

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра вычислительной техники и защиты информации

Ю.И. Синицын

МЕТРОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Оренбургский государственный
университет» для обучающихся по образовательной программе высшего
образования по направлению подготовки 10.03.01 Информационная
безопасность

Оренбург
2019

УДК 006.91:621.317(076.5)
ББК 30.10я7+32.842я7
С 38

Рецензент – доцент, кандидат педагогических наук Е. В. Бурькова

Синицын, Ю. И.
С 38 Метрология и электрорадиоизмерения: методические указания / Ю. И. Синицын; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2019.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ студентами, изучающими дисциплину «Метрология и электрорадиоизмерения». Предложены лабораторные работы по изучению и использованию измерительной техники.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 10.03.01 Информационная безопасность.

УДК 006.91:621.317(076.5)
ББК 30.10я7+32.842я7

© Синицын Ю.И., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

1 Основные понятия метрологии.....	4
1.1 Общие сведения.....	4
1.2 Основные метрологические термины	5
2 Лабораторные работы	11
2.1 Лабораторная работа № 1. Системы обозначений измерительных приборов и принципа действия измерительных механизмов различных систем.....	11
2.2 Лабораторная работа № 2. Конструкция генератора импульсов Г5 – 54.....	21
2.3 Лабораторная работа № 3. Изучение осциллографа С1-71.....	24
2.4 Лабораторная работа № 4. Контрольно-измерительные приборы программного пакета Multisim.....	35
2.5 Лабораторная работа № 5. Прямые и косвенные однократные измерения с использованием программного пакета LabVIEW	41
2.6 Лабораторная работа № 6. Многофункциональный имитатор сигналов «Шиповник-2»	48
2.7 Лабораторная работа № 7. Исследование детектора электромагнитного поля ST107.....	55
2.8 Лабораторная работа № 8. Исследование многофункционального поискового прибора ST-031 «Пиранья»	69
2.9 Лабораторная работа № 9. Исследование акустического канала утечки информации прибором ST-031 «Пиранья».....	77
2.10 Лабораторная работа № 10. Работа с контрольным устройством «Тест»	84
Список использованных источников	89

1 Основные понятия метрологии

1.1 Общие сведения

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется метрологией (греческое слово «метрология» образовано от слов «метрон» – мера и «логос» – учение). К основным направлениям метрологии относят:

- общую теорию измерений;
- единицы физических величин и их системы;
- методы и средства измерений;
- методы определения точности измерений;
- основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений;
- эталоны и образцовые средства измерений;
- методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средством измерений [1].

Типы и задачи метрологии показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Типы и задачи метрологии

Тип метрологии	Задачи метрологии
Теоретическая	Занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения.
Прикладная	Прикладная (практическая) метрология занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии.
Законодательная	Законодательная метрология включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, которые возводятся в ранг правовых положений.

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью. Средства метрологии – это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Для метрологии характерно:

- повышение точности измерений и расширение пределов измеряемых величин;
- разработка современных методов измерений и приборов с использованием новейших физических принципов;
- создание информационно-измерительных систем, обладающих высокой точностью, быстродействием и надежностью [2].

1.2 Основные метрологические термины

К метрологии относятся понятия - измерения, средства, принцип, метод и объект измерения, алгоритм измерения и шкалы измерений и ряд других терминов.

Измерением называется процесс нахождения значения физической величины опытным путем с помощью технического оборудования.

Метрологические измерения сводится к основному уравнению измерения (основному уравнению метрологии) [2]:

$$A = kA_0, \quad (1)$$

где A — значение измеряемой физической величины;

A_0 — значение величины, принятой за образец;

k — отношение измеряемой величины к образцу.

Таким образом, любое измерение заключается в сравнении путем физического эксперимента данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения (с так называемой **мерой**). Следовательно, получаемая при измерениях физических величин информация называется **измерительной**.

Информация, получаемая в результате измерения, может содержаться в объекте измерения в двух формах - пассивной и активной.

Пассивная информация — это совокупность сведений, заключенных в том, как устроен объект, какой информацией является (например, информация о величине напряжения источника питания).

Информация является **активной**, если она имеет форму энергетической характеристики какого-либо явления (электрические, оптические и акустические сигналы, используемые для передачи информации) [2].

Характеристиками измерений являются результат, погрешность, точность, правильность, сходимость, воспроизводимость и достоверность. Описание характеристик измерений показано в таблице 2.

Таблица 2 - Описание характеристик измерений

Действие	Описание характеристик измерений
1	2
Результат измерений физической величины	Это значение физической величины, полученное путем ее измерения
Поправка	Значение величины, которая вводится в результат измерения для исключения определенных, так называемых систематических составляющих погрешности
Неисправленный результат измерения	Значение физической величины, полученное при помощи средств измерений до внесения поправок
Исправленный результат измерения	Значение физической величины, полученное при помощи средств измерений и уточненное путем внесения в него необходимых поправок
Погрешность средства измерения	Разность между показаниями средства измерения и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины
Правильность измерений	Это метрологическая характеристика, отражающая близость к нулю систематических погрешностей результатов измерений

Точность измерений	Понятие, отражающее меру близости результатов измерений к истинному значению измеряемой физической величины
--------------------	---

Продолжение таблицы 2

1	2
Сходимость результатов измерений	Характеризует качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых повторно одними и теми же методами и средствами измерений и в одних и тех же условиях
Достоверность измерений	Определяется степенью доверия к результату измерения и характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах [2]
Принцип измерений	Совокупность физических явлений, на которых основаны измерения (применение эффекта Холла для измерения мощности и т.д.)
Метод измерений	Совокупность приемов использования принципов и средств измерений (метод измерения частоты частотомером, напряжения — вольтметром, силы тока — амперметром и т. д.)
Методика измерения	Общий или поэтапный план проведения измерения
Объект измерения	Это реальный физический объект, свойства которого характеризуются одной или несколькими измеряемыми физическими величинами
Алгоритм измерения	Точное предписание, о порядке выполнения операций, обеспечивающих измерение физической величины
Шкала физической величины	Упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая по результатам точных измерений
Отметки шкалы	Знак на шкале прибора (черточка, точка и т. д.), соответствующий некоторому значению физической величины
Цена деления шкалы	Разность значений измеряемой величины, соответствующих соседним отметкам шкалы
Цель испытаний	Считают нахождение истинного значения параметра, определенного в заданных номинальных условиях испытания
Результат испытаний	Называется оценка характеристик свойств объекта и установления соответствия объекта заданным требованиям

Точность — результат испытаний, описывающим близость их результатов к действительным значениям характеристик объекта.

Поверка — определение специальным органом метрологической службы метрологических характеристик средства измерения.

Основное понятие метрологии – измерение. Под измерением понимают

познавательный информационный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной физической величины с известной физической величиной, принятой за единицу измерения. Найденное значение называют **результатом измерения**.

Для выполнения измерений необходимо воспроизвести единицу физической величины, сравнить с ней искомое значение и сохранить результат сравнения. При измерении электрорадиосигналов операции сравнения предшествует преобразование сигнала к виду, удобному для сравнения. Следовательно, этапами измерения являются:

- воспроизведение единицы физической величины;
- преобразование исследуемого сигнала;
- сравнение значения измеряемой физической величины с единицей, воспроизводимой мерой;
- фиксация результата сравнения.

Классификация видов измерений показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация видов измерений [2]

Различают **прямые, косвенные, совокупные и совместные** измерения. На практике наиболее часто встречается с первыми двумя видами. Виды и характеристики измерений показаны в таблице 3.

Таблица 3 - Виды и характеристики измерений

Вид измерений	Характеристика измерений
Прямые измерения	Искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных (измерение напряжения вольтметром, фазового сдвига фазометром и т. п.).
Косвенное измерение	Искомое значение физической величины находят по известной математической зависимости между этой величиной и физическими величинами, подвергаемыми прямым измерениям.
Совокупные измерения	Проводятся одновременно измерения нескольких величин, при которых их значения находят решением системы уравнений, получаемых при прямых или косвенных измерениях.
Совместные измерения	Выполнение одновременно измерений двух или нескольких неоднородных физических величин для установления зависимости между ними.

Термины и описание измерений показаны в таблице 4.

Таблица 4 - Термины и описание измерений

Термины	Описание измерений
1	2
Абсолютные измерения	Основаны на прямых измерениях одной или нескольких величин с использованием значений физических констант. Результат абсолютного измерения непосредственно выражается в единицах измеряемой величины.
Относительные измерения	Измерения соотношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.
Элементарные средства измерений	Предназначены для реализации отдельных операций прямого измерения (устройства сравнения и измерительные преобразователи).
Мера	Средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера или значения (измерительный конденсатор — мера электрической емкости).

Продолжение таблицы 4

1	2
Однозначная мера	Воспроизводит физическую величину одного размера.
Многозначная мера	Воспроизводит ряд одноименных величин различного размера (потенциометр, конденсатор переменной емкости).
Устройство сравнения – компаратор	Это средство измерений, позволяющее сравнивать друг с другом меры однородных величин или показания измерительных приборов.
Измерительный преобразователь	Средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, преобразования, обработки и хранения. Измерительные преобразователи входят в состав измерительных приборов.
Комплексные средства измерений	Предназначены для реализации всей процедуры измерения. К ним относятся измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.
Показывающий измерительный прибор	Устройство, предназначенное только для считывания показаний, например вольтметр.
Регистрирующий измерительный прибор	Прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний измеряемой величины, например универсальный осциллограф.
Самопишущий измерительный прибор	Регистрирующий прибор, в котором предусмотрена запись показаний в форме диаграммы.
Печатающий измерительный прибор	Регистрирующий измерительный прибор, в котором предусмотрена печать показаний, как правило, в цифровой форме.

2 Лабораторные работы

2.1 Лабораторная работа № 1. Системы обозначений измерительных приборов и принципа действия измерительных механизмов различных систем

Цель работы.

Изучить систему обозначений измерительных приборов в соответствии с ГОСТ 15094-89 «Приборы электронные радиоизмерительные. Классификация. Наименования и обозначения» и ознакомиться с принципом действия измерительных механизмов различных систем.

Краткие теоретические сведения.

Все электронные радиоизмерительные приборы, в зависимости от характера измерений и вида измеряемых величин делятся на 20 подгрупп. Каждая подгруппа обозначается заглавными буквами русского алфавита и состоит из нескольких видов, обозначаемых цифрами по порядку. Каждому типу прибора присвоены порядковые номера, перед которыми ставится черточка (дефис), например, ВЗ-17.

Классификация предусматривает следующие подгруппы и виды приборов [1].

1 Подгруппа А. Приборы для измерения силы тока:

- А1 - установки или приборы для поверки амперметров;
- А2 - амперметры постоянного тока;
- А3 - амперметры переменного тока;
- А7 - амперметры универсальные;
- А9 - преобразователи тока.

2 Подгруппа Б. Источники питания для измерений или измерительных приборов:

- Б2 - источники переменного тока;
- Б4- источники калиброванного напряжения и тока;
- Б5 - источники постоянного тока;
- Б6 - источники с регулируемыми параметрами;

- В7 - источники постоянного и переменного тока универсальные.

3 Подгруппа В. Приборы для измерения напряжения:

- В1 - приборы или установки для поверки вольтметров;
- В2 - вольтметры постоянного тока;
- В3 - вольтметры переменного тока;
- В4 - вольтметры импульсного тока;
- В5 - вольтметры фазочувствительные (векторометры);
- В6 - вольтметры селективные;
- В7 - вольтметры универсальные;
- В8 - измерители отношения напряжений и (или) разности напряжений;
- В9 - преобразователи напряжения.

4 Подгруппа Г. Генераторы измерительные:

- Г1 - установки для поверки измерительных генераторов;
- Г2 - генераторы шумовых сигналов;
- Г3 - генераторы сигналов низкочастотные;
- Г4 - генераторы сигналов высокочастотные;
- Г5 - генераторы импульсов;
- Г6 - генераторы сигналов специальной формы;
- Г8 - генераторы качающейся частоты.

5 Подгруппа Д. Аттенаторы и приборы для измерения ослабления.

6 Подгруппа Е. Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными:

- Е1 - установки или приборы для поверки измерителей параметров компонентов и цепей;
- Е2 - измерители полных сопротивлений и (или) проводимостей;
- Е3 - измерители индуктивности;
- Е4 - измерители добротности;
- Е6 - измерители сопротивлений;
- Е7 - измерители параметров универсальные;

- Е8 - измерители емкостей;
- Е9 - преобразователи параметров компонентов и цепей.

7 Подгруппа И. Приборы для импульсных измерений.

8 Подгруппа К. Комплексные измерительные установки.

9 Подгруппа Л. Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов:

- Л2 - измерители параметров (характеристик) полупроводниковых приборов;

- Л3 - измерители параметров (характеристик) электронных ламп;

- Л4 - измерители шумовых параметров полупроводниковых приборов.

10 Подгруппа М. Приборы для измерения мощности.

11 Подгруппа Н. Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех.

12 Подгруппа Р. Приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными:

- Р1 - линии измерительные;

- Р2 - измерители коэффициента стоячей волны;

- Р3 - измерители полных сопротивлений;

- Р4 - измерители комплексных коэффициентов передач;

- Р5 - измерители параметров линий передач;

- Р6 - измерители добротности;

- Р7 - преобразователи параметров.

13 Подгруппа С. Приборы для наблюдения, измерения и исследования форм сигнала и спектра:

- С1 - осциллографы универсальные;

- С2 - измерители коэффициента амплитудной модуляции (модулометры);

- С3 - измерители девиации частоты (девиаметры);

- С4 - анализаторы спектра;

- С6 - измерители нелинейных искажений;

- С7 - осциллографы скоростные, стробоскопические;

– С8 - осциллографы запоминающие;

– С9 - осциллографы специальные.

14 Подгруппа У. Усилители измерительные.

15 Подгруппа Ф. Приборы для измерения фазового сдвига и группового времени запаздывания:

– Ф1 - установки или приборы для поверки измерителей фазового сдвига или группового времени запаздывания;

– Ф2 - измерители фазового сдвига;

– Ф3 - фазовращатели измерительные;

– Ф4 - измерители группового времени запаздывания.

16 Подгруппа Х. Приборы для наблюдения и исследования характеристики радиоустройств:

– Х1 - приборы для исследования амплитуды частотных характеристик;

– Х2 - приборы для исследования переходных характеристик;

– Х3 - приборы для исследования фазо-частотных характеристик;

– Х4 - приборы для исследования амплитудных характеристик;

– Х5 - измерители коэффициента шума;

– Х6 - приборы для исследования корреляционных характеристик;

– Х7 - установки или приборы для поверки измерителей характеристик радиоустройств.

17 Подгруппа Ч. Приборы для измерения частоты и времени:

– Ч1 - установки для поверки измерителей частоты, воспроизведения образцовых частот, сличения частот сигналов;

– Ч2 - частотомеры резонансные;

– Ч3 - частотомеры электронно-счетные;

– Ч4 - частотомеры гетероидные, емкостные, мостовые;

– Ч5 - преобразователи частоты сигнала;

– Ч6 - синтезаторы частот; делители и умножители частоты;

– Ч7 - приемники сигналов эталонных частот; компараторы частотные,

фазовые, временные; синхрометры;

– Ч8 - преобразователи частоты.

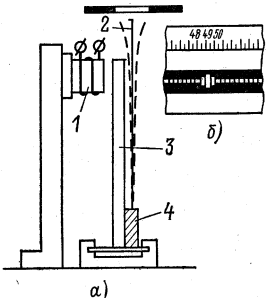
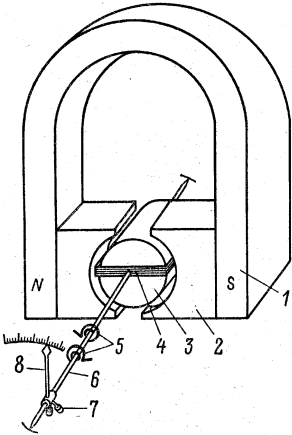
18 Подгруппа Ш. Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов.

19 Подгруппа Э. Измерительные устройства коаксиальных и волновых трактов.

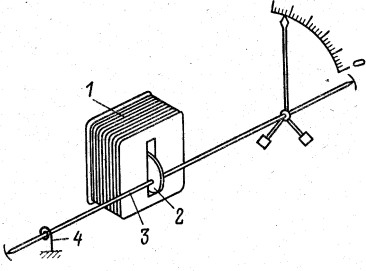
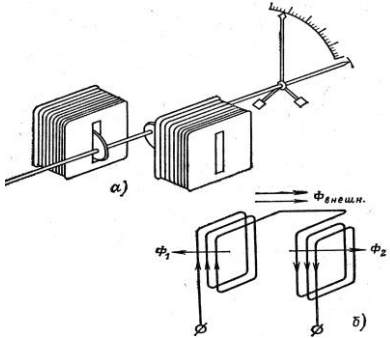
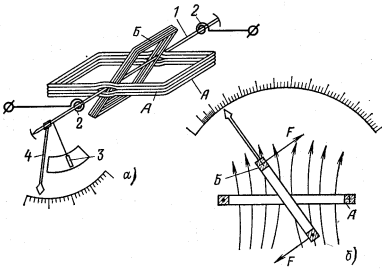
20 Подгруппа Я. Блоки радиоизмерительных приборов.

Устройство и принцип действия измерительных механизмов различных систем показаны в таблице 5.

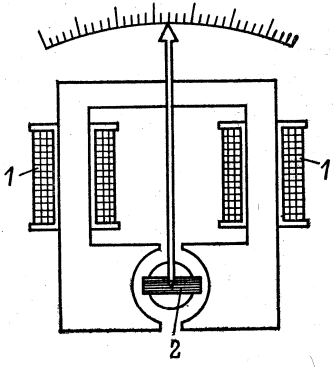
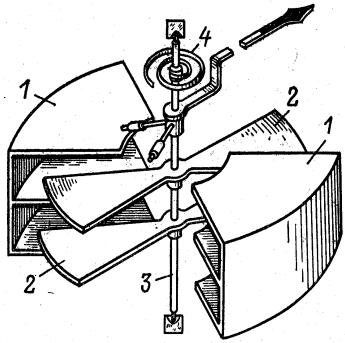
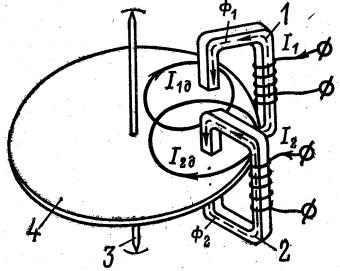
Таблица 5 - Устройство и принцип действия измерительных механизмов [9]

Устройство механизма 1	Принцип действия измерительных механизмов 2
	Измерительные механизмы вибрационной системы. Вибрационные измерительные механизмы (язычковые) являются разновидностью электромагнитной системы. Обмотка электромагнита 1 питается переменным током, частоту которого нужно измерить. Тонкие стальные пластины 2, называемые язычками (на рисунке виден только 1 язычок), укреплены на общей планке 4. Эта планка жестко скреплена с якорем 3, расположенным вблизи сердечника электромагнита.
	Измерительные механизмы магнитоэлектрической системы. Магнитная цепь измерительного механизма состоит из постоянного магнита 1 с полюсными наконечниками 2 и неподвижного стального сердечника 3. В воздушном зазоре между полюсными наконечниками и сердечниками образуется равномерное радиальное магнитное поле. В этом поле может свободно поворачиваться легкая алюминиевая рамка 4, на которой намотана обмотка из тонкого медного или алюминиевого изолированного провода. Рамка установлена на полуосях 6 и имеет прямоугольную форму. Пружины 5 создают противодействующий момент и одновременно служат для подвода тока к обмотке. На одной из полуосей закреплена указательная стрелка 8 с противовесами 7.

Продолжение таблицы 5

1	2
	Измерительные механизмы электромагнитной системы. Неподвижная катушка 1 имеет воздушный зазор в виде узкой щели. Подвижный плоский сердечник 2 эксцентрично закреплен на оси 3. При протекании тока по катушке образуется магнитное поле и сердечник втягивается в щель. Таким образом создается вращающий момент, ось поворачивается вместе с указательной стрелкой, пружина 4 закручивается, в результате чего возникает противодействующий момент.
	Астатические измерительные механизмы. Этот механизм имеет две катушки, соединенные между собой последовательно, и два сердечника, укрепленные на одной оси. Вращающие моменты, действующие на ось при втягивании сердечников, направлены в одну сторону. Таким образом, подвижная часть поворачивается под действием суммы двух моментов. Направления обмоток выбраны так, что магнитные потоки катушек Φ_1 и Φ_2 направлены встречно. При появлении внешнего магнитного поля с потоком $\Phi_{внешн.}$ поле одной катушки усиливается, другой - ослабляется. Тогда один вращающий момент увеличивается, другой - ослабляется.
	Измерительные механизмы электродинамической и ферродинамической систем. Он состоит из неподвижной катушки А, внутри которой может поворачиваться подвижная катушка Б. Неподвижная катушка, состоящая обычно из двух секций, наматывается толстым медным проводом и имеет малое количество витков. Подвижная катушка имеет большое количество витков проводам малого сечения. На оси 1 помимо подвижной катушки укреплены спиральные пружины 2, указательная стрелка 4 и крыло воздушного успокоителя 3. Ток к подвижной катушке подводится через спиральные пружины (или растяжки), которые одновременно служат для создания противодействующего момента. При прохождении измеряемого тока по катушкам в результате взаимодействия магнитного поля подвижной катушки с магнитным полем тока неподвижной катушки создается вращающий момент.

Продолжение таблицы 5

1	2
	Ферродинамические измерительные механизмы. Ферродинамические измерительные механизмы отличаются от электродинамических наличием магнитопровода внутри не подвижной катушки 1 и подвижной катушки 2. Это позволяет получить сильное магнитное поле в воздушном зазоре и большой вращающий момент. Увеличение вращающего момента повышает чувствительность приборов и дает возможность повесить их прочность.
	Измерительные механизмы электростатической системы. Принцип действия основан на взаимодействии электрически заряженных пластин. Между неподвижными пластинами 1 может перемещаться подвижная пластина 2, укрепленная на оси 3. При подключении к прибору напряжения подвижная и неподвижные пластины получают противоположные заряды и между ними возникает электрическое поле. В результате подвижная пластина втягивается в зазор между неподвижными, создавая вращающий момент, под действием которого перемещается укрепленная на оси указательная стрелка. Противодействующий момент создается спиральной пружиной 4.
	Измерительные механизмы индукционной системы. Индукционные измерительные приборы могут работать только на переменном токе. Основными его элементами являются два неподвижных электромагнита 1 и 2, а также алюминиевый диск 4, который закреплен на оси 3 и может свободно вращаться. По обмоткам электромагнитов текут переменные токи I_1 и I_2, сдвинутые по фазе на угол ϕ. Эти токи создают два магнитных потока Φ_1 и Φ_2, сдвинутые по фазе на тот же угол. Магнитные потоки, пронизывая диск, наводят в нем э.д.с., под действием которых текут вихревые токи. Поток Φ_1 вызывает появление тока $I_{1д}$, поток Φ_2 - тока $I_{2д}$ (направления всех токов и магнитных потоков даны для определенного момента времени). В результате взаимодействия потока Φ_1 с током $I_{2д}$ и потока Φ_2 с током $I_{1д}$ появляются вращающие моменты.

Особенности приборов.

Для приборов магнитоэлектрической системы характерна высокая точность. Они являются наиболее точными, по сравнению с приборами непосредственной оценки других систем и изготавливаются вплоть до класса точности 0,1.

Большим достоинством магнитоэлектрических приборов является равномерность шкалы, высокая чувствительность и малая мощность потерь.

Основным недостатком приборов магнитоэлектрической системы является невозможность их применения без специальных преобразователей в цепях переменного тока. Кроме того, они отличаются относительно сложной конструкцией.

Приборы магнитоэлектрической системы используются, главным образом, в качестве гальванометров, амперметров, вольтметров и омметров [9].

Приборы электромагнитной системы можно использовать в цепях переменного тока. Точность их меньше, по сравнению с приборами магнитоэлектрической системы.

Достоинство электромагнитных приборов; простота конструкции, сравнительно низкая стоимость, надежность в эксплуатации, устойчивость к перегрузкам.

Недостатки - низкая чувствительность и точность, большое потребление мощности, неравномерность шкалы.

Применяют приборы электромагнитной системы в цепях переменного тока как амперметры, вольтметры, эмлогометры, используют в частотомерах и фазометрах.

Отсутствие стальных сердечников в электродинамических измерительных механизмах исключает погрешности от гистерезиса и вихревых токов, но они очень чувствительны к влиянию внешних магнитных полей.

Высокая точность электродинамических приборов позволяет применять их в качестве образцовых. Приборы электродинамической системы можно применять на постоянном и переменном токе.

Недостатки: влияние внешних магнитных полей, низкая чувствительность, относительно большое потребление мощности, высокая стоимость. Кроме того, они

плохо переносят механические воздействия, требовательны к уходу [9].

Используются в качестве амперметров, вольтметров и ваттметров.

В ферродинамических приборах наличие стальных сердечников существенно увеличивает погрешность. Приборы этой системы используются в амперметрах, вольтметрах, ваттметрах, частотомерах, фазометрах.

Приборы электростатической системы применяются для измерения постоянных и переменных напряжений. Показания их не зависят от внешних магнитных полей, частоты.

Достоинство - большое входное сопротивление, активной мощности приборы этой системы практически не потребляют.

Недостаток: низкая чувствительность, неравномерность шкалы.

Приборы индукционной системы могут применяться в цепях переменного тока с одной определенной частотой.

Достоинство их - малое влияние внешних магнитных полей, стойкость к перегрузкам, надежность в работе, невысокая стоимость.

Используются они в счетчиках электроэнергии.

Вибрационные измерительные механизмы являются разновидностью электромагнитной системы. Применяются они в частотомерах - для измерения низкой частоты, главным образом, промышленной, и только в стационарных условиях [9].

Задание на выполнение лабораторной работы:

1 Расшифровать обозначения предлагаемых приборов в соответствии с таблицей 6.

2 Изучить принцип действия, достоинства, недостатки и область применения измерительных механизмов различных систем.

3 Результаты работы свести в таблицу 7.

Таблица 6 - Подгруппы и виды приборов

Номер варианта	Подгруппы и виды приборов
1	A2-, B2-, B2-, Г2-, У2-, Л2-, P3-, C1-, Ф2-, X1-, Ч3-
2	A3-, B5-, B3-, Г3-, E3-, Л3-, P4-, C2-, Ф4-, X2-, Ч5-
3	A7-, B5-, B7-, Г4-, E4-, Л4-, P5-, C4-, Ф3-, X3-, Ч9-
4	A2-, B7-, B7-, Г5-, E6-, Л2-, P6-, C6-, Ф2-, X4-, Ч3-
5	A3-, B2-, B7-, Г6-, E8-, Л3-, P3-, C8-, Ф4-, X1-, Ч5-
6	A7-, B5-, B2-, Г2-, E2-, Л4-, P5-, C9-, Ф3-, X2-, Ч9-
7	A2-, B7-, B3-, Г3-, E3-, Л2-, P5-, C1-, Ф2-, X3-, Ч3-
8	A3-, B2-, B7-, Г4-, E4-, Л3-, P6-, C2-, Ф4-, X4-, Ч5-
9	A7-, B5-, B7-, Г5-, E6-, Л4-, P3-, C4-, Ф3-, X1-, Ч9-
10	A2-, B7-, B7-, Г6-, E8-, Л2-, P4-, C6-, Ф2-, X2-, Ч3-
11	A6-, B2-, B2-, Г2-, У2-, Л3-, P4-, C2-, Ф4-, X2-, Ч5-
12	A7-, B7-, B7-, Г5-, E6-, Л2-, P6-, C1-, Ф2-, X3-, Ч3-
13	A3-, B2-, B7-, Г6-, E8-, Л3-, P6-, C2-, Ф4-, X4-, Ч5-
14	A2-, B7-, B3-, Г3-, E3-, Л4-, P5-, C9-, Ф3-, X2-, Ч9-
15	A3-, B2-, B7-, Г6-, E8-, Л3-, P6-, C2-, Ф4-, X4-, Ч5-
16	A7-, B5-, B3-, Г3-, E3-, Л8-, P4-, C2-, Ф4-, X1-, Ч4-

Таблица 7 - Результаты работы

Виды измерительных механизмов	Принцип действия	Достоинства	Недостатки	Область применения

Содержание отчёта:

- 1 Цель работы.
- 2 Задание.
- 3 Расшифровку обозначений приборов в соответствии с таблицей.
- 4 Таблицу характеристик измерительных механизмов различных систем (по заданию).

Контрольные вопросы.

Расшифровать обозначения приборов:

- 1 Приборы для измерения силы тока.
- 2 Приборы для измерения напряжения.

- 3 Источники питания для измерений или измерительных приборов.
- 4 Генераторы измерительные.
- 5 Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными.
- 6 Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов.
- 7 Приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными.
- 8 Приборы для наблюдения, измерения и исследования форм сигнала и спектра.
- 9 Приборы для измерения фазового сдвига и группового времени запаздывания.
- 10 Приборы для наблюдения и исследования характеристики радиоустройств.
- 11 Приборы для измерения частоты.

2.2 Лабораторная работа № 2. Конструкция генератора импульсов Г5 – 54

Цель работы.

Изучить конструкцию генератора Г5 – 54 и научиться работать с техническим паспортом прибора.

Краткие теоретические сведения.

По широте использования генераторы прямоугольных импульсов уступают только генераторам синусоидальных сигналов. Они используются для настройки узлов аппаратуры связи с импульсно – кодовой модуляцией, систем радиолокации и т.п. Различают генераторы прямоугольных импульсов, серий импульсов, кодовых импульсных последовательностей, псевдослучайных последовательностей. Основными параметрами генераторов одиночных и парных импульсов, которые устанавливают ГОСТ, являются: длительность, амплитуда, частота, временный сдвиг импульса (относительно синхроимпульсов), длительность фронта и среза,

неравномерность вершины. Нормируются погрешность установки параметров импульсов и нестабильность параметров основных импульсов. Класс точности генератора определяется пределом допускаемой погрешности параметров сигнала и пределами допускаемых значений искажений сигнала [10].

Генератор импульсов Г5–54 предназначен для формирования импульсов переключаемой полярности длительностью 0,1–1000 мкс частотой следования 0,01–100 кГц и амплитудой 0,003 – 70 В. На лицевой панели, показанной на рисунке 2, расположены:

- включатель сети с индикатором работы;
- переключатель режимов запуска;
- регулятор и переключатель частоты повторения импульсов;
- регулятор и переключатель временного сдвига (можете про них сразу забыть);
- регулятор и переключатель длительности импульсов;
- измеритель амплитуды импульсов;
- переключатель полярности импульсов;
- регулятор амплитуды импульсов и аттенюатор;
- выходные разъёмы 1:100, 1:10, 1:1;
- другие элементы, не используемые для лабораторной работы [10].

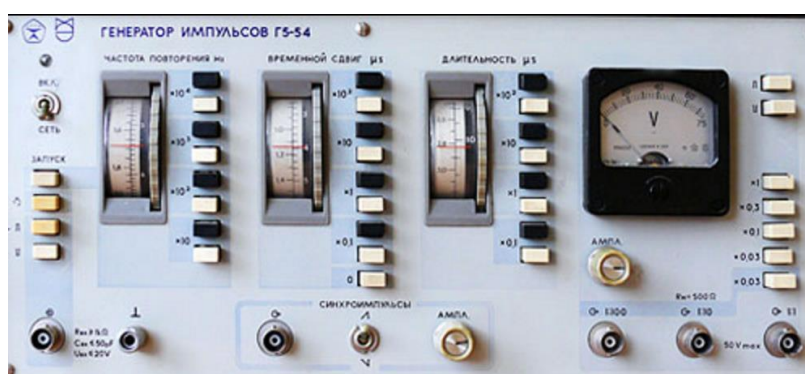


Рисунок 2 - Лицевая панель генератора импульсов Г5–54

Структурная схема генератора импульсов показана на рисунке 3.

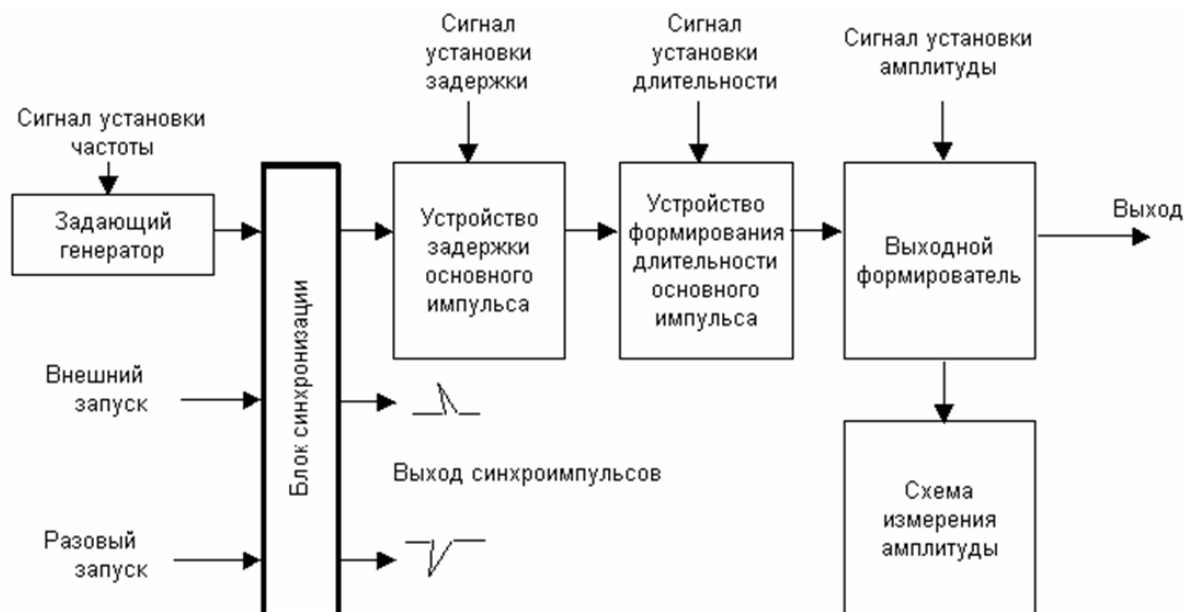


Рисунок 3 – Структурная схема генератора импульсов [10]

Задание на выполнение лабораторной работы:

- 1 Изучить технические данные генератора импульсов Г5 – 54.
- 2 Изучить структурную схему генератора и знать назначение отдельных узлов.
- 3 Изучить конструкцию генератора и назначение органов управления прибора (используя дополнительную литературу и Internet).

Содержание отчёта:

- 1 Цель работы.
- 2 Задание.
- 3 Перечень оборудования.
- 4 Основные технические параметры прибора.
- 5 Структурная схема генератора.
- 6 Назначение модулей прибора.

Контрольные вопросы:

- 1 Назначение генератора Г5 – 54.
- 2 Пользуясь структурной схемой, поясните работу генератора.
- 3 Какие режимы работы допускает прибор по роду запуска?

4 Как установить необходимые параметры импульсов (амплитуду, частоту, длительность)?

5 Генераторы шумовых сигналов.

6 Генераторы низкочастотных сигналов.

7 Генераторы сигналов высокочастотные.

8 Генераторы импульсов.

2.3 Лабораторная работа № 3. Изучение осциллографа С1-71

Цель работы.

Ознакомиться с принципом действия и эксплуатацией электронного осциллографа.

Краткие теоретические сведения.

Электронный осциллограф (ЭО) - прибор, предназначенный для изучения разнообразных переменных электрических процессов. Помимо качественной оценки исследуемых процессов осциллографы дают возможность оценить ряд величин (напряжение сигнала, фазу, частоту и др.) количественно.

Достоинствами электронного осциллографа являются его высокая чувствительность, малая инерционность и большое входное сопротивление. Последнее достоинство исключает влияние прибора на режим работы цепей, к которым он подключается. Работает осциллограф, как правило, от переменного тока (220 В) [6].

Функциональная схема ЭО представлена на рисунке 4. ЭО состоит из следующих узлов и блоков () - электронно - лучевой трубки (ЭЛТ), блока питания усилителей сигналов каналов X и Y и аттенюатора (делителя напряжения), генератора развертки (пилообразного напряжения), блока синхронизации; калибратора.

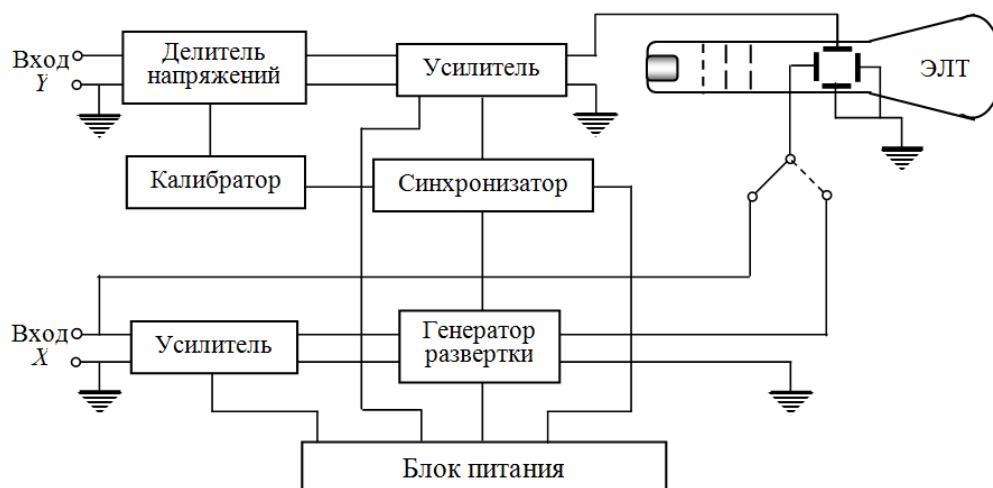


Рисунок 4 - Функциональная схема ЭО

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) - основная часть прибора (на экране трубки наблюдается исследуемый сигнал). ЭЛТ, показанная на рисунке 5, представляет собой вакуумную колбу 10, внутри которой впаяны электроды различного назначения. Одна группа электродов образует так называемую электронную пушку, создающую электронный луч, направленный вдоль оси ЭЛТ. К этим электродам относятся следующее:

- 1 Катод 2, нагреваемый с помощью нити накала 1. Эмиссия электронов происходит с торцевой поверхности катода, покрытого слоем окисла с малой работой выхода электронов.

- 2 Управляющий электрод (модулятор) 3, на который подается отрицательный относительно катода потенциал. Величина этого потенциала с помощью потенциометра R_1 может изменяться, что приводит к изменению яркости пятна на экране 8 (чем меньше по абсолютной величине потенциал, тем больше пройдет через модулятор в единицу времени электронов и тем ярче будет пятно).

- 3 Первый анод 4, выполненный в виде цилиндра, внутри которого расположено несколько диафрагм с отверстиями в центре.

- 4 Второй анод 5 - более короткий цилиндр с отверстием в центре.

На оба анода подаются положительные относительно катода потенциалы (на анод 4 ≈ 500 В, на анод 5 ≈ 3000 В), а потому они являются ускоряющими

элементами (сообщают электронам ускорение и большую скорость). Кроме того, они совместно с модулятором 3 формируют здесь электрическое поле. Результирующее электрическое поле электродов 3, 4 и 5 оказывается таким, что электроны, двигаясь вдоль силовых линий, фокусируются на экране. Регулировка фокусирующего действия осуществляется потенциометром R_3 .

К другой группе электродов относятся:

- вертикально отклоняющие пластины 6. На них подается, как правило, после усиления исследуемое напряжение;
- горизонтально отклоняющие пластины 7. На них обычно подается напряжение с генератора развертки;
- третий анод 9, соединенный с электродом 5 и играющий вспомогательную роль [6].

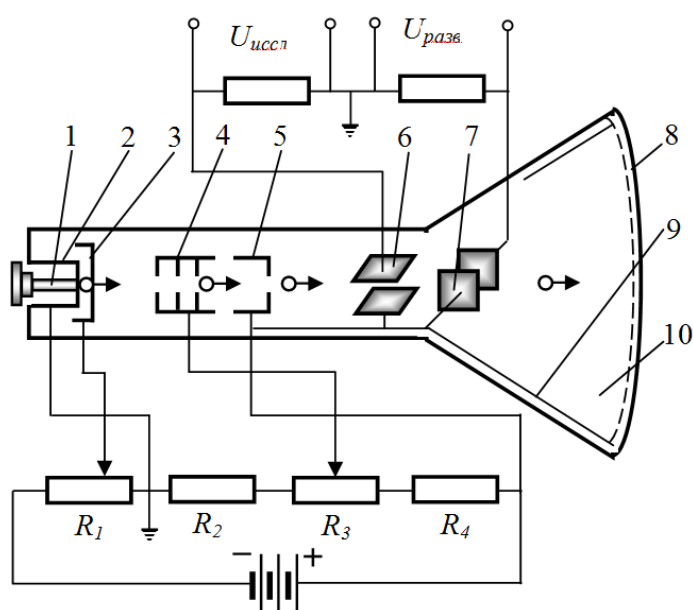


Рисунок 5 – Обобщенная схема ЭО

Для понимания принципа действия осциллографа очень важно понять действие вертикально-отклоняющих пластин (ВОП). Как уже сказано, именно на них подается исследуемое напряжение U . Следовательно, между пластинами имеет место электрическое поле, показанное на рисунке 6, напряженность которого в

любой момент времени определяется равенством:

$$E = U / d, \quad (2)$$

где d - расстояние между пластинами.

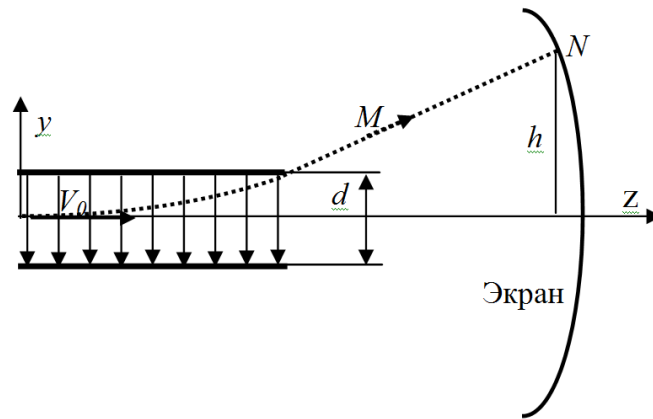


Рисунок 6 – Пример отклонения электронного луча магнитным полем

Пусть электрон со скоростью v_0 влетает в это поле вдоль оси z . Очевидно, что координата z связана с временем соотношением

$$z = v_0 \cdot t. \quad (3)$$

Вдоль оси y электрон будет двигаться с ускорением:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}, \quad (6)$$

где e и m - заряд и масса электрона соответственно.

Следовательно:

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{eE}{m} t^2. \quad (7)$$

Исключая из (3) и (7) время, найдем:

$$y = \frac{eE}{2mv_0^2} z^2. \quad (8)$$

Это означает, что электрон между пластинами движется по параболе. При выходе из поля ВОП электрон будет двигаться вдоль прямой MN (касательной к параболе), давая в точке N экрана вспышку. Можно показать, что отклонение h электрона на экране трубки пропорционально подаваемому напряжению U , т.е. $h = cU$, где c - постоянная для данной трубки величина, называемая чувствительностью трубки - отклонение луча при подаче на ВОП напряжения, равного 1 В ($c = h / U$).

Так как напряжение, подаваемое на ВОП, чаще всего является переменным, то, естественно, под влиянием поля электронный луч отклоняется вертикально на величину $2h$.

Блок питания обеспечивает питающими напряжениями схему осциллографа. В него входят: выпрямители, трансформаторы, стабилизатор и некоторые другие элементы.

Блоки усилителей и аттенюатор. Чувствительность непосредственно ЭЛТ (но не осциллографа) не велика ($\approx 2\text{ мм/В}$), поэтому подаваемые сигналы (особенно вертикальный - Y) часто должны быть предварительно усилены. Это и делается с помощью усилителей Y и X . В случае большой амплитуды исследуемого сигнала его необходимо ослабить. Для этого на входе усилителя Y (ручка "Усиление") ставят делитель напряжения - аттенюатор (ручка "Вольт/дел.").

В усилителе X аттенюатор отсутствует, поэтому подавать на горизонтально отклоняющие пластины большие ($> 25\text{ В}$) напряжения нельзя. Однако коэффициент усиления X усилителя может быть увеличен в 5 раз (тумблер из положения " $\times 1$ " перевести в положение " $\times 0,2$ ").

При помощи потенциометров, входящих в усилители X и Y , производится управление положением луча по горизонтали (ручки "Плавно" и "Грубо") и по вертикали (ручка $\updownarrow$).

Генератор развертки. Для получения на экране ЭЛТ осциллограмм (графика

зависимости напряжения исследуемого сигнала от времени) необходимо на вход X осциллографа (а с него на горизонтально отклоняющие пластины) подать напряжение, пропорциональное времени, т.е. напряжение развертки (U_x). Создается это напряжение генератором (непрерывной) развертки, на выходе которого ставится усилитель.

Напряжение развертки имеет пилообразный вид, показанный на рисунке 7, и может регулироваться по амплитуде и частоте. На участке прямого хода, где $U_x \sim t$, электронный луч смещается по экрану трубки слева направо. За время обратного хода луч быстро возвращается в крайнее левое положение. Для некоторых специальных целей генератор развертки можно ввести в режим так называемой ждущей развертки (о принципе действия генераторов развертки можно прочесть в специальной литературе). При непрерывной развертке ручка “Стаб.” должна стоять в положении, когда при отсутствии сигнала, на экране появляется линия развертки (горизонтальная линия) [6].

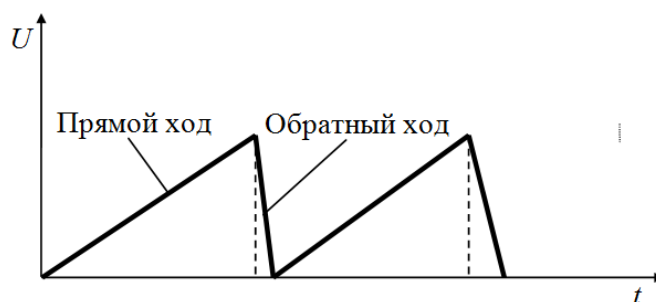


Рисунок 7 – Напряжение развертки

Блок синхронизации. Для наблюдения периодических быстропротекающих процессов важно получить на экране ЭО неподвижное изображение сигнала. Для этого нужно, чтобы период развертки был кратен периоду изучаемого сигнала. Обеспечить заранее это условие трудно. Поэтому используют принудительное согласование периодов - синхронизацию. Эту функцию в ЭО и выполняет блок синхронизации. Синхронизация может быть внутренней (ручка “Внутр.”) и внешней (ручка “Внешн.”). Внешняя синхронизация осуществляется от внешнего

источника, сигнал которого может быть ослаблен в 10 раз (1:1; 1:10). Кроме того, предусмотрено изменение полярности синхронизации (+,-)- сигнал синхронизации совпадает или противоположен по полярности входному сигналу. Возможен и плавный переход от “+” к “-” (ручка “Уровень”), когда добиваются устойчивого положения сигнала. Блок синхронизации осуществляет также выбор типа входа (открытый вход - проходят и постоянная, и переменная составляющие; закрытый вход - проходит только переменный сигнал), а также отключение генератора развертки (ручка переключается в положение “X”) [6].

Калибратор. Чтобы измерить величину сигнала и его длительность, нужно сравнить этот сигнал с другим известным по величине и длительности сигналом. Иначе говоря, нужно знать цену деления сетки экрана по вертикали и горизонтали (прокалибровать сетку). Делается это с помощью специального генератора-калибратора, который создает П-образные сигналы частотой 2 кГц и амплитудой 6 В. Калибровка производится, как правило, в заводских условиях, однако при эксплуатации ЭО приходится ее проверять и уточнять.

По вертикали калибровку уточняют при помощи шлица “Чувст.”, расположенного с левой стороны прибора, а по горизонтали - с помощью шлица “Калибровка длительности”, расположенного с правой стороны прибора.

Пользоваться указателями цены деления ручек “Вольт/дел.” и “Время/дел.” можно только при условии уверенности и правильности калибровки.

На рисунке 8 изображена панель осциллографа С1-71. Здесь же указаны названия ручек управления, по которым (названиям) можно судить об их назначении. Назначения ручек управления указаны также в таблице 9.



Рисунок 8 - Передняя панель осциллографа С1-71

Порядок выполнения работы.

Подготовить осциллограф к измерениям:

1 Установить органы управления осциллографом в положения, указанные в приведенной таблице 8.

Таблица 8 – Органы управления осциллографом С1-71

Органы управления на панели	Устанавливаемые положения органов управления	Назначение органов управления
1	2	3
Общие		
«Яркость»	Среднее	Яркость луча
«Фокус»	Среднее	Фокусировка луча
«Шкала»	Среднее	Подсветка шкалы
Усиление по У		
«Вольт/дел.»	«V 6 дел.»	Делитель напряжения
«Усиление2	Крайнее правое	Коэффициент усиления
«b »	Среднее	Перемещение луча вверх, вниз
« ∞ , $\perp$, ∞ »	« ∞ »	Режим работы усилителя
Развертка		
«Грубо»	Среднее	Перемещение луча вправо, влево
«Плавно»	Любое	Перемещение луча вправо, влево
«Стаб.»	Крайнее правое	Режим работы развертки
«Время/дел.»	«0,5 mS»	Длит. развертки (скачком)

Продолжение таблицы 8

1	2	3
«Длительность»	Крайнее правое	Длит. развертки (плавно)
« $\times I$, $\times 02$ »	« $\times I$ »	Изменение “цены” деления шкалы
Синхронизация		
«Внутр., внеш., X»	«внутр.»	Вид синхронизации
«  ,  , +, -»	«  +»	Вход и полярность синхронизации
«Уровень»	Крайнее правое	Плавный переход от «+» к «-»
Тумблер «  », 2 кГц	«  », 2 кГц	Подача калибровочного напряжения
Тумблер «Сеть»	Выключено	Подключение осциллографа к сети

2 Вилку питающего шнура включить в сеть 220 В). Тумблером «Сеть» подать на прибор напряжение (загорается сигнальная лампа).

3 Через 2-3 минуты после включения на экране появится сигнал формы  (иногда вертикальные линии этого сигнала не высвечиваются), что означает, что подано калибровочное напряжение. Отрегулировать яркость сигнала и вывести его в центральную часть экрана. Ручкой «Уровень» остановить картину. Ручкой «Грубо» установить ее в такое положение, чтобы удобно было считать число импульсов. Проверить, не сбилась ли градуировка: в 10 делениях горизонтальной шкалы должно быть 10 импульсов, по оси U сигнал должен занимать 6 делений.

4 Проанализировать форму исследуемого сигнала, измерить его амплитуду и вычислить эффективное значение напряжения.

5 Ручку «Вольт/дел.» повернуть влево (т.е. отключить калибровочный сигнал) и поставить ее указатель на цифру 5 или 10.

6 Исследуемый сигнал (сеть 6,3 В) с помощью специального шнура подать через гнездо $1\text{ M}\Omega$ 40 pF на вертикально отклоняющие пластины. На экране появится множество кривых, накладывающихся друг на друга (если они по вертикали не входят в экран, ручкой «Вольт/дел.» уменьшить их видимую амплитуду). Вращая влево ручку «Время / дел.», сделать так, чтобы осталась одна кривая с 3 - 4 полными колебаниями, а ручкой «Стаб.» добиться того, чтобы она была неподвижна. Полученную кривую нарисовать, пометив величины,

соответствующие осям.

7 Определить амплитуду U_0 сигнала и эффективное значение напряжения $U_{эф}$. Для этого измерить по вертикали расстояние между крайними точками кривой в делениях шкалы (например, $H=2,6$ дел.), тогда U_0 = цифровая отметка «Вольт/дел.» $\times H$ (число делений) / 2.

$$U_{эф} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (9)$$

8 Определить период колебаний сигнала и его частоту.

9 Сосчитать, сколько N горизонтальных делений шкалы занимают некоторое число колебаний n . Очевидно, период колебаний вычисляется как:

$$T = \Delta\tau / n = N \times \text{цену деления шкалы "Время/дел."} \times \text{множитель } (\times 1 \text{ или } 0,2) / n, \quad (10)$$

а частота ν и циклическая частота ω вычисляются как:

$$\nu = 1/T, \quad (11)$$

$$\omega = 2\pi \nu = \frac{2\pi}{T}. \quad (12)$$

10 Исследуемый сигнал снять.

11 Наблюдать фигуры Лиссажу (кривая, по которой движется частица, участвующая в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях). Использовать их для нахождения частоты исследуемого сигнала.

12 Ручку «Внутр., Внеш., X » поставить в положение X (этим отключили генератор развертки).

13 На вход канала вертикального отклонения вновь подать исследуемый сигнал. На вход канала горизонтального отклонения подать сигнал от звукового генератора (частота его сигналов может изменяться и измеряться по шкале

генератора).

14 Изменяя частоту сигнала генератора, добиться получения устойчивых фигур Лиссажу разной формы, например, таких как на рисунке 9.

Для трех-пяти фигур измерить по шкале звукового генератора частоту ν_x сигнала генератора. Частота исследуемого сигнала определяется как: $\nu_y = \nu_x \times$ число точек касания горизонтальной прямой / число точек касания вертикальной прямой.

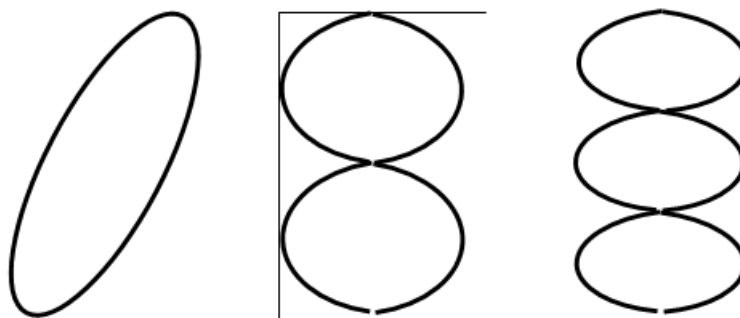


Рисунок 9 - Фигуры Лиссажу разной формы

Результаты занести в таблицу 9. Сделать вывод относительно ν_y .

Таблица 9 - Результаты проведенных исследований

Частоты	1	2	3	4
ν_x				
ν_y				
Фигуры Лиссажу				

15 Снять исследуемый сигнал и сигнал звукового генератора.

16 Наблюдать форму, определить амплитуду, период и частоту второго исследуемого сигнала.

17 Ручку «Внутр., ВНЕШ., X» вернуть в положение «Внутр.».

Содержание отчёта:

- 1 Цель работы.
- 2 Задание.
- 3 Основные технические параметры прибора.
- 4 Структурная схема осциллографа.
- 5 Назначение модулей осциллографа.
- 6 Назначение органов управления осциллографом.

Контрольные вопросы:

- 1 Электронный осциллограф: назначение, основные узлы осциллографа.
- 2 Устройство электронно-лучевой трубки.
- 3 Назначение блока питания, усилителей, генератора развертки, блока синхронизации, калибратора.
- 4 Физические основы работы электронно-лучевой трубки.
- 5 Назначение основных ручек управления, размещенных на панели осциллографа.
- 6 Определение амплитуды сигналов.
- 7 Определение периода колебаний и частоты.
- 8 Фигуры Лиссажу и использование их для определения частоты сигналов.

2.4 Лабораторная работа № 4. Контрольно-измерительные приборы программного пакета Multisim

Цель работы.

Изучить основные возможности программного пакета Multisim принципов функционирования цифрового мультиметра, генератор, осциллографа.

Краткие теоретические сведения.

Программа MultisimElectronicsWorkbench (EWB) канадской компании InteractiveImageTechnologies позволяет строить и анализировать любые электронные схемы, включающие в свой состав любые цифровые устройства от самых простых

ДО СЛОЖНЫХ.

Особенностью программы является большое наличие контрольно-измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам.

Выбор контрольно-измерительного прибора осуществляется путем нажатия клавишей мыши по цепочке Моделирование–Приборы, согласно рисунка10 или на вертикальной строке с правой стороны окна. Вкладка контрольно-измерительных приборов содержит цифровой мультиметр, функциональный генератор, двухканальный осциллограф, измеритель амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик, генератор слов (кодový генератор), 8-канальный логический анализатор и логический преобразователь. Общий порядок работы с приборами такой: нажатием курсора по иконке, выбранный прибор переносится на рабочее поле и подключается проводниками к исследуемой схеме. Для приведения прибора в рабочее (развернутое) состояние необходимо дважды щелкнуть курсором по его иконке. Вкладка контрольно-измерительных приборов показана на рисунке 10.

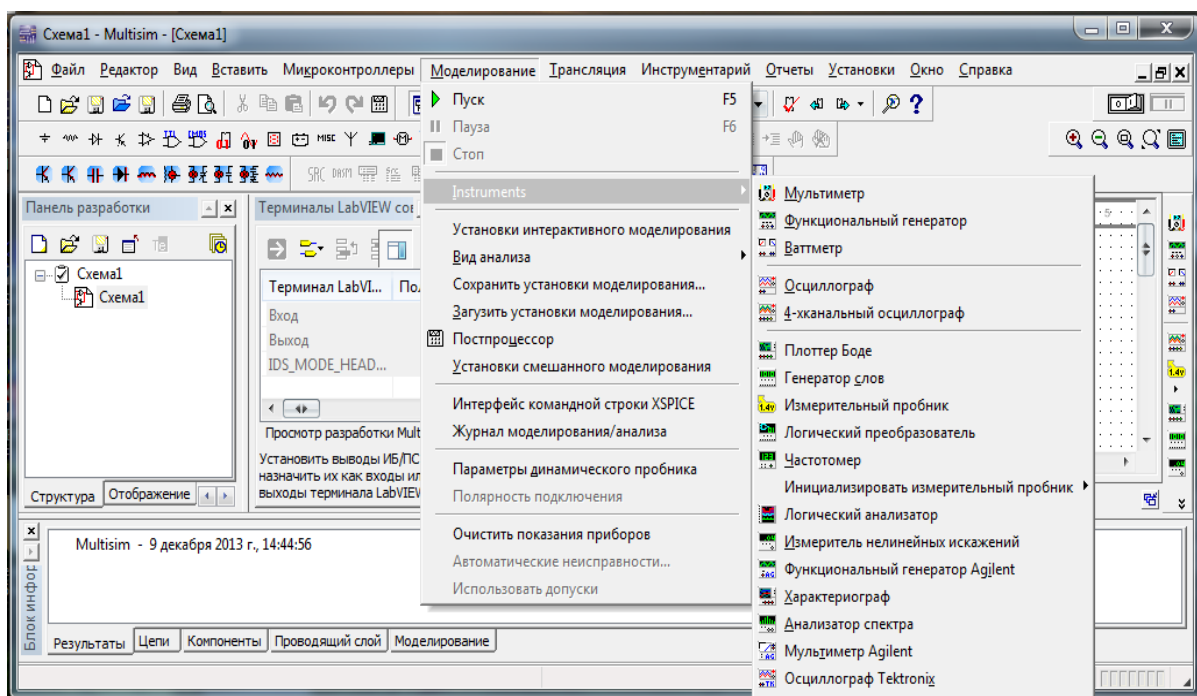


Рисунок 10 - Вкладка контрольно-измерительных приборов [7]

Мультиметр.

При двойном нажатии клавишей мыши на изображении прибора появляется развернутое изображение лицевой панели мультиметра, показанное на рисунке 11. На лицевой панели мультиметра расположен дисплей для отображения результатов измерения, клеммы для подключения к схеме и кнопки управления:

- 1 Ammeterresistance – внутреннее сопротивление вольтметра.
- 2 Voltmeterresistance – входное сопротивление вольтметра.
- 3 Ohmmetercurrent – ток через контролируемый объект.
- 4 Decibelstandard – установка эталонного напряжения при измерении ослабления или усиления в децибелах.

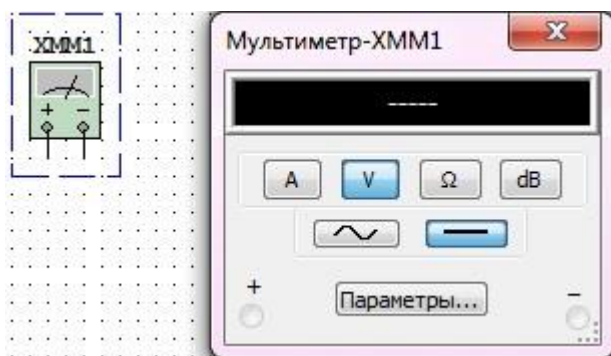


Рисунок 11 - Лицевая панель мультиметра

Функциональный генератор.

Лицевая панель генератора показана на рисунке 12. Управление генератора осуществляется следующими органами управления:

-  выбор формы выходного сигнала: синусоидальной (выбрана по умолчанию), треугольной и прямоугольной;
- Частота 1 Hz установка частоты выходного сигнала;
- Длительность 50 % установка коэффициента заполнения в %; для импульсных сигналов это отношение длительности импульса к периоду повторения – величина обратная скважности;
- Амплитуда 10 Vp установка амплитуды выходного сигнала;

Смещение 0 V

установка смещения (постоянной составляющей)

выходного сигнала.

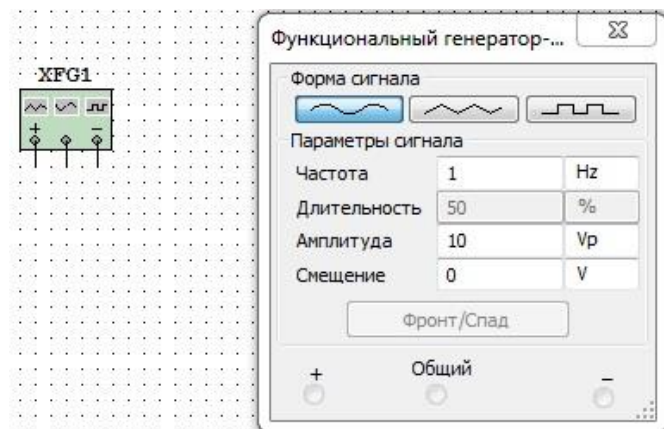


Рисунок 12 - Лицевая панель функционального генератора

Осциллограф.

Лицевая панель осциллографа показана на рисунке 13.

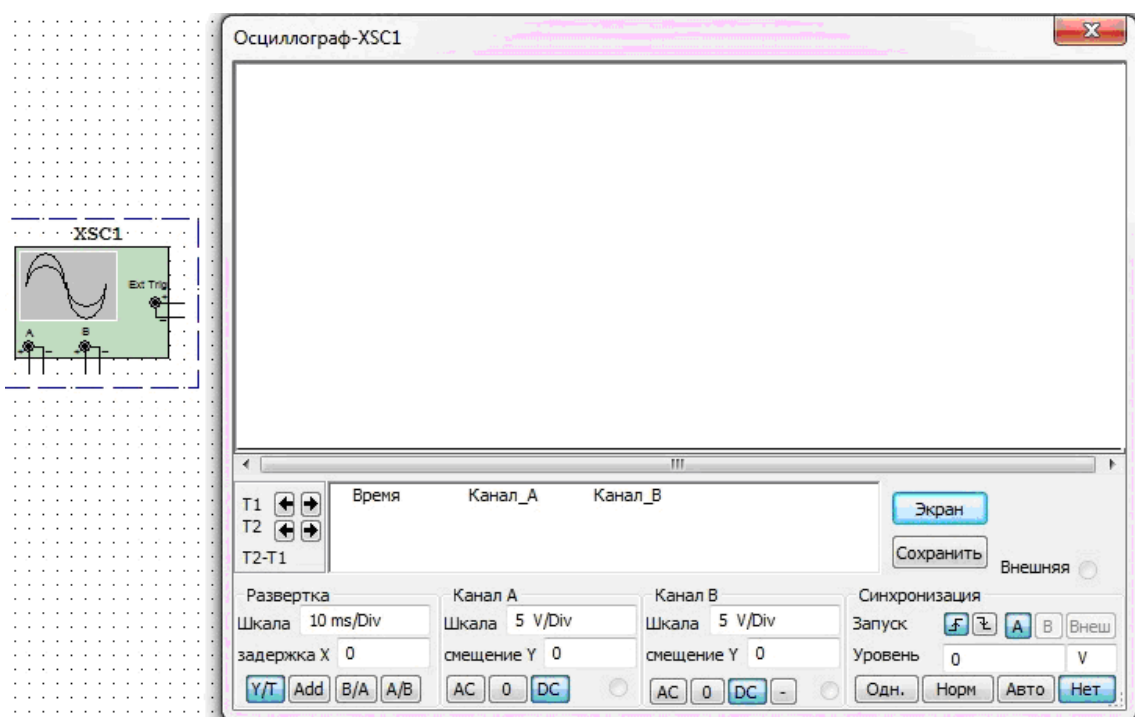


Рисунок 13 - Лицевая панель осциллографа

Работа осциллографа основывается на применении электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), содержащей катод, излучающий поток (луч) электронов за счет термоэмиссии, модулятор для управления интенсивностью этого потока, систему его фокусировки, отклоняющую систему в виде двух пар пластин, и экран из кристалликов люминофора, которые под действием падающего на них потока электронов высвечивают траекторию движения электронного луча в пространстве, определяемую потенциалами на пластинах отклоняющей системы. Горизонтальные пластины этой системы называются Y-каналом, вертикальные – X-каналом.

На пластины Y-канала подается исследуемый сигнал после его усиления и масштабирования вертикальным Y-усилителем. Для одновременного наблюдения n сигналов используют n усилителей, выходные сигналы которых с помощью аналоговых коммутаторов поочередно подаются на вход усилителя мощности Y-канала.

На пластины X-канала подается пилообразный сигнал развертки, длительность (период) которого с помощью системы синхронизации поддерживается равным или кратным периоду исследуемого сигнала в одном из Y-каналов, что позволяет получить устойчивое, а не хаотично «бегающее» изображение контролируемого сигнала.

Осциллограф имеет два канала (Channel) A и B с отдельной установкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел ($\mu\text{V}/\text{Div}$) до 5 кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (YPOS).

На панелях *ChannelA* и *ChannelB* с помощью кнопок выбирается режим по входу. Режим *AC* предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока. В режиме «0» входной зажим замыкается на землю. В режиме *DC* (включен по умолчанию) можно наблюдать сигналы как постоянного, так и переменного тока. С правой стороны от кнопки *DC* расположен входной зажим канала.

На этих панелях в окне *Шкала* устанавливается величина развертки, а в окне *Удержание* – величина смещения относительно оси X.

На панели *Развертка* с помощью кнопок *Y/T*, *Add*, *B/A*, *A/B* выбирается режим

развертки. В режиме *Y/T* (обычный режим, включен по умолчанию) устанавливается следующий режим развертки: по вертикали – напряжение сигнала, по горизонтали – время; в режиме *Add* – сигналы обоих каналов накладываются друг на друга; в режиме *B/A*: по вертикали – сигнал канала *B*, по горизонтали – сигнал канала *A*; в режиме *A/B*: по вертикали – сигнал канала *A*, по горизонтали – сигнал канала *B*.

В режиме *Y/T* длительность развертки может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (ns/div) до 1 с/дел (s/div) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т.е. по оси *X* (*XPOS*).

В режиме *Y/T* можно установить ждущий режим в поле *Синхронизация*. В строке *Запуск*– режим запуска по переднему (кнопка ) или по заднему (кнопка ) фронту запускающего сигнала. В окне уровень устанавливается уровень запускающего сигнала.

В этом поле с помощью кнопок *Авто*, *A*, *B* или *Внеш* ждущий режим запускается от каналов *A* или *B*, от канала *A*, от канала *B* или от внешнего источника, подключаемого к находящемуся на этой панели зажиму, соответственно.

С помощью кнопки *Экран* можно инвертировать изображение, кнопки *Сохранить* можно записать данные в файл.

Порядок выполнения работы:

1 На основе программного пакета Multisim исследовать работу цифрового мультиметра, генератор, осциллографа.

2 Произвести имитационное моделирование работы цифрового мультиметра, генератор, осциллографа.

Содержание отчета:

1 Название и цель работы.

2 Отобразить в экранной форме работу закладок меню программного пакета Multisim и теоретически описать его работу и функции по соответствующим вкладкам меню.

3 Представить экранные формы работы цифрового мультиметра, генератор, осциллографа.

4 Выводы по выполненной работе.

2.5 Лабораторная работа № 5. Прямые и косвенные однократные измерения с использованием программного пакета LabVIEW

Цель работы.

Приобретение навыков планирования и выполнения прямых и косвенных однократных измерений. Получение опыта по выбору средств измерений, обеспечивающих решение поставленной измерительной задачи. Изучение способов обработки и правильного представления результатов прямых и косвенных однократных измерений.

Краткие теоретические сведения.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться со следующими вопросами:

- основные понятия метрологии;
- классификация и характеристики измерений;
- классификация и характеристики средств измерений;
- способы получения и представления результатов однократных измерений;
- принцип действия, устройство и характеристики средств измерений,

используемых при выполнении настоящей работы.

Подавляющее большинство измерений, выполняемых на практике, являются однократными. Прежде чем выполнить однократное измерение, необходимо выбрать средство измерения. При выборе средства измерения, исходя из представления об условиях проведения измерения, о свойствах измеряемой величины и ее примерном значении, а также о необходимой точности измерения, определяют с помощью какого измерительного прибора, какого типа, какого класса точности, на каком пределе шкалы будет лучше проводить измерение. Если об ожидаемом значении измеряемой величины можно судить только с большой неопределенностью, средство измерения выбирают предварительно, устанавливают для него максимальный предел шкалы и проводят пробные измерения, после чего средство измерения и предел шкалы выбирают окончательно и выполняют измерение для получения результата.

За результат однократного измерения принимают показания средства измерения.

Результирующая погрешность однократного измерения в общем случае зависит от целого ряда факторов, в частности, от инструментальной и методической составляющих погрешности, влияния внешних воздействий и т. д. На практике однократные измерения всегда стремятся организовать так, чтобы результирующая погрешность определялась главным образом инструментальной составляющей погрешности. В таком случае погрешность измерений оценивают исходя из класса точности выбранного средства измерений.

При проведении однократных измерений всегда стремятся поддерживать нормальные условия и выбрать такой способ измерений, чтобы методическая погрешность и субъективные погрешности оказывали минимальное воздействие на результат. Если, тем не менее, условия измерений отличаются от нормальных, в результат измерения вносят поправки, учитывающие погрешности, обусловленные воздействием влияющих величин. При выполнении данной работы следует предполагать, что условия измерений нормальные, а методические и субъективные погрешности пренебрежимо малы.

При проведении косвенных измерений погрешность определяется по результатам прямых измерений. В общем случае решение этой задачи оказывается весьма сложным. Однако есть несколько случаев, когда оценить пределы погрешности результата косвенного измерения просто:

1 Величины X и Y измерены с абсолютными погрешностями AX и AY , соответственно измеряется величина Z , связанная зависимостью $Z = X \pm Y$. В этом случае для оценки предела абсолютной погрешности составляющие погрешности суммируются без учета знака, а именно: $AZ = AX + AY$.

2 Величины X и Y измерены с абсолютными погрешностями AX и AY , соответственно измеряется величина Z , связанная зависимостями $Z = X \cdot Y$.

Использование этих правил позволяет получить удовлетворительную оценку предельной погрешности результата косвенного измерения, в случае когда число аргументов в функциональной зависимости не превышает четырех-пяти.

При определении погрешности результата измерений по классу точности средства измерений всегда учитываются как систематическая, так и случайная составляющая погрешности.

Описание лабораторного стенда.

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели магнитоэлектрического вольтамперметра, электронного аналогового милливольтметра среднеквадратического значения, электронного цифрового мультиметра, источников постоянного и переменного напряжения, делителя напряжения и коммутационного устройства.

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель магнитоэлектрического вольтамперметра используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения и силы постоянного тока методом непосредственной оценки.

Модель электронного аналогового милливольтметра используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы методом непосредственной оценки.

Модель цифрового мультиметра при выполнении работы служит в качестве цифрового вольтметра, и используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения и среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки.

Модель универсального источника питания (УИП) используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения.

Модель источника питания переменного тока моделирует работу источника переменного гармонического напряжения частотой 50 Гц, с действующим значением, равным примерно 220 В, и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением.

Модель гальванического элемента моделирует работу имеющего источника постоянной электродвижущей силы с ЭДС, равной примерно 1,5 В, и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением.

Модель делителя напряжения используется при моделировании работы делителя с коэффициентом деления $K = 1 : 10000$ при классе точности, равном 0,05, входном сопротивлении не менее 1 МОм, выходном - не более 1 кОм. Делитель можно использовать на постоянном и переменном токе напряжением не более 500 В и частотой до 20 кГц.

Модель коммутационного устройства (КУ) используется при моделировании подключения входа вольтметров к выходу источников измеряемого напряжения.

Подключение моделей вольтметров к моделям источников измеряемого напряжения производится путем установки верхнего переключателя на номер входа, к которому подключается измеряемый источник, а нижнего переключателя КУ -- на номер выхода, к которому подключен измерительный прибор. Установленное соединение индицируется на передней панели КУ желтым цветом.

На лицевой панели модели КУ расположены:

- тумблер «ВКЛ» включения КУ;
- тумблеры для выбора способа коммутации входов и выходов КУ между собой.

Задание на выполнение лабораторной работы:

1 Запустите программу лабораторного практикума. На рабочем столе компьютера появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств и окна, созданного в среде MS Excel, лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

2 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Включите модели средств измерений и вспомогательных устройств и опробуйте их органы управления. Плавное изменение напряжения на выходе УИП и поочередно с помощью КУ, подключая к выходу вольтметры, проследите за изменениями их показаний.

Поменяйте пределы измерений и снова проследите за изменениями показаний вольтметров при изменении напряжения на выходе УИП. После того как вы убедитесь в работоспособности приборов, выключите все модели и вспомогательные устройства.

3 Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение прямых однократных измерений:

1 Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения постоянного напряжения на выходе УИП с относительной погрешностью, не превышающей 1 %. При выборе исходите из того, что напряжение на выходе УИП может быть установлено произвольно в диапазоне от 15 В до 30 В:

- выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу УИП;
- включите УИП и установите на его выходе напряжение в указанном диапазоне;
- снимите показания вольтметра;
- запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

2 Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения ЭДС гальванического элемента с абсолютной погрешностью, не превышающей 2 мВ (значение ЭДС постоянно и лежит в диапазоне от 1,3 В до 1,7 В):

- выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу источника ЭДС;
- снимите показания вольтметра;
- запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

3 Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения значения напряжения на выходе источника переменного напряжения с относительной погрешностью, не превышающей 0,5 %:

– выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу источника переменного напряжения;

– снимите показания вольтметра;

– запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

Задание 2. Выполнение косвенных измерений:

1 Выберите среди имеющихся на рабочем столе средств измерений вольтметр для косвенного измерения коэффициента деления делителя напряжения:

– выбрав вольтметр, включите его и установите подходящий диапазон измерений;

– подключите с помощью КУ делитель к выходу источника напряжения;

– подключите с помощью КУ вольтметр поочередно к входу и выходу делителя и снимите в обоих случаях показания вольтметра;

– запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранные диапазоны измерений, сведения о делителе напряжения.

2 Сохраните результаты.

После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

Содержание отчёта:

1 Цель работы.

2 Задание.

3. Перечень оборудования для выполнения прямых однократных измерений.

3.1 Вольтметр для измерения постоянного напряжения (тип, класс точности).

3.2 Вольтметр для измерения ЭДС гальванического элемента (тип, класс точности).

3.3 Вольтметр для измерения значения напряжения на выходе источника переменного напряжения (тип, класс точности).

4 Перечень оборудования для выполнения косвенных измерений.

4.1 Вольтметр для косвенного измерения коэффициента деления делителя

напряжения (тип, класс точности).

4.2 Делитель напряжения (тип, класс точности).

5 Заполнить таблицы проведенных измерений.

Для составления отчета по лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 10, таблицу 11, таблицу 12, таблицу 13.

Таблица 10 - Прямые измерения напряжения на выходе УИП

Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В

Таблица 11 - Прямые измерения ЭДС гальванического элемента

Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В

Таблица 12 - Прямые измерения напряжения на входе источника переменного напряжения

Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В

Таблица 13 - Косвенные измерения

Показания вольтметра на входе делителя, В	Показания вольтметра на выходе делителя, В	Установленный диапазон измерений на входе делителя, В	Установленный диапазон измерений на выходе делителя, В
Относительная погрешность измерения напря- жения на входе делителя, %	Относительная погрешность изме- рения напряжения на выходе делителя, %	Относительная погрешность измерения коэффициента на входе деления, %	Результаты измерения коэффициента деления делителя

Контрольные вопросы:

- 1 Дайте определение следующих понятий измерений, результат измерения, абсолютная погрешность измерения, относительная погрешность измерения.
- 2 Как классифицируют измерения?
- 3 В каких случаях проводят однократные измерения?
- 4 Какие измерения называются прямыми?
- 5 В каких случаях выполняются прямые измерения?
- 6 Какие измерения называются косвенными?
- 7 В каких случаях выполняются косвенные измерения?
- 8 Что такое средство измерения?
- 9 Что такое метрологические характеристики средств измерений?
- 10 Какие метрологические характеристики средств измерений вы знаете?
- 11 Как связаны метрологические характеристики средств измерений с качеством измерений, которые выполняются с помощью этих средств?

2.6 Лабораторная работа № 6. Многофункциональный имитатор сигналов «Шиповник-2»

Цель работы.

Изучить назначение функциональных кнопок и принцип работы многофункционального имитатора сигналов «Шиповник-2».

Задачи.

Для выполнения лабораторной работы необходимо решить следующие задачи:

- изучить технические характеристики имитатора сигналов «Шиповник-2»;
- провести подготовку к работе имитатора сигналов «Шиповник-2»;
- определить источники и характеристики низкочастотных, модулирующих сигналов;
- определить и выбрать вид модуляции;
- провести высокочастотную генерацию в частотных диапазонах;

- задавать временные режимы работы устройства;
- разработать отчет о проделанной работе.

Теоретические сведения.

Имитатор сигналов «Шиповник-2» представляет собой многофункциональное устройство для проверки средств радиомониторинга, позволяющее выполнять следующие действия [7]:

1 Выбирать различные источники и характеристики низкочастотных, модулирующих сигналов:

- микрофонный канал или линейный низкочастотный вход с возможностью включения режима закрытия (дельта-модуляция, инверсия спектра);
- встроенный генератор свипирующего сигнала.

2 Выбирать различные виды модуляции:

- широкополосная частотная (WFM);
- узкополосная частотная (NFM);
- FM-FM;
- модуляция шумоподобным сигналом (ШПС);
- перестраиваемая псевдослучайным образом рабочая частота (ППРЧ).

3 Осуществлять высокочастотную генерацию в следующих частотных диапазонах:

- 144 МГц, 433 МГц, 1,2 ГГц, 2,4 ГГц.

4 Задавать временные режимы работы устройства:

- непрерывный;
- кратковременный однократный;
- периодический.

Имитатор сигналов «Шиповник-2» функционирует под управлением микроконтроллера.

Требуемые пользователю режимы и параметры устанавливаются с клавиатуры, и отображаются на ЖКИ дисплее.

Мощность излучения в каждом частотном диапазоне – не менее 10 мВт.

Органы управления имитатором.

Внешний вид имитатора сигналов «Шиповник-2» показан на рисунке 14.

На верхней панели имитатора расположены [7]:

- 1 – ЖКИ дисплей;
- 2 – клавиатура;
- 3 – светодиодный индикатор;
- 4 – тумблер включения устройства.

На левой боковой панели располагаются:

- 5 - антенна диапазона 144 МГц;
- 6 - антенна диапазона 433 МГц;
- 7 - антенна диапазона 1200/2400 МГц.

На правой боковой панели установлены:

- 8 – разъем для подключения сетевого адаптера 15 В/1,2 А;
- 9 – разъем RS232 для связи с персональным компьютером;
- 10 – разъем для подключения внешнего НЧ сигнала;
- 11 – микрофон.



Рисунок 14 - Внешний вид имитатора сигналов «Шиповник-2»

Основные технические характеристики имитатора сигналов «Шиповник-2» показаны в таблице 14.

Таблица 14 - Технические характеристики имитатора сигналов «Шиповник-2» [7]

Характеристика	Параметр
Амплитуда сигнала на линейном входе	0,6 В
Максимально допустимая амплитуда сигнала на линейном входе не более	2 В
Мощность передатчиков не менее	10 мВт
Время автономной работы не менее	1 ч
Ширина полосы узкополосной ЧМ	20 кГц
Ширина полосы широкополосной ЧМ	200 кГц
Диапазон перестройки ППРЧ	2 МГц
Ширина полосы ШПС	2 МГц
Частота перестройки ППРЧ	100 Гц
Частота поднесущей ЧМ-ЧМ	100 кГц
Девиация частоты поднесущей ЧМ-ЧМ	5 кГц
Количество каналов ППРЧ	100
Полоса частот в тракте линейного входа	от 0,1 кГц до 10 кГц
Полоса частот встроенного микрофона	от 0,3 кГц до 6 кГц

Название и функции кнопок имитатора сигналов «Шиповник-2» показаны в таблице 15.

Таблица 15 - Название и функции кнопок имитатора сигналов «Шиповник-2»

№ кнопки	Название	Функция кнопки
1	2	3
1	«144 МГц»	Установка диапазона частот передатчика на 144 МГц. Выбранный диапазон показан в поле А дисплея (1).
2	«433 МГц»	Установка диапазона частот передатчика на 433 МГц. Выбранный диапазон показан в поле А дисплея (1).
3	«1,2 ГГц»	Установка диапазона частот передатчика на 1,2 ГГц. Выбранный диапазон показан в поле А дисплея (1).
4	«2,4 ГГц»	Установка диапазона частот передатчика на 2,4 ГГц. Выбранный диапазон показан в поле А дисплея (1).
5	«узк. Чм/широк. Чм»	Установка вида модуляции. Нажатие на эту кнопку устанавливают ЧМ модуляцию с узкой или широкой полосой соответственно. Выбранный вид модуляции показан в поле Б дисплея (1)
6	«Дельта мод./ЧМ- ЧМ»	Нажатие на эту кнопку позволяют выбрать Дельта модуляцию или ЧМ-ЧМ модуляции.
7	«ППРЧ»	Включение ППРЧ

Продолжение таблицы 15

1	2	3
8	«ШПРС»	Включение ШПС
9	«↑»	Увеличение длительности включения таймера. (п. 7). Выбранная позиция показан в поле В дисплея (1)
10	«↓»	Уменьшение длительности включения таймера (п. 7). Выбранная позиция показан в поле В дисплея (1)
11	«Пуск»	Запуск передатчика (п. 6)
12	«Стоп»	Выключение передатчика (п. 6)
13	«Источник сигнала»	Выбор источника модулирующего сигнала (п. 6) Выбранный источник показан в поле Г дисплея (1)
14	«Инверсия спектр»	Включение/выключение инвертора спектра. Состояние инвертора показан в поле Д дисплея (1)
15	«Подсветка»	Включение/выключение подсветки дисплея. При выключенной подсветке время непрерывной работы имитатора от встроенного аккумулятора увеличивается примерно в 1,5 раза.
16	«Диагностика»	Служебная функция самотестирования прибора. Дисплей (1) показывает состояние устройства и версию ПО.

Порядок выполнения работы.

Подготовка имитатора сигналов к работе и работа с ним [7]:

1 Подсоедините антенны к имитатору в соответствии с рисунком 14.

2 Перед началом эксплуатации устройства зарядите встроенный аккумулятор.

Для этого подключите сетевой адаптер к разъему (8) и включите адаптер в розетку сети электропитания. Переключатель питания (4) должен находиться в положении «0». Для полной зарядки разряженного аккумулятора необходимо около 8 часов. Во время зарядки на дисплее (1) отображается сообщение **“Зарядка Аккумулятора в процессе”**, и мигает светодиодный индикатор (3). Цвет индикатора показывает состояние аккумулятора на данный момент - красный – аккумулятор разряжен полностью, желтый – разряжен частично, зеленый - заряжен. После окончания зарядки на дисплее (1) появится сообщение **“Зарядка Аккумулятора окончена”**, а светодиодный индикатор (3) переходит в режим постоянного свечения зеленым цветом.

3 Включение устройства осуществляется переводом переключателя питания

(4) в положение «1», при этом на дисплей (1) сначала выводится приветствие, а затем он переходит в режим отображения служебной информации.

Светодиодный индикатор (3) показывает состояние аккумулятора на данный момент (п. 2).

4 Дисплей (1) отображает следующую информацию в шести информационных полях, разделенных пробелами (поля располагаются слева - направо в две строки соответственно):

- верхняя строка - поле А - диапазон частот излучаемого сигнала;
- поле Б - вид модуляции (тип) сигнала;
- поле В - состояние таймера;
- нижняя строка - поле Г - источник модулирующего сигнала;
- поле Д - активность/пассивность инвертора спектра;
- поле Е - состояние (режим) передатчика.

5 Клавиатура (2) предназначена для управления прибором и имеет 16 кнопок.

6 После включения прибора передатчик находится в режиме ожидания, об этом свидетельствует сообщение **«Стоп»** в поле Е дисплея (1).

Запуск передатчика прибора производится нажатием кнопки **«Стоп»** клавиатуры (2). Устройство переходит в режим излучения с выбранными характеристиками. На дисплее в этом режиме в поле Е дисплея (1) отображается сообщение **«Излучение»**.

Перевод обратно в режим ожидания производится нажатием кнопки **«Стоп»** клавиатуры или автоматически по таймеру (п. 7).

В режиме излучения кнопки выбора диапазона и вида модуляции заблокированы. Для изменения этих параметров необходимо выйти из режима излучения в режим ожидания. Все остальные параметры допускается изменять во время излучения.

7 Таймер имеет 12 временных значений. Позиция «Т---с» означает, что таймер отключен и выход в режим ожидания осуществляется только нажатием кнопки **«Стоп»**.

С помощью кнопок **«↑»** и **«↓»** можно менять значения таймера, время

отображается в секундах в поле В дисплея.

После нажатия кнопки **«Пуск»** имитатор перейдет в режим излучения и значение числа оставшихся секунд начнет уменьшаться. При достижении таймером нуля, устройство перейдет в режим ожидания.

При нажатии на кнопку **«Пуск»** во время излучения устройство входит в режим периодического излучения. В этом режиме когда таймер доходит до нуля, передатчик отключается, а таймер взводится и снова начинает отсчет, по достижении нуля вновь включает передатчик и т.д. Такой режим возможен, только если выбранное время больше секунды.

8 Выбор источника сигнала производится с помощью кнопки «Источник сигнала».

Источниками сигналов являются:

- встроенный микрофон (11);
- встроенный свип-генератор (генератор электромагнитных колебаний качающейся частоты, где частота автоматически меняется в некоторых пределах - качается около среднего значения);
- встроенный свип-генератор + динамик;
- левый линейный вход разъема 10;
- правый линейный вход разъема 10.

9 Инвертор спектра включается/выключается нажатием кнопки «Инверсия спектр». Инверсия распространяется на все перечисленные в пункте п.8 источники сигнала.

Поочередно провести выборку всех источников сигналов и выполнить п.9.

Содержание отчёта:

- 1 Цель работы.
- 2 Задачи для проведения лабораторной работы.
- 3 Теоретическая справка.
- 4 Этапы проведения работы.
- 5 Результаты работы.
- 6 Выводы.

Контрольные вопросы:

- 1 Что расположено на верхней панели имитатора?
- 2 Какая мощность излучения в каждом частотном диапазоне?
- 3 В каких частотных диапазонах осуществляется генерация сигналов?
- 4 Какие виды модуляции используются?
- 5 Название и функции кнопок имитатора сигналов «Шиповник-2».

2.7 Лабораторная работа № 7. Исследование детектора электромагнитного поля ST107

Цель работы.

Приобрести навыки работы с детектором электромагнитного поля ST107.

Задачи.

Для выполнения лабораторной работы необходимо решить следующие задачи:

- подготовить детектор электромагнитного поля ST107 и изучить технические характеристики прибора;
- изучить режимы работы детектора электромагнитного поля ST107;
- провести работу с прибором в различных режимах;
- разработать отчет о проделанной работе.

Теоретические сведения.

Индикаторы электромагнитных излучений характеризуют следующие параметры [2]:

- рабочий диапазон частот;
- чувствительность по напряженности электромагнитного поля;
- радиус обнаружения закладки с известной мощностью радиопередатчика;
- пределы регулирования порога чувствительности, методы ее повышения;
- наличие режима «акустической завязки»;
- тип индикации;
- возможность прослушивания информации, передаваемой радиозакладкой;

- тип источника электропитания и время непрерывной работы от него в режимах обнаружения и поиска;
- габариты, масса, конструкция.

Детектор электромагнитного поля ST107 предназначен для обнаружения и локализации радиоизлучающих закладных устройств (ЗУ) и других технических средств, использующих для передачи информации радиоканал. Он способен работать в двух диапазонах – ВЧ (канал 1) и СВЧ (канал 2).

Состав комплекта изделия:

- основной блок;
- ВЧ антенна;
- СВЧ антенна;
- кабель USB;
- зарядное устройство питания;
- USB флеш-карта [2].

Общий вид прибора ST107 показан на рисунке 15.

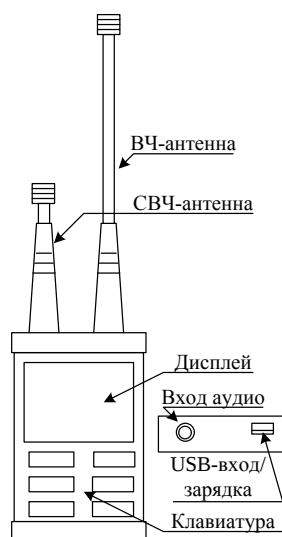


Рисунок 15 - Общий вид прибора ST107

Принцип действия ST107 основан на широкополосном детектировании электрического поля. Для измерения частот обнаруженного сигнала предусмотрен

частотомер. Идентификация сигналов цифровых каналов передачи данных реализована на основе оригинальных алгоритмов анализа и обработки сигнала. Вывод графической информации осуществляется на цветной OLED дисплей, звукового продетектированного сигнала – на встроенный динамик или наушники. Управление осуществляется при помощи шестикнопочной пленочной клавиатуры, расположенной на основном блоке [2].

На передней поверхности основного блока расположены цветной графический дисплей. На верхней поверхности размещены SMA разъемы подключения антенн 1-го (ВЧ) и 2-го (СВЧ) каналов. На нижней поверхности изделия расположены 3,5 мм разъем для подключения наушников и «mini USB» разъем, используемый как для питания/зарядки изделия, так и для подключения к РС.

Специальное программное обеспечение обеспечивает работу ST107 под управлением РС, что расширяет возможности пользователя по визуализации полученной информации, ее архивированию для последующего анализа.

Технические параметры:

- внутренний источник питания – Li-pol аккумуляторная батарея;
- потребляемый ток не более – 100 мА;
- габариты – 92x57x26 мм;
- вес не более – 1,2 кг.

Канал 1:

- диапазон частот от 50 МГц до 2500 МГц;
- пороговая чувствительность по входу – 60 дБм;
- динамический диапазон – 60 дБ;
- чувствительность частотомера. – 40 дБ;
- погрешность измерения частоты – 0,01 %;
- частота среза ФНЧ – 650 МГц;
- ослабление вне полосы ФНЧ – 40 дБ.

Канал 2:

- диапазон частот от 2400 МГц до 7500 МГц;

- пороговая чувствительность по входу – 60 дБм;
- динамический диапазон – 60 дБ.

Питание ST107 осуществляется от:

- встроенного Li-Pol аккумулятора;
- блока питания/зарядного устройства;
- USB-порта компьютера.

Режимы работы детектора электромагнитного поля ST107.

Прибор ST107 имеет два основных режима работы - «Поиск» и «Мониторинг». Дополнительными режимами являются - «Просмотр протокола», «Осциллограф» и «Самописец» [2].

Режим «Поиск». Этот режим предназначен для обнаружения и локализации РТС. Использование данного режима основано на визуальной оценке уровня сигнала на 32-сегментной шкале. Дополнительно используется отдельная индикация непрерывного и импульсного видов сигналов. Отображение идентифицированных сигналов – GSM, DECT, BLUETOOTH, WLAN, а также индикация частоты, стабильного во времени сигнала. Обеспечена возможность акустического контроля посредством головных телефонов и встроенного динамика.

Режим «Мониторинг». Предназначен для автономной работы ST107 по предварительно установленным условиям. Сохранение информации об обнаруженных сигналах осуществляется в энергонезависимой памяти изделия (9 банков по 999 событий). Возможна работа по расписанию.

Режим «Осциллограф». Предназначен для просмотра осциллограммы протестированного сигнала. Предусмотрена ручная и автоматическая установка амплитуды и развертки сигнала, а также маркерные измерения параметров, исследуется в работе как дополнительное задание наиболее подготовленным учащимся.

Режим «Просмотр протокола». Предназначен для просмотра протокола событий, произошедших в результате работы изделия в режиме «Мониторинг». Предусмотрена возможность сортировки событий по времени наступления, длительности или уровню сигнала. Данный режим в работе не исследуется.

Режим «Самописец». Данный режим показывает изменение уровня принимаемых сигналов в течение времени, задаваемого пользователем (от 30 с до 60 м), и в лабораторной работе не исследуется.

Работа с детектором электромагнитного поля ST107.

Органы управления и индикации.

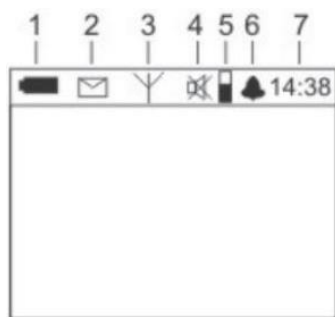
Индикация. Индикация результатов работы отображается на цветном экране с разрешением 160x128.

Управление. Включение и выключение ST107 осуществляется кнопкой PWR/MODE. При включении на дисплее кратковременно появляется сообщение: «ST107 Version X.X.», где X.X. – номер версии программного обеспечения. Функции кнопок управления приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Функции кнопок управления

Кнопка	Основная функция	Дополнительная функция (при настройке)
1	2	3
Цвет надписи	Белый	Желтый
PWR/MODE	Выбор режимов Поиск/Мониторинг и включения/выключения	
ZERO	Установка порога индикации уровня в режиме Поиск	Возврат в предыдущий уровень меню. Перемещение между банками событий в режиме Просмотр протокола. Ручной выбор диапазона или обнуление значения маркера в режиме Осциллограф.
SENS/EXIT	Установка чувствительности шкал индикации	Выход из меню и режима Осциллограф. Возврат в режим Поиск или Мониторинг в режиме Просмотр протокола.
VOL-/VOL+	Регулировка уровня громкости	Перемещение по пунктам меню. Перемещение между событиями в режиме Просмотр протокола. Выбор диапазона горизонтальной развертки или перемещение маркера в режиме Осциллограф.
MENU	Вход в МЕНЮ	Подтверждение выбора. Вход в маркерные измерения в режиме Осциллограф.

Общая индикация для двух основных режимов представлена на рисунке 16 [2].



- 1 - уровень заряда аккумуляторной батареи;
- 2 - индикатор связи с РС;
- 3 - включение ВЧ-модулей;
- 4 - отключение звуковой индикации;
- 5 - установленный уровень громкости;
- 6 - индикатор работы по расписанию в режиме «Мониторинг»;
- 7 - часы реального времени (если они установлены пользователем).

Рисунок 16 - Общая индикация

Работа с прибором в различных режимах.

Включение прибора ST107.

Подключите антенны к основному блоку. Включите изделие. В случае появления надписи «АККУМУЛЯТОР РАЗРЯЖЕН», зарядите аккумулятор. При работе от встроенной аккумуляторной батареи ее состояние отображает пиктограмма. Полностью заштрихованное изображение соответствует полностью заряженной аккумуляторной батарее. Полностью обесцвеченная и мигающая пиктограмма, обозначает, соответственно, состояние батареи, близкое к полному разряду. Время работы ST107 от полностью заряженной аккумуляторной батареи составляет около 5 часов. Чтобы осуществить заряд аккумулятора. Подключите к разъему USB основного блока зарядное устройство или USB порт РС. Если изделие

находится в выключенном состоянии, началу процесса зарядки соответствует надпись «ЗАРЯД АККУМУЛЯТОРА». Если зарядка производится при включенном изделии, о процессе заряда свидетельствуют бегущие сегменты пиктограммы.

Об окончании процесса зарядки говорят полностью заштрихованная пиктограмма и по завершении процесса зарядки аккумуляторной батареи на экране, на десять секунд появится надпись: «АККУМУЛЯТОР ЗАРЯЖЕН». Время полного заряда от зарядного устройства составляет 3 часа, от USB порта PC – около 5 часов. Установите необходимый режим работы индикатора [2].

Режим «Поиск».

Вид экрана при первом включении представлен на рисунке 17.

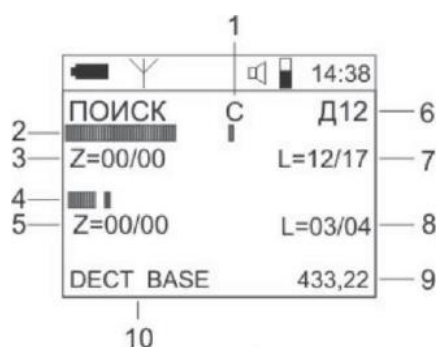


Рисунок 17 - Экран ST107 в режиме «ПОИСК»

Показания дисплея:

1 32-х сегментный индикатор уровня 1-го канала для интегрального (белая шкала) и пикового (красная) значений мощности сигнала.

2 32-х сегментный индикатор уровня 2-го канала для интегрального (белая шкала) и пикового (красная) значений мощности сигнала.

3 Начальное значение нулевого уровня для интегрального/пикового 1-го канала.

4 Начальное значение нулевого уровня для интегрального/пикового 2-го канала.

5 Значение измеряемого интегрального/импульсного уровня сигнала для 1-го канала.

6 Значение измеряемого интегрального/импульсного уровня сигнала для 2-го канала.

7 Включенные каналы (Д1, Д2, Д12 или Д12Ф).

8 Чувствительность шкал индикации.

9 Идентифицированные стандарты передачи данных.

10 Значение частоты сигнала.

При работе только с одним каналом в нижней части дисплея отображается график изменения уровня сигнала в зависимости от времени (от 30 сек. до 60 мин.).

Управление режимом.

Установка порога индикации относительно текущего уровня радиосигналов (вычитание фона) осуществляется при кратковременном нажатии на кнопку «ZERO». В этот момент, на дисплее, кратковременно появляется надпись «НОЛЬ», позиция 7, как на рисунке 18, и происходит обнуление индикаторов с отображением численного значения в позициях 3 и 4.

Численное значение текущего уровня сигналов относительно установленного нулевого значения порога будет отображаться в позициях 5 и 6.

Отмена установки порога индикации с обнулением показаний в позиции 10 производится нажатием кнопки ZERO во время индикации «НОЛЬ» в позиции 3, как на рисунке 18.

Установка чувствительности шкал индикации производится кратковременным последовательным нажатием на кнопку SENS/EXIT. При этом в позиции 8 индицируется выбранное значение чувствительности шкал индикации:

- «Н» - низкая, вся шкала;
- «С» - средняя, вся шкала;
- «В» - высокая, вся шкал.

Управление громкостью осуществляется кнопками «VOL+/VOL-».

Режим «Мониторинг».

Вид экрана дисплея в данном режиме, при первом включении, представлен на рисунке 18 [2].



- 1, 2 – индикаторы уровня сигналов для 1 и 2 каналов соответственно;
- 3, 4 – численное значение уровня тревоги;
- 7, 8, 9, 10 – графическое отображение уровня тревоги;
- 5, 6 – численное значение уровней сигналов.

Рисунок 18 - Экран ST107 в режиме «Мониторинг»

Установки, соответствующие данному режиму, выбираются из «МЕНЮ». В этом режиме всегда соблюдаются условия:

- шкалы индикации показывают уровни от 0 dB до 60 dB;
- кнопки ZERO и SENS/EXIT заблокированы.

Управление режимом.

Первые 5 секунд после перехода в данный режим, будет наблюдаться обратный пятисекундный отсчет в правом верхнем углу экрана. Этот период времени предназначен для измерения пикового уровня электромагнитного поля. Данные измерений служат базисом для автоматической установки относительного уровня тревоги. При необходимости изменение данного значения производится из «МЕНЮ». Для использования расширенных критериев установки уровня тревоги необходимо воспользоваться возможностями программного обеспечения ST107.

Правильность выбора определяется экспериментально, исходя из необходимой дальности обнаружения и помеховой обстановки с использованием легальных источников радиоизлучения (сотовый или DECT телефоны, радиостанция и т.д.).

В случае превышения сигналом установленного порога на экране появится полноэкранный надпись «ALARM». Для предотвращения хаотичного заполнения протокола событий, при проведении подготовительных мероприятий, по умолчанию установлен запрет записи информации в «Протокол событий», (знак «—» в позиции 3). Разрешение записи осуществляется через «МЕНЮ».

При выборе разрешения записи проконтролируйте появление в позиции 10 счетчика событий. «ООО» и мигание надписи «Монитор». Это будет означать, что при выполнении условий тревоги информация о событии будет фиксироваться в энергонезависимой памяти ST107 [2].

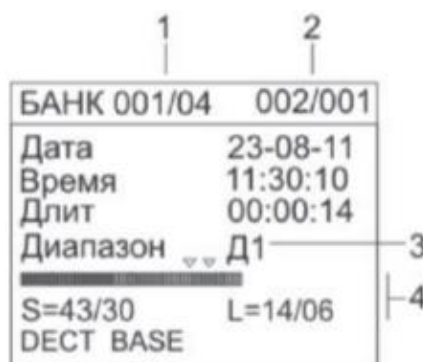
События за один сеанс мониторинга записываются в отдельный банк. Всего 9 банков. Банк под номером 1 всегда содержит информацию о самых последних событиях (под номером 9 – о самых старых). При заполнении всех банков, события из банка 9 теряются. Максимальное число событий в одном банке 999. Максимальное число событий во всех банках – 4096.

Минимальное время между двумя однотипными событиями составляет 1 секунду (изменение данного значения производится через «МЕНЮ»). Эти события будут зафиксированы в двух записях протокола. При условии появления нового события (в одном частотном диапазоне) в период времени менее 1 секунды, оно не будет определено, как новое событие. Фиксироваться будет увеличение длительности предшествующего события.

В режиме «Мониторинг» обеспечена возможность автоматического включения/выключения изделия по расписанию, задаваемых в подменю «Система» – (инструкции по эксплуатации). Для использования данной возможности необходимо предварительно установить часы реального времени.

Режим «Просмотр протокола».

Выбор данного режима осуществляется из «Меню». При отсутствии событий в протоколе индицируется надпись - «Протокол пуст». Вид экрана в режиме «Просмотр протокола» показан на рисунке 19.



- 1 - номер просматриваемого банка/количество задействованных банков;
- 2 - номер просматриваемого события/количество событий в банке;
- 3 - частотный диапазон, в котором произошла тревога (D1 или D2);
- 4 - параметры сигнала в момент превышения порога.

Рисунок 19 - Экран ST107 в режиме «Просмотр протокола»

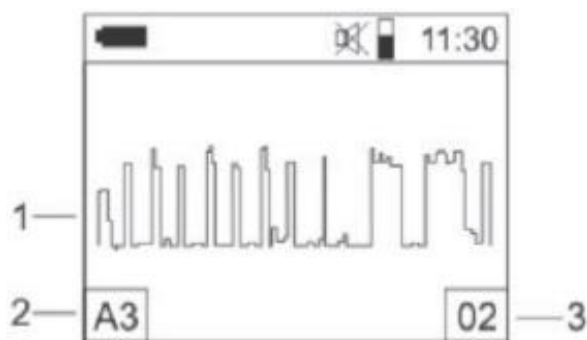
Переключение между банками осуществляется кнопкой ZERO. Кнопками «VOL+» и «VOL-» осуществляется переключение между событиями в банке. События пронумерованы в соответствии с заданным критерием сортировки (настройка через «Меню»).

Если в меню выбран вид сортировки, отличный от сортировки по времени, то возможно появление сообщения «Сортировка. Подождите...»

Выход из просмотра осуществляется кнопкой SENS/EXIT [2].

Режим «Осциллограф».

Внимание – данный режим работает только в случае подключения одного из двух каналов обнаружения. Вид экрана в режиме «Осциллограф» показан на рисунке 20.



- 1 - осциллограмма;
- 2 - вариант установки (А - автоматическое, Р - ручное) и относительное значение вертикальной развертки (от 1 до 7);
- 3 - значение горизонтальной развертки в пересчете на экран (1 мс, 2 мс, 4 мс, 8 мс, 16 мс и 32 мс).

Рисунок 20 - Экран ST107 в режиме «Осциллограф»

Управление режимом.

Установка автоматического выбора значения вертикальной развертки осуществляется нажатием на кнопку «SENS/EXIT» с появлением в позиции 1 знака «А» выбранного относительного значения (от 1 до 7).

Ручной выбор значения вертикальной развертки осуществляется последовательным нажатием на кнопку «ZERO» (символ «Р» в позиции 1). Выбор осуществляется относительными значениями от 1 до 7.

Выбор значения горизонтальной развертки осуществляется кнопками «VOL+» и «VOL-» между значениями 2, 4, 8, 16 и 32 мс. «Замораживание» изображения осциллограммы происходит при нажатии на кнопку «MENU» с появлением надписи в нижней строке дисплея «марк». Возобновление динамической индикации осуществляется нажатием кнопки «SENS/EXIT». При повторных нажатиях на кнопку MENU происходит переключение между тремя подрежимами маркерных измерений - «марк», «время» и «сдвиг». Из этих трех подрежимов нажатием на кнопку «ZERO» можно перейти в дополнительный подрежим «ноль». Индикация подрежимов размещена в нижней строке дисплея. В подрежиме «марк»

осуществляется «замораживание» просматриваемого временного отрезка длительностью, определенной в позиции 3 с возможностью проведения маркерных измерений. Это подтверждает, появившаяся в нижней части экрана надпись «марк» и относительное численное значение положения маркера (вертикальная белая линия) на временной шкале.

В подрежиме «время» обеспечивается возможность изменения значения горизонтальной развертки для «замороженного» изображения.

В подрежиме «сдвиг» обеспечивается «прокрутка» всего зафиксированного временного отрезка при помощи кнопок «VOL+» и «VOL-» в пределах 32 мс.

Нажатием на кнопку «ZERO» из любого подрежима маркерных измерений любого видимого временного отрезка на дисплее. При этом происходит переход в подрежим «ноль» и обнуляется маркерное значение. Кнопками «VOL+» и «VOL-» можно осуществлять перемещение маркера относительно «нулевого» значения, с соответствующей индикацией численного значения измеряемого временного отрезка в нижней части дисплея. Выход из подрежима «ноль» осуществляется нажатием кнопки «MENU».

Выход в режим «Осциллограф» из подрежимов маркерных измерений производится нажатием кнопки «SENS/EXIT». Надо отметить, что при входе в режим маркерных измерений происходит запоминание осциллограммы длительностью 32 мс и имеющей 5120 отсчетов. Чтобы производить детальный анализ такой осциллограммы можно воспользоваться предлагаемыми подрежимами «время», «сдвиг» и «ноль». В подрежиме «время» обеспечивается возможность изменения значения горизонтальной развертки для «замороженного» изображения.

Выход из режима «Осциллограф» осуществляется нажатием на кнопку «SENS/EXIT».

Вход в «Меню» осуществляется нажатием кнопки «MENU». Пункты меню представлены в таблице 2 «Инструкции по эксплуатации». Выбор нужного пункта осуществляется при помощи кнопок «VOL+» и «VOL-». Подтверждение выбора – кнопкой «MENU». Возвращение в предыдущий пункт – кнопкой «ZERO» [2].

Порядок выполнения работы:

1 По техническому описанию прибора и настоящему пособию изучить устройство, технические характеристики, инструкцию по эксплуатации детектора электромагнитного поля ST107 и меры безопасности при работе с ним.

2 Руководствуясь инструкцией по эксплуатации, подготовить прибор к работе, произвести проверку его работоспособности, настройку и юстировку.

3 Обеспечить удаление из зоны действия прибора мощных помеховых объектов.

4 Провести обследование помещения лаборатории. Выявить и тщательно зафиксировать все источники ЭМС, и определить их характеристики, пользуясь всеми возможностями детектора электромагнитного поля ST107.

5 Провести обследование контрольных образцов имитаторов ЗУ и провести их идентификацию с использованием и без использования частотомера.

6 Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:

- описание индикатора, принципа его действия, характеристик и основных приемы работы;
- данные, полученные при исследовании ЭМО в лаборатории;
- результаты идентификации контрольных образцов с подробным обоснованием принято решения.

7 Отчет составляется персонально каждым студентом, и полученные в нем результаты подлежат защите у преподавателя.

Содержание отчёта:

1 Цель работы.

2 Задачи для проведения лабораторной работы.

3 Краткая теоретическая справка.

4 Этапы проведения работы.

5 Результаты работы.

6 Выводы.

Контрольные вопросы:

1 Для чего предназначен детектор электромагнитного поля ST107?

- 2 Что входит в состав комплекта изделия?
- 3 Какие параметры характеризуют индикаторы электромагнитных излучений?
- 4 На чем основан принцип действия ST107?
- 5 Какие режимы работы у детектора электромагнитного поля ST107?

2.8 Лабораторная работа № 8. Исследование многофункционального поискового прибора ST-031 «Пиранья»

Цель работы.

Ознакомиться с назначением и основными возможностями многофункционального поискового прибора ST-031 «Пиранья».

Задачи.

Для выполнения лабораторной работы необходимо решить следующие задачи:

- изучить технические характеристики поискового прибора ST-031 «Пиранья»;
- изучить комплектацию и назначение основных блоков прибора ST-031 «Пиранья»;
- изучить режимы работы прибора;
- разработать отчет о проделанной работе.

Теоретические сведения.

Многофункциональный поисковый прибор ST-031 «Пиранья» предназначен для проведения мероприятий по обнаружению и локализации специальных технических средств негласного съёма информации, для выявления естественных и искусственно созданных каналов утечки информации, а также для контроля качества защиты информации. Он обеспечивает решение контрольно-поисковых задач только в так называемой «ближней зоне», т.е. в пределах помещения (объекта) или в непосредственной близости к нему. С использованием прибора ST-031 «Пиранья» возможно решение следующих контрольно-поисковых задач [2]:

1 Выявление факта работы (обнаружение) и локализация местоположения радиоизлучающих специальных технических средств, создающих потенциально опасные, с точки зрения утечки информации, радиоизлучения. К таким средствам, прежде всего, относят:

- радиомикрофоны;
- телефонные радиоретрансляторы;
- радиостетоскопы;
- скрытые видеокамеры с радиоканалом передачи информации;
- технические средства систем пространственного высокочастотного облучения в радиодиапазоне;
- технические средства передачи изображения с монитора ПЭВМ по радиоканалу;
- радиомаяки систем слежения за перемещением объектов (людей, транспортных средств, грузов и т.п.);
- несанкционированно включенные радиостанции, радиотелефоны и телефоны с радиоудлинителем;
- технические средства обработки информации, работа которых сопровождается возникновением побочных электромагнитных излучений (элементы физической архитектуры ПЭВМ, факсы, ксероксы, некоторые типы телефонных аппаратов и т.п.) [2].

2 Обнаружение и локализация местоположения специальных технических средств, работающих с излучением в инфракрасном диапазоне. К таким средствам, в первую очередь, относят:

- закладные устройства добывания акустической информации из помещений с её последующей передачей по каналу в инфракрасном диапазоне;
- технические средства систем пространственного облучения в инфракрасном диапазоне.

3 Обнаружение и локализация местоположения специальных технических средств, использующих для добывания и передачи информации проводные линии различного предназначения, а также технических средств обработки информации,

создающих наводки информативных сигналов на рядом расположенные проводные линии или стекание этих сигналов в линии сети электропитания. Такими средствами могут быть [2]:

- закладные устройства, использующие для передачи перехваченной информации линии сети переменного тока 220В и способные работать на частотах до 15 МГц;
- ПЭВМ и другие технические средства изготовления, размножения и передачи информации;
- технические средства систем линейного высокочастотного навязывания, работающие на частотах свыше 150 кГц;
- закладные устройства, использующие для передачи перехваченной информации абонентские телефонные линии, линии систем пожарной и охранной сигнализации с несущей частотой свыше 20 кГц.

4 Обнаружение и локализация местоположения источников электромагнитных полей с преобладанием (наличием) магнитной составляющей поля, трасс прокладки скрытой (необозначенной) электропроводки. потенциально пригодной для установки закладных устройств, а также исследование технических средств, обрабатывающих речевую информацию. К числу таких источников и технических средств принято относить:

- выходные трансформаторы усилителей звуковой частоты;
- динамические громкоговорители акустических систем;
- электродвигатели магнитофонов и диктофонов.

5 Выявление наиболее уязвимых мест, с точки зрения возникновения виброакустических каналов утечки информации, а также оценка эффективности систем виброакустической защиты помещений.

6 Выявление наиболее уязвимых мест, с точки зрения возникновения каналов утечки акустической информации, а также оценка эффективности звукоизоляции помещений.

Режимы работы прибора.

Системотехническая и программная основа, заложенная в конструкцию и алгоритмы функционирования прибора, позволяет применять его в следующих основных режимах:

- высокочастотного детектора-частотомера;
- сканирующего анализатора проводных линий;
- детектора инфракрасных излучений;
- детектора низкочастотных магнитных полей;
- виброакустического приемника;
- акустического приемника [2].

Перевод прибора ST-031 «Пиранья» в любой из режимов осуществляется автоматически при подключении дополнительных внешних устройств (антенн, адаптера, датчиков, микрофона) к высокочастотному разъёму «RF ANT» или 7-ми штырьковому разъёму «PROBES». Одновременно прибор может работать только в одном из перечисленных основных режимов. С подключением того или иного дополнительного внешнего устройства происходит инициализация соответствующего ему режима с выводом на экран дисплея сообщений вида:

- «RADIO-FREQUENCY CHANNEL» — режим высокочастотного детекторачастотомера;
- «WIRE LINES ANALYSIS» — режим сканирующего анализатора проводных линий;
- «INFRARED CHANNEL» — режим детектора инфракрасных излучений;
- «MAGNETIC CHANNEL» — режим детектора низкочастотных магнитных полей;
- «VIBRO-ACOUSTIC CHANNEL» — режим виброакустического преобразователя;
- «ACOUSTIC CHANNEL» — режим акустического приемника и дифференциального низкочастотного усилителя.

При отсутствии подключенных дополнительных внешних устройств (разъемы «RF ANT» и «PROBES» свободны) с включением питания в приборе

инициализируется режим высокочастотного детектора-частотомера, о чем свидетельствует сообщение на экране дисплея «RADIO-FREQUENCY CHANNEL».

Описание комплекта прибора.

Прибор выполнен в носимом варианте. Для его переноски и хранения используется специальная сумка-упаковка [2]. Комплектация прибора ST 031 «Пиранья» показана на рисунке 21.



Рисунок 21 - Комплектация прибора ST 031 «Пиранья»

Комплектация прибора ST-031 «Пиранья»:

1 Основной блок управления, обработки и индикации.

2 Адаптер сканирующего анализатора проводных линий с устройством ослабления сигналов и светодиодными индикаторами наличия напряжения в проверяемой линии.

3 Насадки к адаптеру (типа «Игла»).

4 Насадки к адаптеру (типа «220»).

5 Насадки к адаптеру (типа «Крокодил»).

6 Головные телефоны.

7 Магнитная антенна детектора низкочастотных магнитных полей с устройством для обеспечения дифференциального режима работы.

8 Высокочастотная антенна детектора-частотомера.

9 Соединительный кабель для подключения магнитной антенны и инфракрасного датчика.

10 Выносной микрофон акустического приемника.

11 Инфракрасный датчик детектора инфракрасных излучений.

12 Выносной датчик виброакустического приемника.

13 Телескопическая антенна детектора-частотомера.

14 Переходник к телескопической антенне.

15 Наплечный ремень основного блока.

16 Подставка для основного блока.

17 Блок питания.

18 Батареи типа АА (4шт).

Основной блок управления обработки и индикации. Основная составная часть комплекта прибора ST-031 конструктивно выполнена в виде малогабаритного переносного моноблока.

На верхней поверхности блока расположены [2]:

- графический индикатор;
- 16-кнопочная панель управления;
- выключатель питания («OFF POWER ON»);
- гнездо линейного выхода («LINE»);
- гнездо подключения головных телефонов («PHONE»).

На передней поверхности основного блока размещены три разъема:

- разъем «RF ANT», который служит для подключения телескопической (через переходник) либо высокочастотной антенны;
- разъем «PROBES», к которому подключаются все остальные преобразователи;

– разъем «OSC2» – предназначен для обеспечения работы осциллографа и анализатора спектра, встроенных в блок, в двухканальном режиме, а также для реализации возможности работы прибора в качестве обычных низкочастотных одноканальных осциллографа и анализатора спектра.

На нижней поверхности основного блока размещены:

- встроенный громкоговоритель;
- крышка батарейного отсека (на внутренней стороне крышки батарейного отсека нанесен серийный номер данного комплекта прибора).

На задней поверхности основного блока размещены:

- разъем для подключения блока питания;
- резьбовое отверстие для подсоединения подставки основного блока.

Высокочастотная антенна. Высокочувствительная антенна предназначена для работы в режиме высокочастотного детектора-частотомера. Подключается к разъему «RF ANT».

Антенна содержит СВЧ-усилитель, который может быть выведен из строя электростатическим разрядом. Поэтому, необходимо прикоснуться к основному блоку, прежде чем дотрагиваться до антенны.

Адаптер сканирующего анализатора проводных линий. Представляет собой трансформаторный преобразователь напряжения с переключаемым коэффициентом трансформации. На передней панели адаптера расположены индикаторы наличия напряжения в линии и переключатель аттенюатора. Подключается к разъему «PROBES». Адаптер сканирующего анализатора проводных линий показан на рисунке 22 [2].



Рисунок 22 - Адаптер сканирующего анализатора проводных линий

Магнитный датчик. Состоит из магнитной антенны и предварительного усилителя. Переключатель, расположенный на ручке датчика, обеспечивает работу в двух режимах - собственно магнитного датчика и градиентометра (дифференциальное включение магнитной антенны). Подключается к разъему «PROBES» через соединительный кабель.

Инфракрасный датчик. В состав датчика входит приемник инфракрасных излучений и предварительный усилитель. Подключается к разъему «PROBES» через соединительный кабель.

Акустический датчик. В состав датчика входит акустический преобразователь (микрофон) и предварительный усилитель. Подключается к разъему «PROBES».

Виброакустический датчик. Представляет собой чувствительный акселерометр с встроенным предварительным усилителем. Подключается к разъему «PROBES».

Содержание отчёта:

- 1 Цель работы.
- 2 Задачи для проведения лабораторной работы.
- 3 Краткая теоретическая справка.
- 4 Комплектация и назначение основных блоков прибора ST-031 «Пиранья».
- 5 Выводы.

Контрольные вопросы:

- 1 Для чего предназначен функциональный поисковый прибор ST-031 «Пиранья»?
- 2 Что входит в состав комплекта прибора ST-031 «Пиранья»?
- 3 Какие режимы работы у прибор ST-031 «Пиранья»?
- 4 Что входит в основной блок управления обработки?

2.9 Лабораторная работа № 9. Исследование акустического канала утечки информации прибором ST-031 «Пиранья»

Цель работы.

Исследовать эффективность пассивного и активного противодействия утечки речевой информации по акустическому каналу.

Задачи.

Для выполнения лабораторной работы необходимо решить следующие задачи:

- подготовить прибор ST-031 «Пиранья» и изучить технические характеристики прибора;
- провести тестовую проверку прибора ST- 031;
- провести измерения в режиме акустического приемника;
- разработать отчет о проделанной работе.

Теоретические сведения.

Для снижения разборчивости речи необходимо стремиться уменьшить отношение «уровень речевого сигнала/уровень шума» (сигнал/шум) в местах возможного размещения датчиков аппаратуры акустической разведки. Уменьшение отношения сигнал/шум возможно путем или уменьшения (ослабления) уровня речевого сигнала (пассивные методы защиты), или увеличения уровня шума (создания акустических и вибрационных помех - активные методы защиты). Порог слышимости – наиболее тихий звук, который еще способен слышать человек на частоте $F = 1000$ Гц, соответствует звуковому давлению $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Н/м². Громкость зависит от силы звука и его частоты, измеряется пропорционально логарифму силы звука и потому выражается количеством децибел, на которое данный звук превышает по интенсивности звук, принятый за порог слышимости. Единица измерения громкости – фон. Уровень звукового давления - отношение величины звукового давления P к нулевому уровню, за который принято звуковое давление $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Н/м², выраженное в децибелах (дБ). Уровень силы звука – отношение силы данного звука I к нулевому (стандартному) уровню, за который принята сила звука

$I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², выраженное в децибелах (дБ). Уровни звукового давления и силы звука, выраженные в децибелах, совпадают по величине [2]:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (13)$$

где I , P - величины интенсивности, давления и скорости звуковых колебаний, действующих на органы слуха человека;

I_0 , P_0 - значение тех же параметров на пороге слышимости.

Уровень акустического сигнала, берется относительно напряжения, равного 0,1 мВ, что будет соответствовать 0 дБ [2]. Перевод уровней акустического сигнала в напряжение показан на рисунке 23.

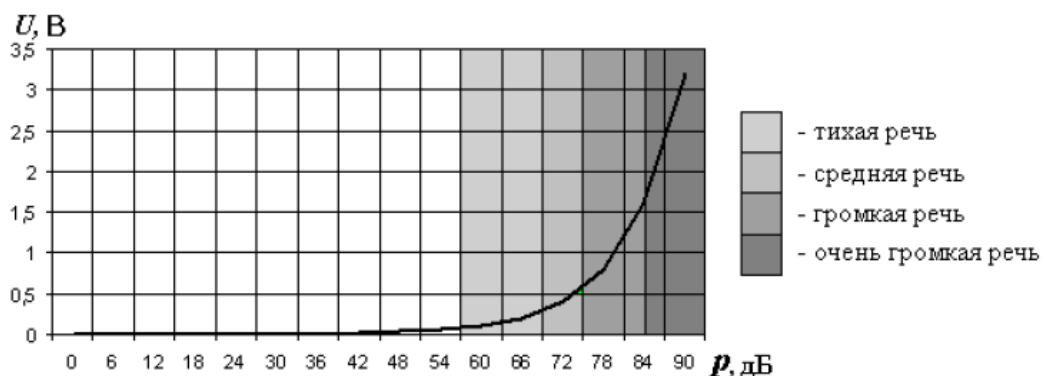


Рисунок 23 - Перевод уровней акустического сигнала в напряжение

Для теории связи понятие «защищённость» относится к качеству принимаемого сигнала и чем она выше, тем больше разница между минимальным уровнем сигнала и уровнем шума в канале связи ($A_z = p_{s.min} - p_{ш}$). Для сокрытия информации понятие «защищённость» имеет полностью противоположное значение. Под увеличением защищенности информации подразумевается снижение разборчивости речевого сигнала, то есть уменьшение разницы между уровнем сигнала и фоновым шумом. Поэтому следует строго различать диаметрально противоположные понятия «защищённость сигнала» (в канале связи) и «защищённость информации» (переданной посредством речевого сообщения). Для

противодействия возможной утечки информации по акустическим и виброакустическим каналам применяют пассивные и активные средства защиты. К пассивным средствам защиты относятся звукоизолирующие и рефракционные перегородки, а также звукопоглощающие покрытия. К активным средствам защиты относятся устройства постановки маскирующей помехи. Эти устройства вырабатывают шумоподобный сигнал, который совпадает по спектру с речевым и перекрывает его. Виброакустическая маскировка заключается в создании маскирующих акустических и вибрационных помех предполагаемым средствам разведки. Акустическая маскировка эффективна для защиты речевой информации от утечки по всем каналам, вибрационная – только по виброакустическому.

Режим акустического приёмника. В этом режиме прибор ST-031 обеспечивает прием на внешний выносной микрофон и отображение параметров акустических сигналов в диапазоне от 300 Гц до 6000 Гц. Количественно оценка состояния звукоизоляции помещений и выявление возможных каналов утечки информации осуществляются на основе анализа автоматически выводимой на экран дисплея осциллограммы, отражающей форму принятого сигнала и текущее значение его амплитуды [2].

Внешний вид прибора показан на рисунке 24.

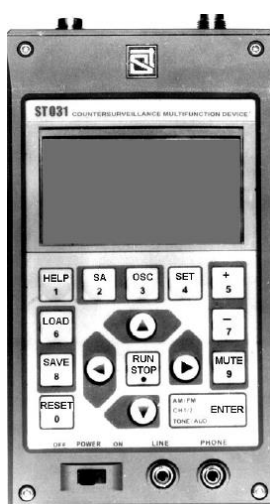


Рисунок 24 – Внешний вид прибора

Качественная оценка основана на непосредственном прослушивании принятого акустического сигнала и анализе его громкости и тембровых характеристик. Для этого используется либо встроенный громкоговоритель, либо головные телефоны.

Порядок выполнения работы.

Для проведения лабораторной работы понадобятся:

- прибор ST-031 с датчиком;
- генератор звуковых частот ГНЧ-3;
- устройство постановки маскирующей помехи «Соната-2 АВ» с комплектом звуко- и вибро-излучателей;
- стол с макетами звукоизолирующих ограждающих перегородок; звукоизолирующая камера.

В лабораторной работе рассматриваются особенности практического использования прибора для оценки эффективности акустической защиты звукоизоляции различных заграждающих перегородок и постановки маскирующей помехи.

Тестовая проверка и порядок управления прибором ST- 031.

Порядок управления в режиме акустического приемника:

1 Подключить выносной микрофон к разъему «PROBES» на верхней панели прибора.

2 Включить питание прибора.

2 Включить питание прибора.

3 Осциллографический контроль параметров принимаемого по акустическому каналу сигнала включается автоматически. Визуально по амплитуде и характеру сигнала на осциллограмме и «на слух» по его разборчивости и качеству во встроенном громкоговорителе или головных телефонах оценить уровень и тембровые характеристики преобразованного звукового сигнала [2].

Гнездо для подключения датчика показано на рисунке 25.



Рисунок 25 – Гнездо для подключения датчика

4 Нажать кнопку «RUN/STOP» и остановить (при необходимости) динамические измерения. Повторным нажатием этой кнопки возобновить вывод на экран динамически изменяющейся осциллограммы.

5 Нажать кнопку «MUTE» и последующими нажатиями кнопок «+» и «-» установить необходимую громкость сигнала, выводимого либо на динамик.

6 Нажать кнопку «SA» и перейти (при необходимости) к анализу спектра сигнала, принятого по виброакустическому каналу.

7 В случае сбоев в работе нажать кнопку «RESET» и осуществить перезапуск прибора.

Порядок управления в режиме виброакустического приемника аналогичен.

Измерения в режиме акустического приемника:

1 Подключить внешний акустический датчик (10) к разъему «PROBES».

2 Разместить акустический излучатель источника звука и микрофон прибора ST-031 на фиксированном расстоянии 1,0 метр внутри звукоизолирующей камеры.

3 Включите источник тестового сигнала (генератор) на частоте 1000 Гц и установите уровень звука, соответствующий громкой речи (76 дБ → 0,7 В). Установите соответствие между этим уровнем и показаниями прибора ST-031 в режимах осциллографа и анализатора спектра. Для этого нажать кнопку прибора «OSC» и просмотреть осциллограмму. Зарисовать в отчет.

4 Перейти в режим спектроанализатора. Нажать кнопки «SA» и «SET». Выбрать из меню нажатием кнопок «▲» и «▼» значение «3 – Line average ON/OFF» в положение «ON» (кнопками «▶» и «ENTER»). Включается функция линейного усреднения гармоник спектра. Полученную спектрограмму занесите в отчет.

Схема калибровки индикаторов уровня звукового сигнала показана на рисунке 26.

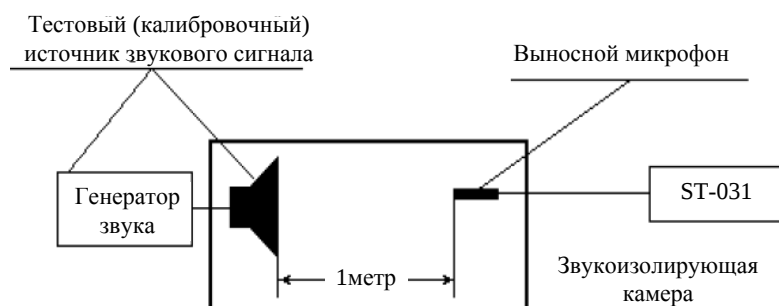


Рисунок 26 - Схема калибровки индикаторов уровня звукового сигнала прибора ST-031 [2]

Спектрограмма работы прибора показана на рисунке 27.

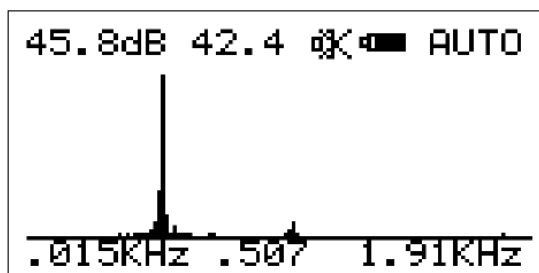


Рисунок 27 – Спектрограмма работы прибора

5 Нажать кнопки «RUN/STOP». Спектрограмма на экране «замирает», а в его правом верхнем углу появляется надпись «STOP». На экран выводится вертикальный маркер, перемещение которого вдоль горизонтальной оси осуществляется под управлением кнопок «◀» и «▶». Измеренные значения частоты и амплитуды составляющих спектра, соответствующие положению маркера, отображаются в средней части нижней и верхней строк экрана, соответственно. Амплитуда сигнала на заданной частоте будет указываться в вольтах. Для перевода измерения в [дБ] относительно 0,1 мВ в режиме «SA» нажать «SET» и «8».

6 С помощью источника тестовых сигналов необходимо последовательно задавать частоты, соответствующие средним октавным полосам. Так как прибор ST-031 обеспечивает прием на внешний выносной микрофон и отображение параметров акустических сигналов в диапазоне от 300 Гц до 6000 Гц, то весь этот диапазон можно разделить на 5 октавных полос. Аналогичные измерения уровня тестового сигнала L_c и фонового шума $L_{ф.ш.}$ провести для всех необходимых частот, и определить разность A_{zi} .

7 Измеренные значения занести в таблицу 17.

8 По таблице 17 построить АЧХ тестового акустического сигнала, фонового шума и защищенности.

Итогом работы является обработка серии измерений, снятых при различных условиях для тестовых частот и выводы об эффективности различных мер защиты речевой информации [2].

Таблица 17 – Результаты определения уровня тестового акустического сигнала $L_{ср.i}$, [дБ]

Частота, [Гц]	310	625	1250	2500	5000
$L_{ср.i}$, [дБ]					
$L_{ф.ш}$ [дБ]					
A_{zi} [дБ]					

Содержание отчёта:

- 1 Цель работы.
- 2 Задачи для проведения лабораторной работы.
- 3 Краткая теоретическая справка.
- 4 Результаты проведенной работы.
- 5 Выводы.

Контрольные вопросы:

- 1 Решение каких контрольно-поисковых задач возможно с использованием прибора ST-031 «Пиранья»?
- 2 Какие основные режимы измерения прибора ST-031 вы знаете?

3 Относительно какого напряжения берется уровень акустического сигнала соответствующий 0 дБ?

4 Какой уровень акустического сигнала соответствует громкой речи?

5 В каком диапазоне частот обеспечивает приём сигнала на внешний выносной микрофон прибор ST-031?

6 В чем различие акустического и виброакустического сигнала?

7 В чем достоинства и недостатки пассивных средств защиты?

8 В чем достоинства и недостатки активных средств защиты?

9 Какими датчиками комплектуется прибор ST-031 для аудио и виброконтроля, их принцип работы и характеристики?

2.10 Лабораторная работа № 10. Работа с контрольным устройством «Тест»

Цель работы.

Изучить принцип работы контрольного устройства «Тест».

Задачи.

Для выполнения лабораторной работы необходимо решить следующие задачи:

- изучить технические характеристики контрольного устройства «Тест»;
- провести подготовку к работе контрольного устройства «Тест»;
- с помощью контрольного устройства «Тест» провести проверку работоспособности прибора ST031 во всех основных режимах;
- разработать отчет о проделанной работе.

Теоретические сведения.

Расположения основных компонентов контрольного устройства (КУ) показаны на рисунке 28 [8].



Рисунок 28 - Общий вид контрольного устройства «Тест»

Компоненты контрольного устройства «Тест» [8]:

- 1 Радиопередающая антенна.
- 2 ИК-излучатель.
- 3 Местонахождение магнитного излучателя.
- 4 Выключатель модуляции радиопередатчика.
- 5 Разъем для подключения адаптера проводных линий.
- 6 Индикатор включения питания.
- 7 Выключатель питания.
- 8 Индикатор разряда батарей питания.
- 9 Батарейный отсек.

Подготовка КУ «Тест» к работе.

Включите КУ (выключатель «POWER» в положении «ON»). Проконтролируйте загорание индикатора включения питания. В случае загорания индикатора «LOW BAT» замените батареи питания на новые.

Установите радиопередающую антенну перпендикулярно корпусу КУ.

Отключите модуляцию сигнала (выключатель модуляции радиопередатчика в левом положении).

Проверка режима высокочастотного детектора – частотомера.

Установите границы динамического диапазона ST-031 в положении «- 8... +32 dB». Плавное поднесите высокочастотную антенну ST-031 к радиопередающей антенне КУ. Проконтролируйте увеличение количества окрашенных сегментов в верхнем индикаторе (D). Полностью закрашенный индикатор должен наблюдаться на расстоянии порядка 0,1 м от антенны КУ. В нижней части дисплея на ST-031 должно появиться надпись - «CAPTURE = F1 MHz.», где F1 – значение частоты радиопередатчика (технические характеристики) [8].

Переведите выключатель модуляции КУ в положение ON. Затем переведите ST-031 в режим осциллографа. Проконтролируйте индикацию периодического сигнала и надпись «F2 kHz», где F2 — значение частоты модулирующего сигнала (технические характеристики), непосредственно под изображением сигнала. Дополнительно проконтролируйте «на слух» звуковой сигнал (здесь и далее по тексту вид представления звуковой информации в положение «AUD»).

Проверка режима анализатора проводных линий.

Подсоедините щупы проводного адаптера (с предварительно надетыми насадками типа «220») к разъемам LF.

Установите на ST-031 [8]:

- границы диапазона сканирования с условием наличия в выбранном диапазоне частоты имитатора АПЛ – F3 (технические характеристики);
- значение вертикальной развертки 10 мВ;
- порог остановки сканирования в положение 70 % от максимального значения;
- переключатель на адаптере проводных линий в крайнее левое положение.

Проконтролируйте остановку сканирования на частоте F3 с индикацией вертикальной полосы с амплитудой, близкой к 10 мВ.

Переведите ST-031 в режим осциллографа и проконтролируйте наличие сигнала, близкого по форме к синусоидальному, и надпись «F2 kHz» под изображением сигнала.

Проконтролируйте на слух звуковой сигнал (вид модуляции AM).

Проверка режима детектора инфракрасных излучений.

Плавное подведите ИК-датчик прибора ST-031 к ИК-излучателю КУ (ИК-датчик должен находиться точно напротив ИК излучателя). Убедитесь в увеличении числа окрашенных сегментов (полностью закрашенный индикатор должен наблюдаться на расстоянии порядка 10 см).

Переведите прибор ST031 в режим осциллографа и проконтролируйте наличие периодического сигнала и надпись «F2 кГц» под изображением сигнала. Дополнительно проконтролируйте на слух звуковой сигнал с данной частотой.

Проверка режима детектора низкочастотных магнитных полей.

Переключатель режима работы магнитного датчика ST-031 переведите в верхнее положение. Плавное поднесите магнитный датчик к КУ. На расстоянии порядка 10 см на экране должен наблюдаться периодический сигнал с частотой F2. Дополнительно проконтролируйте на слух звуковой сигнал.

Технические характеристики КУ «Тест»:

- 1 Частота радиопередатчика – $270 \pm 0,01$ МГц (F1).
- 2 Частота имитатора АПЛ – $8\,445 \pm 0,005$ МГц (F3).
- 3 Частота модулирующего сигнала – $1 \pm 0,1$ кГц (F2).
- 4 Вид модулирующего сигнала – АИМ.
- 5 Напряжение питания – 3 В (2 X AA).
- 6 Габариты – 110x65x17 мм.
- 7 Вес (с батареями питания) – 0,12 кг.

Порядок выполнения работы:

1 По техническому описанию прибора и настоящему пособию изучить устройство, технические характеристики, инструкцию по эксплуатации прибора ST-031 «Пиранья» и меры безопасности при работе с ним.

2 Руководствуясь инструкцией по эксплуатации, подготовить прибор к работе, произвести проверку его работоспособности, настройку и юстировку.

3 Обеспечить удаление из помещения, где проводятся занятия, мощных помеховых объектов, отключить сотовые телефоны.

4 С помощью контрольного устройства «Тест» провести проверку работоспособности прибора ST-031 во всех основных режимах, или только в режимах указанных преподавателем. Зафиксировать характеристики тестовых сигналов, излучаемых КУ.

5 Провести обследование помещения в одном из режимов, указанном преподавателем, при обнаружении посторонних сигналов провести их идентификацию и определить характеристики. По возможности установить источник этих излучений и его примерное местоположение.

6 Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:

- краткое описание прибора «Пиранья», принципа его действия, характеристик и основных приемов работы;
- данные, полученные при исследовании эталонных сигналов КУ «Тест»;
- результаты идентификации тестовых сигналов с подробным обоснованием принятого решения.

7. Отчет составляется персонально каждым учащимся, и полученные в нем результаты подлежат защите у преподавателя, проводящего занятие.

Содержание отчёта:

- 1 Цель работы.
- 2 Задачи для проведения лабораторной работы.
- 3 Краткая теоретическая справка.
- 4 Результаты проведенной работы.
- 5 Выводы.

Контрольные вопросы:

- 1 Решение каких задач возможно с использованием прибора «Тест»?
- 2 Что входит в состав комплекта прибора «Тест»?
- 3 Какие режимы работы у прибора «Тест»?
- 4 Какие этапы подготовка КУ «Тест» к работе?

Список использованных источников

- 1 Дворяшин, Б. В. Метрология и радиоизмерения [Текст] : учеб. пособие для вузов / Б. В. Дворяшин. - М. : Академия, 2005. - 304 с. - (Высшее профессиональное образование). - Прил.: с. 291-293. - Библиогр.: с. 294. - ISBN 5-7695-2058-2.
- 2 Каторин Ю.Ф., Разумовский А.В., Спивак А.И. Техническая защита информации: Лабораторный практикум / Под редакцией Ю.Ф. Каторина – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 112 с.
- 3 Нефедов, В. И. Метрология и радиоизмерения: Учеб. для вузов/В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Бигюков и др.; Под ред. В.И. Нефедова. — 2-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 2006. — 526 с: ил. ISBN 5-06-004427-0
- 4 Лабковская, Р.Я. Метрология и электрорадиоизмерения: учебное пособие /Р.Я. Лабковская. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 140 с.
- 5 Пелевин, В. Ф. Метрология и средства измерений: учебное пособие [Электронный ресурс] / Пелевин В. Ф. - НИЦ ИНФРА-М, 2013. ZNANIUM /Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=406750>
- 6 Сергеев, А. Г. Метрология [Текст]: учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин. - М. : Логос, 2002. - 408 с - ISBN 5-94010-039-2.
- 7 Многофункциональный имитатор сигналов «Шиповник-2». Руководство пользователя. Режим доступа: <https://nelk.ru/upload/iblock/b9d/b9ddc673ecd65534ea23aa76b3030e34.pdf>
- 8 Контрольное устройство «Тест». Руководство пользователя. Режим доступа: <https://docplayer.ru/50567242-St131-test-kontrolnoe-ustroystvo-tehnicheskoe-opisanie-i-instrukciya-po-ekspluatacii.html>
- 9 Электроизмерительные приборы. Учебно-методическое пособие. Режим доступа: <https://docplayer.ru/45043925-Elektroizmeritelnye-pribory.html>
- 10 Генератор импульсов Г5-54. Руководство пользователя. Режим доступа: <https://www.chipmaker.ru/files/file/12971>