ФЗ \(последняя редакция\) / КонсультантПлюс \(consultant.ru\)](#)

При изучении данного закона рекомендуется отвечать на вопросы теста [Тестирование по ФЗ №102.](#)

Для изучения обозначений, наносимых на шкалы измерительных приборов воспользуйтесь ссылкой [ГОСТ 23217-78 Приборы электроизмерительные аналоговые с непосредственным отсчетом. Наносимые условные обозначения от 19 июля 1978 - docs.cntd.ru](#)

1. **Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 N 102-ФЗ (последняя редакция)** 26 июня 2008 года N 102-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2021)

2. **ГОСТ 23217-78. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ АНАЛОГОВЫЕ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОТСЧЕТОМ. Наносимые условные обозначения** Дата введения 1980-01-01. ПЕРЕИЗДАНИЕ. Октябрь 1992 г.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 ГРАДУИРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель занятия: научиться определять градуировочную характеристику средств измерений.

1. Общие теоретические сведения

Средствами измерений (СИ) являются измерительные технические устройства, имеющие нормированные метрологические характеристики. Под метрологическими характеристиками понимают такие свойства СИ, которые позволяют оценить результат измерения физических величин и его погрешности. СИ способно хранить и воспроизводить единицы или шкалы измеряемых величин и сохранять их **размер** неизменным в течение определенного времени. Техническое средство непосредственно после изготовления становится измерительным после передачи ему единицы (или шкалы) от другого более точного СИ. Эта операция называется градуировкой. В более общем смысле градуировка СИ означает определение функциональной зависимости между входной (в частности, измеряемой физической величиной) и выходной величинами с использованием образцовых СИ на входе и выходе этого СИ. При этом в любых СИ осуществляются измерительные преобразования, сопровождающиеся изменениями рода физических величин с требуемым качеством метрологических характеристик.

Градуировка выполняется в условиях, когда измеряемая величина либо не меняется, либо ее изменением можно пренебречь, а время позволяет снимать показания после того, как указатель отсчетного устройства окончательно остановится **на** какой-нибудь отметке шкалы.

Различают градуировку в отдельных точках диапазона измерений и построение непрерывной градуировочной характеристики.

Градуировка в отдельных точках диапазона измерений является наиболее простой. Так, например, при градуировке ртутного термометра в двух реперных точках (при температуре таяния льда и температуре кипения воды) получают по n значений длины ртутного столба в каждой точке. Затем в центрах рассеяния наносят отметки шкалы и присваивают этим отметкам значения $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно. Если длина ртутного столба прямо пропорциональна измеряемой температуре, то расстояние **между** полученными отметками шкалы можно разбить на 100 равных частей и получить термометрическую шкалу с ценой деления $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Построение градуировочной характеристики предполагает две возможности. Первая из них заключается в том, что зависимость между входным воздействием и откликом на него известна (например, линейная, квадратичная, логарифмическая и т.п.), но неизвестны коэффициенты, входящие в соответствующее алгебраическое уравнение. Вторая возможность

состоит в необходимости аппроксимации экспериментальных данных аналитической зависимостью.

Если вид градуировочной характеристики $Y = f(X)$, где X — входная величина, Y - выходная величина, известен, то задача состоит в том, чтобы в её представлении полиномом соответствующей степени

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_mX^m,$$

найти **такие** значения коэффициентов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$, при которых эта зависимость наилучшим образом соответствовала бы экспериментальным данным.

На рисунке 1 показаны некоторые варианты построения линейной градуировочной характеристики по экспериментальным данным, обозначенным кружочками. Вопрос о том, какой из вариантов лучше, должен решаться на основе

какого-то критерия. Если значения входных воздействий $X_1, X_2, \dots, X_n$ известны точно, а отклики на них $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ подчиняются нормальному закону распределения вероятности, то обычно используется *метод наименьших квадратов (МНК)*.

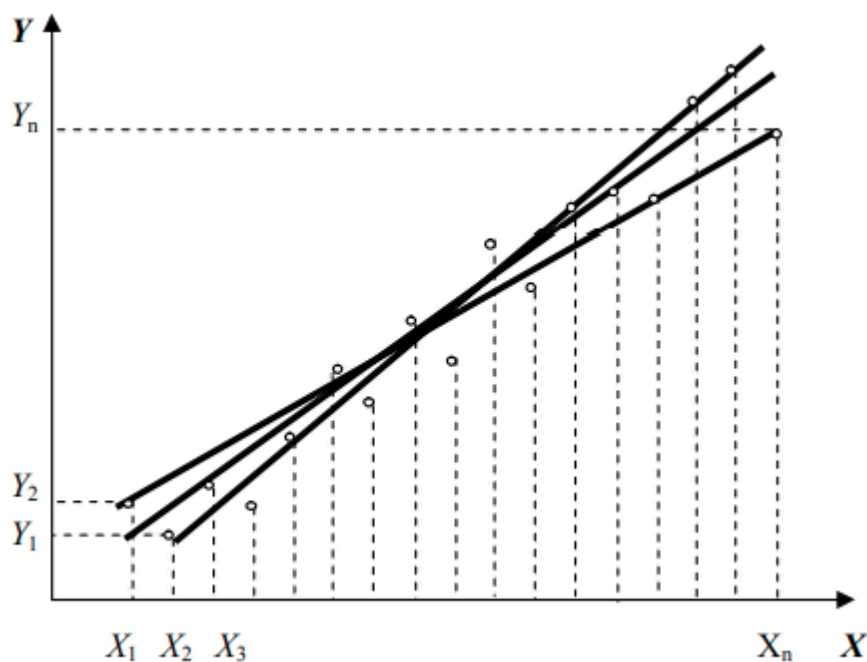


Рисунок 1- Построение линейной градуировочной характеристики по экспериментальным данным

Минимизируется сумма квадратов отклонений откликов по **оси** ординат от градуировочной характеристики:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i - a_2 \cdot X_i^2 - \dots - a_m \cdot X_i^m)^2 = \min.$$

Коэффициенты $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$, определяющие оптимальную по критерию наименьших квадратов градуировочную характеристику, находятся из условия равенства нулю производных от этой суммы по каждому коэффициенту.

Пример

При градуировке измерительного прибора с линейной градуировочной характеристикой получены числовые значения экспериментальных данных, представленные в **таблице 1**.

Таблица 1.1 Экспериментальные данные

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X_i	41	50	81	104	120	139	154	180	208	241	250	269	301
Y_i	4	8	10	14	15	20	19	23	26	30	31	30	37

Найти методом наименьших квадратов аналитическое выражение для градуировочной характеристики и построить её графически.

Решение

1. Линейная градуировочная характеристика описывается выражением:

$$Y = a_0 + a_1 X,$$

где коэффициенты a_0 и a_1 методом наименьших квадратов находятся из условия:

$$\sum_{i=1}^{13} (Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i)^2 = \min,$$

2. Вышеприведенная функция минимальна в точке, где ее производные по

a_0 и a_1 равны нулю. Поэтому коэффициенты a_0 и a_1 определяются в результате решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{13} 2(Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^{13} 2(Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i) \cdot X_i = 0 \end{cases}$$

3. Система линейных уравнений имеет единственное решение, которое находится по формулам Крамера:

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - a_1 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

4. В рассматриваемом случае $a_0 = 1,24$ и $a_1 = 0,1173$, так что аналитическое выражение для градуировочной характеристики имеет вид:

$$Y = 1,24 + 0,1173X.$$

Графически она представлена на рисунке 2, где точками нанесены экспериментальные данные.

Выражениями для a_0 и a_1 , полученными в рассмотренном примере, можно пользоваться при градуировке измерительных приборов с нелинейными градуировочными характеристиками.

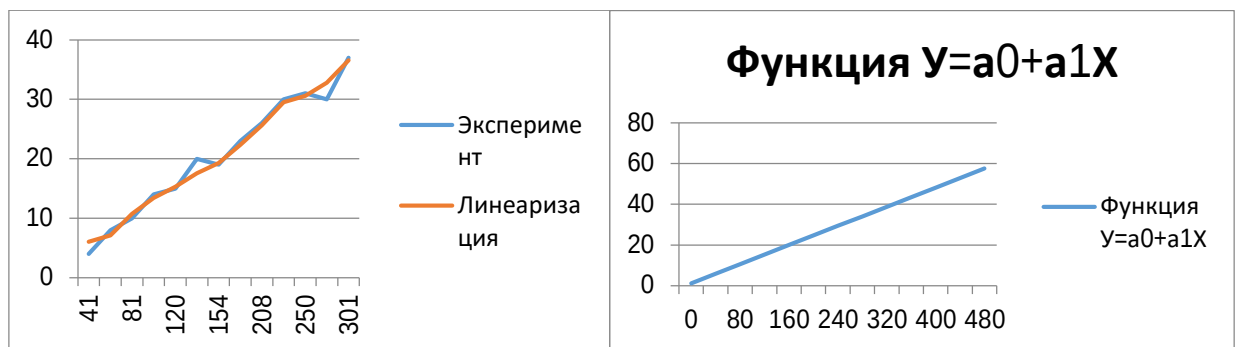


Рисунок 2-. Градуировочная характеристика, найденная по МНК

Так, например, если она описывается зависимостью

$$Y = a_0 + \frac{a_1}{X},$$

то в формулы для коэффициентов a_0 и a_1 вместо X следует подставлять $Z = \frac{1}{X}$.

Точно так же, если $Y = a_0 + a_1 X^2$

то задача линейризуется подстановкой $Z = X^2$.

Иногда для линейризации может использоваться логарифмирование. Если, например,

$$Y = a_0 e^{a_1 X},$$

то после логарифмирования по основанию натуральных логарифмов получается:

$$\ln Y = \ln a_0 + a_1 X \quad (2)$$

Если градуировочная характеристика СИ имеет вид:

$$Y = k_0 \cdot e^{\frac{k_1}{X}}, \quad (3)$$

то после логарифмирования выражения (3) с использованием натуральных логарифмов получим

$$\ln Y = \ln k_0 + k_1 / X$$

Произведя замену переменных, составим линейное уравнение относительно новых переменных:

$$Z = a_0 + a_1 W, \quad (4)$$

где $Z = \ln Y$, $a_0 = \ln k_0$, $a_1 = k_1$, $W = X^{-1}$.

Для линейризации градуировочной характеристики СИ вида:

$$Y = k_0 \cdot \ln \frac{X}{k_1}, \quad (5)$$

представим выражение (5) в виде:

$$\ln Y = k_0(\ln X - \ln k_1)$$

Отсюда:

$$\ln Y = k_0 \ln X - k_0 \ln k_1,$$

и получим линейную зависимость

$$Y = a_0 + a_1 Z, \quad (6)$$

где $a_0 = -k_0 \ln k_1$, $a_1 = k_0$, $Z = \ln X$.

При наличии данных, аналогичных приведенным в **таблице 1**, решение производится по новым переменным с учетом их значений в формулах (2), (4) и (6).

Если вид градуировочной характеристики неизвестен, то возникает задача отыскания наилучшей аппроксимации экспериментальных данных, полученных при градуировке, аналитической зависимостью (рисунок 3). Решение ее методом наименьших квадратов (МНК) отличается от решения предыдущей задачи только **тем**, что степень полинома

$$Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots$$

неизвестна. Она устанавливается на основании требований к точности градуировки. После этого минимизируется выражение (1).

Количество уравнений для определения коэффициентов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$, всегда равно числу неизвестных, так что задача имеет единственное решение. В специальной литературе она иногда называется *задачей сглаживания*.

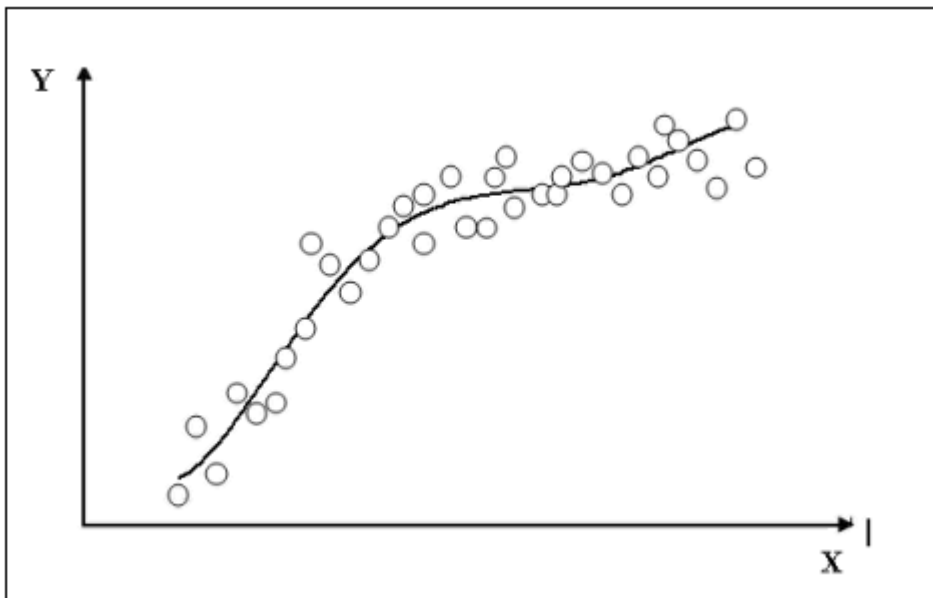


Рисунок 3- Построение градуировочной характеристики, вид которой неизвестен

Задание для самостоятельной работы

При градуировке средства измерения с линейной функциональной характеристикой получены числовые значения экспериментальных данных, приведенные в таблице 2. По полученным данным найти методом наименьших

квадратов аналитические выражения для градуировочной характеристики и построить ее графически.

Таблица 2- Экспериментальные данные

Номер эксперимента i	Входная величина	Выходные величины Y_j				
		j=1	j = 2	j = 3	j = 4	j= 5
1	0	46,00	100	10	100	53
2	10	47,82	103,96	10,396	104,26	55,26
3	20	49,64	107,91	10,791	108,52	57,52
4	30	51,45	111,85	11,185	112,78	59,77
5	40	53,26	115,78	11,578	117,04	62,03
6	50	55,06	119,7	11,97	121,3	64,29
7	60	56,86	123,6	12,36	125,56	66,55
8	70	58,65	127,49	12,749	129,82	68,81
9	80	60,43	131,37	13,137	134,08	71,06
10	90	62,21	135,24	13,524	138,34	73,32

Окончание таблицы 2

Номер эксперимента i	Входная величина	Выходные величины Y_j				
		j=1	j = 2	j = 3	j = 4	j=5
11	100	63,99	139,1	13,91	142,6	75,58
12	110	65,76	142,95	14,295	146,86	77,84
13	120	67,52	146,78	14,678	151,12	80,09
14	130	69,28	150,6	15,06	155,38	82,35
15	140	71,03	154,41	15,441	159,64	84,61
16	150	72,78	158,21	15,821	163,9	86,87
17	160	74,52	162	16,2	168,16	89,13
18	170	76,26	165,78	16,578	172,42	91,38
19	180	77,99	169,54	16,954	176,68	93,64
20	190	79,71	173,29	17,329	—	—
21	200	81,43	177,03	17,703	—	—

Содержание отчета

1. Таблица экспериментальных данных.
2. Результаты расчетов градуировочной характеристики СИ.

3. Функциональная зависимость $y = f(x)$ в графическом виде.
4. Выводы по проделанной работе (коэффициенты для градуировочной характеристики).

Контрольные вопросы

1. Дать определение СИ.
2. Дать определение понятия «градуировка СИ».
3. В каких задачах используется метод наименьших квадратов?
4. Привести примеры линеаризации градуировочных функциональных зависимостей для СИ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 КЛАССЫ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель занятия: Закрепление навыков определения погрешности измерений для средств измерений различного класса точности

Задание на самостоятельную работу:

Повторить материал лекций №№4,5 и литературу [1].

1. Примеры решения типовых задач

Задача 1. Отсчет по шкале прибора с равномерной шкалой и с пределами измерений от 0 В до 50 В равен 25 В. Оценить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчёта для приборов следующих классов точности: а) 0,02/0,01; б) 0,5; в) 0,5

Решение:

$$\text{а) } \delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} \Rightarrow \Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%}; \quad \delta = [c + d(|x_k/x| - 1)].$$

Так как $x = 25$; $x_k = 50 \text{ В}$; $c = 0,02$; $d = 0,01$ получаем:

$$\Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{[0,02 + 0,01(|50 \text{ В}/25 \text{ В}| - 1)]\% \cdot 25 \text{ В}}{100\%} \approx 0,008 \text{ В};$$

$$\text{б) } \gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} \Rightarrow \Delta = \frac{\gamma \cdot x_N}{100\%} = \frac{0,5\% \cdot 50 \text{ В}}{100\%} = 0,25 \text{ В};$$

$$\text{в) } \delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} \Rightarrow \Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{0,5\% \cdot 25 \text{ В}}{100\%} = 0,13 \text{ В}.$$

Ответ: а) $\Delta = 0,008 \text{ В}$; б) $\Delta = 0,25 \text{ В}$; в) $\Delta = 0,13 \text{ В}$.

Задача 2. По приведенной погрешности определить класс точности миллиамперметра, который необходим для измерения тока от 0,1 мА до 0,5 мА (относительная погрешность измерения не должна превышать 1%).

$$\text{Решение: } \delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} \Rightarrow \Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{1\% \cdot 0,1 \text{ мА}}{100\%} = 0,001 \text{ мА} \quad (\text{измеренное})$$

(измеренное значение тока – x , берем в начале шкалы, так как в начале шкалы относительная погрешность измерения больше).

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} = \frac{0,001 \text{ мА} \cdot 100\%}{0,5 \text{ мА}} = 0,2\%.$$

Ответ: класс точности миллиамперметра 0,2.

Задача 3. Манометр типа МТ-1 с диапазоном измерения от 0 кгс/см² до 160 кгс/см², класс точности 1,5, используется для контроля постоянного давления 120 кгс/см². Определить абсолютную и относительную погрешности манометра.

$$\text{Решение: } 1 \text{ кгс} = 9,8 \text{ Н}; 160 \text{ кгс/см}^2 = \frac{160 \cdot 9,8}{10^{-4}} \text{ Н/м}^2 = 157 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$120 \text{ кгс/см}^2 = \frac{120 \cdot 9,8}{10^{-4}} \text{ Н/м}^2 = 118 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} \Rightarrow \Delta = \frac{\gamma \cdot x_N}{100\%} = \frac{1,5\% \cdot (157 \cdot 10^5) \text{ Н/м}^2}{100\%} = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} = \frac{2,4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 \cdot 100\%}{118 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2} = 2\%.$$

Ответ: $2,4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; 2 %.

2. Задачи для самостоятельного решения

Задача 4. В цепь с током 15 А включены три амперметра со следующими параметрами: класса точности 1,0 со шкалой на 50 А; класса точности 1,5 на 30 А и класса точности 2,5 на 20 А. Определить, какой из амперметров обеспечит большую точности измерения тока в цепи.

Ответ: второй.

Задача 5. При поверке амперметра с пределом измерений 5 А в точках шкалы: 1; 2; 3; 4; и 5 А получены следующие показания образцового прибора: 0,95; 2,06; 3,05; 4,07; и 4,95 А. Определить абсолютные, относительные и приведенные погрешности в каждой точке шкалы и класс точности амперметра.

Ответ: класс точности амперметра 1,4.

Задача 6. Микроамперметр на 100 мкА имеет шкалу в 200 делений. Определите возможную погрешность в делениях шкалы, если на шкале прибора имеется обозначение класса точности 1,0.

Ответ: 2 деления.

Задача 7. При контроле метрологических параметров деформационных (пружинных) манометров со шкалой на 300 делений смещение стрелки от постукивания по корпусу прибора должно оцениваться с погрешностью, не превышающей 0,1 цены деления шкалы. Сопоставьте эту погрешность отсчета с допустимой погрешностью для манометра класса 0,15.

Ответ: абсолютная погрешность смещения меньше абсолютной допустимой погрешности манометра в 4,5 раза.

Задача 8. Для измерения напряжения от 50 В до 130 В с относительной погрешностью, не превышающей 5 %, был заказан вольтметр с верхним пределом измерения 150 В и классом точности 1,0. Удовлетворяет ли он поставленным условиям?

Ответ: заказанный вольтметр удовлетворяет поставленным условиям.

Задача 9. Определите по приведенной погрешности класс точности измерительного прибора при условии, что относительная погрешность измерения в середине шкалы не должна превышать 1 %.

Ответ: 0,5 %.

Задача 10. Класс точности весов 0,2, определите допускаемую относительную погрешности этих весов в начале (1 деление) и в середине шкалы, если весы рассчитаны на 100 делений.

Ответ: 20 %; 0,4 %.

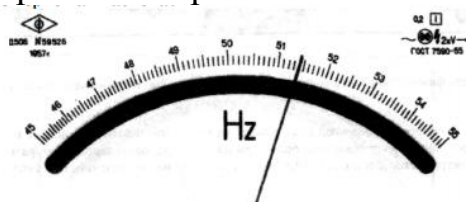
Примеры заданий для выполнения по вариантам

Задача 1. Погрешность измерения одной и той же величины, выраженная в долях этой величины: $3 \cdot 10^{-1}$ – для одного прибора; $3 \cdot 2 \cdot 10^{-1}$ – для другого. Какой из этих приборов точнее?

Задача 2. Определите относительную погрешность для прибора класса 0,5, имеющего шкалу 100 делений. Насколько эта погрешность больше погрешности на последнем – сотом делении шкалы прибора?

Задача 3. При контроле метрологических параметров деформационных (пружинных) манометров со шкалой на 300 делений смещение стрелки от постукивания по корпусу прибора должно оцениваться с погрешностью, не превышающей 0,1 цены деления шкалы. Сопоставьте эту погрешность отсчета с допустимой погрешностью для манометра класса 0,15.

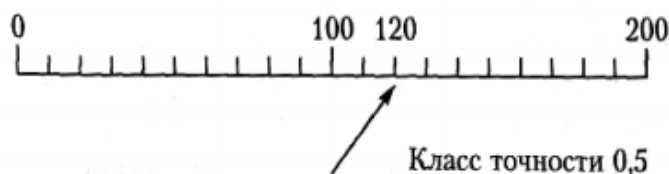
Задача 4. Указатель отсчетного устройства частотомера класса точности 0,2 с номинальной частотой 50 Гц, шкала которого приведена на рисунке, показывает 54 Гц. Чему равна измеряемая частота?



Задача 5. Вольтметр типа Д566/107, класса точности 0,2, имеет диапазон измерений от 0 В до 50 В. Определить допускаемую абсолютную и относительную погрешности, если стрелка вольтметра остановилась на делении шкалы против цифры 20 В.

Задача 6. Из теоретической метрологии известно, что если за результат измерения взять среднее арифметическое из p измерений, точность повышается в p раз. Сколько измерений электрического сопротивления резистора надо сделать омметром класса 1,0, чтобы определить ее с погрешностью 0,1%?

Задача 7. Указатель отсчетного устройства вольтметра класса точности 0,5, шкала которого приведена на рисунке, показывает 120 В. Представить результат однократного измерения (шкала равномерная).



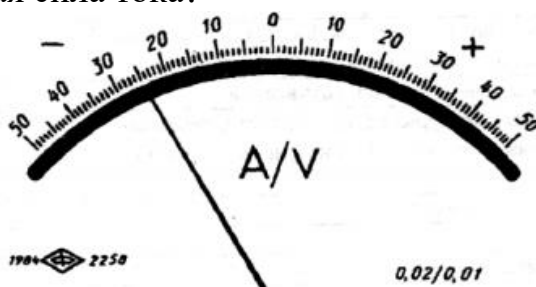
Задача 8. Класс точности весов 0,2, определите допускаемую погрешность этих весов в начале (1 деление) и в середине шкалы, если весы рассчитаны на 100 делений.

Задача 9. Указатель отсчетного устройства омметра класса точности V 2,5 с существенно неравномерной шкалой длиной 100 мм показывает 100 Ом. Чему равно измеряемое сопротивление?

Задача 10. При измерении напряжения вольтметром класса точности 0,5/0,1 с верхним диапазоном измерений 250 В его показания были 125 В. Определите относительную погрешность вольтметра.

Задача 11. Амперметр класса точности 1,5, имеет диапазон измерений от 0 В до 250 А. Определить допускаемую абсолютную и относительную погрешности, если стрелка амперметра остановилась на делении шкалы против цифры 75 А.

Задача 12. Указатель отсчетного устройства ампервольтметра класса точности 0,02/0,01 со шкалой, приведенной на рисунке, показывает — 25 А. Чему равна измеряемая сила тока?



Задача 13. При определении класса точности ваттметра, рассчитанного на 750 Вт, получили следующие данные: 47 Вт – при мощности 50 Вт, 115 Вт – при 100 Вт; 204 Вт – при 200 Вт; 413 Вт – при 400 Вт; 728 Вт – при 750 Вт. Какой класс точности прибора?

Задача 14. Указатель отсчетного устройства цифрового ампервольтметра класса точности 0,02/0,01 показывает 25 А. Чему равна измеряемая сила тока?

Задача 15. Какого класса точности нужно взять измерительный прибор, чтобы в середине шкалы его погрешность измерения не превышала 1%?

Список использованных источников

1. ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Классы точности средств измерений. Общие требования

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 КОМБИНИРОВАННЫЙ АНАЛОГОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Цель занятия: Изучить принципы функционирования и порядок проведения измерений с использованием комбинированного прибора Ц4313

1. Назначение

Комбинированный прибор Ц4313 предназначен для измерения тока и напряжения в цепях постоянного и переменного токов, сопротивления постоянному току, ёмкости и относительного уровня переменного напряжения.

Внешний вид комбинированного прибора Ц4313 представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Комбинированный прибор Ц4313

Приборы Ц4313 имеют магнитоэлектрическую систему с подвижной рамкой на растяжках, выпрямительную, с полупроводниковыми выпрямителями, со стрелочным указателем, с односторонними неравномерными шкалами при измерении тока и напряжения, сопротивления постоянному току и емкости и с двусторонними несимметричными неравномерными шкалами при измерении уровня передачи.

2. Технические характеристики, принципиальная электрическая схема, схема расположения элементов

Технические характеристики Ц4313.

Пределы измерений:

- постоянного тока - 0,06 мА; 0,12 мА; 0,6 мА; 3 мА; 15 мА; 30 мА; 60 мА; 1,5 А;
- постоянного напряжения - 0,075 В; 1,5 В; 3 В; 7,5 В; 15 В; 30 В; 60 В; 150 В; 300 В; 600 В;
- переменного тока - 0,6 мА; 3 мА; 15 мА; 60 мА; 300 мА; 1,5 А;
- переменного напряжения - 1,5 В; 3 В; 7,5 В; 15 В; 30 В; 60 В; 150 В; 300 В; 600 В;
- сопротивления постоянному току - 500 Ом; 5 кОм; 50 кОм; 500 кОм; 5 МОм;
- уровня передачи переменного напряжения - от -10 дБ до +12 дБ;
- емкости - до 0,5 мкФ.

Класс точности:

- на постоянном токе - 1,5;
- на переменном токе - 2,5.

Допускаемая основная погрешность Ц4313:

- силы постоянного тока - $\pm 1,5\%$;
- напряжения постоянного тока - $\pm 1,5\%$;
- силы переменного тока - $\pm 2,5\%$;
- сопротивления постоянному току - $\pm 1,5\%$;
- емкости - $\pm 2,5\%$;
- уровня передачи переменного напряжения - $\pm 2,5\%$.

Напряжение электрохимического источника тока - от 3,7 В до 4,7 В.

Входное сопротивление прибора 20 кОм/В при измерении постоянного напряжения и 2 кОм/В при измерении переменного.

В приборе используется магнитоэлектрический измерительный механизм на растяжках ПлСр-20-0,25 при напряжении 40 ± 5 г с внутрирамочным магнитом. Ток полного отклонения 42,5 мкА, сопротивление подвижной рамки 632 ± 3 Ом; она содержит 400 витков провода ПЭВ-1 0,05.

Диапазоны рабочих частот в соответствии с пределами измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1- Область частот прибора Ц4313

Предел измерений	Область частот	
	нормальная	рабочая

от 0,6 мА до 1,5 А	от 45 Гц до 2000 Гц	от 2000 Гц до 5000 Гц
от 1,5 В до 60 В		
150 В	от 45 Гц до 1000 Гц	от 1000 Гц до 2000 Гц
300 В	от 45 Гц до 500 Гц	от 500 Гц до 1000 Гц
600 В	от 45 Гц до 200 Гц	от 200 Гц до 500 Гц
от 0,5 мА до 2,5 А	от 45 Гц до 4000 Гц	от 4000 Гц до 10 000 Гц
от 1 В до 5 В	от 45 Гц до 5000 Гц	от 5000 Гц до 20 000 Гц
от 10 В до 25 В	от 45 Гц до 2000 Гц	от 2000 Гц до 100 000 Гц
от 100 В до 250 В	от 45 Гц до 200 Гц	от 200 Гц до 1000 Гц
от 500 В до 1000 В	от 45 Гц до 60 Гц	от 60 Гц до 200 Гц

При измерении на пределе 3 В относительный уровень переменного напряжения отсчитывают непосредственно по шкале dВ.

Корпус Ц4313 – пластмассовый, пылезащищенный.

Габаритные размеры - 225×295×125 мм. Масса - не более 4 кг.

Условия эксплуатации: Температура окружающего воздуха - от -10° С до +40° С.

Относительная влажность при температуре +30° С - до 90%.

Атмосферное давление - от 86 кПа до 106 кПа (от 650 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.).

Климатическое исполнение - Т2.

По устойчивости к механическим воздействиям тестер Ц4313 относится к обыкновенным.

Схема принципиальная электрическая представлена на рисунке 2.

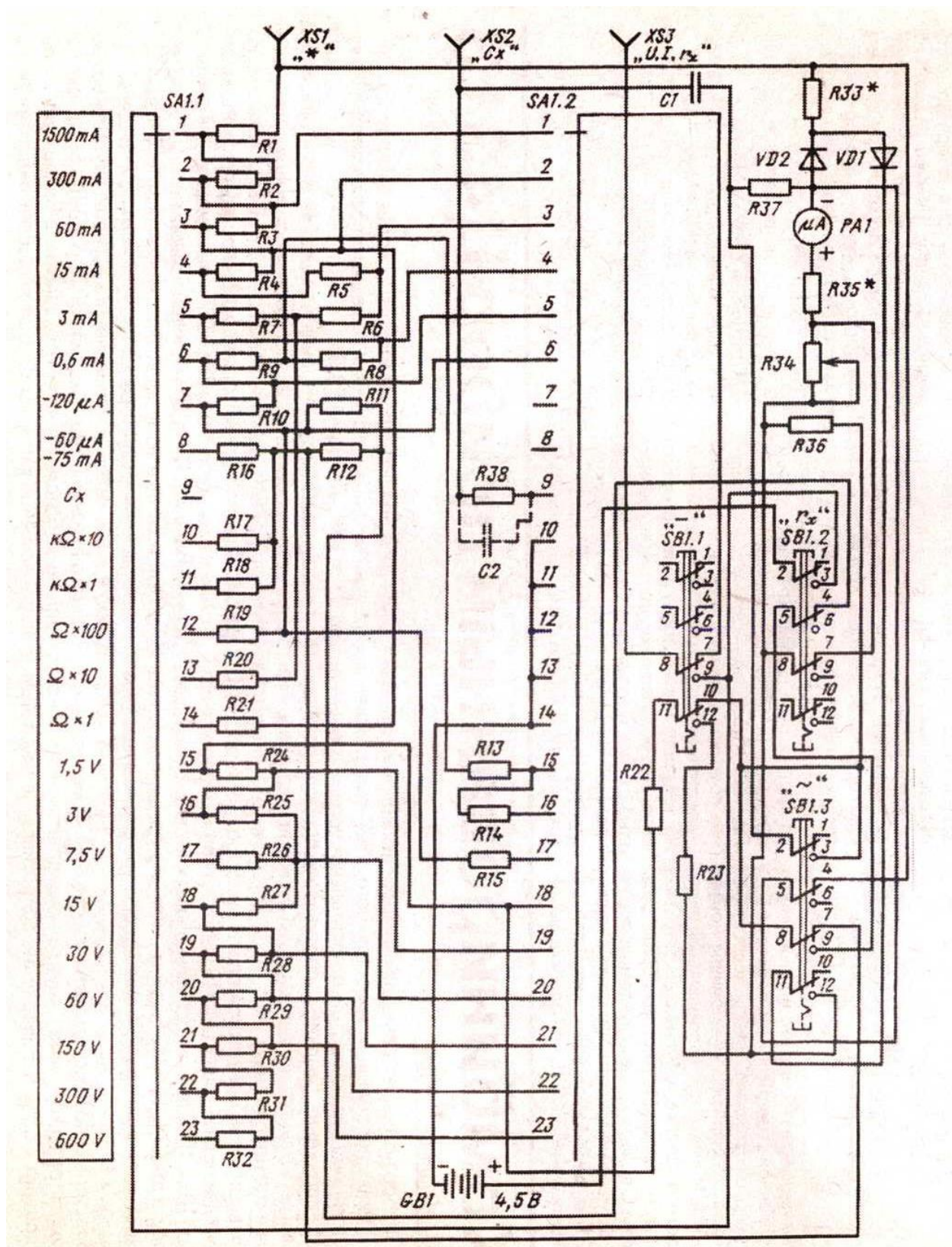


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная прибора Ц4313

Пример коммутации элементов цепи при измерении напряжений постоянного и переменного токов на пределах 15 В и 30 В, соответственно показаны на рисунках 3 и 4.

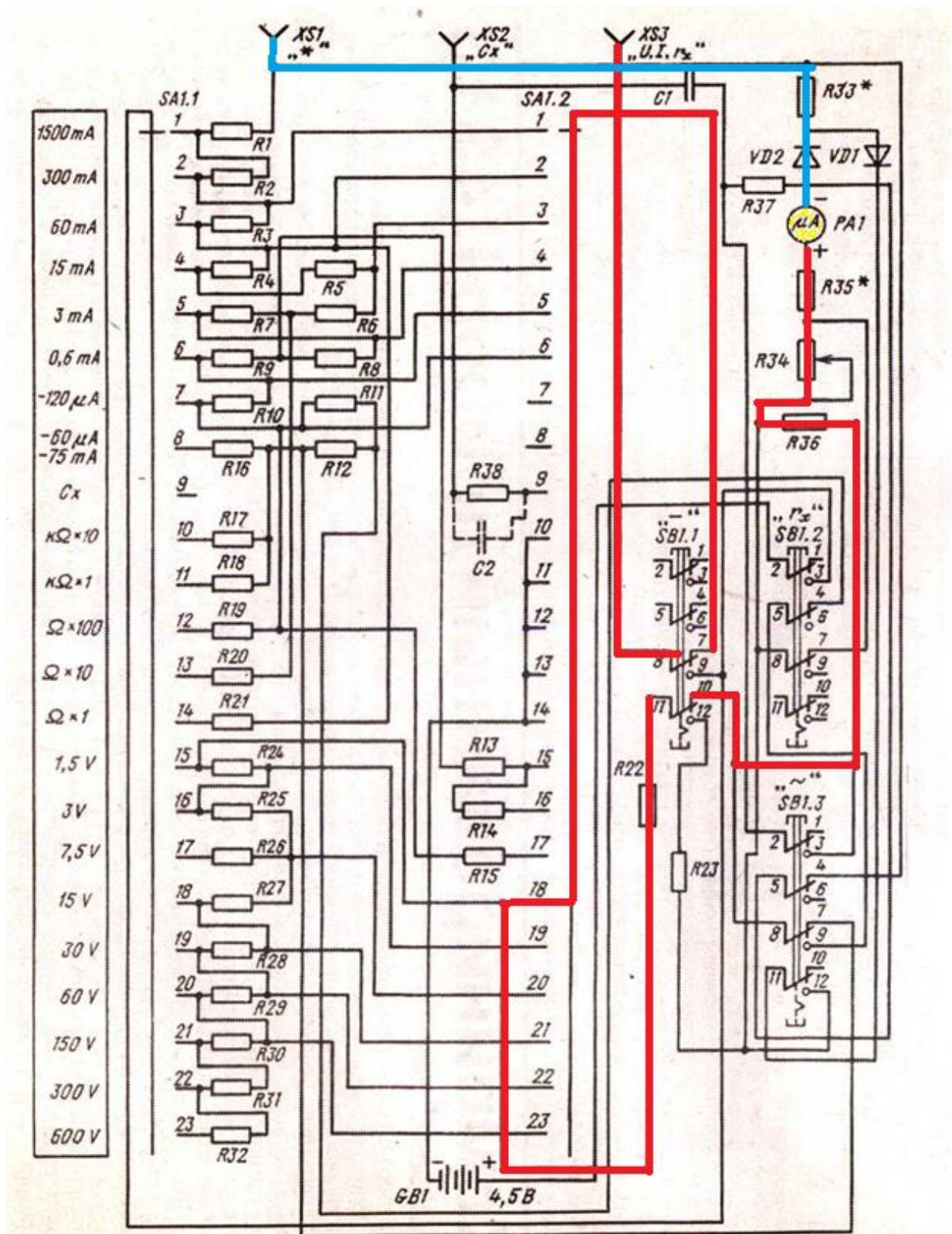


Рисунок 3 – Протекание тока при измерении напряжения постоянного тока на пределе измерений 15 В

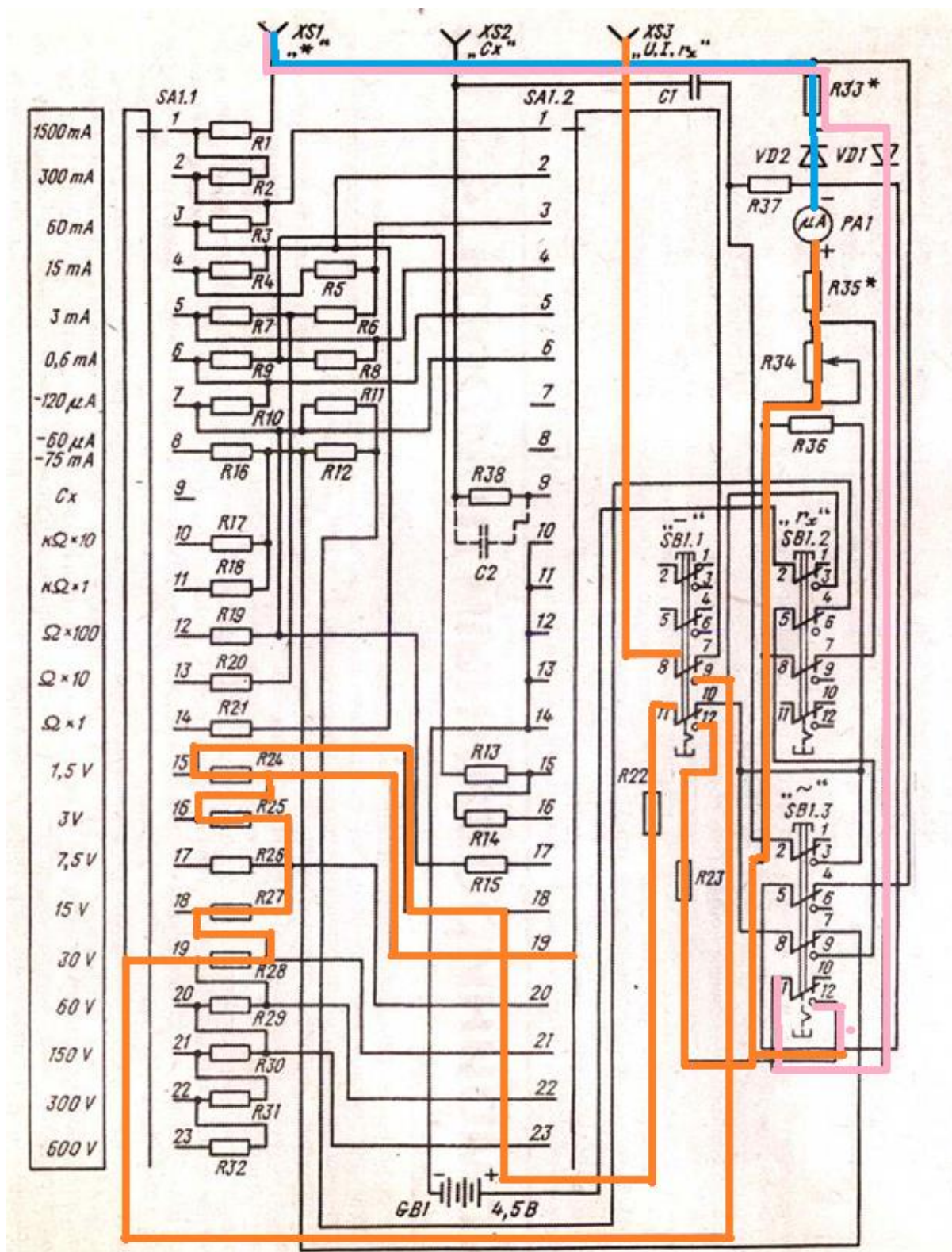


Рисунок 4 – Протекание тока при измерении напряжения переменного тока на пределе измерений 30 В

3.Порядок проведения измерений

Меры безопасности.

1. При измерении прибором в цепях с напряжением выше 30 В необходимо выполнять все требования общих правил мер безопасности. Измерения производят с помощью щупов, входящих в комплект прибора. Измерения со щупом необходимо производить одной рукой, вторая рука должна оставаться свободной во избежание прохождения электрического тока через организм человека.

2. Измерения в цепях с напряжением выше 200 - 300 В должны производиться в присутствии других лиц.

3. Измерение сопротивлений можно проводить лишь в обесточенных электрических цепях

4. При измерении емкости источником питания служит сеть переменного тока с частотой 50 Гц с напряжением 190 - 245 В. Поэтому следует вначале собрать схему измерения, а затем подключаться к источнику питания.

5. При измерении тока или напряжения не рекомендуется изменять предел измерения при подключенном к объекту приборе во избежание подгорания контактов переключателя пределов измерения.

6. Необходимо пользоваться только исправными проводниками, входящими в комплект прибора.

Порядок измерения. Для получения достоверных и точных результатов измерений и предупреждения повреждения прибора при работе необходимо придерживаться следующих правил:

1. Установить прибор в горизонтальное положение.

2. Стрелку прибора с помощью механического корректора установить на начальную отметку шкалы.

3. У приборов, имеющих защитный автомат, проверить его работоспособность по техническому описанию.

4 Переключатель рода работ установить в положение, соответствующее виду измерений и роду тока. т. е. в одно из положений «--», « ~ », « Г_х ».

5. Переключатель пределов измерений установить в положение, соответствующее ожидаемому значению измеряемой величины; если оно неизвестно, то переключатель установить в положение максимального предела измерения

6. Подключить соединительные проводники к соответствующим зажимам прибора. Зажим, помеченный знаком «*», является общим зажимом прибора.

7. При использовании омметра или фарадометра (измерителя емкости) прибор необходимо настраивать каждый раз на выбранном пределе измерения. Параллельный омметр: при разомкнутых проводниках ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на отметку «∞» соответствующей шкалы, затем замкнуть свободные концы проводников и проконтролировать

установку стрелки на отметку «0» этой же шкалы, что говорит об исправности омметра и целостности проводников. Последовательный омметр: замкнуть щупы проводников и ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на отметку «0» соответствующей шкалы.

При измерениях больших значений сопротивлений (с использованием внешнего источника) или емкости собрать установку по схеме, изображенной на тыльной стороне прибора.

8. Подключить прибор к измеряемой цепи (объекту) с помощью соединительных проводников. При измерении постоянного тока и напряжения общий зажим («*») подключают к отрицательному полюсу объекта. При измерении переменного напряжения и токов общий зажим подключают к точке с наименьшим потенциалом или к корпусу объекта.

9. Подобрать предел измерения (для тока и напряжения, начиная с большего) таким образом, чтобы стрелка прибора по возможности находилась в последней трети шкалы. При измерении сопротивления и емкости оптимальное положение стрелки посередине шкалы.

10. Снять отсчет по соответствующей шкале и отключить проводники от измеряемой цепи (объекта).

11. Вычислить значение измеряемой величины X и погрешности измерения ΔX

для постоянного и переменного тока и напряжения (рисунок 5) по формулам:

$$X = \frac{X_N}{N} a, \quad \Delta X = \frac{\gamma X_N}{100},$$

где X_N – значение выбранного предела измерений (положение переключателя предела измерений); N – число всех делений шкалы прибора по последней цифре, a – показания прибора в делениях (число делений), γ — класс точности на шкале прибора, определяемый по обозначениям на шкале в зависимости от рода тока или вида измеряемой величины.

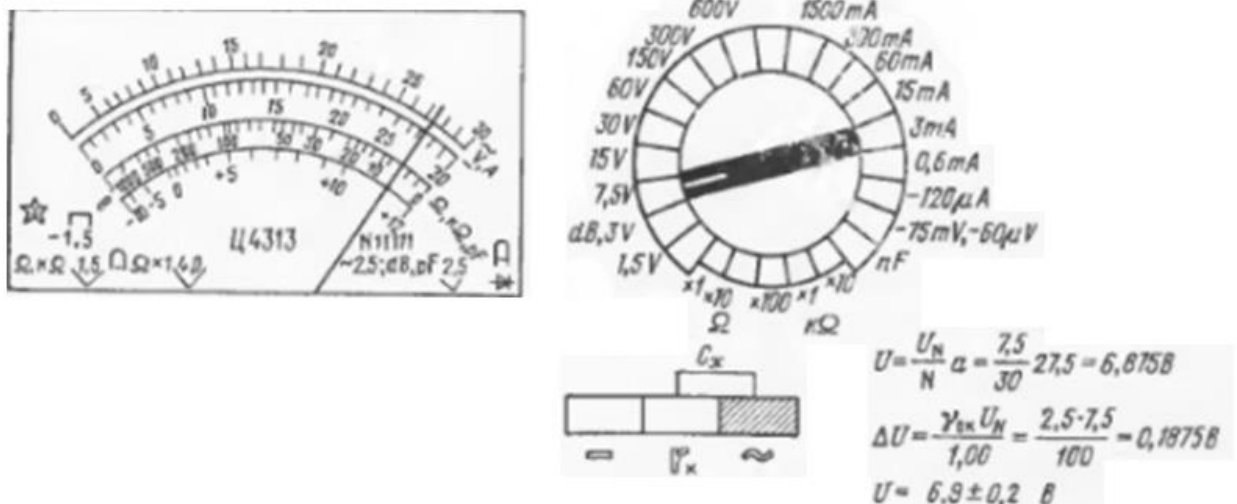


Рисунок 5 – Пример измерения переменного напряжения

12. Привести прибор в исходное состояние, для чего отключить соединительные провода от зажимов прибора, переключатель пределов измерения установить в положение максимального предела по

напряжению, переключатель рода тока установить в положение «~». Это предохранит прибор от повреждения при последующих включениях, даже если они будут выполнены неправильно

Особенности измерения постоянного напряжения. При измерении напряжения комбинированный прибор включают параллельно исследуемому участку электрической цепи. Это приводит к изменению общего сопротивления цепи и перераспределению напряжений между её элементами, что, естественно, вносит погрешность в показания прибора. Здесь следует рассмотреть два основных случая. Первый – когда элементы электрической цепи *линейные*, т. е. значение их сопротивления не зависит от приложенного напряжения. Тогда достаточно иметь $R_{вх}/R_э \geq 50 \dots 100$, где $R_{вх}$ – входное сопротивление вольтметра; $R_э$ – эквивалентное сопротивление цепи относительно точек подключения вольтметра, чтобы не учитывать влияние входного сопротивления вольтметра (комбинированного прибора) на результат измерений.

Следовательно, кроме сопротивления входной цепи комбинированного прибора $R_{вх}$ необходимо знать сопротивление цепи $R_э$, что не всегда возможно. В этом случае применяют метод двух отсчетов, суть которого состоит в том, что напряжение на исследуемом участке цепи измеряют два раза на различных пределах измерений U_{N1} , U_{N2} с соответствующими входными сопротивлениями $R_{вх1}$, $R_{вх2}$ и получают два измеренных значения U_1 , U_2 . Тогда действительное измеряемое значение U находят по формуле

$$U = U_2 \frac{R_{вх2} - R_{вх1}}{R_{вх2} - R_{вх1} U_2 / U_1},$$

при условии $R_{вх2} > R_{вх1}$.

Если $R_{вх2} / R_{вх1} = N$, то

$$U = U_2 \frac{N-1}{N - U_2 / U_1}.$$

Второй случай измерения напряжения относится к цепям, содержащим нелинейные элементы (полупроводниковые, электровакуумные и др). Сопротивление нелинейного элемента зависит от приложенного к нему напряжения. Включение прибора (вольтметра) с относительно малым входным сопротивлением может привести к нарушению режима работы всей цепи (срыв генерации, релейный эффект), и само измерение теряет смысл.

Поэтому необходимо выбирать прибор для измерения напряжения с возможно большим входным сопротивлением или проводить измерение не на оптимальном пределе измерений, а на более высоком.

В проводной связи и радиотехнике для оценки эффективности переучи сигналов по линиям связи через усилительные и согласующие устройства пользуются понятием уровня передачи (усиления, ослабления) сигнала. Этот параметр определяет значение напряжения сигнала в относительных логарифмических единицах – децибелах, посредством которых напряжение U_0 или мощность P_0 измеряемого сигнала сравнивается с некоторым исходным

значением. Если в качестве исходных величин выбраны напряжение $U_0 = 0.775$ В или мощность $P_0 = 1$ мВт (на сопротивление нагрузки $R_0 = 600$ Ом при напряжении на нем $U_0 = 0.775$ В), то соответствующие уровни называют абсолютными.

Абсолютный уровень переменного напряжения, выраженный в децибелах, определяют по формуле

$$N_U = 20 \log \frac{U_{\text{вх}}}{U_0} = 20 \log \frac{U_{\text{вх}}}{0.775}.$$

где $U_{\text{вх}}$ - измеряемое значение напряжения, В.

Шкала децибел (режим измерения 3 В, «дБ») неравномерная, нулевая отметка шкалы совпадает с точкой шкалы комбинированного прибора $U_0 = 0.775$ В предела измерения. При измерении на пределе «дБ» отсчет производится непосредственно по шкале «дБ». При переходе на другие пределы измерения переменного напряжения показания прибора по шкале «дБ» необходимо увеличить на соответствующие значения, указанные в пересчетных таблицах, которые приводятся в описаниях на комбинированные приборы.

Задание для самостоятельной работы

В соответствии с ГОСТ [1,2] привести расшифровку условно-графических обозначений нанесенных на шкалу прибора Ц 4313.

1. ГОСТ 23217-78. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ АНАЛОГОВЫЕ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОТСЧЕТОМ. Наносимые условные обозначения Дата введения 1980-01-01. ПЕРЕИЗДАНИЕ. Октябрь 1992 г.

2. ГОСТ 8.401-80. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. Государственная система обеспечения единства измерений. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ. Общие требования. Дата введения 1981-07-01. ПЕРЕИЗДАНИЕ. Октябрь 2010

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

ДВУХЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ GOS-620 (GOS-620FG)

Цель занятия: Изучить принципы функционирования и порядок проведения измерений с использованием осциллографа GOS-620 (GOS-620FG)

Учебные вопросы:

1. Внешний вид осциллографа и его технические характеристики
2. Порядок работы

1 Внешний вид осциллографа и его технические характеристики

Осциллографы электронно-лучевые GOS-620, GOS-620FG, GOS-622G, GOS-652G, GOS-653G (далее осциллографы) предназначены для исследования формы и измерений амплитудных и временных параметров электрических сигналов. Область применения осциллографов - электрорадиоизмерения при проведении исследовательских испытательных работ, наладке и ремонте радиоэлектронной аппаратуры в лабораторных и производственных условиях.

Принцип действия осциллографов основан на усилении входного сигнала, подаче его на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) с целью получения изображения сигнала на экране ЭЛТ. Осциллографы выполнены в виде моноблока, являются многофункциональными средствами измерения электрических параметров сигналов, имеют два измерительных канала, входы которых размещены на передней панели. Измерение амплитудных и временных параметров сигнала производится по градуированной шкале экрана ЭЛТ. Управление осциллографами осуществляется с передней панели, на которой находятся переключатели коэффициента отклонения, коэффициента развертки, а также управления системой синхронизации в следующих режимах: автоколебательном, ждущем и телевизионным синхросигналом. В модели GOS-620FG находится встроенный функциональный генератор для формирования различных форм сигнала: синусоидальной, прямоугольной, треугольной.



Внешний вид осциллографа со стороны передней панели

Технические характеристики осциллографа GOS-620:

Параметр	Значения
КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	
Полоса пропускания -3 дБ)	0...20 МГц -3 дБ) 0...7 МГц при усилении x5)
Коэффициент отклонения	5 мВ/дел...5 В/дел шаг 1-2-5), усиление x5
Погрешность установки	±3% ±5% при усилении x5)
Регулировка	Плавное перекрытие в 2,5 раза
Время нарастания	≤ 17,5 нс ≤ 50 нс при усилении x5)
Входной импеданс	1 МОм / 25 пФ
Максимальное входное напряжение	300 В DC+АСпик., до 1 кГц)
Режимы работы	Канал 1, канал 2, канал 2 инвертированный, каналы 1+2, каналы 1 и 2 прерывисто или поочередно
Выход канала 1	≥ 20 мВ/дел на 50 Ом
КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	
Коэффициент развертки	0,2 мкс/дел...0,5 с/дел шаг 1-2-5), растяжка x10
Погрешность установки	±3% ±5% при растяжке x10)

Регулировка	Плавное перекрытие в 2,5 раза
СИНХРОНИЗАЦИЯ	
Источники синхронизации	Автовыбор, канал 1, канал 2, сеть, внешний
Режимы запуска развертки	Автоколебательный, ждущий, ТВ кадр, строка)
Уровень внешней синхронизации	До 300 В DC+АСпик., до 1 кГц)
Вход внешней синхронизации	1 МОм / 30 пФ
X-Y ВХОД	
Полоса пропускания -3 дБ)	0 ... 500 кГц -3 дБ)
Коэффициент отклонения	5 мВ/дел...5 В/дел ±4%)
Разность фаз X-Y	≤ 3° в диапазоне 0...50 кГц
Z-ВХОД	
Частотный диапазон	0...2 МГц
Чувствительность	≥ 5 В макс. до 30 В DC+АСпик., до 1 кГц)
Входное сопротивление	47 кОм
ЭЛТ	
Размер экрана	8 x 10 дел. 1 дел. = 10 мм)
Напряжение ускорения	2 кВ
ОБЩИЕ ДАННЫЕ	
Напряжение питания	115 В / 230 В ± 15%, 50 / 60 Гц
Потребляемая мощность	40 ВА
Габаритные размеры	310 x 150 x 455 мм
Масса	8 кг

2. Порядок работы

2.1 Подготовка к работе осциллографа GOS-620.

Во избежание сбоя в работе осциллографа и порчи прибора, не следует нажимать на кнопки, не указанные в инструкции. Помните, что студент несет материальную ответственность за испорченное оборудование.

Перед включением прибора установите органы управления осциллографа, как показано в таблице ниже:

Наименование	Номер (см. рис.2)	Положение переключателя
POWER	(6)	Отжат
INTEN	(2)	Среднее положение
FOCUS	(3)	Среднее положение
VERT MODE	(39)	CH2

ALT/CHOP	(12)	Отжат (ALT)
CH2 INV	(16)	Отжат
POSITION	(11)(19)	Среднее положение
VOLTS/DIV	(7)(22)	50 mV/дел
VARIABLE	(9)(21)	CAL(по часовой стрелке)
AC-DC-GND	(10)08)	AC
SOURCE	(23)	CH2
SLOPE	(26)	+
TRIG ALT	(27)	Отжат
TRIGGER MODE	(28)	TV-V
TIME/DIV	(18)	0,5мс/дел
SWP.VER	(30)	Среднее положение
POSITION	(32)	Среднее положение
XIO MAG	(31)	Отжат

Для предотвращения преждевременного выхода из строя или снижения наработки электронно-лучевой трубки необходимо перед включением (выключением) прибора устанавливать ручку регулировки яркости (2) в крайнее левое положение.

После установки органов управления, как указано выше, подключите сетевой шнур к розетке, и затем, продолжите следующим образом:

1)Включите кнопку СЕТЬ и убедитесь, что загорается индикатор сети. В течении приблизительно 20 секунд, на экране должна появиться линия развертки. Если луч не появляется приблизительно в течении 60 секунд, проверьте правильность установки органов управления.

2)Установите желательную яркость и фокус изображения с помощью ручек ЯРКОСТЬ

Прибор готов к работе.

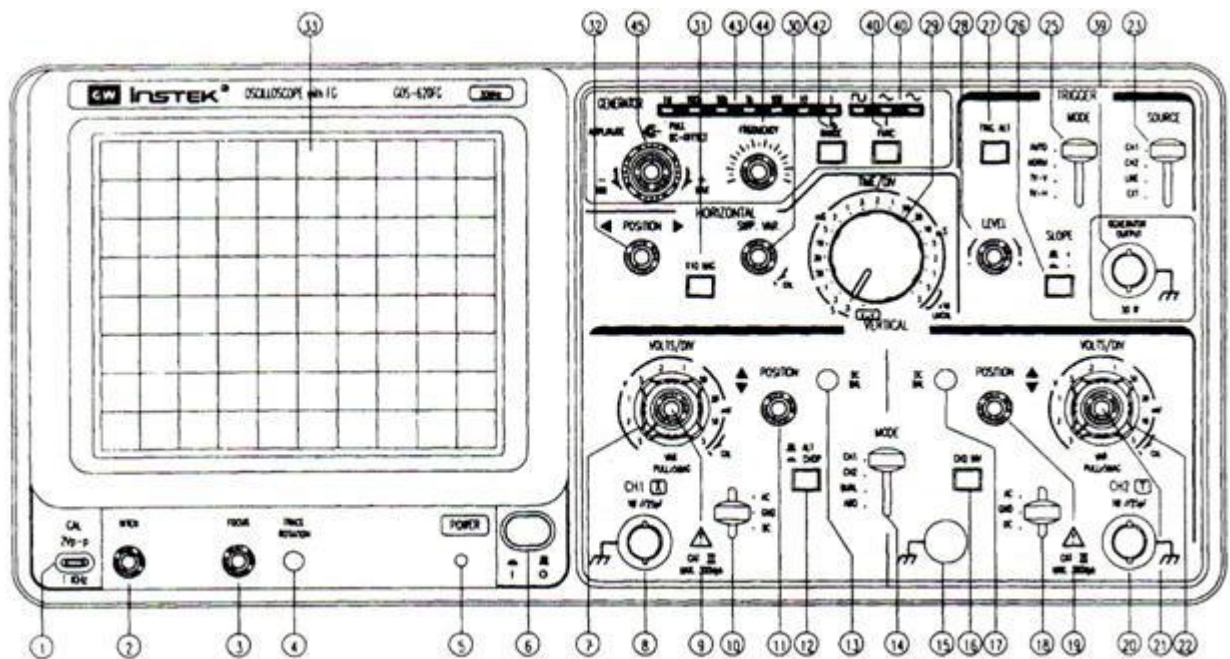


Рисунок 2 – Органы управления осциллографа

На рисунке 2 обозначены следующие органы управления и индикации осциллографа.

Органы управления электронно-лучевой трубкой

- 1) Кнопка и индикатор включения питания (POWER).
- 2) Экран осциллографа.
- 3) Разъем для поворота изображения на экране параллельно линиям шкалы (TRACE ROTATION).
- 4) Ручка для регулировки фокуса изображения (FOCUS).
- 5) Ручка для регулировки яркости изображения (INTEN).
- 6) Выход калибратора, на котором имеется периодическая последовательность прямоугольных импульсов (меандр) с заданными параметрами: $B, f = 1 \text{ кГц}, d = 0,5$.

Органы управления тракта вертикального отклонения

7) Внешний переключатель для выбора коэффициента отклонения K_0 (цены деления по вертикальной оси – VOLTS/DIV) и внутренняя ручка (VAR) для плавного изменения K_0 в канале 1. Значение K_0 лежит в пределах от 5 мВ/дел до 5 В/дел. Значения K_0 , написанные на переключателе VOLTS/DIV, обеспечиваются, если ручка VAR находится в крайнем правом положении. Когда ручка VAR вытянута, происходит увеличение изображения по вертикали в 5 раз (усиление напряжения в 5 раз).

8) Вход канала 1 (CH1). В режиме X-Y – вход канала горизонтального отклонения (X).

9) Переключатель AC-GND-DC для выбора режима входа канала 1: AC – закрытый вход (проходит только переменная составляющая напряжения); GND – вход канала 1 соединяется с корпусом осциллографа («землей»); DC –

открытый вход (проходит и постоянная и переменная составляющие напряжения).

10) Ручка для смещения по вертикали изображения, относящегося к каналу 1 (CH1_VERTICAL-POSITION).

11) Кнопка для выбора режима переключения между каналами (ALT/CHOP) в двухканальном режиме. Когда кнопка отжата (положение ALT), режим работы коммутатора выбирается автоматически: прерывистый режим (каналы переключаются с частотой около 250 кГц) – при больших значениях коэффициента развертки Кр; поочередный режим (каналы переключаются после каждого прохода луча по всей ширине экрана) – при малых значениях Кр. При нажатии на кнопку (положение CHOP) коммутатор принудительно переводится в прерывистый режим.

12) Переключатель для выбора режима работы тракта вертикального отклонения (MODE-VERTICAL): CH1 – на экране наблюдается изображение напряжения канала 1; CH2 – на экране наблюдается изображение напряжения канала 2; DUAL – на экране наблюдаются изображения напряжений обоих каналов; ADD – на экране наблюдается алгебраическая сумма (или разность – при нажатии кнопки CH2 INV) напряжений канала 1 и канала 2.

13) Зажим для заземления корпуса осциллографа.

14) Кнопка, при нажатии которой, происходит инверсия (изменение полярности) напряжения в канале 2 (CH2 INV).

15) Переключатель AC-GND-DC для выбора режима входа канала 2. Работает аналогично переключателю (9).

16) Вход канала 2 (CH2). В режиме X-Y – вход тракта вертикального отклонения (Y).

17) Ручка для смещения по вертикали изображения, относящегося к каналу 2 (POSITION-VERTICAL_CH2).

18) Внешний переключатель и внутренняя ручка для изменения коэффициента отклонения в канале 2. Работают аналогично (7).

19) Разъемы для устранения вертикального смещения нулевой линии канала 1 и канала 2 (DC BAL).

^ Органы управления разверткой

20) Переключатель для выбора коэффициента развертки Кр (цена деления по горизонтальной оси – TIME/DIV). Переключатель устанавливает Кр от 0,2 мкс/дел до 0,5 с/дел. В положении X-Y обеспечивается наблюдение интерференционных фигур (фигур Лиссажу).

21) Ручка для плавной регулировки коэффициента развертки (SWP.VAR). Значения коэффициента развертки, обозначенные на переключателе TIME/DIV, обеспечиваются, если ручка SWP.VAR находится в крайнем правом положении (CAL).

22) Кнопка для растягивания изображения по горизонтали в 10 раз (при нажатой кнопке x10MAG Кр уменьшается в 10 раз).

23) Ручка для смещения изображения по горизонтали (POSITION-GORIZONTAL).

Органы управления синхронизацией

24) Переключатель для выбора источника синхронизирующего напряжения (SOURCE): CH1 – для синхронизации (обеспечения неподвижного изображения на экране осциллографа) используется напряжение канала 1; CH2 – для синхронизации используется напряжение канала 2; LINE – для синхронизации используется напряжение сети питания; EXT – для синхронизации используется внешнее напряжение, подаваемое на вход на задней панели осциллографа.

25) Переключатель для выбора режима синхронизации (MODE-TRIGGER): AUTO – запуск генератора развертки (напряжения пилообразной формы) происходит автоматически через равные промежутки времени; NORM – генератор развертки запускается только при наличии входного напряжения; TV-V – синхронизация по кадрам видеосигнала; TV-H – синхронизация по строкам видеосигнала.

26) Переключатель для выбора полярности синхронизирующего напряжения (SLOP): «+» – генератор развертки запускается положительным перепадом входного напряжения; «-» – генератор развертка запускается отрицательным перепадом входного напряжения.

27) Кнопка, при нажатии которой, генератор развертки поочередно синхронизируется напряжениями канала 1 и 2 (TRIG.ALT).

28) Ручка для выбора уровня исследуемого напряжения (LEVEL), при котором происходит запуск генератора развертки.

Встроенный функциональный генератор

29) Выход генератора (GENERATOR OUTPUT).

30) Органы управления и индикации встроенного генератора: FUNC – кнопка и индикатор для установки формы напряжения на выходе генератора; RANGE – кнопка и индикатор для установки диапазона частот выходного напряжения; FREQUENCY – ручка для плавного изменения частоты выходного напряжения; AMPLITUDE – ручка для изменения размаха выходного напряжения; DC-OFFSET – ручка для изменения уровня постоянной составляющей выходного напряжения.

Расположение и назначение органов управления на задней панели

Z-ВХОД. Вход для подачи сигнала, модулирующего яркость луча.

CH 1 (Канал 1) Signal Output. Выход сигнала канала 1 (с напряжением приблизительно 20 мВ/дел при нагрузке 50 Ом) для подключения частотомера или другого измерительного прибора.

EXT TRIG IN вход сигнала внешней синхронизации.

ВХОД СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

2.2 Порядок выполнения измерений

2.2.1. **Одноканальный режим.** Перед включением прибора убедитесь, что клемма заземления соединена с «землей», органы управления осциллографом установлены в положения, указанные ниже:

POWER (6) Отжат

INTEN (2) Среднее положение

FOCUS (3) Среднее положение
VERT MODE ALT/CHOP (14) (12) CH1 Отжат
(ALT) CH2 INV (16) Отжат
POSITION (11), (19) Среднее положение
VOLTS/DIV (7), (22) 0,5 В/дел
VARIABLE (9), (21) CAL (крайнее правое положение, по часовой стрелке)
AC-DC-GND (10), (18) GND SOURCE (23) CH 1 SLOPE (26) + TRIG
ALT (27) Отжат
TRIGGER MODE (25) AUTO TIME/DIV (18) 0,5 мс/дел
SWP.VAR (30) Крайнее правое положение
POSITION (32) Среднее положение
X10 MAG (31) Отжат
LEVEL (28) Среднее положение

После установки органов управления в исходное положение, подключите сетевой шнур к розетке и затем действуйте в указанной последовательности:

1). Включите кнопку СЕТЬ и убедитесь, что загорается индикатор сети. В течение приблизительно 20 секунд на экране должна появиться линия развертки. Если луч не появляется приблизительно в течение 60 секунд, проверьте правильность установки органов управления.

2). Установите желательную яркость и фокус изображения с помощью ручек ЯРКОСТЬ и ФОКУС.

3). Подайте на вход CH1 (Канал 1) сигнал (например, с выхода калибратора).

4). Установите переключатель AC-DC-GND в положение AC. На экране должно наблюдаться изображение сигнала.

5). Отрегулируйте четкость изображения ручкой ФОКУС.

6). С помощью переключателей VOLTS/DIV и TIME/DIV установите желаемые размеры сигнала.

7). Совместите с помощью переключателей изображение сигнала с линиями шкалы так, чтобы можно было легко рассчитать амплитуду (V_{p-p}) и период (T). Описанное выше это основные положения работы с осциллографом при включении канала 1 (CH1). При работе с каналом 2 (CH2) следует поступать аналогично.

2 2.2. Двухканальный режим работы. Установите переключатель VERT MODE в положение DUAL. На экране, кроме сигнала с канала 1, будет наблюдаться прямая линия развертки канала 2 (органы управления должны быть установлены, как описано выше). Подайте сигнал на второй канал. Переключатель AC-DC-GND установите в положение AC. Установите «удобный» размер изображения с помощью ручек В/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ. При использовании двухканального режима (DUAL или ADD режим) сигнал канала 1 или канала 2 может быть засинхронизирован посредством переключения выключателя SOURCE. Если сигналы, подаваемые на CH1 (Канал 1) и CH2 (Канал 2), эквивалентны по частоте, то они могут быть

стабильно отображены одновременно. Если нет, (то есть сигналы автономны), то только сигнал канала, выбранный переключателем SOURCE в качестве синхронизирующего, может быть отображен стационарно. Однако, если нажать кнопку TRIG.ALT, то возможно стабильное наблюдение двух неэквивалентных по частоте сигналов. (Не используйте «CHOP» и «ALT» переключатель в то же самое время).

Переключение между CHOP режимом и ALT-режимом автоматически происходит путём изменения положения переключателя TIME/DIV.

Режим сложения. На экране осциллографа можно наблюдать алгебраическую сумму сигналов CH1 (Канал 1) и CH2 (Канал 2), установив переключатель VERT MODE в положение ADD. Если одновременно нажат переключатель CH2 INV на экране отображается разность сигналов (CH1-CH2). Для более точных вычислений желательно, чтобы чувствительность каждого из двух каналов была одинаковой, что можно сделать с помощью VARIABLE-кнопок. Вертикальное перемещение изображения может быть осуществлено ручкой VERTICAL POSITION любого канала. Ввиду линейности вертикальных усилителей поставьте обе кнопки в их средние положения

Синхронизация. Выбор синхронизации необходим для эффективных действий с осциллографом. Пользователь должен быть полностью знаком с функциями переключателей режимов и источников синхронизации.

1. Назначение переключателя MODE: AUTO (автоматический). Выбор автоматического режима работы развертки осуществляется установкой переключателя в положение AUTO. В этом случае генератор развертки работает в автоколебательном режиме без сигнала синхронизации. Как только появится сигнал синхронизации, генератор развертки будет работать синхронно со входным сигналом. Режим AUTO удобно использовать при включении прибора для наблюдения луча и входного сигнала и последующего включения других режимов работы прибора. При установке органов управления в необходимые положения можно вернуться в режим NORM. Режим AUTO должен использоваться при исследовании постоянных напряжений и сигналов с малыми амплитудами, когда отсутствуют сигналы синхронизации развертки или их уровень недостаточен. NORM (ждущий). Генератор развертки не будет запускаться до тех пор, пока не будет установлен необходимый уровень запуска развертки ручкой «УРОВЕНЬ». Генератор развертки формирует только один ход луча и в дальнейшем активируется только при поступлении другого сигнала синхронизации. В режиме NORM на экране не будет отображения луча до тех пор, пока не поступит сигнал синхронизации. В режиме сложения сигнала от канала 1 и 2 и режиме синхронизации NORM не будет отображения ни одного канала до тех пор, пока не поступит сигнал синхронизации. Режимы TV-V и TV-H в лабораторных работах не используются.

2. Функции переключателя SOURCE: Переключатель SOURCE используется для выбора источника синхронизации. CH 1: в качестве сигнала синхронизации, запускающего генератор развертки, используется сигнал,

поступающий на вход усилителя CH1 (наиболее часто применяемый режим); CH 2: в качестве сигнала синхронизации используется сигнал усилителя CH2; LINE: сигнал с частотой питающей сети переменного тока используется как сигнал синхронизации. Этот метод эффективен, когда измеряемый сигнал имеет четкое временное соотношение с частотой сети; EXT. Развёртка запускается внешним сигналом, который подаётся на внешний вход. Так как развёртка синхронизируется одним и тем же сигналом, это позволяет исследовать сигналы различной амплитуды, частоты и формы без перестройки регулировок синхронизации.

3. Выбор уровня запуска и полярности: Запуск развертки осуществляется при установке определенного уровня ручкой запуска «LEVEL». Вращение ручки приводит к изменению начальной точки запуска генератора развертки. При вращении ручки в область «+» запуск будет происходить положительной полуволной; при вращении ручки в область запуск будет осуществляться отрицательной полуволной; когда ручка находится в центральном положении, запуск развертки будет осуществляться с нулевой линии. Вращая ручку TRIG LEVEL, установите необходимый уровень запуска. При исследовании синусоидального сигнала начальная фаза может быть изменена. Вращением ручки TRIG LEVEL можно добиться синхронизации сигнала от пика до пика. Когда переключатель TRIG SLOPE находится в положении «+», развёртка запускается положительной частью синхронизирующего сигнала. Когда переключатель TRIG SLOPE находится в положении, развёртка запускается отрицательной частью синхронизирующего сигнала.

4. Синхронизация суммарным сигналом (кнопка TRIG ALT): Кнопка TRIG ALT используется для выбора различных источников синхронизации в двухканальном режиме (выбирается переключателем VERT MODE). В этом режиме запуск развертки осуществляется поочередно сигналом от канала 1 и сигналом от канала 2. Это необходимо при исследовании сигналов с разной частотой или периодами. В этом режиме оба сигнала будут засинхронизированы, и изображение на экране осциллографа будет неподвижным. Этот режим нельзя использовать при измерении разности фаз между сигналами канала 1 и канала 2.

Установка времени развертки. Установите переключатель TIME/DIV в такое положение, при котором на экране отображается необходимое число периодов сигнала. Если периодов много, уменьшите время развертки. Если на экране отображается только линия развертки, попробуйте увеличить время развертки. Когда время развертки достаточно малое при наблюдении части сигнала, особенно прямоугольной формы, на экране будет видна прямая линия.

Растяжка сигнала. Чтобы рассмотреть небольшие части сигнала, расположенные относительно далеко от момента запуска развертки, используйте кнопку 10 MAG. Для включения режима MAG выполните следующие операции:

1. Установите ручкой TIME/DIV самый большой коэффициент развертки, который позволяет изучить эту часть сигнала.

2. Вращением ручки HORIZONTAL POSITION установите сигнал так, чтобы исследуемый участок сигнала был в центре экрана.

3. Нажмите кнопку 10 MAG для включения индикатора. При выполнении выше указанных процедур необходимая часть сигнала будет увеличенной в 10 раз (растянутой).

Очевидно, что в этом случае увеличенная скорость развертки будет составлять: $0,1 \text{ мксек/дел} / 10 = 10 \text{ нсек/дел}$, что необходимо учитывать при расчете временных параметров сигнала. Следует отметить, что при использовании кнопки «10 MAG» яркость луча может существенно уменьшиться.

Режим X-Y. Установите переключатель время/дел в положение X-Y для установки режима наблюдения фигур Лиссажу. При этом входы осциллографа распределятся следующим образом:

X-ось (горизонтальная) вход канала 1;

Y-ось (вертикальная) вход канала 2.

Внимание: Когда с помощью X-Y режима наблюдают сигналы высокой частоты, следует учитывать рабочую полосу частот усилителей вертикального отклонения и возможное «технологическое» различие фаз между сигналами, поступающими на X и Y-оси.

Режим X-Y используется для измерений, которые не могут быть проведены в обычном режиме (измерение отношений частот, температуры, скорости и т.д.).

1. Установите переключатель время/дел в положение X-Y. Канал1 станет осью X и канал2 станет осью Y.

2. Подайте исследуемые сигналы на соответствующие входы осциллографа.

3. Ручками положения луча по горизонтали и вертикали переместите изображение в нужную часть экрана (как правило, центральную).

4. Переключателем В/дел канала 1 установите необходимый размер изображения по оси X (чем больше размер изображения, тем выше точность измерений)

5. Переключателем В/дел канала 2 установите необходимый размер изображения по оси Y.

6. Проведите измерения, определив все необходимые параметры изображения; рассчитайте результаты по известным формулам (лекция 9).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7
НАЗНАЧЕНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПОРЯДОК
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНОГО ЧАСТОТОМЕРА
GFC 8010H

Цель занятия: Изучить органы управления, режимы работы и приобрести навыки использования электронно-счетного частотомера GFC 8010H

1 Назначение и область применения электронно-счетного частотомера GFC 8010H

Частотомеры универсальные GFC-8010H предназначены для автоматического измерения частоты и периода непрерывных электрических сигналов.

Приборы могут применяться для настройки, испытаний калибровки различного рода приемо-передающих трактов, фильтров, генераторов, для настройки систем связи других устройств.

Приборы могут быть использованы в технике связи, измерительной технике, радиолокации, радионавигации, ядерной физике, полупроводниковой электронике, при разработке, производстве, эксплуатации метрологическом обеспечении различных радиоэлектронных устройств.

Описание работы. Работа приборов основана на счетно-импульсном принципе, заключающемся в том, что счетный блок считает количество поступающих на его вход импульсов в течение определенного интервала времени.

В режиме измерения частоты осуществляется подсчет количества импульсов частоты измеряемого сигнала за калиброванные промежутки времени, формируемые опорным генератором (ОГ). Интервалы времени измерения частоты устанавливаются органами управления на передней панели частотомера.

В режиме измерения периода производится подсчет количества калиброванных по времени импульсов от ОГ за один период входного сигнала.

Приборы имеют конструкцию настольного исполнения, снабжены ручкой для переноски, позволяющей придать прибору наклонное рабочее положение для удобства визуального считывания результатов измерений.

Органы управления, индикации присоединительные разъемы расположены на передней панели и снабжены соответствующими надписями (рисунки 1, 2).



Рисунок 1 – Внешний вид частотомера

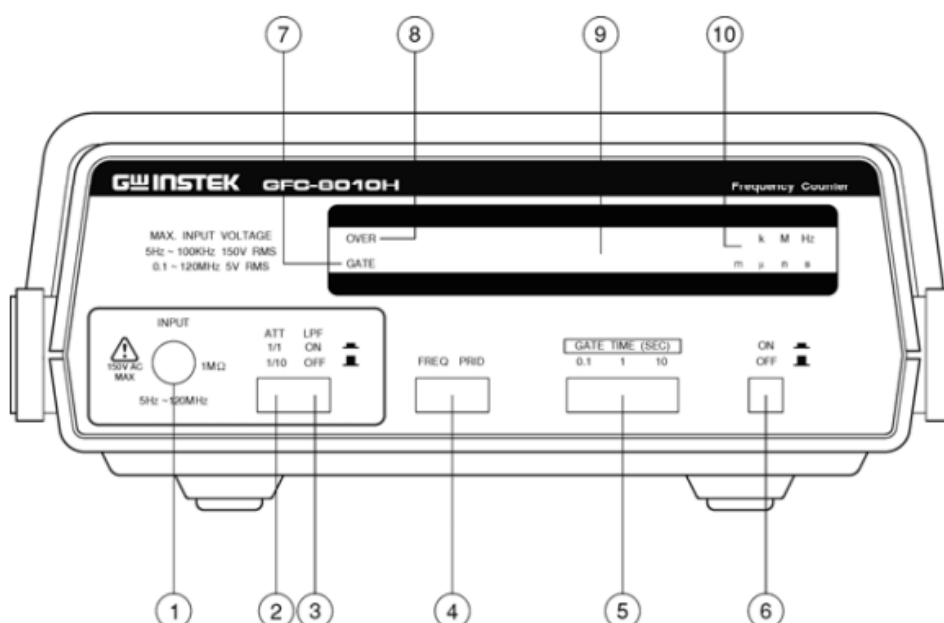


Рисунок 2- Органы управления, находящиеся на передней панели

Обозначения, принятые на рисунке 2:

- (1). Входной разъем счетчика типа BNC.
- (2). АТТ, 1/1, 1/10 Кнопка ослабления входной чувствительности (аттенуатор). Положение 1/1: Непосредственное подключение входного сигнала к входным усилителям. Положение 1/10: Ослабление входного сигнала в 10 раз.
- (3). LPF ON/OFF (ВКЛ/ВЫКЛ низкочастотного фильтра 100 kHz). Для выполнения низкочастотных измерений установите переключатель в положение ON (ВКЛ), что приведет к подключению малошумящего фильтра нижних частот ко входу.
- (4). FREQ/PRID Выбор режима измерения (Частота) или (Период).
- (5). Селектор измерительного интервала времени. Значение интервала времени, определяется нажатием соответствующих кнопок 10 с, 1 с или 0,1 с.
- (6). ON/OFF. Включение или выключение питания.

(7). Время измерения (Светодиодный индикатор LED). Время измерения 10 с, 1 с или 0,1 с отображается на светодиодном индикаторе путем установки кнопки Gate (5).

(8). Индикатор переполнения Over (LED) показывает, что одна или несколько наиболее значимых цифр не отображаются.

(9). Светодиодный дисплей из 8 цифр, отображающий измеренные значения.

(10) Обозначение множителя единиц измерения. Индикатор отображает Время S и Частоту Hz с дополнительной информацией о цене измерения как показано ниже: k=1000 M=1,000,000 G=1,000,000,000 m=1/1000 μ =1/1,000,000 n=1/1,000,000,000

Основные технические характеристики

Таблица 1

Модель прибора	GFC-8010H
Диапазон частот	0,1 Гц-120 МГц
Чувствительность, Уср.кв	15 мВ (10-60) МГц 20 мВ (60-100) МГц 30 мВ (100-120) МГц
Входное сопротивление	1 МОм, 35 пФ
Максимальный уровень входного сигнала, Уср.кв	150 В
Параметры опорного кварцевого генератора	Частота 10 МГц Относительная погрешность по частоте ОГ $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ за 12 мес. (при установке опции "1" $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ за 12 мес.) Температурная нестабильность $1 \cdot 10^{-6}$ /°C при 23 °C ± 5 °C (при установке опции "1" $1 \cdot 10^{-8}$ /°C)
Погрешность измерений	Абсолютная погрешность измерения частоты синусоидальных сигналов $\Delta F = \pm$ (отн. погр. опорн. частоты) частота $\pm$:МЗР где: МЗР - младш. значащ. разряд опорного сигнала. Абсолютная погрешность измерения периода синусоидальных сигналов $\Delta T = \pm$ (отн. погр. опорн. частоты) период $\pm$ МЗР где: МЗР - младший значащий разряд опорного сигнала
Исполнение	Настольное
Потребляемая мощность, не более	5 Вт
Диапазон температур эксплуатации	От плюс 15 °C до плюс 35 °C при относительной влажности 10 % - 80 %
Габаритные размеры, мм:	280x245x95 глубина, ширина, высота
Масса кг, не более	1,7 (без упаковки)

2 Порядок применения

2.1 Чувствительность

Переключатель SENSITIVITY (или аттенюатор АТТ) предназначен для защиты входной цепи и предотвращения работы измерительного прибора в режиме перенапряжения.

В качестве формирователя прямоугольных импульсов из входного синусоидального напряжения используется триггер Шмитта. Переключения в состояние высокого и низкого уровней происходит по разным амплитудным значениям, что определяет появление так называемой петли гистерезиса. В

целях обеспечения помехоустойчивости, схема формирователя отключается если уровень шума соответствует величине гистерезиса (рисунок 3).

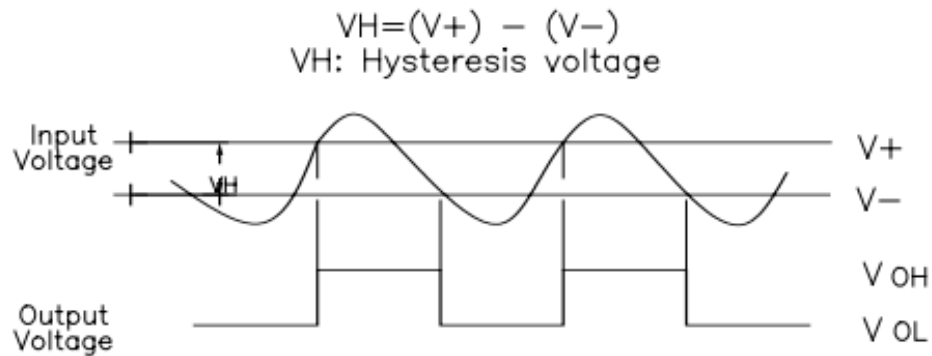
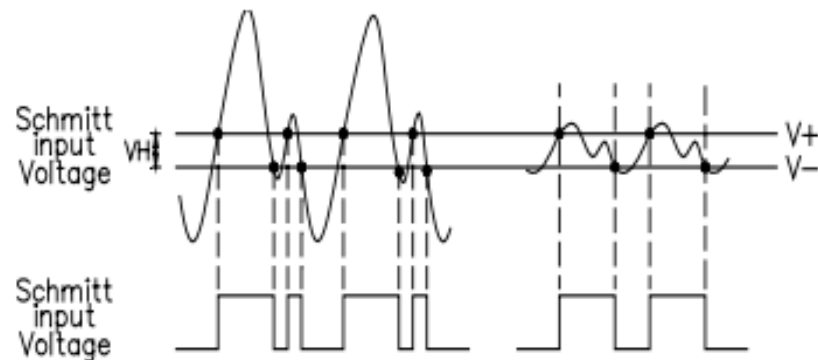


Рисунок 3 – Работа формирователя

Пример предотвращения ошибочного подсчета числа периодов путем правильного выбора чувствительности показан на рисунке 4.

В первом случае необходимо ослабление входного сигнала с целью исключения ложного срабатывания формирователя на участках между максимумами сигнала.

Во втором случае, наловившийся на полезный сигнал шум в виде гармонических колебаний (так называемая наводка) приводит к измерению ложной частоты.



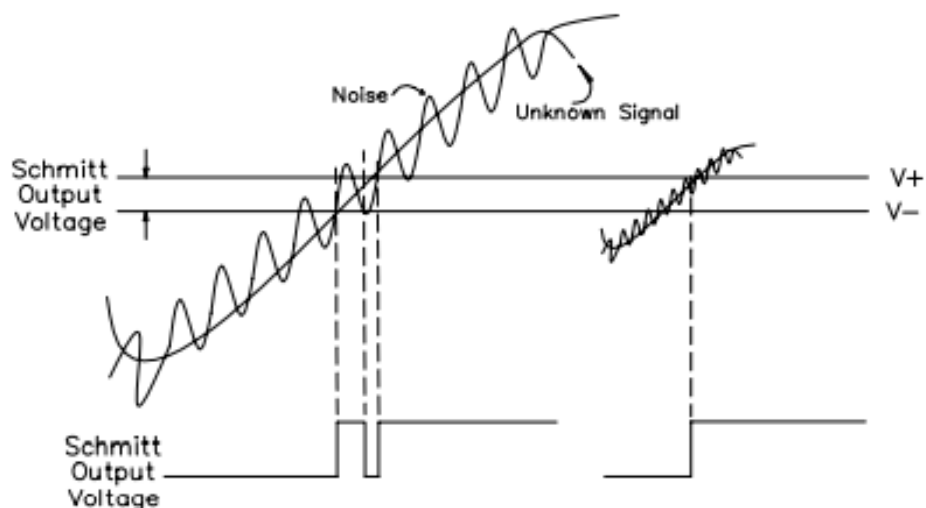


Рисунок 4 – Влияние выбора чувствительности для уменьшения ошибок измерения частоты

Ошибочный подсчет можно предотвратить, удовлетворяя двум условиям:

- 1) Сделать пиковое значение шумового напряжения меньшим, чем V_N .
- 2) Если пиковое значение неизвестного сигнала больше V_N , выполните измерения путем установки АТТ на 1/10, затем на 1/1.

График, характеризующий чувствительность входного усилителя – формирователя счетных импульсов от диапазона измеряемых частот, показан на рисунке 5.

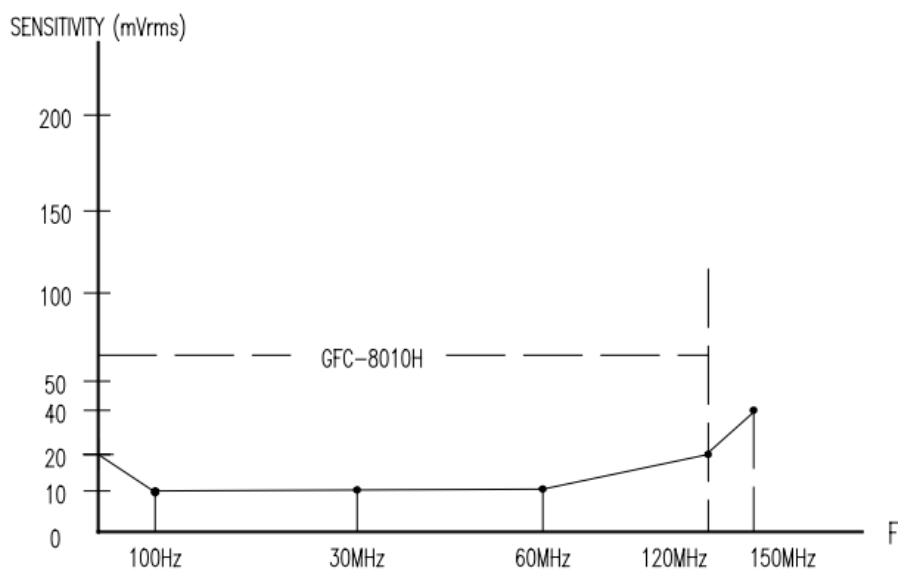


Рисунок 5 – График зависимости чувствительности частотомера от диапазона частоты

Порядок применения.

Ниже приведено несколько примеров типичных применений электронно-счетного частотомера GFC-8010H:

1). Можно измерить выходную частоту передатчика или приемопередатчика (если выходная мощность около 1W), просто расположив шнур на расстоянии нескольких десятков сантиметров от антенны. Расстояние от антенны определяется величиной выходного сигнала.

2). Измерение в режиме калибровки может быть выполнено простым подключением коаксиального кабеля к выходу эталонного синтезатора частот.

3) Измерение неизвестной частоты путем подключения кабеля непосредственно к испытуемой схеме. Вывод шнура, окрашенный в черный цвет, подключается к GND, а красный- к исследуемой точке.

4) Если емкость кабеля будет влиять на исследуемую электрическую цепь, выполните измерение, добавив сопротивление в несколько МОм последовательно с зажимом шнура, окрашенного в красный цвет. Всегда заземляйте шнур при выполнении измерений. По возможности соединяйте общий вывод исследуемой цепи через кабель к точке GND. Эта процедура уменьшит воздействие шума.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

ЦИФРОВОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ЧАСТОТЫ

Цель работы:

- изучить устройство генератора сигналов низкой частоты GAG-810, принципы работы основных его узлов и технические характеристики;
- приобрести практические навыки формирования периодических сигналов различной формы и с различными характеристиками;
- совершенствование навыков анализа погрешности средств измерения, на примере погрешности установки параметров сигналов, формируемых измерительными генераторами.

Учебные вопросы:

3. Изучение назначения, характеристик и порядка использования генератора сигналов низкой частоты.
4. Исследование погрешности установки параметров сигналов

3. Изучение назначения, характеристик и порядка использования генератора сигналов низкой частоты

4.

Генератор НЧ GW Instek GAG-810 позволяет формировать электрические сигналы синусоидальной формы. Высокая точность, надежность и набор функций делает этот прибор незаменимым в лабораториях и научных центрах, особенно для настройки и проверки радиоэлектронных устройств и радиозмерительных приборов. Внешний вид генератора показан на рисунке 1.



Рисунок 1. Внешний вид генератора GAG 810 (809)

Радиоэлектронное оборудование, в том числе устройства радиосвязи, характеризуются особо низким уровнем гармонических искажений. Используя это устройство, оператор с легкостью сможет настраивать высокоточные приборы, применяемые в вычислительной технике и

автоматике. Устройство позволяет использовать широкий спектр настроек: установка нестабильности частоты, ее точность и многое другое.

Устройство позволяет сохранять настройки и тем самым заметно экономит время на повторных операциях. Низкочастотный генератор GW Instek GAG-810 позволяет генерировать различные типы сигналов.

Синусоидальный сигнал

Диапазон частот 10 Гц - 1 МГц содержит 5 поддиапазонов.

Погрешность генерации 3% + 1Гц.

Индикация частот происходит на шкале лимба.

Выходной уровень составляет 5 В_{ср.кв.} на нагрузку 600 Ом.

Коэффициент гармоник 500 Гц - 20 кГц < 0.02%, 100 Гц - 100 кГц < 0.05%.

Прямоугольный сигнал

Размах сигнала более 10 В_{пик-пик}.

Время нарастания и среза менее 200 наносекунд.

Выбросы на вершине импульса меньше 2% на частоте 1 кГц.

Неравномерность вершины меньше 5% на частоте 50 Гц

Аттенюатор работает на уровнях 0 -50 дБ с шагом в 10 дБ.

Низкочастотный генератор имеет синхронный вход с полосой синхронизации шириной 5% от фиксированной частоты. Максимальный уровень синхросигнала составляет 15 В, а входное сопротивление 150 кОм.

Характеристики:

Низкий уровень гармоник	0.02%
-------------------------	-------

Максимальный выходной уровень	5 В _{ср.кв.} на 600 Ом
-------------------------------	---------------------------------

Ослабление выходного уровня	На 50 дБ (шаг 10 дБ)
-----------------------------	----------------------

Генерация импульсного сигнала	10 В
-------------------------------	------

Генерация импульсного сигнала, нарастание/спад	< 200 нс
--	----------

Вход внешней синхронизации	в наличии
----------------------------	-----------

Назначение органов управления ГНЧ GAG 810 показано на рис. 2.

На рисунке 2 приняты следующие обозначения:

10. Лампа загорается, когда переключатель POWER находится в положении ON (включено).

11. POWER SWITCH (переключатель питания). Этот переключатель включает и отключает питание.

12. ATTENUATOR (аттенюатор). Обеспечивает ослабление выходного сигнала с соответствующим шагом.

13. OUTPUT TERMINAL (выходной разъем). Выходной разъем используется для выдачи сигнала синусоидальной или прямоугольной волны.

14. WAVE FORM. Переключатель формы выходной формы.

15. FREQ. RANGE. Переключатель диапазона частоты генерации.

16. AMPLITUDE. Регулятор амплитуды выходного напряжения.

17. FREQUENCY DIAL (шкала частот). Шкала регулирует частоту генерации. Вы можете считывать частоты, умножая на шкале коэффициент FREQ. RANGE.

18. DIAL SCALE. Указатель обозначает частоты на шкале.

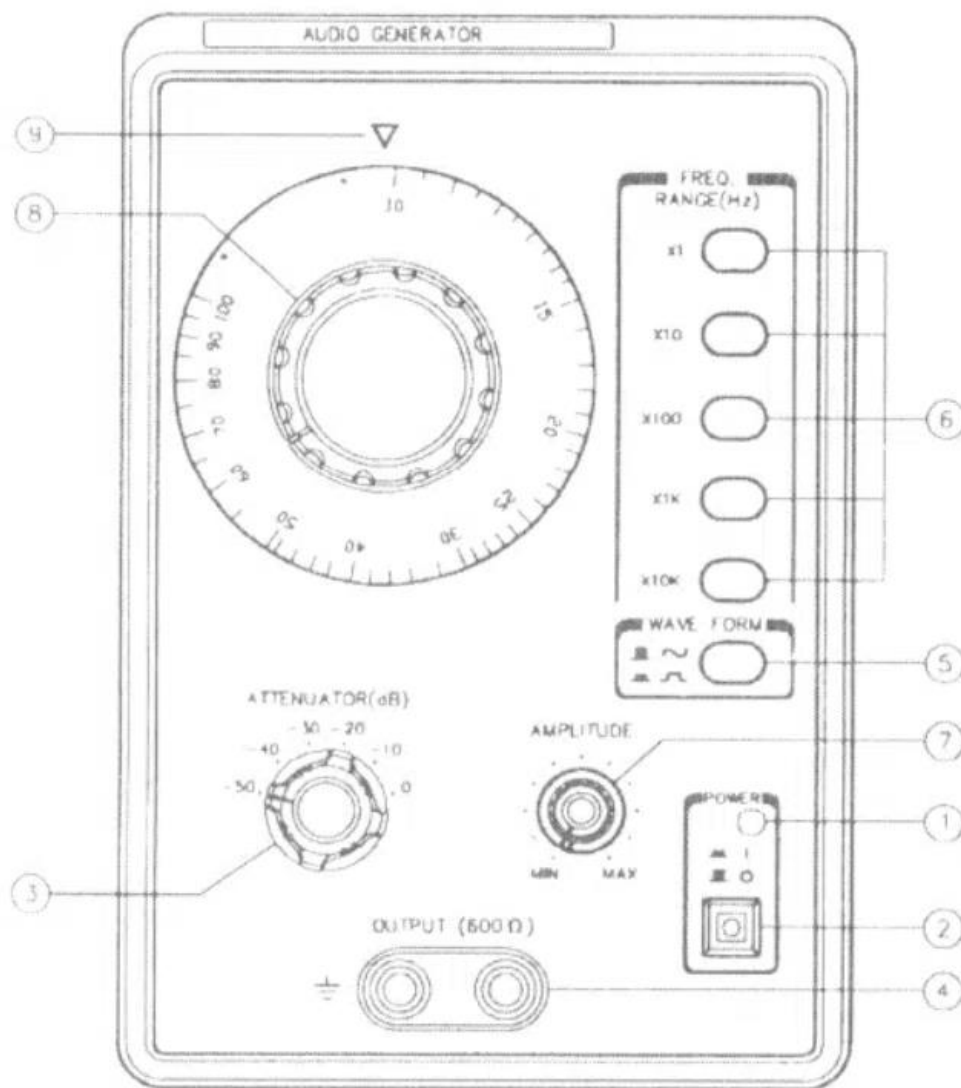


Рисунок 2. Назначение органов управления

2. Исследование погрешности установки параметров сигналов

Состав лабораторного оборудования. В состав лабораторного оборудования для выполнения исследований входят: генератор сигналов низкой частоты GAG 810 (или им аналогичные) и электронный осциллограф GOS-620 (GOS-620FG).

Порядок выполнения работы.

Установите с помощью переключателей (6) и регулятора (7) значения частоты синусоидального сигнала в соответствии с содержимым таблицы 1. Указатель амплитуды сигнала установите в среднее положение. Аттенюатор в положение 0. С помощью осциллографа выполните измерение частоты сигнала и его амплитуды. Измеренные значения и абсолютную погрешность установки частоты сигнала запишите в таблицу 1.

Таблица 1

Номер исследования	1	2	3	4	5
Частота выходного сигнала, Гц	15	150	1500	15000	150000
Измеренное значение частоты					
Абсолютная погрешность установки					
Амплитуда сигнала, В					

Установите частоту синусоидального сигнала 1500 Гц. Последовательно изменяйте значение ослабления амплитуды выходного сигнала с 0 до -50 дБ.

Заполните вторую и 3 строки таблицы 2. Установленное значение выходного сигнала в вольтах вычислите из формулы $U_{дБ} = 20 \lg(U_0/U_{уст})$

Таблица 2

Ослабление, дБ	0	-10	-20	-30	-40	-50
Измеренное значение амплитуды, В						
Установленное значение амплитуды, В						

Установите переключатель формы выходного сигнала в положение **П** и проведите исследования точности установки частоты для режима генерации последовательности прямоугольных импульсов. По результатам исследований заполните таблицу 3.

Сравните полученные значения погрешности установки частоты и амплитуды с паспортными характеристиками генератора. Сделайте выводы по результатам исследований.

Таблица 3

Номер исследования	1	2	3	4	5
--------------------	---	---	---	---	---

Частота выходного сигнала, Гц	15	150	1500	15000	150000
Измеренное значение частоты					
Абсолютная погрешность установки					
Размах сигнала, В					

3. Оформление отчета

Записать в отчет тему, цель и учебные вопросы. Заполнить таблицы 1-3. Сделать выводы о:

- точности установки частоты выходного сигнала генератором GAG 810 в режиме синусоидального напряжения;
- точности установки частоты выходного сигнала генератором GAG 810 в режиме прямоугольных импульсов;
- точность установки амплитуды синусоидального напряжения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1.Назначение и классификация генераторов измерительных сигналов
- 2.Структурная схема генератора звуковой частоты.
- 3.Что такое частота, как определяется погрешность и нестабильность частоты?
- 4.Какие методы используются для измерения частоты?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине
«Метрология, стандартизация и технические измерения» для студентов
направления подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль)
Интеллектуальные программируемые системы и устройства

Ставрополь
2026

Содержание

Введение

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Методические рекомендации по конспектированию первоисточников

Методические указания по подготовке к экзамену

Список рекомендуемой литературы

ВВЕДЕНИЕ

Современные стандарты подготовки студентов предусматривают значительный объем внеаудиторной работы. Освоение программы курса предполагает получение как теоретических знаний по вопросам метрологического обеспечения, так и формирование навыков практической работы. Поэтому самостоятельная работа в рамках курса ориентирована как на теоретический, так и на практический аспект.

Самостоятельная работа студентов – это выполнение теоретических и практических заданий студентами по усвоению изучаемой дисциплины «Метрология, стандартизация и технические измерения».

Целью самостоятельной работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами на лекциях, подготовке к текущим лабораторным занятиям, промежуточным формам контроля знаний и к итоговому контролю.

Дидактические цели самостоятельных занятий:

- формирование профессиональных умений;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- мотивирование регулярной целенаправленной работы по освоению специальности;
- развитие самостоятельности мышления;
- формирование убежденности, волевых черт характера, способности к самоорганизации;
- овладение технологическим учебным инструментом.

Самостоятельная работа включает те разделы курса, которые не получили достаточного освещения на лекциях по причине ограниченности лекционного времени и большого объема изучаемого материала.

Методическое обеспечение самостоятельной работы по дисциплине состоит из:

- 1) Определения учебных вопросов, которые студенты должны изучить самостоятельно;
- 2) Подбора необходимой учебной литературы, обязательной для проработки и изучения;
- 3) Поиска дополнительной научной литературы, к которой студенты могут обращаться по желанию, если у них возникает интерес в данной теме;
- 4) Определения контрольных вопросов, позволяющих студентам самостоятельно проверить качество полученных знаний;
- 5) Организации консультаций преподавателя со студентами для разъяснения вопросов, вызвавших у обучающихся затруднения при самостоятельном освоении учебного материала.

Самостоятельная работа студента – это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение собственной информации и ее логическая переработка;
- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля

Виды самостоятельных работ по учебной дисциплине:

- работа с понятийным аппаратом;
- конспектирование первоисточников;
- проектирование фрагментов исследовательской деятельности;
- анализ научных исследований по вопросам метрологического обеспечения.

Контроль знаний студентов включает формы текущего и итогового контроля. Текущий контроль осуществляется в процессе изучения курса и включает в себя оценку работы студентов на лабораторных занятиях (выполнение исследований, групповые научные проекты, тестирование), а также подготовку домашнего задания.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Комплексное изучение предлагаемой студентам учебной дисциплины «Метрология, стандартизация и технические измерения» предполагает овладение материалами лекций, учебников, программы, творческую работу студентов в ходе проведения практических занятий, а также систематическое выполнение заданий для самостоятельной работы.

В ходе лекций раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемых тем, делаются акценты на наиболее сложные и интересные положения изучаемого материала, которые должны быть приняты студентами во внимание. Материалы лекций являются основой для подготовки студентов к практическим занятиям.

Работа с конспектом лекций

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам.

Выполнение практических занятий по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения»

На первом занятии получите у преподавателя задания по курсу, планы подготовки к практическим занятиям. Обзаведитесь всем необходимым методическим обеспечением.

Перед практическими занятиями изучите теорию вопроса, предполагаемого к исследованию, ознакомьтесь с опытом других исследователей в этом направлении.

Целью практических занятий является:

- закрепление методов приложения теории к решению практических задач анализа и синтеза психологического знания;
- проверка уровня понимания студентами вопросов, рассмотренных на лекциях и по учебной литературе, степени и качества усвоения материала;
- обучение навыкам освоения методики эксперимента и работы с нормативно-справочной литературой;
- восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказание помощи в его усвоении.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСПЕКТИРОВАНИЮ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ

Изучение и анализ литературных источников является обязательным видом самостоятельной работы студентов. Изучение литературы по избранной теме имеет своей задачей проследить характер постановки и решения определенной проблемы различными авторами, аргументацию их выводов и обобщений, провести анализ и систематизировать полученный материал на основе собственного осмысления с целью выяснения современного состояния вопроса.

Проработка отобранного материала обязательно должна идти с одновременным ведением записей прочитанного и своих замечаний. Запись может иметь как форму конспекта, так и выписок, а также картотеку положений, тезисов, идей, методик, что в дальнейшем облегчит классификацию и систематизацию полученного материала. Такого

рода записи являются лучшим способом накопления и первичной обработки материалов, одной из обязательных форм организации умственного труда.

Планом удобно пользоваться при подготовке к устному выступлению по выбранной теме. Каждый пункт плана должен раскрывать одну из сторон избранной темы, а весь план должен охватывать ее целиком.

Тезисы предполагают сжатое изложение основных положений текста в форме утверждения или отрицания. Они являются более совершенной формой записей и представляют основу для дискуссии. К тому же их легко запомнить.

Конспектирование – процесс мысленной переработки и письменной фиксации информации, в виде краткого изложения основного содержания, смысла какого-либо текста.

Результат конспектирования – запись, позволяющая конспектирующему немедленно или через некоторый срок с нужной полнотой восстановить полученную информацию. Конспект в переводе с латыни означает «обзор». По существу его и составлять надо как обзор, содержащий основные мысли текста без подробностей и второстепенных деталей. Конспект носит индивидуализированный характер: он рассчитан на самого автора и поэтому может оказаться малопонятным для других.

Для того чтобы осуществлять этот вид работы, в каждом конкретном случае необходимо грамотно решить следующие задачи:

1. Сориентироваться в общей композиции текста (уметь определить вступление, основную часть, заключение).
2. Увидеть логико-смысловую канву сообщения, понять систему изложения автором информации в целом, а также ход развития каждой отдельной мысли.
3. Выявить «ключевые» мысли, т. е. основные смысловые вехи, на которые «нанизано» все содержание текста.
4. Определить детализирующую информацию.
5. Лаконично сформулировать основную информацию, не перенося на письмо все целиком и дословно.

Во всяком научном тексте содержится информация 2-х видов: основная и вспомогательная. Основной является информация, имеющая наиболее существенное значение для раскрытия содержания темы или вопроса. К ней относятся: определения научных понятий, формулировки законов, теоретических принципов и т. д. Назначение вспомогательной информации – помочь читателю лучше усвоить предлагаемый материал. К этому типу информации относятся разного рода комментарии. Основную – записываем как можно полнее, вспомогательную, как правило, опускаем. Содержание конспектирования составляет переработка основной информации в целях ее обобщения и сокращения. Обобщить – значит представить ее в более общей, схематической форме, в виде тезисов, выводов, отдельных заголовков, изложения основных результатов и т. п. Читая, мы интуитивно используем некоторые слова и фразы в качестве опорных. Такие опорные слова и фразы называются ключевыми. Ключевые слова и фразы несут основную смысловую и эмоциональную нагрузку содержания текста.

Выбор ключевых слов – это первый этап смыслового свертывания, смыслового сжатия материала.

Важными требованиями к конспекту являются наглядность и обозримость записей и такое их расположение, которое давало бы возможность уяснить логические связи и иерархию понятий.

По форме конспекты подразделяются на формализованные и графические.

1. Формализованные (все записи вносятся в заранее подготовленные таблицы).

Это удобно, во-первых, при конспектировании материалов, когда перечень характеристик описываемых предметов или явлений более или менее постоянен, во-вторых, при подготовке единого конспекта по нескольким источникам. Особенно если есть необходимость сравнения отдельных данных. Разновидностью формализованного

конспекта является запись, составленная в форме ответов на заранее подготовленные вопросы, обеспечивающие исчерпывающие характеристики однотипных предметов или явлений.

2. Графические (элементы конспектируемой работы располагаются в таком виде, при котором видна иерархия понятий и взаимосвязь между ними).

По каждой работе может быть не один, а несколько графических конспектов, отображающих книгу в целом и отдельные ее части. Ведение графического конспекта - наиболее совершенный способ изображения внутренней структуры книги, а сам этот процесс помогает усвоению ее содержания.

Можно выделить следующие основные **типы конспектов: плановый, текстуальный, сводный, тематический.**

Плановый – легко получить с помощью предварительно сделанного плана произведения, каждому вопросу плана отвечает определенная часть конспекта:

а) вопросно-ответный (на пункты плана, выраженные в вопросительной форме, конспект дает точные ответы);

б) схематичный плановый конспект (отражает логическую структуру и взаимосвязь отдельных положений).

Текстуальный – это конспект, созданный в основном из цитат.

Сводный конспект – сочетает выписки, цитаты, иногда тезисы; часть его текста может быть снабжена планом.

Тематический – дает более или менее исчерпывающий ответ (в зависимости из числа привлеченных источников и другого материала, например, своих же записей) на поставленный вопрос – тему: обзорный; хронологический.

Роль конспекта – чисто учебная: он помогает зафиксировать основные понятия и положения первичного текста и в нужный момент их воспроизвести, например, при написании реферата или подготовке к экзамену.

Способы конспектирования.

- **Тезисы** – это кратко сформулированные основные мысли, положения изучаемого материала. Тезисы лаконично выражают суть читаемого, дают возможность раскрыть содержание. Приступая к освоению записи в виде тезисов, полезно в самом тексте отмечать места, наиболее четко формулирующие основную мысль, которую автор доказывает (если, конечно, это не библиотечная книга). Часто такой отбор облегчается шрифтовым выделением, сделанным в самом тексте.

- **Линейно-последовательная запись текста.** При конспектировании линейно – последовательным способом целесообразно использование плакатно-оформительских средств, которые включают в себя следующие:

- сдвиг текста конспекта по горизонтали, по вертикали;
- выделение жирным (или другим) шрифтом особо значимых слов;
- использование различных цветов;
- подчеркивание;
- заключение в рамку главной информации.

- **Способ «вопросов – ответов».** Он заключается в том, что, поделив страницу тетради пополам вертикальной чертой, конспектирующий в левой части страницы самостоятельно формулирует вопросы или проблемы, затронутые в данном тексте, а в правой части дает ответы на них.

Одна из модификаций способа «вопросов – ответов» - таблица, где место вопроса занимает формулировка проблемы, поднятой автором (лектором), а место ответа – решение данной проблемы. Иногда в таблице могут появиться и дополнительные графы: например, «мое мнение» и т. п.

- **Схема с фрагментами** – способ конспектирования, позволяющий ярче выявить структуру текста, - при этом фрагменты текста (опорные слова, словосочетания, пояснения

всякого рода) в сочетании с графикой помогают созданию рационально - лаконичного конспекта.

- **Простая схема** – способ конспектирования, близкий к схеме с фрагментами, объяснений к которой конспектирующий не пишет, но должен уметь давать их устно. Этот способ требует высокой квалификации конспектирующего. В противном случае такой конспект нельзя будет использовать.

- **Параллельный способ** конспектирования. Конспект оформляется на двух листах параллельно или один лист делится вертикальной чертой пополам и записи делаются в правой и в левой части листа.

Однако лучше использовать разные способы конспектирования для записи одного и того же материала.

Комбинированный конспект – вершина овладения рациональным конспектированием. При этом умело используются все перечисленные способы, сочетая их в одном конспекте (один из видов конспекта свободно перетекает в другой в зависимости от конспектируемого текста, от желания и умения конспектирующего). Именно при комбинированном конспекте более всего проявляется уровень подготовки и индивидуальность студента.

Принципы составления конспекта прочитанного.

1. Записать все выходные данные источника: автор, название, год и место издания. Если текст взят из периодического издания (газеты или журнала), то записать его название, год, месяц, номер, число, место издания.

2. Выделить поля слева или справа, можно с обеих сторон. Слева на полях отмечаются страницы оригинала, структурные разделы статьи или книги (названия параграфов, подзаголовки и т. п.), формулируются основные проблемы. Справа – способы фиксации прочитанной информации.

Один из видов чтения – углубленное – предполагает глубокое усвоение прочитанного и часто сохранение информации в целях последующего обращения к ней. Эффективность такого чтения повышается, если прочитанное зафиксировано не только в памяти, но и на бумаге. Психологи утверждают, что записанное лучше и полнее усваивается, прочнее откладывается в памяти. Установлено, что если прочитать 1000 слов и затем записать 50, подытоживающих прочитанное, то коэффициент усвоения будет выше, чем, если прочитать 10000 слов, не записав ни одного. Кроме того, при записи прочитанного формируется навык свертывания информации. И, наконец, чередование чтения и записывания уменьшает усталость, повышает работоспособность и производительность умственного труда.

1. Резюмирование.

Резюме – краткий итог прочитанного, содержащий его оценку. Резюме характеризует основные выводы книги, главные итоги.

Выбор языковых средств для построения резюме-выводов подчинен основной задаче свертывания информации: минимум языковых средств – максимум информации. Это обычно одно – три четких, кратких, выразительных предложения, раскрывающих, по мнению автора, самую суть описываемого объекта.

2. Аннотация.

Аннотация – краткая обобщенная характеристика печатной работы (книги, статьи), включающая иногда и его оценку. Это наикратчайшее изложение содержания первичного документа, дающее общее представление о теме.

Основное ее назначение – дать некоторое представление о книге (статье, научной работе) с тем, чтобы рекомендовать ее определенному кругу читателей или воспользоваться своими записями при выполнении работы исследовательского, реферативного характера. Поэтому аннотации не требуются изложения содержания произведения, в ней лишь перечисляются вопросы, которые освещены в первоисточнике (содержание этих вопросов не раскрывается). Аннотация отвечает на вопрос: «О чем говорится в первичном тексте?».

дает представление только о главной теме и перечне вопросов, затрагиваемых в тексте первоисточника.

Текст аннотации не стандартизирован. В научной литературе можно встретить различные требования к составлению аннотаций. Например, текст справочной аннотации может включать следующие сведения:

- тип и название аннотируемого документа (монография, диссертация, сборник, статья и т. п.)
- задачи, поставленные автором аннотируемого документа
- метод, которым пользовался автор (эксперимент, сравнительный анализ, компиляция других источников)
- принадлежность автора к определенной научной школе или направлению
- структуру аннотируемого документа
- предмет и тему произведения, основные положения и выводы автора
- характеристику вспомогательных иллюстративных материалов, дополнений, приложений, справочного аппарата, включая указатели и библиографию.

Форма отчетности о результатах самостоятельной работы по дисциплине

- конспект первоисточников
- собеседование во время защиты отчета по лабораторной работе

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

Контроль и оценка знаний студентов является неотъемлемой составной частью учебно-воспитательного процесса в вузе. Экзаменационная сессия – самая ответственная пора в студенческой жизни: она является итогом большой работы студентов в семестре. Экзамен – это метод проверки знаний студентов по части или полному курсу учебной дисциплины, произведенный путем постановки устных или письменных вопросов. Он дает объективную официально фиксируемую оценку успехов студентов за определенный отрезок времени.

Экзамен преследует многогранную цель: во-первых, это – проверка знаний студента, во-вторых, они сами по себе являются важным звеном в овладении наукой, в-третьих, это продолжение учебного процесса; наконец, он имеет большое значение как фактор стимулирования глубокого изучения предмета.

Подготовка к экзамену состоит из двух взаимосвязанных этапов. Первый – систематический труд на протяжении семестра, учебного года, охватывающий все формы учебного процесса: лекции, изучение и конспектирование рекомендованной литературы, активное участие в семинарских (практических) и лабораторных занятиях.

Второй – подготовка непосредственно перед экзаменом. Она позволяет студентам за сравнительно короткий отрезок времени охватить всю перспективу изученного и лучше понять основные закономерности и явления.

Ограниченность времени (3-4 дня) для непосредственной подготовки к экзамену по предмету требует от студентов спокойно, без нервной суеты и спешки еще раз внимательно продумать изученный в течение семестра материал, тщательно отработать вопросы, недостаточно изученные или плохо понятые, с тем, чтобы по возможности устранить все пробелы в своих знаниях.

Готовиться надо по строго продуманному графику, последовательно переходя от темы к теме, не пропуская ни одну из них.

Сложные вопросы, недостаточно уясненные в процессе подготовки к экзамену, необходимо записать и получить на них разъяснения у преподавателей во время предэкзаменационных консультаций.

Следует заметить, что студенты, которые не ходят на консультации из-за отсутствия, по их мнению, сложных вопросов, поступают опрометчиво. На консультациях очень часто лектор не только отвечает на заданные вопросы, но и по собственной инициативе разъясняет наиболее трудные разделы курса.

Итак, основной задачей подготовки студентов к экзамену является систематизация знаний учебного материала, его творческое осмысливание. Важнейшим учебным пособием на этом этапе работы студента является собственный конспект прослушанных лекций и самостоятельно проработанных тем курса.

В соответствии с положением об экзаменах их, как правило, принимают преподаватели, читающие курс лекций.

Получив билет, студент должен хорошо продумать содержание поставленных вопросов. Значительное число неудачных ответов объясняется неясным пониманием поставленной проблемы. Правильное понимание вопроса обеспечит успех при ответе на него. При подготовке к ответу на билет нужно составить развернутый план по каждому вопросу.

Отвечая на вопросы экзаменационного билета, не следует спешить. Надо излагать материал спокойно, не торопясь, владеть собой, следить за построением фраз. Следует избегать подходов издали, общих рассуждений. Рекомендуется строить ответы четко, последовательно, конкретно, по возможности исчерпывающе. Вместе с тем весьма желательно быстро и правильно иллюстрировать свой ответ примерами.

От экзаменуемого требуется: определение понятий, обоснование выдвинутых положений, свободное оперирование фактическим материалом, дать альтернативные подходы по отдельным проблемам. Логичность, стройность, литературная грамотность изложения являются неотъемлемыми чертами полноценного ответа. Нельзя при ответе допускать ни излишней краткости, переходящей в схематизм, ни многословия. И то, и другое не оправдано. Краткость не дает преподавателю возможности понять, владеет ли студент учебным материалом, а многословие может показать, что студент не умеет акцентировать внимание на главном и говорит слишком расплывчато.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Перечень основной литературы:

1. Метрология, стандартизация и технические измерения: учебник / А.Г. Схиртладзе, Я.М. Радкевич. - Старый Оскол: ТНТ, 2017. - 420 с. – 35 экземпляров.
2. Коротков В.С. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.И. Афонасов / В.С. Коротков. - Саратов : Профобразование, 2017. - 186 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-4488-0020-7, экземпляров неограниченно.
- 3.Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. - М.: Юрайт, 2015. - 838 с.
- 4.Червяков, В. М. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс] : конспект лекций для бакалавров дневного, заочного отделений, обучающихся по направлениям 15.03.01, 15.03.05, 20.03.01 / В. М. Червяков, А. О. Пилягина, П. А. Галкин. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 112 с. — 978-5-8265-1426-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64114.html>
- 5.Ершов, В. В. Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях [Электронный ресурс] : учебное пособие. Курс лекций / В. В. Ершов, А. С. Мелешин. — Электрон. текстовые данные. — Ростов-на-Дону : Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, 2015. — 160 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61309.html>
6. Данилевич, С. Б. Основы законодательной метрологии, технического регулирования и стандартизации [Электронный ресурс] / Данилевич С. Б. : учебное пособие. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 47 с. - Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. - ISBN 978-5-7782-3864-0, экземпляров неограничено

Перечень дополнительной литературы:

- 1.Астайкин, А. И. Метрология и радиоизмерения [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. И. Астайкин, А. П. Помазков, Ю. П. Щербак ; под ред. А. И. Астайкин. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2010. — 405 с. — 978-5-9515-0137-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18440.html>
- 2.Метрология, стандартизация и сертификация : [учебник для студ. сред. проф. образования] / под ред. А. С. Сигова. – 3-е изд. – М. : Форум, 2012. – 329 с. : прил. – (Профессиональное образование). – Библиогр.: с. 323-326. – ISBN 978-5-91134-294-4
- 3.Яковлев С.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / СВ. Яковлев; ФБГОУ Сев.-Кав. гос. техн. ун-т. - Ставрополь: Издательство СевКавГТУ, 2012. - 310 с. : ил. - Библиогр.: с. 309.

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

1. Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация в телекоммуникациях»: Направление подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Квалификация выпускника – бакалавр / Сост. К. М. Сагдеев. – Электронный ресурс. – Ставрополь: СКФУ, 2019. экземпляров неограниченно.

2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация в телекоммуникациях»: Направление подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Квалификация выпускника – бакалавр / Сост. К.М. Сагдеев. – Электронный ресурс. – Ставрополь: СКФУ, 2019, экземпляров неограниченно.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- 1 Главный форум метрологов. – Режим доступа: <https://metrologu.ru/>
- 2 Каталог нормативной документации Государственной системы обеспечения единства измерений. – Режим доступа: <http://nd-gsi.ru/>
- 3 Метрология (наука об измерениях). Метрологическое обеспечение производства. – Режим доступа: <http://metrobr.ru/>
- 4 Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РОССТАНДАРТ. – Режим доступа: <http://www.gost.ru/wps/portal/>
- 5 Сайт Федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)». – Режим доступа: <http://www.asms.ru/>
- 6 Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. – Режим доступа: <http://www.fundmetrology.ru/default.aspx>