

Министерство образования и науки Российской Федерации
Муромский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(МИ ВлГУ)**

Отделение среднего профессионального образования

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
по модулю ПМ.02 «Технология настройки и регулировки
радиотехнических систем, устройств и блоков»**

для студентов специальности
11.02.01 *Радиоаппаратостроение*

Программа подготовки специалистов среднего звена

Составитель:
Храмок К.К.

Муром 2017

УДК 621.37

Составитель:

Храмов К.К., к.т.н., доцент кафедры РТ МИ ВлГУ.

Ответственный за выпуск:

заведующий кафедрой радиотехники,

доктор технических наук, профессор Ромашов Владимир Викторович

Технология настройки и регулировки радиотехнических систем, устройств и блоков: методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 11.02.01 Радиоаппаратостроение / сост. Храмов К.К. – Муром: МИ ВлГУ, 2017. – 91 с.

Методические указания содержат сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ по междисциплинарному курсу МДК.02.01. «Технология настройки и регулировки радиотехнических систем, устройств и блоков», и предназначены для студентов специальности 11.02.01 Радиоаппаратостроение.

Содержание

1. Лабораторная работа «ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ. ВЫПОЛНЕНИЕ КАЛИБРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ»	5
1.1. Теоретические сведения	5
1.2. Порядок выполнения работы	7
2. Лабораторная работа «ВЫБОР ТИПОВОЙ СХЕМЫ ПОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН»	10
2.1. Теоретические сведения	10
2.2. Порядок выполнения работы	13
3. Лабораторная работа «ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ»	16
3.1. Теоретические сведения	16
3.2. Порядок выполнения работы	18
4. Лабораторная работа «ПРОХОЖДЕНИЕ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ»	22
4.1. Теоретические сведения	22
4.2. Порядок выполнения работы	22
5. Лабораторная работа «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГВВ. ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ПАРАМЕТРОВ АВТОГЕНЕРАТОРА»	25
5.1. Теоретические сведения	25
5.2. Порядок выполнения работы	28
6. Лабораторная работа «ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АМПЛИТУДНОГО И ЧАСТОТНОГО МОДУЛЯТОРА»	36
6.1. Теоретические сведения	36
6.2. Порядок выполнения работы	45
7. Лабораторная работа «ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ РАДИОПРИЕМНИКА»	50
7.1. Теоретические сведения	50
7.2. Порядок выполнения работы	52
8. Лабораторная работа «ИССЛЕДОВАНИЕ И НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ЧАСТОТНОГО ДЕТЕКТОРА»	56
8.1. Теоретические сведения	56
8.2. Порядок выполнения работы	58
9. Лабораторная работа «ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ НАСТРОЙКИ И РЕГУЛИРОВКИ АНТЕНН»	63
9.1. Теоретические сведения	63
9.2. Порядок выполнения работы	64

10. Лабораторная работа «ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И РЕГУЛИРОВКА ЛИНЕЙНЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ»	67
10.1. Теоретические сведения.....	67
10.2. Порядок выполнения работы.....	68
11. Лабораторная работа «ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И РЕГУЛИРОВКА ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ».....	73
11.1. Теоретические сведения.....	73
11.2. Порядок выполнения работы.....	75
12. Лабораторная работа «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ УЗЛОВ И БЛОКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ»	78
12.1. Теоретические сведения.....	78
12.2. Порядок выполнения работы.....	78
13. Лабораторная работа «ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ ВНЕШНЕГО ОСМОТРА. ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ «ПРОЗВОНКИ». ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК»	82
13.1. Теоретические сведения.....	82
13.2. Порядок выполнения работы.....	89
Библиографический список.....	91

1. Лабораторная работа

«ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ. ВЫПОЛНЕНИЕ КАЛИБРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ»

Цель работы: приобретение навыков выбора измерительных приборов в зависимости от заданной точности; приобретение навыков проведения калибровки измерительных приборов.

1.1. Теоретические сведения

Выбор измерительного прибора

При выборе средств измерений в первую очередь должно учитываться допустимое значение погрешности для данного измерения, установленное в соответствующих нормативных документах.

В случае, если допустимая погрешность не предусмотрена в соответствующих нормативных документах, предельно допустимая погрешность измерения должна быть регламентирована в технической документации на изделие.

При выборе средств измерения должны также учитываться:

- 1) допустимые отклонения;
- 2) методы проведения измерений и способы контроля.

Главным критерием выбора средств измерений является соответствие средств измерения требованиям достоверности измерений, получения настоящих (действительных) значений измеряемых величин с заданной точностью при минимальных временных и материальных затратах.

Для оптимального выбора средств измерений необходимо обладать следующими исходными данными:

- 1) номинальным значением измеряемой величины;
- 2) величиной разности между максимальным и минимальным значением измеряемой величины, регламентируемой в нормативной документации;
- 3) сведениями об условиях проведения измерений. Если необходимо выбрать измерительную систему, руководствуясь критерием точности, то ее погрешность должна вычисляться как сумма погрешностей всех элементов системы (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей), в соответствии с установленным для каждой системы законом.

Предварительный выбор средств измерений производится в соответствии с критерием точности, а при окончательном выборе средств измерений должны учитываться следующие требования

- 1) к рабочей области значений величин, оказывающих влияние на процесс измерения;
- 2) к габаритам средства измерений;
- 3) к массе средства измерений;
- 4) к конструкции средства измерений.

При выборе средств измерений необходимо учитывать предпочтительность стандартизированных средств измерений.

Калибровка измерительного прибора

Калибровка средств измерений - совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений. Определение аналогично поверке, от которой калибровку отличает то, что она распространяется на средства измерений, которые не подлежат государственному метрологическому контролю и надзору, т.е. поверке. Калибровка объединяет функции, выполнявшиеся ранее при метрологической аттестации и ведомственной поверке средств измерений.

Если поверка является обязательной операцией, контролируемой органами Государственной метрологической службы, то калибровка - это добровольная функция, выполняемая либо метрологической службой предприятия, либо по его заявке любой другой организацией, способной выполнить работу.

Калибровка сменила поверку и метрологическую аттестацию средств измерений, которые проводились только органами государственной метрологической службы. Калибровка, в отличие от поверки и метрологической аттестации средств измерений, может осуществляться любой метрологической службой при условии, что у нее есть возможность обеспечить соответствующие условия для проведения калибровки.

Выделяют четыре метода поверки (калибровки) средств измерений:

- метод непосредственного сличения с эталоном средства измерений, подвергаемого калибровке, с соответствующим эталоном определенного разряда практикуется для различных средств измерений в таких сферах, как электрические измерения, магнитные измерения, определение напряжения, частоты и силы тока. Данный метод базируется на осуществлении измерений одной и той же физической величины калибруемым (поверяемым) прибором и эталонным прибором одновременно. Погрешность калибруемого (поверяемого) прибора вычисляется как разность показаний калибруемого прибора и эталонного прибора (т. е. показания эталонного прибора принимаются за настоящее значение измеряемой физической величины).

- метод сличения с помощью компьютера осуществляется с использованием компаратора – специального прибора, посредством которого проводится сравнение показаний калибруемого (поверяемого) средства измерений и показаний эталонного средства измерений.

- метод прямых измерений величины используется в случаях, когда есть возможность провести сравнение калибруемого средства измерения с эталонным в установленных пределах измерений. Метод прямых измерений базируется на том же принципе, что и метод непосредственного сличения.

- метод косвенных измерений используется в случаях, когда настоящие (действительные) значения измеряемых физических величин невозможно получить посредством прямых измерений или когда косвенные измерения выше по точности, чем прямые измерения.

Смысл калибровки состоит в том, чтобы погрешность электрода, связанную с изготовлением и использованием отъюстировать на определенные значения. При этом следует рассмотреть две ошибки: *отклонение нулевой точки* и *«крутизна» погрешности*.

Обе погрешности приводят к общей измерительной ошибке. Следовательно, должна проводиться калибровка двух точек с тем, чтобы обе ошибки измерения могли быть исправлены.

Погрешность нулевой точки. Расположенный сверху рисунок показывает кривую измерения и эталонную кривую, полученную с помощью образцового прибора. В этом примере кривая измерения очевидно отклоняется от эталонной кривой, т.е. в нейтральной точке мы фиксируем очевидную погрешность нулевой точки, которая должна устраняться. В нашем примере измеряемая величина лежит выше необходимой, следовательно, отклоняется от номинальной. На потенциометре с меняющимся сопротивлением измеряемая величина юстируется на правильное значение. При этом вся кривая измерений параллельно смещается на погрешность нулевой точки так, чтобы она точно проходила через нейтральную точку. Таким образом, измерительный прибор выставляется на нулевую точку и готов к применению.

Погрешность крутизны. После калибровки нулевой точки мы получаем ситуацию, изображенную на рядом расположенном рисунке. Ноль определяется точно, но измеряемая величина все еще имеет значительную ошибку, так как еще не определена точка крутизны. И лишь теперь кривая измерений совпадает с необходимой кривой; прибор откалиброван.

1.2. Порядок выполнения работы

1.2.1. Выбор измерительного прибора

1. Ознакомиться с вариантом задания и определить какие величины и параметры следует измерить, чтобы получить требуемый результат.
2. Составить список приборов, которые способны решить поставленную задачу.
3. Определить необходимый диапазон измерений.
4. Определить частотный диапазон приборов.
5. Определить приведенные погрешности указанных в списке приборов.
6. Выбрать необходимый прибор в зависимости от заданной точности.
7. Измерить заданную величину выбранным прибором.
8. Выбрать из списка прибор, который может быть образцовым и измерить им заданную величину.
9. Определить приведенную погрешность и убедиться в правильности выбранного прибора.
10. Определить условия эксплуатации прибора и указать в отчете, какие факторы могут повлиять на его показания.
11. Сделать необходимые выводы и оформить отчет.

1.2.2. Выполнение калибровки вольтметра генератора

1. Изучить техническую характеристику генератора ГЗ-118. Занести ее в отчет.
2. Подключить к генератору к выходу с калиброванной нагрузкой 600 Ом

вольтметр В7-22, используя выход гармонического сигнала и ослабление в соответствии с вариантами задания.

3. Установить на генераторе частоту в соответствии с вариантами задания (таблица 1.1).

Таблица 1.1

Варианты заданий

Вариант	Частота, кГц	Ослабление, дБ
1	10	0, 60
2	1	20, 50
3	0,1	30, 10
4	0,8	0, 20
5	1,5	20, 40
6	5	30, 50
7	2,0	0, 40
8	3,5	10, 60

4. Устанавливая уровень выходного сигнала в положения соответствующие рискам выходного напряжения, измерить напряжение на выходе вольтметром. Данные занести в таблицу 1.2.

При выполнении измерений орган управления РАССТРОЙКА должен находиться в нулевом положении.

Таблица 1.2

Положение регулятора	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска	7 риска	8 риска	9 риска
Измеренное напряжение, В									

5. Произвести калибровку, указание значений напряжений, соответствующее положениям рисок на генераторе (показать на рисунках).

6. Сделать выводы и оформить отчет.

1.2.3. Проверка правильности калибровки вольтметра

1. Подключить на вход генератора ГЗ-102 вольтметр ВЗ-38.

2. Последовательно изменяя частоту и напряжение генератора в диапазоне 10В, измерить напряжение на его выходе. Данные занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

[illegible]

3. Подключить на выход генератора вольтметр В7-22 и произвести измерения на тех же частотах и при тех же значениях напряжений. Данные занести в таблицу 1

4. Построить зависимость показаний вольтметров от установленных значений частоты на одном графике.

5. Определить отклонение нулевой точки, взяв показания вольтметра В7-22 за образцовые.

6. Повторить пункты 2-6 на других частотах и при других значениях напряжений. Данные занести в таблицу 1.4

Таблица 1.4

Частота, Гц	1	2	3	5	10	15	20	25	30
Напряжение установленное, В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Напряжение измеренное, В3-38, В									
Напряжение измеренное, В7-22, В									

7. Определить отклонение нулевой точки, взяв показания вольтметра В7-22 за образцовые.

8. Сделать выводы и оформить отчет

Содержание отчета.

1. Название и цель работы
 2. Задание с указанием физической величины и заданной точности
 3. Перечень приборов, способных выполнить заданные измерения с указанной точностью.

4. Диапазоны измерений и частотные диапазоны приборов.
 5. Расчет погрешностей, выбранных приборов.
 6. Прибор, способный решить поставленную задачу.
 7. Результаты измерений, графики и расчет погрешности.
 8. Факторы, влияющие на результат измерений.
 9. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Исходя из чего выбирается необходимый предел измерения?
 2. Какие погрешности являются основными, а какие дополнительными.
 3. Что учитывается при выборе измерительного прибора.
 4. Какие данные определяют оптимальный выбор средства измерений.
 5. Назначение генератора низкой частоты ГЗ-118, его особенности.
 6. Калибровка прибора и способы ее выполнения.
 7. Краткая характеристика способов калибровки.
 8. Основное отличие калибровки от поверки.
 9. Кто может выполнять калибровку приборов.
 10. Методика определения отклонения нулевой точки.
 11. Значение отклонения нулевой точки.

2. Лабораторная работа

«ВЫБОР ТИПОВОЙ СХЕМЫ ПОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН»

Цель работы: изучить типовую схему поверки и применить ее к конкретному средству измерений.

2.1. Теоретические сведения

Допускается применение четырех методов поверки (калибровки) средств измерений:

- непосредственное сличение с эталоном;
- сличение с помощью компаратора;

Метод непосредственного сличения поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока. В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым (калибруемым) и эталонным приборами. При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности, возможности применения автоматической поверки (калибровки), отсутствии потребности в сложном оборудовании.

Для второго метода необходим компаратор – прибор сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину. Например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой — переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено — компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин. Метод прямых измерений применяется, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. В целом принцип этого метода аналогичен методу непосредственного сличения, но методом прямых измерений производится сличение на всех числовых отметках каждого диапазона (и поддиапазонов, если они имеются в приборе). Метод прямых измерений применяют, например, для поверки или калибровки вольтметров постоянного электрического тока.

Метод косвенных измерений применяется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями либо когда косвенные измерения оказываются более точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определенной зависимостью. Искомая характеристика определяется расчетным путем. Например, при поверке (калибровке) вольтметра постоянного тока эталонным амперметром устанавливают силу тока, одновременно измеряя сопротивление. Расчетное значение напряжения сравнивают с показателями калибруемого (поверяемого) вольтметра. Метод косвенных измерений обычно применяют в установках автоматизированной поверки (калибровки).

Поверочные схемы

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталона к рабочим средствам измерения составляют поверочные схемы, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, рядных эталонов и рабочих средств измерений.

Поверочные схемы разделяют на государственные и локальные. Государственные поверочные схемы распространяются на все средства измерений данного вида, применяемые в стране.

Локальные поверочные схемы предназначены для метрологических органов министерств, распространяются они также и на средства измерений подчиненных предприятий. Кроме того, может составляться и локальная схема на средства измерений, используемые на конкретном предприятии. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой (рисунок 1). Государственные поверочные схемы разрабатываются научно-исследовательскими институтами Госстандарта РФ, держателями государственных эталонов.

В некоторых случаях бывает невозможно одним эталоном воспроизвести весь диапазон величины, поэтому в схеме может быть предусмотрено несколько первичных эталонов, которые в совокупности воспроизводят всю шкалу измерений. Например, шкала температуры от 1,5 до $1 \cdot 10^5$ К воспроизводится двумя государственными эталонами.

Государственные поверочные схемы утверждаются Госстандартом РФ, а локальные – ведомственными метрологическими службами или руководством предприятия.

Рассмотрим в общем виде содержание государственной поверочной схемы.

Наименование эталонов и рабочих средств измерений обычно располагают в прямоугольниках (для государственного эталона прямоугольник двухконтурный). Здесь же указывают метрологические характеристики для данной ступени схемы. В нижней части схемы расположены рабочие средства измерений, которые в зависимости от их степени точности (т.е. погрешности измерений) подразделяют на пять категорий: наивысшей точности; высшей точности; высокой точности; средней точности; низшей точности. Наивысшая точность обычно соизмерима со степенью погрешности средства измерения государственного эталона. В каждой ступени поверочной схемы регламентируется порядок (метод) передачи размера единицы. Наименования методов поверки (калибровки)

располагаются в овалах, в которых также указывается допускаемая погрешность метода поверки (калибровки). Основным показателем достоверности передачи размера единицы величины является соотношение погрешностей средств измерений между вышестоящей и нижестоящей ступенями поверочной схемы. В идеале это соотношение должно быть 1:10, однако на практике достичь его не удастся, и минимально допустимым соотношением принято считать 1:3. Чем больше величина этого соотношения, тем меньше уверенность в достоверности показаний измерительного прибора.

При разработке конкретных поверочных схем необходимо следовать приведенной схеме. Строгое соблюдение поверочных схем и своевременная поверка разрядных эталонов – необходимые условия для передачи достоверных размеров единиц измерения рабочим средствам измерений.

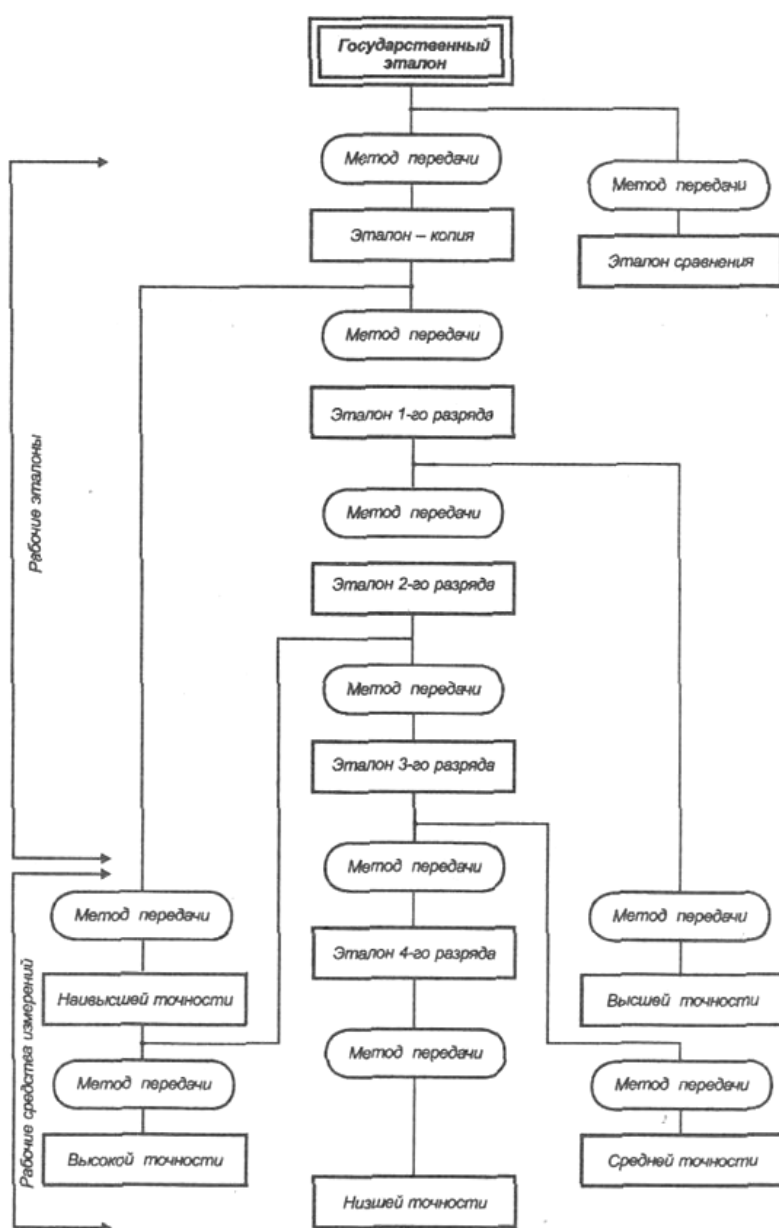


Рис. 2.1. Общий вид государственной поверочной схемы

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Знакомство с типовой схемой поверки измерительных средств

1. Изучить пояснения к работе.
2. Перенести в отчет обобщенную схему государственной поверки средств измерения.
3. Дать пояснения к данной поверочной схеме
4. Описать методы передачи на этапе эталонов и на этапе рабочих средств измерений
5. Описать методы измерений, применяемых при поверочных работах.
6. Оформить отчет.

2.2.2. Поверка генератора низкой частоты

2.1 Внешний осмотр.

При проведении внешнего осмотра должно быть проверено:

- отсутствие механических повреждений;
- наличие и прочность крепления органов управления, плавность вращения ручек, наличие предохранителей;
- состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировки
- отсутствие отсоединившихся или слабо закрепленных элементов схемы (определяется на слух при наклоне генератора).

2.2 Определение погрешности установки частоты

2.2.1. Подключить ко входу генератора частотомер ЧЗ-57

2.2.2. Установить на генераторе напряжение в соответствии с вариантами задания.

2.2.3. Измерить частоту генератора к контрольным точкам каждого поддиапазона на числовых отметках 20 и 200.

2.2.4. Определить основную погрешность по частоте в диапазоне 20 Гц – 20000 Гц по формуле

$$\pm \left(1 + \frac{50}{F_H} \right) \%$$

где F_H – измеренная частота, Гц.

В диапазоне от 20 до 200 кГц погрешность должна составлять $\pm 1,5\%$.

Данные занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Частота, Гц	I поддиапазон		II поддиапазон		III поддиапазон		IV поддиапазон	
	20	200	20	200	20	200	20	200
Измеренное значение частоты, Гц								
Погрешность, %								

2.3. Определение искажений сигнала.

2.3.1. Подключите к выходу генератора измеритель нелинейных искажений С6-8.

2.3.2. Произведите измерение коэффициента гармоник измерителем нелинейных искажений. При этом необходимо следить за тем, чтобы частота генератора соответствовала частотному диапазону измерителя. Измеритель имеет встроенную систему АРУ, поэтому необходимо дождаться устойчивого показания прибора. Фиксировать результат можно в том случае, когда частота на отсчетном устройстве измерителя совпадет с частотой генератора.

2.3.3. Полученные данные занесите в таблицу 2.2

Таблица 2.2

Установленная частота	20 Гц	60 Гц	20 кГц	100 кГц	200 кГц
Измеренное значение Коэффициента гармоник, %					

Коэффициент гармоник не должен превышать:

- 0,1 % в диапазоне частот от 20 Гц до 70 Гц;
- 0,005% в диапазоне от 70 до 200 Гц;
- 0,02% в диапазоне 200 Гц – 20 КГц;
- 0,2% в диапазоне 20 – 200 кГц.

2.4. Определение погрешности ослабления аттенюатора

2.4.1. Подключите к выходу генератора вольтметр.

2.4.2. Измерьте напряжение U_1 на входе аттенюатора (U_1), для чего аттенюатор установите в положение нулевого затухания (ручку ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ в положение 10 В).

2.4.3. Измерьте напряжение U_2 для ступеней ослабления аттенюатора 10, 20, 30, 40, 50, 60 дБ, что соответствует положениям ручки ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ генератора 3 В; 1 В; 300 мВ; 100 мВ; 30 мВ и 10 мВ.

2.4.4. Определите ослабление аттенюатора.

2.4.5. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 2.3

Таблица 2.3

Установленное ослабление, дБ	0	10	20	30	40	50	60
Значение U_2 , В							
Значение U_1 , В							
Измеренное ослабление, дБ							
Погрешность ослабления, дБ							

2.4.5. Определите погрешность ослабления аттенюатора. Погрешность ослабления не должна превышать $\pm 0,5$ дБ.

2.5. Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод по поверке генератора ГЗ-102.

Содержание отчета.

1. Типовая схема поверки
2. Пояснения к указанной схеме

3. Указание методов передачи физических величин
4. Указание и характеристика методов измерений при проведении поверочных работ.
5. Результаты внешнего осмотра
6. Результаты поверки установки частоты
7. Результаты поверки искажений
8. Результаты поверки ослабления сигнала.

Контрольные вопросы.

1. При каких условиях должна проводиться поверка генератора?
2. Какие параметры генератора подлежат поверке?
3. Какие документы оформляют при поверке генератора?
4. Какое метрологическое обеспечение необходимо для проведения поверки генератора?
5. Дайте пояснение государственной поверочной схемы.

3. Лабораторная работа

«ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ»

Цель работы: получение навыков в проведении поверки аналогового и цифрового вольтметров; оформление результатов поверки.

3.1. Теоретические сведения

Милливольтметры серии ВЗ-38 предназначены для измерения напряжения переменного тока от 0.1 мВ до 300 В в диапазоне частот от 20 Гц до 5 МГц.

Шкалы приборов проградуированы в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения и децибелах.

В приборах ВЗ-38Б и ВЗ-38В имеется преобразователь среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы в пропорциональное постоянное напряжение.

Таблица 3.1

Технические характеристики милливольтметров серии ВЗ-38

Характеристики	Параметры		Значения			
			ВЗ-38	ВЗ-38А	ВЗ-38Б	ВЗ-38В
Переменное напряжение	Диапазон напряжений		100 мкВ... 300 В			
	Предел измерения		1 мВ/.../300 В (12 поддиапазонов, шаг 1-3)			
	Диапазон частот	Нормальная область	45 Гц... 1 МГц			
		Рабочие области	20 Гц... 45 Гц			
			1 МГц... 3 МГц			
			3 МГц... 5 МГц			
	Погрешность измерения, не более	В диапазонах				
		45 Гц... 1 МГц	2.5... 4%	2.5%		± 2% (для гармонических колебаний)
		20 Гц... 45 Гц	4%			
		1 МГц... 3 МГц	4%			
		3 МГц... 5 МГц	6%			
	Частота градуировки					1 кГц
Входной импеданс	На пределах					
	1 мВ/.../300 мВ	5 МОм / 30 пФ		4 МОм / 25 пФ		
	1 В/.../300 В	4 МОм / 15 пФ		5 МОм / 15 пФ		
Преобразователь напряжения ~/=	Выходное напряжение		—	—	(1000 ± 25) мВ	(1000 ± 20) мВ
	Выходное сопротивление				1 кОм ± 10%	
Широкополосный усилитель	Максимальное выходное напряжение		—	—	(100 ± 20) мВ	
Дисплей	Тип индикаторов		Стрелочный			Цифровой
	Формат индикации					3? разряда
Общие данные	Напряжение питания		220 В ± 10%, 50 Гц			
	Потребляемая мощность		10 В·А	6 В·А	5.5 В·А	
	Габаритные размеры		150? 205? 300 мм	152? 206? 275 мм	155? 209? 278 мм	
	Масса		5 кг	3.2 кг	3 кг	2.5 кг

Вольтметр цифровой универсальный В7-22А предназначен для измерения:

- а) напряжения и силы постоянного тока
- б) напряжения и силы переменного тока (измеряет средневывпрямленное, отградуирован в среднеквадратическом значении)
- в) сопротивления постоянному току.

Рабочие условия эксплуатации:

- а) окружающая температура от 263 до 313 К (от минус 10 до плюс 40° С);
- б) относительная влажность до 80% при температуре воздуха 293 К(20°С);
- в) напряжение сети 220 ±22 В частотой 50± 0,5 Гц и 220±12 Гц.

Технические данные

Прибор обеспечивает измерение напряжения, силы тока и сопротивления в нормальных условиях в соответствии с данными, приведенные в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Измеряемая величина		Предел измерения, В, мА, кОм	Предел допускаемой основной погрешности, %
Напряжение постоянного тока		0,2; 2; 20; 200	$\pm (0,15 + 0,2 \text{ Упр}/\text{Ux})$
		1000х	$\pm (0,15 + 0,4 \text{ Упр}/\text{Ux})$
Сила постоянного тока		0,2 ; 2; 20; 200	$\pm (0,25 + 0,25 \text{ Iпр}/\text{Ix})$
		2000	$\pm (0,25 + 0,3 \text{ Iпр}/\text{Ix})$
Сопротивление постоянно- му току		0,2; 2; 20; 200	$\pm (0,3 + 0,25 \text{ Rпр}/\text{Rx})$
		2000	$\pm (0,3 + 0,3 \text{ Rпр}/\text{Rx})$
Напряжение переменного тока хх частоты	от 0,045 до 20 кГц	0,2; 2	$\pm (0,5 + 0,5 \text{ Упр}/\text{Ux})$
	От 0,045 до 10 кГц	20; 200	$\pm (0,6 + 0,6 \text{ Упр}/\text{Ux})$
		300х	$\pm (0,6 + 4 \text{ Упр}/\text{Ux})$
	Свыше 10 до 20 кГц	20; 200	$\pm (1,2 + 0,5 \text{ Упр}/\text{Ux})$
	Свыше 20 до 100 кГц	0,2; 2	$\pm (4 + 0,5 \text{ Упр}/\text{Ux})$
Сила переменного тока частоты хх	От 0,045 до 10 кГц	0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm (0,6 + 0,6 \text{ Iпр}/\text{Ix})$

X- на переключателе пределов нажата кнопка 2000.

XX- гармонической формы с искажениями не более 0,5%

В таблице 4.2:

Упр, Iпр, Rпр – предел измерения напряжения, силы тока, сопротивления постоянному току;

Ux, Ix, Rx – показание прибора или номинальное значение меры напряжения, силы тока, сопротивления постоянному току (при поверке).

Дополнительная погрешность измерения (изменение показаний) при изменении температуры воздуха от нормальных до предельных значений в рабочем диапазоне температур не превышает половины основной погрешности на каждые 10К.

Прибор обеспечивает ослабление внешних помех:

- а) нормального вида, представляющих собой напряжение с частотой питающей сети, приложенное между 2-м и общим входами, не менее 40 дБ.

Напряжение помехи при этом не превышает 0,2 предела измерения;

б) общего вида, представляющих собой напряжение с частотой питающей сети, приложенное ко 2-му и общему входам прибора относительно корпуса (при несимметрии входа 1кОм) , не менее 52 дБ .

Напряжение помехи при этом не превышает 250 В.

Выбор пределов измерения, установка нуля – ручные, определение и индикация полярности и перегрузки по входам- автоматические.

Время установления показаний не превышает при измерении:

а) напряжения и силы постоянного тока $x - 2с$;

б) напряжения и силы переменного тока $x - 5с$;

в) сопротивление постоянному току на пределе 2000 кОм – 3с,
на остальных пределах -2с.

Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных ТУ, по истечении времени установления рабочего режима равного 15 мин.

Прибор сохраняет свои технические характеристики в пределах норм, установленных ТУ, при питании его от сети переменного тока напряжением $220 \pm 22В$ частотой 50 Гц и содержанием гармоник до 5%, а также напряжением $220 \pm 11В$ частотой 400 \pm 12 Гц и содержанием гармоник до 5%.

3.2. Порядок выполнения работы

3.2.1. Проведение поверки аналогового вольтметра

1. Провести внешний осмотр. При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие прибора следующим требованиям:

-прибор не должен иметь механических повреждений соединительных элементов, корпуса:

- маркировки должны быть четкими;

- переключатели должны обеспечивать четкую фиксацию.

2. Определить основную погрешность прибора на частоте 1 кГц в поддиапазонах 10 мВ – 10 В путем сравнения показаний испытуемого прибора с показаниями образцового прибора (в качестве образцового прибора использовать вольтметр В7-38). Данные измерений занесите в таблицу 3.1. В качестве источника сигнала использовать ГЗ-102.

Таблица 3.1

Установленное напряжение	Измеренное напряжение В3-38	Измеренное напряжение В7-38
10 мВ		
30 мВ		
100 мВ		
300 мВ		
1 В		
3 В		
8В		

Основная погрешность определяется по формуле

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{X_n},$$

где X_n — нормирующее значение, которое зависит от типа шкалы измерительного прибора и определяется по его градуировке:

если шкала прибора односторонняя, то есть нижний предел измерений равен нулю, то X_n определяется равным верхнему пределу измерений;

если шкала прибора двухсторонняя, то нормирующее значение равно ширине диапазона измерений прибора.

Приведённая погрешность является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах

Основная погрешность не должна превышать значений, указанных в таблице 1

3. Определить погрешность и изменение показаний прибора в рабочих областях частот. Произведите измерения выходного напряжения генератора ГЗ-102 на частотах 45 Гц и 1 кГц и напряжения генератора Г4-158 на частотах 1, 3 и 5 МГц.

Данные измерений занесите в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Установленное значение напряжения	Измеренное напряжение на частотах ВЗ-38/В7-22				
	45 Гц	1 кГц	1 МГц	3 МГц	5 МГц
100 мВ					
300 мВ					
1В					
2В					

4. Определите погрешность в рабочем диапазоне частот. Основная погрешность не должна превышать значений, указанных в таблице 1

5. Оформите протокол поверки вольтметра

3.2.2. Выполнение поверки цифрового вольтметра

1. Ознакомится с технической характеристикой прибора.

2. Провести внешний осмотр. При проведении внешнего осмотра должно быть проверено:

-отсутствие механических повреждений, влияющих на точность показания прибора;

- наличие и прочность крепления органов управления;

- чистота гнезд и клемм;

- состояние соединительных проводов;

- состояние лакокрасочных покрытий и соединительных проводов.

Приборы, имеющие дефект бракуются и направляются в ремонт.

3. Определить основную погрешность измерения напряжения переменного тока. Для чего соберите схему поверки в соответствии с рисунком 1. Выберите образцовый прибор.

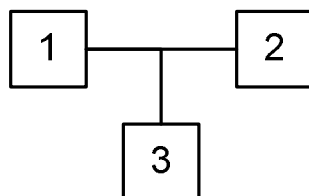


Рис.3.1. Схема поверки вольтметра при использовании образцового вольтметра
1 – генератор ГЗ-102, 2 - образцовый вольтметр; 3 - проверяемый вольтметр

4. Измерьте напряжения в контролируемых точках в соответствии с таблицей 3.3 образцовым и проверяемым приборами.

Таблица 3.3

Предел измерения, В	Проверяемая точка, В	Предельные значения допустимой основной погрешности, В ± единицах младшего разряда на частоте измерений			
		45Гц	1 кГц	20 кГц	100 кГц
0,2	0,1	15	15	15	52
0,2	0,2	20	20	20	86
2,0	2	20	20	20	86

Результаты измерений занесите в таблицы 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4

Результаты измерений вольтметром В7-22

Предел измерения, В	Проверяемая точка, В	Результаты измерений напряжения, В			
		45Гц	1 кГц	20 кГц	100 кГц
0,2	0,1				
0,2	0,2				
2,0	2				

Таблица 3.5

Результаты измерений вольтметром В7-38

Предел измерения, В	Проверяемая точка, В	Результаты измерений напряжения, В			
		45Гц	1 кГц	20 кГц	100 кГц
0,2	0,1				
0,2	0,2				
2,0	2				

5. Определите предельные значения основной погрешности в единицах младшего разряда, сравните с установленными значениями (таблица 1) и сделайте вывод о годности прибора.

Результаты расчетов занесите в отчет.

6. Определите относительную основную погрешность вольтметра. Относительную основную погрешность при поверке вольтметра, %, для структурной схемы, приведенной на рис. 1 рассчитывают по формуле:

$$\delta = \frac{U_n - U_o}{U_n} 100\%$$

Результаты расчетов занесите в отчет.

Результаты считаются удовлетворительными, если погрешности не превышают значений, указанных в таблице 3.3.

7. Оформите протокол поверки вольтметра.

Содержание отчета

1. Наименование работы и цель работы.
2. Назначение поверяемого прибора.
3. Результаты внешнего осмотра вольтметра.
4. Результаты измерений.
5. Расчет погрешностей вольтметра.
6. Результаты внешнего осмотра.
7. Таблицы результатов измерений.
8. Расчет погрешностей в единицах младшего разряда
9. Расчет относительных погрешностей.
10. Протокол поверки вольтметра.

Контрольные вопросы

1. Укажите основные параметры аналоговых и цифровых вольтметров.
2. Перечислите основные операции поверки аналоговых и цифровых вольтметров.
3. Что представляет собой погрешность квантования в цифровых вольтметрах.

4. Лабораторная работа

«ПРОХОЖДЕНИЕ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ»

Цель работы: исследование изменения параметров модулированного радиосигнала при прохождении их через одноконтурный и двухконтурный усилители.

4.1. Теоретические сведения

Описание лабораторного макета

Установка включает в себя: лабораторный макет – резонансный усилитель; генератор гармонических частот с встроенным амплитудным модулятором; генератор нижних частот (ГНЧ); осциллограф; генератор импульсов.

Метод анализа входных и выходных АМС основан на осциллографическом измерении их параметров. Источником модулирующих сигналов с частотой $F = \Omega / 2\pi$ является ГНЧ, сигнал с которого поступает на модулятор генератора гармонических частот и подается далее на вход резонансного усилителя. Частота F меняется в пределах полосы пропускания резонансного усилителя.

4.2. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему установки: подключить генератор гармонических частот к гнезду «ГВЧ1» и, изменяя его частоту, снять АЧХ каскада на транзисторе VT3 (выходной сигнал $U_{\text{вых1}}$ снимать с гнезда «АМ») и АЧХ двухкаскадного усилителя на транзисторах VT3 и VT5 (выходной сигнал $U_{\text{вых1}}$ снимать с гнезда «У(УЧ)»). Измерить частоты резонанса f_p и полосы пропускания $2\Delta f_{0,7}$ для каждой АЧХ. Данные занести в таблицу 4.1. Построить графики АЧХ.

Таблица 4.1

f , кГц	60	70	80	90	95	100	f_p	110	115	120	130	150	170	190
$U_{\text{вых1}}$, В														
$U_{\text{вых2}}$, В														

2. Установить частоту генератора гармонических частот равной f_p , частоту ГНЧ – $F = 3$ кГц. Подключить ГНЧ к входу «Внеш. мод.» генератора гармонических частот и установить изменением уровня выходного сигнала ГНЧ глубину модуляции $M = 0,8$. Зарисовать осциллограмму полученного АМС. Подать этот сигнал на гнездо «ГВЧ1» и убедиться в отсутствии ограничения выходного сигнала.

3. Снять зависимости $M_{1\text{вых}}(F)$ и $M_{2\text{вых}}(F)$, соответственно, на выходах «АМ» и «У(УЧ)». Глубину модуляции рассчитывать осциллографически, используя выражение

$$M = \frac{X - Y}{X + Y}.$$

Данные занести в таблицы 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2

F, кГц	0,1	0,3	0,5	0,7	1	2	3	5	7	9	11	13	15
X_1													
Y_1													
$M_{1\text{вых}}$													

Таблица 4.3

F, кГц	0,1	0,3	0,5	0,7	1	2	3	5	7	9	11	13	15
X_2													
Y_2													
$M_{2\text{вых}}$													

Зарисовать осциллограмму АМС на выходе двухкаскадного резонансного усилителя для $F = 3$ кГц. Построить в одних координатных осях зависимости $M_{1\text{вых}}(F)$ и $M_{2\text{вых}}(F)$.

4. Установить $F = \Delta f_{0,7}$, $M = 0,8$ и изменить несущую частоту до значения $f_0 = f_p + \Delta f_{0,7}$. Зарисовать выходные осциллограммы для этих расстроек. Измерить глубину модуляции «вверх» и «вниз»:

$$M_{B(H)} = \frac{X_{B(H)} - Y_{B(H)}}{X_{B(H)} + Y_{B(H)}}.$$

5. Переключить ГНЧ в режим генерирования прямоугольных импульсов и установить его частоту $F = 500$ Гц. Частоту генератора гармонических частот установить равной резонансной частоте усилителя f_p . Изменяя выходное напряжение ГНЧ, добиться на выходе генератора гармонических частот радиоимпульсного сигнала и зарисовать его осциллограмму. Подключив осциллограф к гнезду «У(УЧ)», зарисовать осциллограмму на выходе усилителя. Замерить параметры радиоимпульса (t_{cp}^+ , t_{cp}^- , t_u) осциллографически.

6. Ввести расстройку, установив несущую частоту равной $f_0 = f_p + 2\Delta f$, и зарисовать осциллограмму на выходе усилителя.

Содержание отчета.

1. Схема двухкаскадного резонансного усилителя.
2. Данные измерений и расчетов.
3. Графические зависимости и осциллограммы согласно заданию.
4. Выводы и объяснения полученных результатов.

Контрольные вопросы.

1. Запишите выражение для передаточной функции резонансного усилителя.
2. Как связаны добротность и полоса пропускания резонансного усилителя?
3. Запишите выражение для АМС с тональной модуляцией.
4. Нарисуйте совместно спектр АМС и АЧХ резонансного усилителя.
5. В чем причина уменьшения глубины модуляции на выходе резонансного усилителя (поясните графически)?
6. В чем причина возникновения нелинейных искажений огибающей АМС при наличии расстройки?
7. В каком месте тракта приемника выделяется огибающая АМС?
8. Чем определяется полоса пропускания усилителя АМС?
9. В чем состоит метод комплексной огибающей при анализе прохождения радиосигнала через резонансный усилитель?
10. Чем определяется длительность фронта радиоимпульса на выходе резонансного усилителя?
11. Какие искажения радиоимпульса возникают при расстройке колебательного контура?
12. Какие физические процессы происходят вначале, при установлении и окончании радиоимпульса при расстроенном контуре?

5. Лабораторная работа

«ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГВВ.

ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ПАРАМЕТРОВ АВТОГЕНЕРАТОРА»

Цель работы: изучение основных характеристик и работы генераторов с внешним возбуждением (ГВВ) и автогенераторов; экспериментальное измерение параметров транзисторных ГВВ и автогенератора.

5.1. Теоретические сведения

5.1.1. Описание Основного модуля лабораторной установки

Основной модуль содержит все необходимые источники питания модулей, а также генераторы низкой и высоких частот, частотомер и регулируемый источник постоянного напряжения. Внешний вид панели **Основного модуля** показан на рис. 5.1.

На рис. 5.1 цифрами красного цвета обозначены:

1. Регулятор установки **Амплитуды** сигнала «Генератора НЧ». Диапазон регулировки амплитуды от 0,1 В до 9,5 В с шагом 0,1В.
2. Регулятор установки **Частоты** сигнала «Генератора НЧ». Диапазон регулировки частоты от 0,1 кГц до 100 кГц с шагом 0,1кГц.
3. Кнопка выбора типа сигнала «Генератора НЧ». Типы генерируемых сигналов: синусоидальное (гармоническое), прямоугольное (меандр), линейно-нарастающее напряжение, линейно-спадающее напряжение, треугольное, сумма первой и второй гармоники, сумма первой и третьей гармоники.
4. Контакт **0 дБ** непосредственного выхода сигнала «Генератора НЧ».
5. Контакт \perp общей цепи (земля) модуля.
6. Контакт **-20 дБ** выхода ослабленного в 10 раз по напряжению сигнала «Генератора НЧ».
7. Многофункциональный экран. На экран выводится информация параметров «Генератора НЧ» и «Генератора ВЧ» (частота, амплитуда, вид сигнала), а также информация «Частотомера». Активация режима отображения параметров «Генератора ВЧ/НЧ» осуществляется при повороте любых регуляторов
8. (энкодеров) панелей «Генератор ВЧ» или «Генератор НЧ».
9. Регулятор установки **Амплитуды** сигнала «Генератора ВЧ». Диапазон регулировки от 0,1 В до 5 В с шагом 0,1В.
10. Регулятор установки **Частоты** сигнала «Генератора ВЧ». Диапазон регулировки от 20 кГц до 2 МГц с шагом 5 кГц.
11. Регулятор установки **Девииции частоты** частотной модуляции сигнала «Генератора ВЧ». Вид модулированного сигнала – частотная манипуляция. Диапазон регулировки девиации от 0 кГц до 40 кГц с шагом 1 кГц.
12. Контакт **0 дБ** непосредственного выхода сигнала Генератора ВЧ.
13. Контакт \perp общей цепи (земля) модуля.
14. Контакт **-20 дБ** выхода ослабленного в 10 раз по напряжению сигнала «Генератора ВЧ».

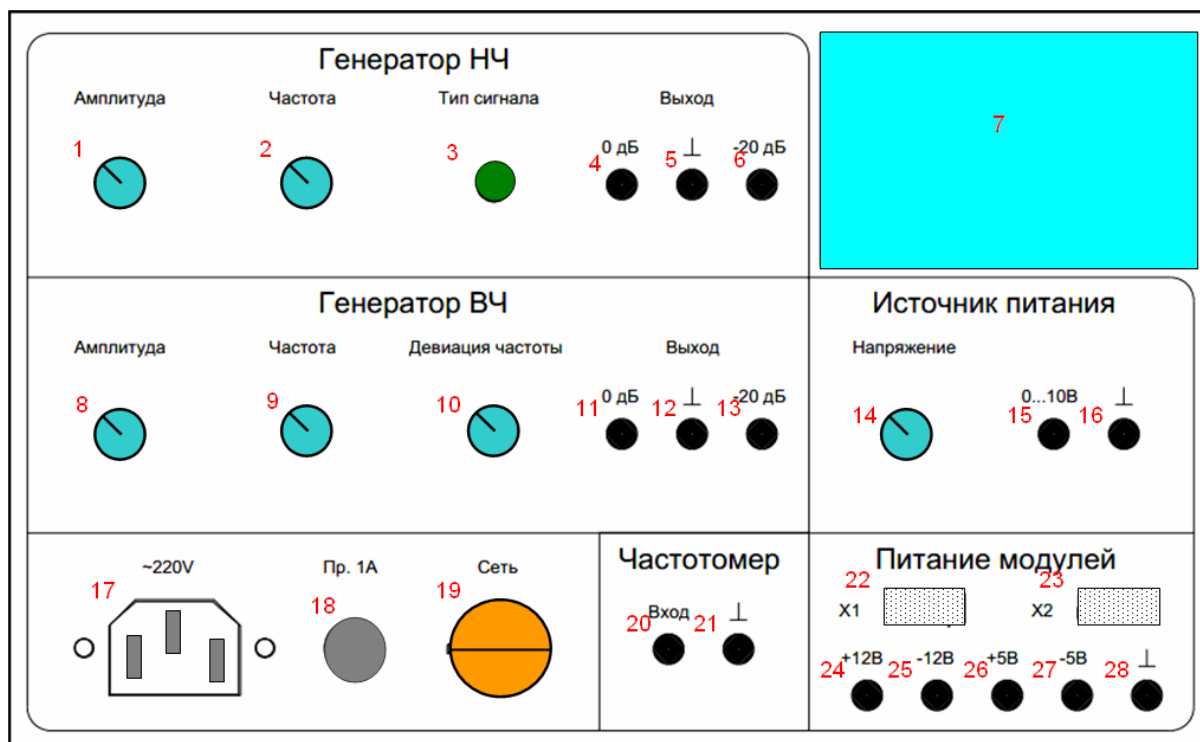


Рис. 5.1. Расположение контактов и органов управления Основного модуля лабораторной установки

15. Регулятор **Напряжение** установки величины постоянного напряжения «Источника питания».

16. Контакт **0...10 В** выхода «Источника питания».

17. Контакт \perp общей цепи (земля) модуля.

18. Разъем **~220 V** подключения электропитания установки.

19. Защитный плавкий предохранитель 1А.

20. Переключатель **Сеть** включения электропитания **Основного модуля**.

21. Сигнальный контакт входа «Частотомера» **Вход**.

22. Общий контакт \perp входа «Частотомера».

23. Разъем **X1** подключения шлейфа электропитания сменных модулей.

24. Разъем **X2** подключения шлейфа электропитания сменных модулей.

25. Контакт **+12 В** выхода источника «Питание модулей».

26. Контакт **-12 В** выхода источника «Питание модулей».

27. Контакт **+5 В** выхода источника «Питание модулей».

28. Контакт **-5 В** выхода источника «Питание модулей».

29. Контакт \perp общей цепи (земля) **Основного модуля**.

5.1.2. Описание модуля «Радиочастотные генераторы/фильтры»

В лабораторной работе используется модуль **Радиочастотные генераторы / фильтры**. Модуль содержит функционально законченные узлы автогенераторов Колпитца и Хартли, а также два активных фильтра второго порядка: нижних частот и верхних частот. Система переключателей позволяет исследовать влияние задающих элементов схемы на ее электрические параметры.

Внешний вид панели модуля **Радиочастотные генераторы / фильтры** показан

на рис. 5.2. На рис. 5.2. цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа подачи питающих напряжений модуля.
2. Индикаторы контроля питающих напряжений модуля.
3. Контакт общей цепи (земля) модуля.
4. Контакт **X1** цепи базы генератора Колпица.
5. Переключатель установки емкости конденсатора **C3**. Верхнее положение переключателя «1» соответствует емкости 100 нФ, нижнее положение «2» - емкости 10 нФ.
6. Переключатель установки емкости конденсатора **C4**. Верхнее положение переключателя «1» соответствует емкости 100 нФ, нижнее положение «2» - емкости 10 нФ.
7. Переключатель установки индуктивности **L1**. Верхнее положение переключателя «1» соответствует индуктивности 47 мкГн, нижнее положение «2» - индуктивности 10 мкГн.
8. Контакт коллекторной цепи (выход) генератора Колпица.
9. Контакт общей цепи (земля) модуля.
10. Контакт цепи обратной связи генератора Колпица.
11. Контакт **X7** входа Фильтра низких частот.
12. Контакт общей цепи (земля) модуля.

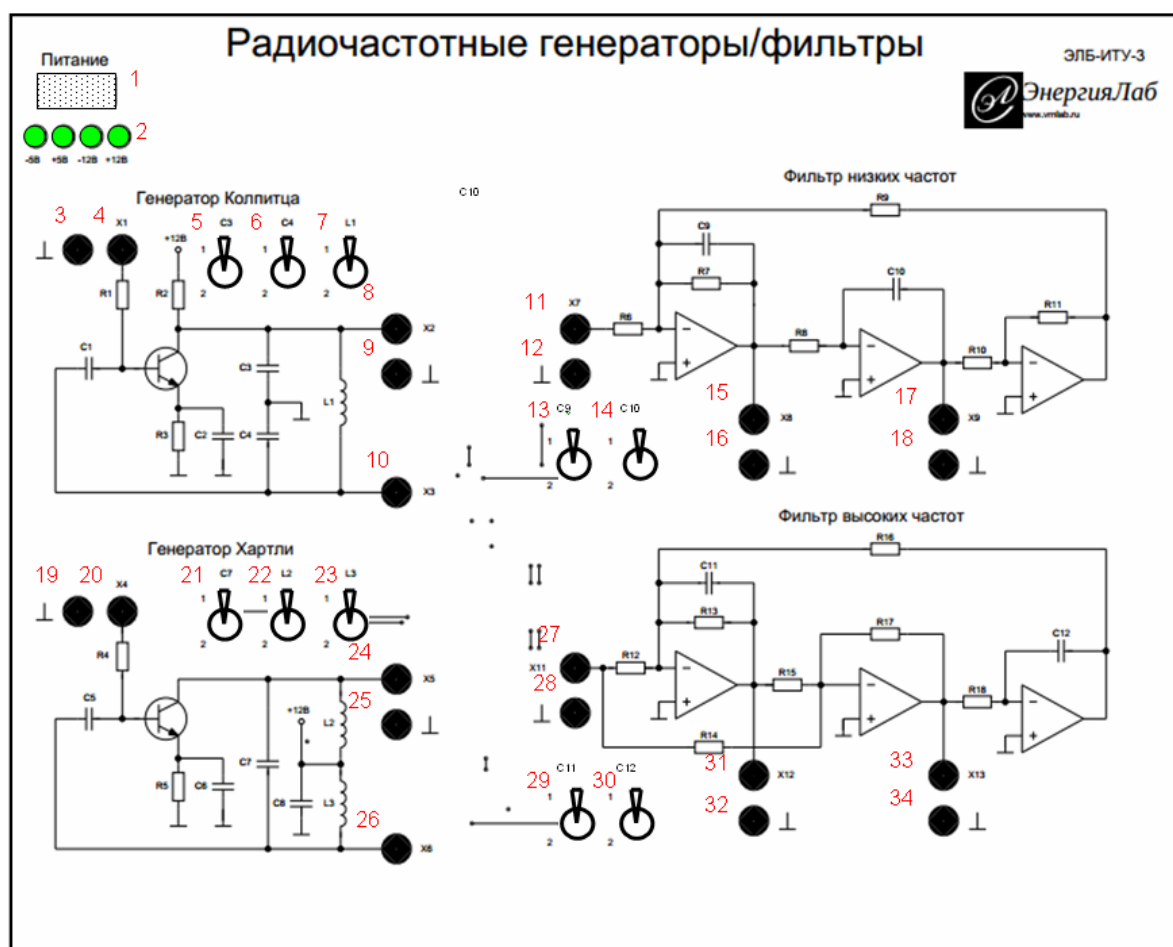


Рис. 5.2. Расположение контактов и органов управления модуля
«Радиочастотные генераторы/фильтры»

13. Переключатель установки емкости конденсатора C9. Верхнее положение переключателя «1» соответствует емкости 1нФ, нижнее положение «2» – емкости 10 нФ.

14. Переключатель установки емкости конденсатора C10. Верхнее положение переключателя «1» соответствует емкости 1нФ, нижнее – «2» – 10 нФ.

15. Контакт X8 цепи выхода Фильтра низких частот.

16. Контакт общей цепи (земля) модуля.

17. Контакт X9 цепи обратной связи Фильтра нижних частот.

18. Контакт общей цепи (земля) модуля.

19. Контакт общей цепи (земля) модуля.

20. Контакт X4 цепи базы генератора Хартли.

21. Переключатель установки емкости конденсатора C7. Верхнее положение переключателя «1» соответствует емкости 100 нФ, нижнее положение «2» – емкости 10 нФ.

22. Переключатель установки индуктивности L2.

23. Переключатель установки индуктивности L3.

24. Контакт X5 цепи коллектора (выход) генератора Хартли.

25. Контакт общей цепи (земля) модуля.

26. Контакт X6 цепи обратной связи генератора Хартли.

27. Контакт X11 входа Фильтра высоких частот.

28. Контакт общей цепи (земля) модуля.

29. Переключатель установки емкости конденсатора C11. Верхнее положение переключателя «1» соответствует емкости 1 нФ, нижнее положение «2» – емкости 10 нФ.

30. Переключатель установки емкости конденсатора C13. Верхнее положение переключателя «1» соответствует емкости 1 нФ, нижнее положение «2» – емкости 10 нФ.

31. Контакт X12 цепи выхода Фильтра высоких частот.

32. Контакт общей цепи (земля) модуля.

33. Контакт X13 цепи обратной связи Фильтра высоких частот.

34. Контакт общей цепи (земля) модуля.

5.2. Порядок выполнения работы

5.2.1. Исследование характеристик транзисторного ГВВ

1. Сетевым шнуром соединить контакт ~220V (17 рис. 5.1) Основного модуля с сетью 220 В частотой 50 Гц.

2. Используя шлейф, соединить разъем X1 (22 рис. 5.1) Основного модуля с разъемом Питание (1 рис. 5.1) модуля Модуляторы / Демодуляторы АМ / DSB-SC / SSB.

3. Соединить контакт +12 В (3 рис. 5.1) постоянного стабилизированного напряжения питания с контактом X1 (4 рис. 5.1) цепи питания транзисторного каскада панели «Усилитель на биполярном транзисторе».

4. Перевести переключатель **S1** (6 рис. 5.1) панели «Усилитель на биполярном транзисторе» в положение «2», соответствующее подключению резонансной нагрузки в коллектор транзистора.
5. Подключить внешний генератор сигналов к контактам **X2** (7 рис. 5.1)
6. и \perp (8 рис. 5.1) панели «Усилитель на биполярном транзисторе».
7. Установить параметры сигнала внешнего генератора: амплитуда 2 В, частота 150 кГц, смещение 1,3 В.
8. Подключить осциллограф к контактам **X3** и \perp панели «Усилитель на биполярном транзисторе».
9. Включить электропитание установки, установив в верхнее положение переключатель **Сеть Основного модуля**.
10. Изменяя частоту сигнала внешнего генератора, определить по максимуму выходного сигнала на осциллографе резонансную частоту F_p транзисторного ГВВ. Записать F_p .
11. При частоте внешнего генератора, равной F_p , снять колебательную характеристику $U_{1мк} = f(U_{мб})$ ГВВ в режиме класса А ($\theta = 180^\circ$). Для этого установить напряжение смещения $E_{1б} = 1,3$ В и, изменяя амплитуду напряжения возбуждения $U_{мб}$, измерить напряжение $U_{1мк}$ сигнала на выходе каскада. Экспериментальные данные занести в таблицу 5.1.
12. Снять колебательную характеристику $U_{2мк} = f(U_{мб})$ ГВВ в режиме класса В ($\theta = 90^\circ$), установив напряжение смещения $E_{2б} = 0,65$ В. Экспериментальные данные занести в таблицу 5.1.
13. Снять колебательную характеристику $U_{3мк} = f(U_{мб})$ ГВВ в режиме класса С ($\theta \approx 60^\circ$), установив напряжение смещения $E_{3б} = 0$ В. Экспериментальные данные занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Колебательные характеристики ГВВ в различных режимах работы

[illegible]

14. Построить полученные колебательные характеристики ГВВ в одних координатных осях.
15. Снять АЧХ $U_{mK} = f(F)$ ГВВ при напряжениях смещения $E_{1Б}$, $E_{2Б}$, $E_{3Б}$
16. и величине $U_{mБ} = 2$ В. Данные занести в таблицу 5.2. Построить графики АЧХ. Определить частоты среза и полосу пропускания в каждом случае.

Таблица 5.2

Амплитудно-частотные характеристики ГВВ в различных режимах работы

[illegible]

17. Построить полученные АЧХ ГВВ в одних координатных осях.
18. С помощью внешнего генератора установить частоту входного сигнала равной $F_0 = F_p$ и амплитуду – $U_{mБ} = 2$ В.
19. Изменяя с помощью внешнего генератора напряжение смещения E_B , снять и построить статическую модуляционную характеристику $U_{mК} = f(E_B)$ ГВВ при базовой модуляции смещением. Экспериментальные данные занести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

**Статические модуляционные характеристики ГВВ
при базовой модуляции смещением**

E_B , В	– 1,5	– 1	– 0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$U_{mК}$, В											

20. Разъединить контакты **+12 В** (3 рис. 5.1) и **X1** (4 рис. 5.1) панели «Усилитель на биполярном транзисторе».
21. Соединить контакт \perp (16 рис. 5.1) панели «Источник питания» с контактом \perp (5 рис. 5.1) панели «Усилитель на биполярном транзисторе».
22. Соединить контакт **0...10 В** (15 рис. 6.1) панели «Источник питания» с контактом **X1** панели «Усилитель на биполярном транзисторе».
23. С помощью внешнего генератора установить $U_{mБ} = 1,5$ В, $E_B = 0,65$ В.
24. Изменяя положение регулятора **Напряжение** (14 рис. 5.1) панели «Источник питания», снять и построить статические модуляционные характеристики $U_{mК} = f(E_K)$ ГВВ при коллекторной модуляции для различных значений напряжения питания E_K . Экспериментальные данные занести в таблицу 5.4.

Таблица 5.4

Статические модуляционные характеристики ГВВ при коллекторной модуляции

E_K , В	5	6	7	8	9	10
$U_{mК}$, В						

2.2.2. Исследование ГВВ в режиме усиления радиосигналов

- Изменяя положение регулятора **Напряжение** (14 рис. 5.1) панели «Источник питания», установить напряжение питания ГВВ равным $E_K = 10$ В.
- Установить режим В работы ГВВ ($\theta = 90^\circ$). Для этого с помощью внешнего генератора установить параметры входного сигнала: $F_0 = F_p$, $U_{mБ} = 1,5$ В, $E_B = 0,65$ В.
- Подать на вход ГВВ гармонический сигнал. Занести в отчет осциллограмму и спектр сигнала на выходе ГВВ, определить его амплитуду $U_{mК1г}$.
- Изменить тип сигнала внешнего генератора на прямоугольный на вход ГВВ тональный сигнал. Занести в отчет осциллограмму и спектр сигнала на выходе ГВВ, определить его амплитуду $U_{mК1п}$.
- Подать на вход ГВВ амплитудно-модулированный (АМ) сигнал с частотой модулирующего гармонического сигнала $F_M = 3$ кГц и глубиной модуляции $M = 60\%$. Занести в отчет осциллограмму и спектр сигнала на выходе ГВВ, определить коэффициент модуляции M сигнала.

6. Повторить п.5 при частоте модулирующего гармонического сигнала на входе $F_M = 10$ кГц и глубине модуляции $M = 60\%$. Объяснить изменения в выходном сигнале.

7. Повторить п.5 при напряжении смещения на входе $E_B = 0$ В и глубине модуляции $M = 60\%$. Объяснить изменения коэффициента модуляции M в выходном сигнале.

8. При установках по п.2 подать с внешнего генератора на вход ГВВ частотно-модулированный (ЧМ) сигнал с частотой модулирующего гармонического сигнала $F_M = 10$ кГц и девиацией частоты $F_\delta = 5$ кГц. Занести в отчет осциллограмму сигнала на выходе ГВВ.

9. Повторить п.8 при частоте несущего сигнала $F_0 = 155$ кГц. Объяснить изменения в выходном сигнале.

5.2.3. Исследование генератора Колпитца

1. Сетевым шнуром соединить контакт **~220V** Основного модуля с сетью 220 В частотой 50 Гц.

2. Используя шлейф, соединить разъем **X1** Основного модуля с разъемом **Питание** (1 рис. 2.2) модуля Радиочастотные генераторы/фильтры.

3. Соединить контакт **0...10 В** панели «Источник питания» с контактом **X1** (4 рис. 2.2) панели «Генератор Колпитца».

4. Соединить первый канал осциллографа с контактом **X2** (8 рис. 5.2) панели «Генератор Колпитца», а второй – с контактом **X3** (10 рис. 5.2).

5. Установить регулятор **Напряжение** панели «Источник питания» в крайнее левое положение, а переключатели **C3, C4, L1** (5, 6, 7 рис. 5.2) панели «Генератор Колпитца» в нижнее положение («2»). Включить питание установки.

6. Поворачивая регулятор **Напряжение**, установить его в положение, соответствующее началу генерации автогенератора. Измерить минимальное напряжение смещения базовой цепи автогенератора.

7. Установить регулятор **Напряжение** в положение, соответствующее устойчивым колебаниям. Снять осциллограммы и спектры сигналов в гнездах **X2** и **X3**.

8. Последовательно устанавливая переключатели **C3, C4** и **L1** в верхнее («1») и нижнее («2») положение, занести экспериментальные данные в таблицу 2.1 и определить частоту колебаний по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \left(\frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} \right)}}. \quad (5.1)$$

9. Снять осциллограммы и спектры сигналов в гнездах **X2** и **X3** при следующих положениях переключателей **L1-C3-C4**: «2»-«2»-«1»; «1»-«2»-«2»;

10. «1»-«2»-«1».

11. Изменяя напряжение смещения U_{CM} , измерить амплитуду колебаний $U_{вых}$ на выходе автогенератора (гнездо **X2** панели «Генератор Колпитца»). Полученные данные занести в таблицу 5.6. По результатам измерений построить графические зависимости $U_{вых}(U_{CM})$.

Таблица 5.5

Экспериментальные данные исследования генератора Колпитца

Положение переключателя L1	Положение переключателя C3	Положение переключателя C4	Минимальное напряжение смещения, $U_{см}$, В	Частота генерируемых колебаний, f_0 , кГц
«2»	«2»	«2»		
«2»	«2»	«1»		
«2»	«1»	«2»		
«2»	«1»	«1»		
«1»	«2»	«2»		
«1»	«2»	«1»		
«1»	«1»	«2»		
«1»	«1»	«1»		

Таблица 5.6

Амплитуда колебаний на выходе генератора Колпитца при изменении напряжения смещения

$U_{см}$, В		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{вых}$, В	«2»-«2»-«2»											
	«2»-«1»-«1»											
	«1»-«2»-«2»											
	«1»-«1»-«1»											

2.2.4. Исследование генератора Хартли

1. Сетевым шнуром соединить контакт **~220V** Основного модуля с сетью 220 В частотой 50 Гц.

2. Используя шлейф, соединить разъем **X1** панели «Питание модулей» Основного модуля с разъемом Питание (**1** рис. 5.2) модуля Радиочастотные генераторы/фильтры.

3. Соединить контакт **0...10 В** панели «Источник питания» с контактом **X4** (**20** рис. 5.2) панели «Генератор Хартли».

4. Соединить первый канал осциллографа с контактом **X5** (**24** рис. 5.2) панели «Генератор Хартли», а второй канал осциллографа – с контактом **X6**.

5. Установить регулятор **Напряжение** панели «Источник питания» в крайнее левое положение, а переключатели **C7**, **L2**, **L3** (**21**, **22**, **23** рис. 5.2) панели «Генератор Хартли» в нижнее положение. Включить электропитание установки.

6. Поворачивая регулятор **Напряжение**, установить его в положение, соответствующее началу генерации автогенератора. Измерить минимальное напряжение смещения базовой цепи автогенератора.

7. Установить регулятор **Напряжение** в положение, соответствующее устойчивой осциллограмме колебаний. Снять осциллограммы и спектры сигналов в гнездах **X5** и **X6**.

8. Последовательно устанавливая переключатели **C7**, **L2** и **L3** в верхнее («1») и нижнее («2») положение, занести экспериментальные данные в таблицу 5.7 и определить частоту колебаний по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_7 \cdot (L_2 + L_3)}}. \quad (5.2)$$

9. Снять осциллограммы и спектры сигналов в гнездах **X2** и **X3** при следующих положениях переключателей **C7-L2-L3**: «2»-«2»-«1»; «2»-«1»-«2»;

10. «2»-«1»-«1»; «1»-«1»-«1».

Таблица 5.7

Экспериментальные данные исследования генератора Хартли

Положение переключателя C7	Положение переключателя L2	Положение переключателя L3	Минимальное напряжение смещения, $U_{см}$, В	Частота генерируемых колебаний, f_0 , кГц
«2»	«2»	«2»		
«2»	«2»	«1»		
«2»	«1»	«2»		
«2»	«1»	«1»		
«1»	«2»	«2»		
«1»	«2»	«1»		
«1»	«1»	«2»		
«1»	«1»	«1»		

Содержание отчета.

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме работы.
3. Принципиальная схема исследуемого транзисторного генератора
4. с внешним возбуждением (ГВВ) и автогенератора.
5. Результаты измерений, таблицы, осциллограммы и графические зависимости согласно заданию.
6. Выводы.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение и приведите структуру генератора с внешним возбуждением (ГВВ).
2. Приведите принципиальную схему транзисторного ГВВ. Поясните принцип работы схемы и назначение входящих в нее элементов.
3. Приведите осциллограмму и аналитическое выражение для тока коллектора транзисторного ГВВ.
4. Как определить величину постоянной составляющей коллекторного тока и амплитуду n -й гармоники, если известен угол отсечки?
5. Приведите выражение для проходной ВАХ транзистора.
6. Напишите формулу баланса мощностей для выходной цепи ГВВ.

7. Напишите выражения баланса мощностей для входной цепи ГВВ.
8. Как изменяется КПД ГВВ при изменении угла отсечки?
9. Поясните назначение цепей автосмещения в схемах ГВВ.
10. Дайте определение и графическое пояснение динамическим характеристикам ГВВ.
11. Как изменяются динамические характеристики при изменении угла отсечки?
12. Назовите основные режимы работы ГВВ с точки зрения напряженности. Приведите динамические характеристики в различных режимах работы.
13. Дайте определение и приведите нагрузочные характеристики ГВВ.
14. Какой режим работы ГВВ называется оптимальным?
15. Приведите выражение для КПД нагрузочного колебательного контура.
16. Включение активного прибора в индуктивную ветвь контура: схема, достоинства и недостатки.
17. Включение активного прибора в емкостную ветвь контура: схема, достоинства и недостатки.
18. Использование трансформирующей П-образной цепи в схеме выхода.
19. Какое влияние на режим работы ГВВ оказывает изменение амплитуды напряжения возбуждения?
20. Какое влияние на режим работы ГВВ оказывает изменение напряжения смещения?
21. Какое влияние на режим работы ГВВ оказывает изменение напряжения питания?
22. Каково влияние настройки колебательного контура в нагрузочной цепи ГВВ на режим его работы?
23. Как изменяется коэффициент усиления ГВВ по мощности с ростом частоты? В чем причина такого изменения?
24. Каков характер входного сопротивления транзистора?
25. Назовите основные требования к цепям согласования (ЦС) ГВВ.
26. Приведите схемы Г-образных цепей согласования, формулы для расчета и назовите их особенности.
27. Приведите схему П-образной цепи согласования, формулы для расчета и назовите ее особенности.
28. Что такое коэффициент фильтрации? Чему равен коэффициент фильтрации для Г-образной и П-образной ЦС?
29. Сложение мощностей ГВВ. Параллельное включение электронных приборов.
30. Поясните назначение элементов и принцип работы схемы параллельного включения электронных приборов с отдельными ЦС.
31. Двухтактное включение электронных приборов.
32. Принцип сложения мощностей в мостовом устройстве.
33. Синфазные мостовые схемы усилителей мощности.
34. Приведите схему квадратного синфазного моста-сумматора на четвертьволновых отрезках микрополосковых линий (МПЛ).
35. Приведите схему квадратного моста-сумматора на МПЛ.
36. Назовите назначение и принцип работы автогенератора (АГ), приведите

те его эквивалентную схему.

37. Приведите выражения и поясните условия баланса амплитуд и фаз АГ.
38. Назовите условие самовозбуждения автогенератора.
39. Назовите и охарактеризуйте режимы самовозбуждения автогенератора.
40. Приведите обобщенную трехточечную схему автогенератора. Назовите условия возникновения автоколебаний в ней.
41. Приведите обобщенные схемы автогенераторов, построенные по схеме индуктивной и емкостной трехточки.
42. Приведите принципиальную схему индуктивной трехточки.
43. Приведите принципиальную схему емкостной трехточки.
44. Приведите принципиальную схему автогенератора с электронной перестройкой частоты с помощью варикапа.
45. Назовите причины низкой стабильности частоты автогенераторов и меры ее повышения.
46. Приведите эквивалентную схему и параметры кварцевых резонаторов.
47. Приведите и поясните частотные характеристики кварцевого резонатора.
48. Приведите осцилляторную схему кварцевого автогенератора.
49. Приведите фильтровую схему кварцевого автогенератора.
50. Приведите принципиальную схему генератора Колпитца.
51. Приведите принципиальную схему генератора Хартли.
52. Объясните полученные в работе графические зависимости и осциллограммы.

6. Лабораторная работа

«ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АМПЛИТУДНОГО И ЧАСТОТНОГО МОДУЛЯТОРА»

Цель работы: изучение основных методов формирования амплитудно-модулированного (АМ) и частотномодулированного (ЧМ) сигналов и практическое исследование амплитудных и частотных модуляторов.

6.1. Теоретические сведения

6.1.1. Описание модуля «Модуляторы / Демодуляторы АМ / DSB-SC / SSB»

Модуль содержит функционально-законченные узлы и блоки, предназначенные для исследования модуляции и демодуляции сигналов с амплитудной модуляцией (amplitude modulation, АМ), однополосной модуляцией (single-sideband, SSB), амплитудной модуляцией с подавленной несущей, называемой также сигналом с двумя боковыми полосами или балансной модуляцией (double-sideband suppressed-carrier, DSB-SC). Внешний вид панели модуля **Модуляторы / Демодуляторы АМ/DSB-SC/SSB** показан на рис. 6.1.

На рис. 6.1 цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа подачи питающих напряжений модуля.
2. Индикаторы контроля питающих напряжений модуля.
3. Контакт **+12 В** постоянного стабилизированного напряжения питания.
4. Контакт **X1** цепи питания транзисторного каскада.
5. Контакт общей цепи (земля) модуля.
6. Переключатель **S1** коммутации вида нагрузки транзисторного каскада. В левом положении «1» нагрузкой каскада является резистор (активная нагрузка), в правом положении «2» – параллельный контур (резонансная нагрузка).
7. Контакт **X2** цепи базы транзисторного каскада.
8. Контакт общей цепи (земля) модуля.
9. Линейка (группа) контактов общей цепи (земля).
10. Контакт **X15** первого входа аналогового умножителя.
11. Контакт **X16** второго входа аналогового умножителя.
12. Контакт **X17** выхода аналогового умножителя.
13. Контакт общей цепи (земля) модуля.
14. Контакт **X18** первого входа аналогового умножителя.
15. Контакт **X19** второго входа аналогового умножителя.
16. Контакт **X20** выхода аналогового умножителя.
17. Контакт общей цепи (земля) модуля.
18. Контакт **X21** первого входа аналогового сумматора.
19. Контакт **X22** второго входа аналогового сумматора.
20. Контакт **X23** третьего входа аналогового сумматора.
21. Контакт **X24** выхода аналогового сумматора.
22. Контакт общей цепи (земля) модуля.

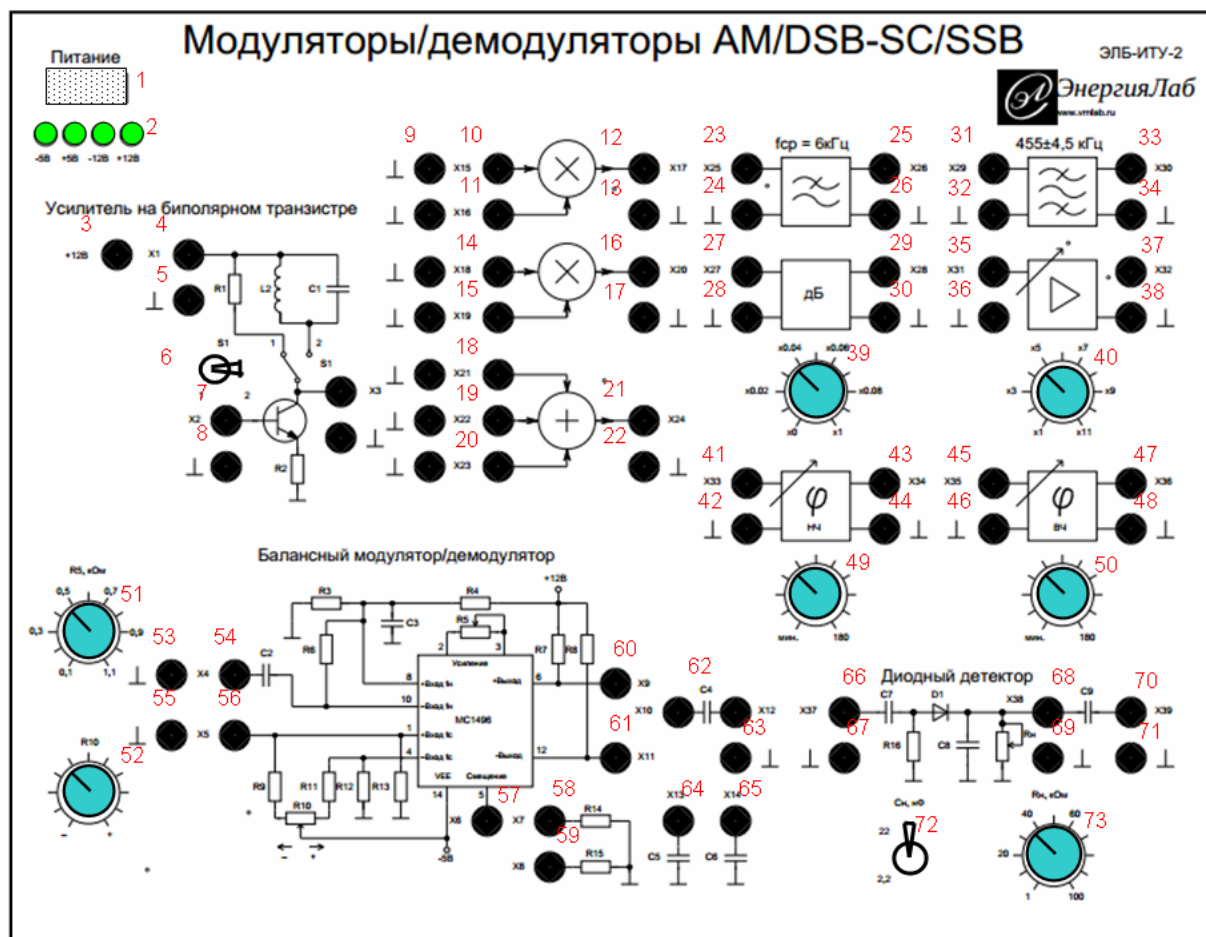


Рис. 6.1. Расположение контактов и органов управления модуля

«Модуляторы/Демодуляторы AM/DSB-SC/SSB»

- 23. Контакт **X25** контакт входа фильтра низких частот (ФНЧ).
- 24. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 25. Контакт **X26** выхода фильтра низких частот (ФНЧ).
- 26. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 27. Контакт **X27** входа управляемого аттенюатора.
- 28. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 29. Контакт **X28** выхода управляемого аттенюатора.
- 30. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 31. Контакт **X29** входа кварцевого полосового фильтра (ПФ).
- 32. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 33. Контакт **X30** выхода кварцевого полосового фильтра (ПФ).
- 34. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 35. Контакт **X31** входа управляемого усилителя.
- 36. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 37. Контакт **X32** выхода управляемого усилителя.
- 38. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 39. Регулятор установки уровня ослабления управляемого аттенюатора.
- 40. Регулятор установки коэффициента усиления управляемого усилителя.
- 41. Контакт **X33** входа управляемого низкочастотного фазовращателя.

- 42. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 43. Контакт **X34** выхода управляемого низкочастотного фазовращателя.
- 44. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 45. Контакт **X35** входа управляемого высокочастотного фазовращателя.
- 46. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 47. Контакт **X36** выхода управляемого высокочастотного фазовращателя.
- 48. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 49. Регулятор установки сдвига фазы низкочастотного фазовращателя.
- 50. Регулятор установки сдвига фазы высокочастотного фазовращателя.
- 51. Регулятор **R5** управления усилением балансного модулятора / демодулятора.
- 52. Регулятор **R10** установки смещения балансного модулятора / демодулятора.
- 53. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 54. Контакт **X4** входа сигнала несущей частоты балансного модулятора / демодулятора.
- 55. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 56. Контакт **X5** входа низкочастотного информационного сигнала балансного модулятора / демодулятора.
- 57. Контакт **X6** контроля напряжения смещения балансного модулятора / демодулятора.
- 58. Контакт **X7** резистора **R14**.
- 59. Контакт **X8** резистора **R15**.
- 60. Контакт **X9** прямого выхода балансного модулятора/демодулятора.
- 61. Контакт **X11** инверсного выхода балансного модулятора/демодулятора.
- 62. Контакты **X10** и **X12** конденсатора **C4**.
- 63. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 64. Контакт **X13** конденсатора **C5**.
- 65. Контакт **X14** конденсатора **C6**.
- 66. Контакт **X37** входа диодного детектора.
- 67. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 68. Контакт **X38** открытого выхода диодного детектора.
- 69. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 70. Контакт **X39** закрытого выхода (через разделительный конденсатор) диодного детектора.
- 71. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 72. Переключатель **Cн** коммутации конденсатора нагрузки детектора.
- 73. Регулятор **Rн** установки величины сопротивления нагрузки диодного детектора.

6.1.2. Описание элементной базы амплитудного модулятора

Объектом исследования является амплитудный модулятор, выполненный на специализированной микросхеме MC1496 компаний Philips Semiconductor и On Semiconductor (отечественный аналог – 140MA101A). Микросхема представляет собой балансный модулятор (аналоговый перемножитель) (рис. 6. 2) и может использоваться как амплитудный модулятор/демодулятор.

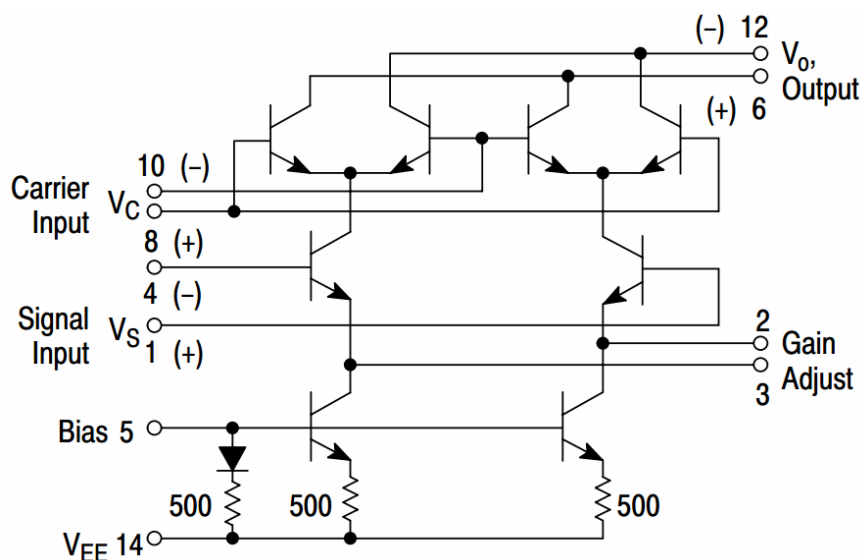


Рис. 6.2. Принципиальная схема микросхемы MC1496 (<http://www.onsemi.com/>)

Назначение выводов микросхемы MC1496 следующее:

1 (+) и 4 (–) – дифференциальные входы модулирующего (информационного) сигнала;

2 и 3 (Gain Adjust) – управление режимом дифференциальных каскадов (регулировка усиления).

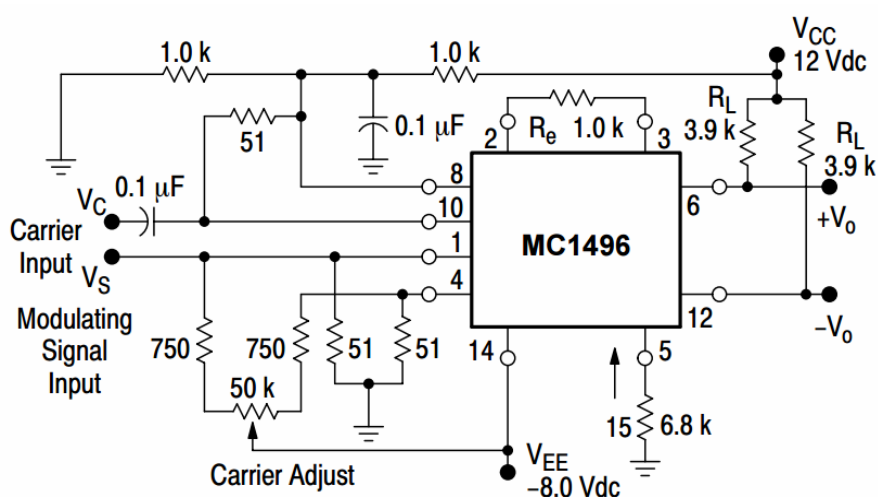
5 (Bias) – вывод установки тока смещения (режима работы перемножителя);

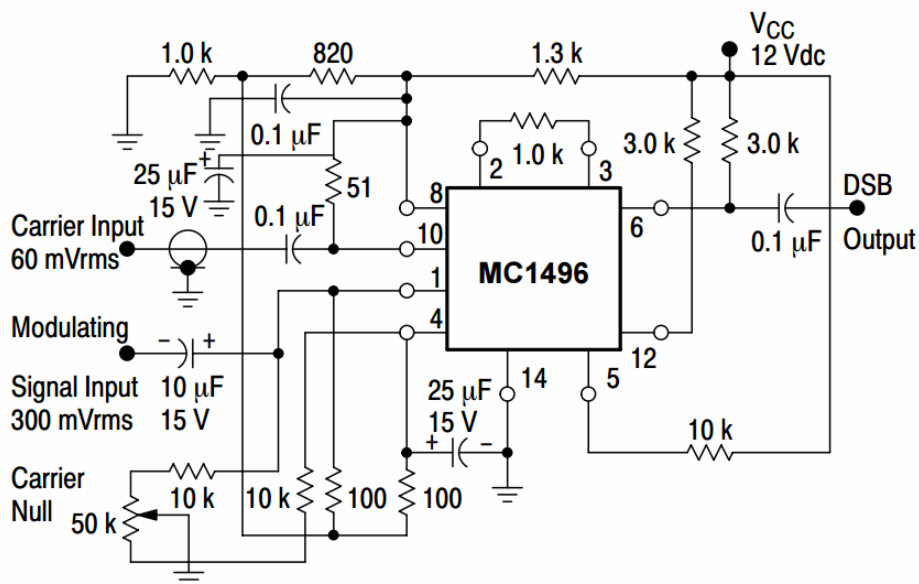
6 и 12 (V_O , Output) – дифференциальный (парафазный) выход аналогового перемножителя;

8 (+) и 10 (–) – дифференциальные входы сигнала несущей частоты;

14 (V_{EE}) – общий вывод (земля).

Типовые схемы включения микросхемы MC1496 в качестве модулятора сигналов с амплитудной и балансной модуляцией приведены на рис. 6.3.





б

Рис. 6.3. Типовые схемы включения микросхемы MC1496 в режиме амплитудного (а) и балансного (б) модуляторов (<http://www.onsemi.com/>)

6.1.3. Описание модуля «Частотные модуляторы/демодуляторы»

В лабораторной работе используется модуль Частотные модуляторы / демодуляторы. Модуль содержит два вида генераторов, управляемых напряжением (ГУН), построенных на микросхемах LM566 и MC1648, а также узел системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) на базе ГУН и блок демодулятора амплитудно-модулированных и частотно-модулированных сигналов.

Внешний вид панели модуля Частотные модуляторы/демодуляторы показан на рис. 6.4.

На рис. 6.4 цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа подачи питающих напряжений модуля.
2. Индикаторы контроля питающих напряжений модуля.
3. Контакт общей цепи (земля) модуля.
4. Контакт X1 выхода сигнала прямоугольной формы (меандр) LM566.
5. Контакт X2 выхода сигнала треугольной формы (линейно-нарастающий и спадающий сигнал) LM566.
6. Контакт общей цепи (земля) модуля.
7. Контакт X3 входа постоянного управляющего напряжения LM566.
8. Контакт X4 входа переменного управляющего напряжения LM566.
9. Регулятор установки величины сопротивления частотно задающего резистора R3 генератора LM566.
10. Переключатель коммутации величины емкости частотно задающего конденсатора C2 генератора LM566.
11. Контакт X9 входа переменного управляющего напряжения генератора MC1648.
12. Контакт X10 входа постоянного управляющего напряжения генератора MC1648.
13. Контакт общей цепи (земля) модуля.

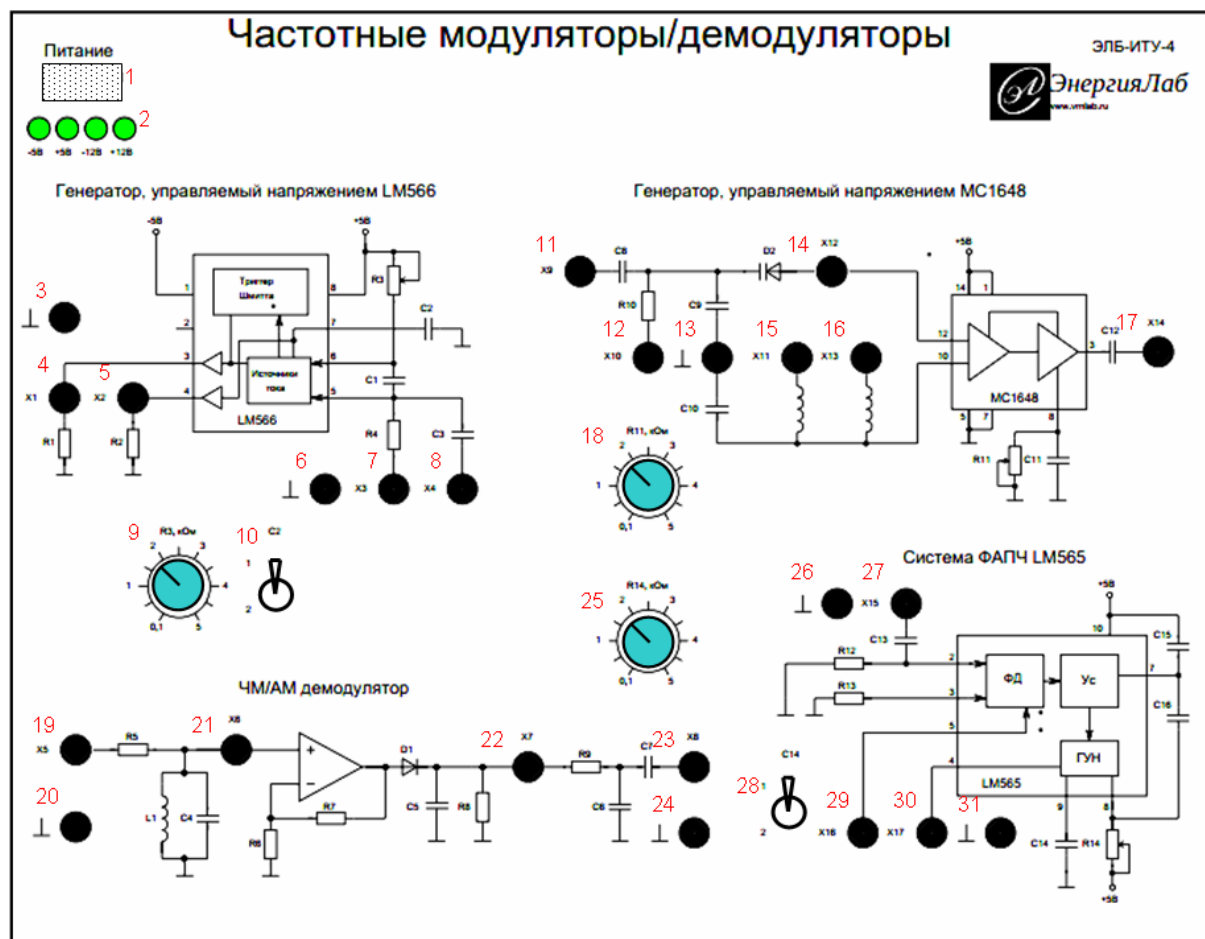


Рис. 6.4. Расположение контактов и органов управления модуля
«Частотные модуляторы/демодуляторы»

- 14. Контакт **X12** емкостной ветви резонансного контура MC1648.
- 15. Контакт **X11** индуктивной ветви резонансного контура MC1648.
- 16. Контакт **X13** индуктивной ветви резонансного контура MC1648.
- 17. Контакт **X14** выхода генератора MC1648.
- 18. Регулятор **R11** установки опорного напряжения системы автоматической регулировки усиления MC1648.
- 19. Контакт **X5** входа АМ/ЧМ демодулятора.
- 20. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 21. Контакт **X6** входа усилителя АМ/ЧМ демодулятора.
- 22. Контакт **X7** открытого выхода амплитудного детектора.
- 23. Контакт **X8** закрытого выхода амплитудного детектора.
- 24. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 25. Регулятор **R14** установки частоты генератора LM565.
- 26. Контакт общей цепи (земля) модуля.
- 27. Контакт **X15** входа фазового детектора LM565.
- 28. Переключатель коммутации величины емкости частото задающего конденсатора **C14** LM565.
- 29. Контакт **X16** входа опорного сигнала фазового детектора LM565.
- 30. Контакт **X17** входа управляющего напряжения генератора LM565.
- 31. Контакт общей цепи (земля) модуля.

6.1.4. Описание элементной базы модуля

Микросхема MC1648 (рис. 6.5,а) компании Motorola (ныне – упразднена) представляет собой управляемый генератор сигналов синусоидальной формы и предназначена для построения генераторов, управляемых напряжением (voltage controlled oscillator, VCO), и применения в узлах различного назначения: гетеродинах, синхронных детекторах, системах автоподстройки частоты и фазы (ЧАПЧ и ФАПЧ), синтезаторах частот и т.д.

Настройка начальной частоты генерируемого сигнала осуществляется изменением номинала индуктивности L (рис. 6.5,б) и выбором варикапа необходимой емкости при заданном входном напряжении. Перестройка генератора осуществляется путем изменения емкости варикапов при изменении управляющего напряжения V_{IN} .

На рис. 6.5,в приведена внутренняя структура микросхемы управляемого генератора MC1648. Положительная обратная связь в генераторе создается посредством соединения базы транзистора Q6 с коллектором Q7. Схема автоматической регулировки усиления (APY, AGC) ограничивает ток через дифференциальный каскад на транзисторах Q7 и Q6. В целях сохранения высокой добротности генератора и обеспечения высокой спектральной частоты выходного сигнала, транзистор Q4 используется для передачи генерируемого сигнала на выходной дифференциальный каскад Q2Q3, который вместе с выходным эмиттерным повторителем на Q1 обеспечивает хорошую буферизацию выхода. Транзисторы Q9 и Q11 формируют напряжение смещения для генератора и буферных каскадов.

Другой микросхемой, применяемой в лабораторной работе, является управляемый генератор LM566 фирмы National Semiconductor (сейчас входит в корпорацию Texas Instruments). Микросхема LM566 (рис. 6.6,а) относится к классу функциональных генераторов и обладает возможностью генерации сигнала прямоугольной формы (меандр) и треугольной формы (линейно-нарастающего и спадающего напряжения). Отличительной особенностью микросхемы является высокая линейность регулировочной характеристики и минимальное количество внешних элементов.

Структурно микросхема LM566 состоит из двух основных узлов: триггера Шмидта (Schmitt Trigger), выполняющего функции компаратора с гистерезисом и управляющего ключами заряда/разряда внешней частото задающей RC-цепи, а также источников постоянного тока (Current Sources), реализованных на базе дифференциальных каскадов с «токовыми зеркалами».

LM566 может работать при питании от однополярного и двухполярного источника. Один из вариантов включения LM566 при использовании однополярного питания показан на рис. 6.6,б. При использовании двухполярного источника питания на выходе 3 микросхемы можно добиться ТТЛ-совместимого прямоугольного сигнала.

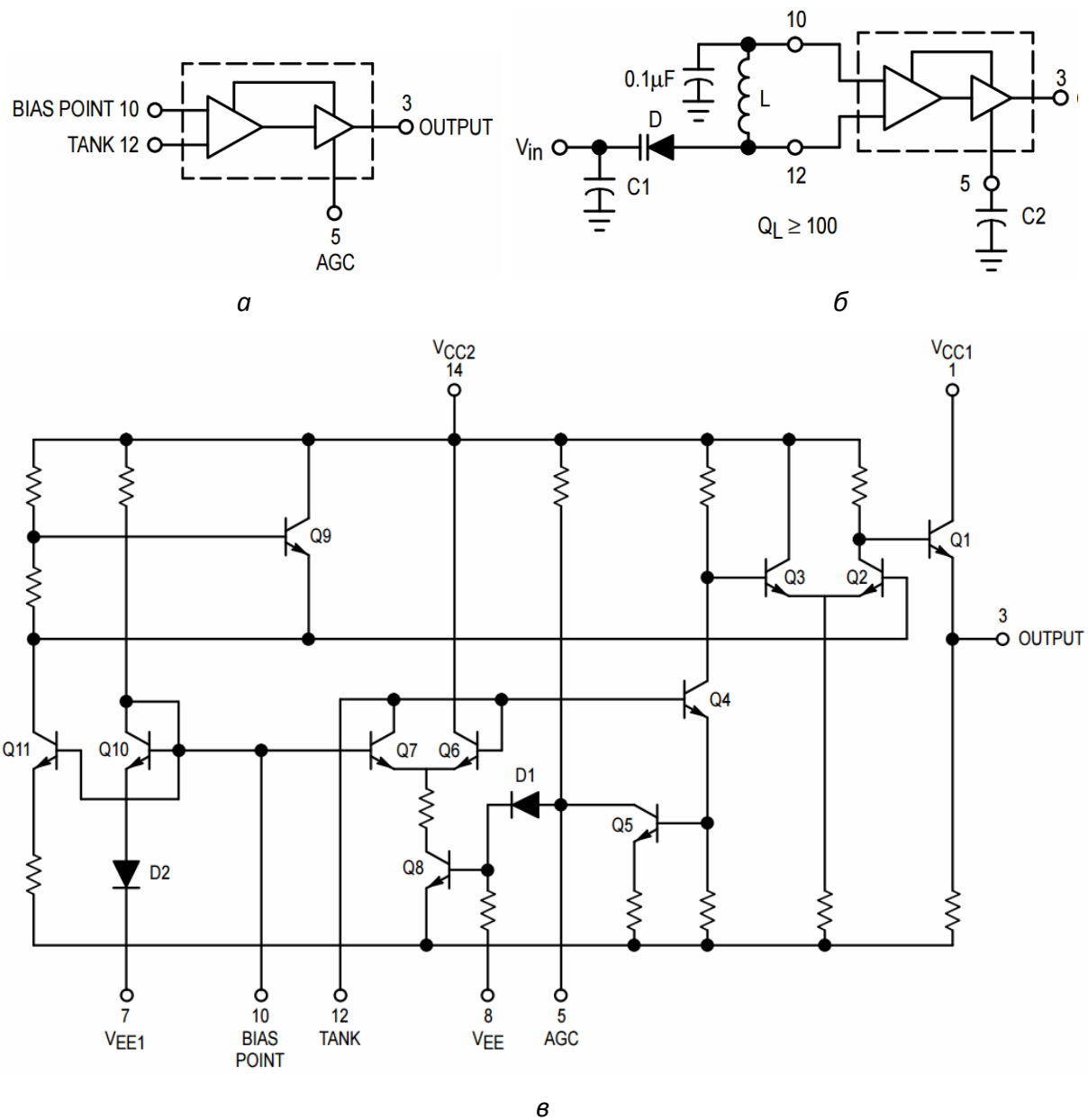


Рис. 6.5. Упрощенная структура (*a*), схема включения в режиме ГУН (*б*) и принципиальная схема (*в*) управляемого генератора MC1648: **1** (V_{CC1}), **14** (V_{CC2}) – выходы «+» источников питания; **3** (OUTPUT) – выход сигнала генератора; **5** (AGC) – вывод автоматической регулировки усиления; **7** (V_{EE1}), **8** (V_{EE}) – выходы «-» источников питания; **10** (BIAS POINT), **12** (TANK) – выходы подключения внешней частотозадающей цепи

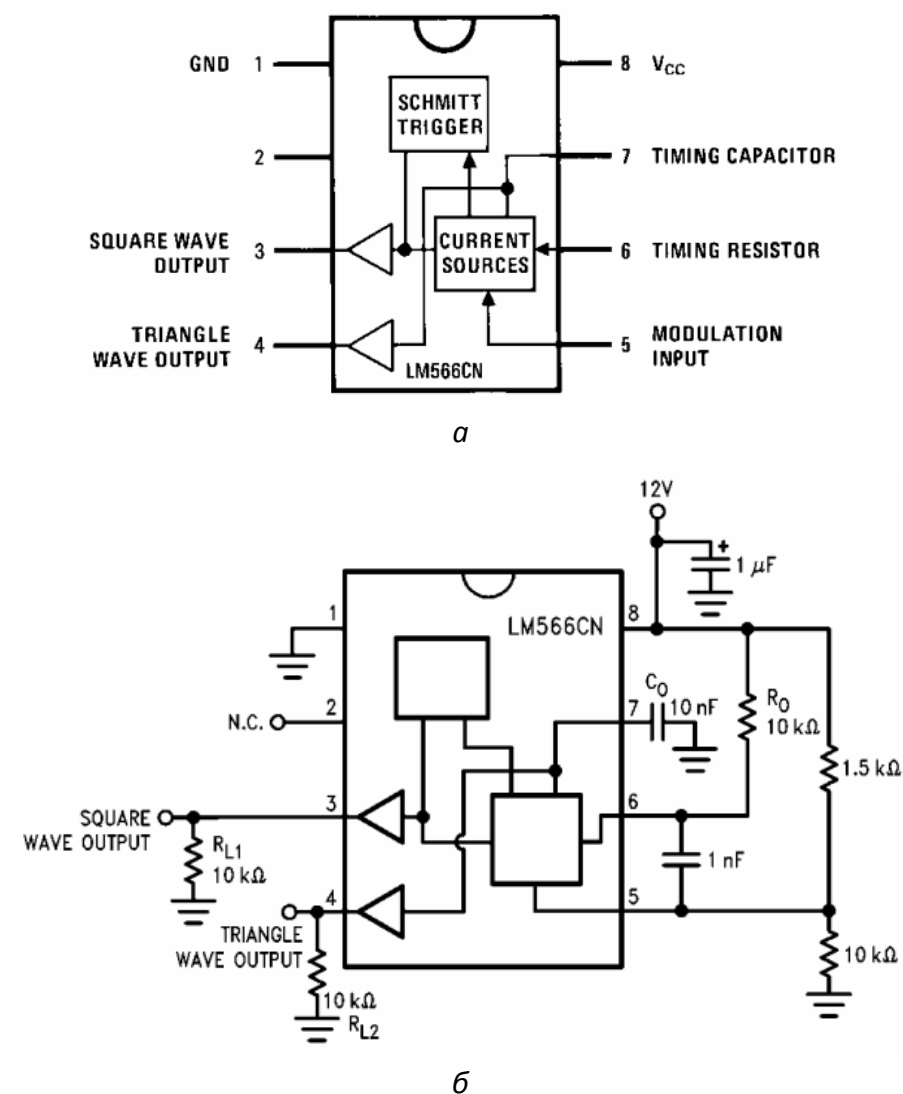


Рис. 6.6. Структурная схема (а) и вариант включения (б) микросхемы LM566 (<http://www.ti.com/>): 1 (GND) – общий провод; 3 (SQUARE WAVE OUTPUT) – выход сигнала прямоугольной формы (меандра); 4 (TRIANGLE WAVE OUTPUT) – выход сигнала треугольной формы; 5 (MODULATION INPUT) – вход модулирующего сигнала; 6 (TIMING RESISTOR) – вывод подключения внешнего частотодающего резистора; 7 (TIMING CAPACITOR) – вывод подключения внешнего частотодающего конденсатора; 8 (V_{CC}) – вывод подключения «+» источника питания

6.2. Порядок выполнения работы

6.2.1. Исследование частотного модулятора на микросхеме LM566

1. Сетевым шнуром соединить контакт **~220V** Основного модуля с сетью однофазного электропитания 220 В частотой 50 Гц.
2. Используя шлейф, соединить разъем **X1** панели «Питание модулей» Основного модуля с разъемом **Питание** (1 рис. 6.1) модуля **Модуляторы / демодуляторы AM/DSB-SC/SSB**.
3. Соединить контакт \perp панели «Генератор НЧ» с контактом \perp (55 рис. 6.1) панели «Балансный модулятор/демодулятор».
4. Соединить контакт **-20 дБ** панели «Генератор НЧ» Основного модуля с контактом **X5** (56 рис. 6.1) входа информационного сигнала модулятора панели «Балансный модулятор/демодулятор».
5. Соединить контакт \perp панели «Генератор ВЧ» с контактом \perp (53 рис. 6.11) панели «Балансный модулятор/демодулятор».
6. Соединить контакт **-20 дБ** панели «Генератор ВЧ» с контактом **X4** (54 рис. 6.11) входа сигнала несущей частоты модулятора панели «Балансный модулятор/демодулятор».
7. Соединить контакт **X6** (57 рис. 6.1) управления током смещения с контактом **X7** (58 рис. 6.1) резистора **R14** панели «Балансный модулятор / демодулятор».
8. Установить регуляторы **R5** (51 рис. 6.11) и **R10** (52 рис. 6.1) в среднее положение.
9. Подключить осциллограф к контактам **X9** (60 рис. 6.1) и \perp панели «Балансный модулятор / демодулятор».
10. Включить электропитание установки, установив в верхнее положение переключатель **Сеть Основного модуля**.
11. Последовательно нажимая на кнопку «Тип сигнала» Основного модуля, установить гармонический вид сигнала (синус) «Генератора НЧ».
12. Вращая регулятор **Частота** панели «Генератор НЧ», установить частоту модулирующего сигнала равной 1 кГц.
13. Вращая регулятор **Амплитуда** панели «Генератор НЧ», установить напряжение 2,5 В, которое, с учетом ослабления аттенюатора **-20 дБ**, будет соответствовать величине 250 мВ.
14. Вращая регулятор **Частота** панели «Генератор ВЧ», установить частоту несущего колебания равной 100 кГц.
15. Вращая регулятор **Амплитуда** панели «Генератор ВЧ» установить напряжение 2,5 В, которое, с учетом ослабления аттенюатора **-20 дБ**, будет соответствовать величине 250 мВ.
16. На экране осциллографа наблюдать амплитудно-модулированный сигнал.
17. Поворачивая регулятор **R10** (52 рис. 6.1) панели «Балансный модулятор/демодулятор», и наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор в положении, соответствующем коэффициенту (глубине) амплитудной модуляции равной $M = 50\%$. Занести в осциллограмму в отчет.

18. Последовательно изменяя амплитуду модулирующего (информационного) сигнала, в соответствии с таблицей 6.1, рассчитать для каждого случая коэффициент модуляции M , используя выражение

$$M = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}, \quad (6.1)$$

где U_{\max} и U_{\min} – максимальное и минимальное значения амплитуд модулированного сигнала. Результаты расчетов занести в таблицу. Построить графическую зависимость $U_c(M)$.

Таблица 6.1

Зависимость индекса модуляции от параметров входных сигналов модулятора

Напряжение модулирующего сигнала, U_G , мВ	250	200	150	100	50
Напряжение сигнала несущей частоты, U_0 , мВ	250	250	250	250	250
Коэффициент модуляции, M , %					

19. Поворачивая регулятор **Амплитуда** панели «Генератор НЧ», установить напряжение модулирующего сигнала равным 2,5 В (что с учетом ослабления аттенюатора **–20 дБ** соответствует 250 мВ).

20. Поворачивая регулятор **Частота** панели «Генератор НЧ», установить частоту модулирующего сигнала равной 3 кГц.

21. На экране осциллографа наблюдать АМ сигнал. Занести осциллограмму и спектр сигнала в отчет.

22. Поворачивая регулятор **Частота** панели «Генератор ВЧ», установить частоту несущего сигнала равной 300 кГц.

23. На экране осциллографа наблюдать АМ сигнал. Занести осциллограмму и спектр сигнала в отчет.

24. Переключить провод-перемычку из контакта **X7** на контакт **X8** панели «Балансный модулятор/демодулятор».

25. Наблюдать изменение осциллограммы АМ сигнала. Осциллограмму занести в отчет.

6.2.2. Исследование частотного модулятора на микросхеме LM566

1. Сетевым шнуром соединить контакт **~220V** Основного модуля с сетью 220 В частотой 50 Гц.

2. Используя шлейф, соединить разъем **X1** панели «Питание модулей» Основного модуля с разъемом **Питание** (1 рис. 6.4) модуля Частотные модуляторы/демодуляторы.

3. Соединить контакт \perp панели «Источник питания» с контактом \perp (6 рис. 6.4) панели «Генератор, управляемый напряжением LM566».

4. Соединить контакт **0...10 В** панели «Источник питания» с контактом **X3** (7 рис. 6.4) панели «Генератор, управляемый напряжением LM566».

5. Установить в крайнее левое положение регулятор **Напряжение** панели «Источник питания».

6. Установить в среднее положение регулятор **R3** (9 рис. 6.4) панели «Генератор, управляемый напряжением LM566».
7. Соединить контакт \perp (3 рис. 6.4) панели «Генератор, управляемый напряжением LM566» с контактом \perp панели «Частотомер».
8. Соединить контакт **X1** (4 рис. 6.4) выхода LM566 с контактом **Вход** панели Частотомер.
9. Соединить контакт \perp (6 рис. 6.4) панели «Генератор, управляемый напряжением LM566» с контактом \perp панели «Генератор НЧ».
10. Соединить контакт **X4** (8 рис. 6.4) панели «Генератор, управляемый напряжением LM566» с контактом **0 дБ** панели «Генератор НЧ».
11. Подключить первый канал осциллографа к контактам **X1** (4 рис. 6.4) выхода LM566 и \perp (3 рис. 6.4) модуля.
12. Подключить второй канал осциллографа к контактам **X2** (5 рис. 6.4) выхода LM566 и \perp (3 рис. 6.4) модуля.
13. Установить в верхнее положение переключатель **C2** (10 рис. 6.4) панели «Генератор, управляемый напряжением LM566», при этом в частотозадающую цепь будет включен конденсатор **C2₁**.
14. Подать питание на цепи и узлы лабораторной установки, установив в верхнее положение переключатель **Сеть Основного модуля**.
15. На экране первого и второго каналов осциллографа наблюдать осциллограммы сигналов генератора. На индикаторе частотомера будет индцироваться текущая средняя частота генерации.
16. С помощью регулятора **Напряжение** панели «Источник питания» установить напряжение 2,5 В.
17. С помощью регулятора **Амплитуда** панели «Генератор НЧ» установить амплитуду равной 0 В.
18. С помощью регулятора **Частота** панели «Генератор НЧ» установить частоту модулирующего сигнала равной 1 кГц.
19. Последовательно нажимая кнопку «Тип сигнала» панели «Генератор НЧ», установить прямоугольный вид генерируемых сигналов (меандр).
20. С помощью регулятора **Амплитуда** панели «Генератор НЧ», установить амплитуду сигнала равной 1 В.
21. На экране осциллографа наблюдать частотно-манипулированный сигнал на выходе генератора, управляемого напряжением. При необходимости подстроить регулятор **R2**. Осциллограммы и спектры сигналов внести в отчет.
22. На экране поля частотомера наблюдать текущую среднюю частоту генерации. Записать значение частоты.
23. Последовательно нажимая на кнопку «Тип сигнала», наблюдать на экране осциллографа частотно-модулированный сигнал с различными законами модуляции. Наиболее характерные осциллограммы и спектры занести в отчет.

Содержание отчета.

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме работы.
3. Принципиальная схема амплитудного модулятора на микросхеме

МС1496.

4. Результаты измерений, таблицы, осциллограммы и графические зависимости согласно заданию.

5. Выводы.

Контрольные вопросы.

1. Изобразите осциллограмму и спектр АМ колебания с тональной модуляцией.

2. Назовите основные методы осуществления амплитудной модуляции.

3. Приведите схему и объясните принцип работы одноконтурного амплитудного модулятора на диоде.

4. Назовите основные виды амплитудной модуляции. Нарисуйте эквивалентные схемы амплитудных модуляторов на лампе и на транзисторе.

5. Нарисуйте схему амплитудного модулятора с базовой модуляцией смещением. Назовите его достоинства и недостатки.

6. Нарисуйте схему амплитудного модулятора с эмиттерной модуляцией смещением. Назовите его достоинства и недостатки.

7. Назовите основные виды коллекторной модуляции нагрузкой.

8. Нарисуйте схему амплитудного модулятора с простой (одинарной) коллекторной модуляцией. Поясните назначение элементов модулятора. Назовите достоинства и недостатки одинарной коллекторной модуляции.

9. Нарисуйте схему амплитудного модулятора с двойной коллекторной модуляцией с автоматической модуляцией базовым смещением. Поясните назначение элементов модулятора. Назовите его достоинства и недостатки.

10. Поясните принцип работы и назначение выводов микросхемы МС1496.

11. Объясните работу схемы амплитудного модулятора, выполненного на микросхеме МС1496.

12. Как определяется частотный спектр сигнала с угловой модуляцией при малом и большом индексе модуляции.

13. Поясните суть прямого метода осуществления ЧМ и ФМ.

14. Поясните суть косвенного метода осуществления ЧМ и ФМ.

15. Приведите схему частотного модулятора на основе варикапа. Поясните назначение входящих в нее элементов.

16. Приведите схему реактивного транзистора. Поясните ее название и назначение основных элементов. Укажите возможные варианты ее построения.

17. Приведите схему стабилизации средней частоты в передатчиках с ЧМ системой частотной автоподстройки.

18. Приведите схему кварцевого транзисторного автогенератора с частотной модуляцией. Поясните назначение входящих в нее элементов.

19. Приведите схему фазового модулятора на основе изменения резонансной частоты колебательного контура. Поясните принцип ее работы.

20. Приведите схему фазового модулятора на управляемых фазовращателях. Поясните принцип ее функционирования.

21. Приведите схему фазового модулятора на основе балансного модулятора и поясните принцип ее работы.

22. Приведите схему фазоимпульсного модулятора, назовите его достоинство. Поясните принцип работы модулятора.
23. На примере микросхемы MC1648 назовите основные узлы, назначение и принцип работы генератора, управляемого напряжением (ГУН).
24. Как осуществляется перестройка резонансной системы в ГУН?
25. Какие элементы определяют линейность регулировочной характеристики ГУН?
26. Как реализуется частотная манипуляция сигнала с помощью ГУН?
27. Какие элементы ГУН определяют быстродействие (скорость изменения частоты) частотно-манипулированных сигналов?
28. Каким образом с помощью ГУН можно сформировать сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ)?
29. Какие функции выполняет триггер Шмита в микросхеме LM566?
30. Какие функции выполняет источник тока в микросхеме LM566?
31. Какие внешние элементы определяют частоту генерации микросхемы LM566?
32. На примере LM566 пояснить принцип работы генератора сигналов прямоугольной формы (меандра).
33. На примере LM566 пояснить принцип работы генератора сигналов треугольной формы.
34. Объясните полученные в работе графические зависимости.

7. Лабораторная работа

«ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ РАДИОПРИЕМНИКА»

Цель работы: исследование характеристик и параметров входных цепей при регулировке радиоприемника.

7.1. Теоретические сведения

7.1.2. Описание базового блока «Радиоприемные устройства»

Базовый блок «Радиоприемные устройства» (рис. 7.1) содержит все необходимые для поведения серии экспериментов источники сигналов и питающих напряжений, а также усилитель низкой частоты (УНЧ) с громкоговорителем.

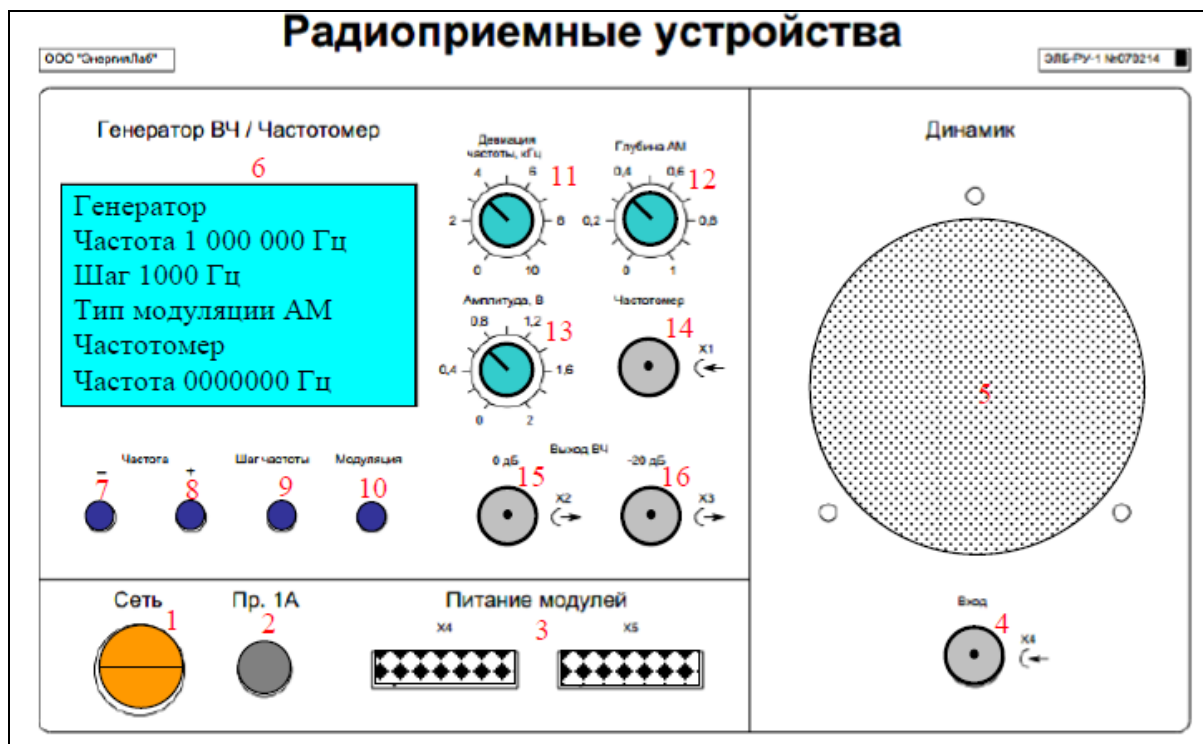


Рис. 7.1. Расположение контактов и органов управления базового блока «Радиоприемные устройства» лабораторной установки

На рис. 4.1 цифрами красного цвета обозначены:

1. Переключатель включения электропитания лабораторной установки.
2. Сетевой предохранитель 1А.
3. Контакты X4 и X5 подключения шлейфа питания сменных модулей.
4. Коаксиальный контакт входа Усилителя нижней частоты.
5. Акустический громкоговоритель.
6. Дисплей микропроцессорного Генератора ВЧ / Частотомера.

На дисплей выводятся: Частота генератора, Шаг установки частоты генератора, Тип модуляции (АМ, ЧМ), Показания частотомера.

7. Кнопка уменьшения текущей частоты Генератора ВЧ.
8. Кнопка увеличения текущей частоты Генератора ВЧ.
9. Кнопка выбора шага уменьшения/увеличения частоты Генератора ВЧ.
10. Кнопка выбора вида модуляции (АМ, ЧМ).
11. Регулятор установки Девиации частоты частотной модуляции. Активен при выбранном режиме модуляции ЧМ.
12. Регулятор установки Глубины амплитудной модуляции. Активен при выбранном режиме модуляции АМ.
13. Регулятор установки Амплитуды сигнала на выходе генератора Выход ВЧ **0 dB**.
14. Коаксиальный контакт входа Частотомера.
15. Коаксиальный контакт выхода Генератора ВЧ.
16. Коаксиальный контакт выхода аттенюатора **-20dB** (10:1 по напряжению) Генератора ВЧ.

7.1.2. Описание сменного блока «Исследование преселектора»

Преселектор выполняет функцию перестраиваемого по частоте фильтра, основной задачей которого является подавление зеркального канала приема. Часто пассивный преселектор совмещают с перестраиваемым по частоте резонансным усилителем, выполняющим функции предварительного усиления и фильтрации сигнала.

Сменный блок «Исследование преселектора» (рис. 7.2) содержит модули эквивалентов приемных антенн, управляемые резонансные входные цепи с емкостной и индуктивной связью и резонансный перестраиваемый усилитель радиочастоты (УРЧ).

На рис. 7.2 цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа электропитания сменной панели.
2. Коаксиальный контакт **КТ1** входа первого эквивалента (высокоомной) приемной антенны.
3. Коаксиальный контакт **КТ2** выхода первого эквивалента (высокоомной) приемной антенны.
4. Коаксиальный контакт **КТ3** входа второго эквивалента (низкоомной) приемной антенны.
5. Коаксиальные контакты **КТ4** выхода второго эквивалента (низкоомной) приемной антенны.
6. Коаксиальный контакт **КТ5** входа Входной цепи (ВЦ) с емкостной связью.
7. Коаксиальный контакт **КТ7** выхода Входной цепи (ВЦ) с емкостной связью.
8. Коаксиальный контакт **КТ6** входа Входной цепи (ВЦ) с трансформаторной связью.
9. Коаксиальный контакт **КТ8** выхода Входной цепи (ВЦ) с трансформаторной связью.
10. Коаксиальный контакт **КТ9** входа Усилителя радиочастоты (УРЧ).
11. Коаксиальный контакт **КТ10** выхода Усилителя радиочастоты (УРЧ).

12. Регулятор установки управляющего напряжения $U_{уп}$ настройки резонансной частоты Входных цепей и Усилителя радиочастоты.

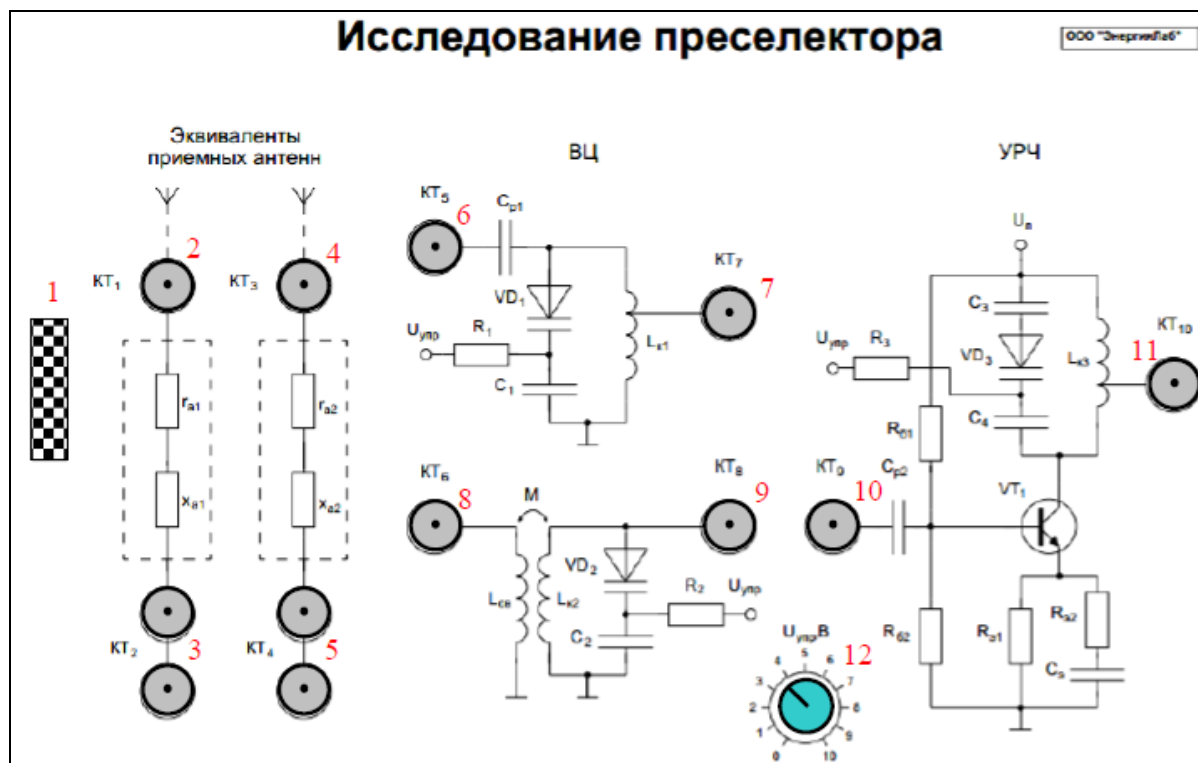


Рис. 7.2. Расположение контактов и органов управления сменного блока «Исследование преселектора» лабораторной установки

7.2. Порядок выполнения работы

7.2.1. Исследование преселектора с емкостной связью

1. Соединить контакт «Выход ВЧ» «- 20dB» (16 рис. 7.1) с контактом КТ1 (2 рис. 7.2) входа Эквивалента высокоомной антенны.
2. Соединить контакт КТ2 (3 рис. 7.2) выхода Эквивалента высокоомной антенны с контактом КТ5 (6 рис. 7.2) входа Входной цепи с емкостной связью.
3. Подключить вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ7 (7 рис. 7.2) выхода Входной цепи с емкостной связью.

Примечание: Рекомендуется использовать штатные щупы осциллографа с делителем 1:10, обладающие малой входной емкостью и высоким входным сопротивлением.

4. Установить переключатель «Сеть» (1 рис. 7.1) в верхнее положение, при этом будет включено электропитание стенда.
5. Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 7.1) установить режим Амплитудной модуляции (АМ).
6. Установить регуляторы «Девияция частоты» (11 рис. 7.1) и «Глубина АМ» (12 рис. 7.1) в крайнее левое положение.
7. Установить регулятор «Амплитуда» (13 рис. 7.1) в среднее положение.

7.2.2. Исследование амплитудно-частотной характеристики пассивной входной цепи с емкостной связью.

1. Установить частоту Генератора ВЧ равной 1100 кГц.
2. Наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор $U_{упр}$ (12 рис. 7.2) в положение соответствующее максимальной амплитуде сигнала на выходе Входной цепи (первый канал осциллографа).
3. Измерить амплитуду сигнала основного канала приема $U_{ок}$.
4. Изменяя частоту генератора ВЧ в пределах от 400 кГц до 2100 кГц с шагом 100 кГц, измерить зависимость амплитуды на выходе Входной цепи от частоты сигнала. Результаты занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

**Амплитудно-частотная характеристика пассивной входной цепи
с емкостной связью**

Частота, F , кГц				
Амплитуда сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи ВЦ $K=20\lg(U_{вых}/U_{ок})$, дБ				

5. Построить график амплитудно-частотной характеристики.
6. По графику определить подавление сигнала паразитных Прямых канала (455 кГц) и Зеркального канала (1100кГц+455кГц+455кГц= 2010).

7.2.3. Исследование Амплитудно-частотной характеристики активной входной цепи с емкостной связью

1. Соединить контакт **КТ7** (7 рис. 7.5) выхода Входной цепи с контактом **КТ9** (10 рис. 7.5) входа Усилителя радиочастоты (УРЧ).
2. Подключить первый канал осциллографа к контакту **КТ10** (11 рис. 7.5) выхода УРЧ.
3. Установить частоту Генератора ВЧ равной 1100 кГц.
4. Наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор $U_{упр}$ (12 рис. 7.5) в положение соответствующее максимальной амплитуде сигнала на выходе Входной цепи (второй канал осциллографа).
5. Измерить амплитуду сигнала основного канала приема $U_{осн}$.

Примечание: Желательно, чтобы амплитуда сигнала на выходе УРЧ не превышала 2 В, в противном случае могут возникнуть нелинейные искажения сигнала, снижающие чистоту эксперимента. При необходимости уровень сигнала можно уменьшить с помощью регулятора Амплитуда (13 рис. 7.1).

6. Изменяя частоту генератора ВЧ в пределах от 400 кГц до 2100 кГц с шагом 100 кГц, измерить зависимость амплитуды на выходе УРЧ от частоты сигнала. Результаты занести в таблицу 7.2.
7. Построить графическую зависимость Амплитудно-частотной характеристики. По графику определить подавление сигнала паразитных прямого канала (455 кГц) и зеркального канала (1100кГц+455кГц+455кГц=2010). Сравнить Амплитудно-частотные характеристики пассивной и активной входной цепи.

Таблица 7.2

Амплитудно-частотная характеристика активной входной цепи

с емкостной связью

Частота, F , кГц				
Амплитуда сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи ВЦ $K=20\lg(U_{вых}/U_{ок})$, дБ				

7.2.4. Исследование амплитудной характеристики

1. Соединить контакт КТ7 (7 рис. 7.5) выхода Входной цепи с контактом КТ9 (10 рис. 7.5) входа Усилителя радиочастоты (УРЧ).
2. Подключить первый канал осциллографа к контакту КТ2 (3 рис. 7.5) входа Входной цепи с емкостной связью.
3. Подключить второй канал осциллографа к контакту КТ10 (11 рис. 7.5) выхода УРЧ.
4. Последовательно увеличивая частоту Генератор ВЧ (используя кнопки «Частота +» (7 рис. 7.1)) от 1100 кГц до 2000 кГц с шагом 100 кГц.
5. Для каждого значения частоты Генератора ВЧ, плавно вращая регулятор $U_{упр}$ (12 рис. 7.5) и наблюдая за экраном второго канала осциллографа, необходимо установить резонанс во входной цепи соответствующий максимуму сигнала второго канала осциллографа.
6. Занести в таблицу 7.3 значение коэффициента передачи активной Входной цепи в зависимости от частоты.

Таблица 7.3

**Амплитудная характеристика активной входной цепи
с высокоомным эквивалентом антенны**

Частота, F , кГц				
Амплитуда сигнала на входе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вх}$, В				
Амплитуда сигнала на входе УРЧ (показания второго канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи УРЧ $K=20\lg(U_{вх}/U_{вых})$, дБ				

7. Построить графическую зависимость Амплитудной характеристики цепи как $K=f(F)$.
8. Провести исследования влияния импеданса Эквивалента приемной антенны на Амплитудную характеристику входной цепи. Для этого необходимо соединить контакт «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 7.1) с контактом КТ3 (4 рис. 7.5) входа Эквивалента низкоомной приемной антенны.
9. Соединить контакт КТ4 (5 рис. 7.1) выхода Эквивалента антенны с контактом КТ5 (6 рис. 7.5) входа Входной цепи с емкостной связью.
10. Соединить (используя штатный щуп 1:10) первый вход первого канала осциллографа с контактом КТ4 (5 рис. 7.5) выхода Эквивалента приемной антенны.
11. Используя методику, описанную выше, измерить Амплитудную харак-

теристику Входной цепи с емкостной связью в диапазоне частот от 1100 кГц до 2000 кГц с шагом 100 кГц. Результаты занести в таблицу 7.4.

Таблица 7.4

**Амплитудная характеристика пассивной входной цепи
с низкоомным эквивалентом антенны**

Частота, F , кГц				
Амплитуда сигнала на входе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вх}$, В				
Амплитуда сигнала на входе УРЧ (показания второго канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи УРЧ $K=20\lg(U_{вх}/U_{вых})$, дБ				

12. Построить графическую зависимость Амплитудной характеристики цепи как $K=f(F)$. Сравнить график с построенным в предыдущем разделе.

13. Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

7.2.5. Исследование преселектора с индуктивной связью

1. Соединить контакт «Выход ВЧ» «- 20dB» (16 рис. 7.1) с контактом КТ3 (2 рис. 7.5) входа Эквивалента высокоомной антенны.

2. Соединить контакт КТ2 (3 рис. 7.5) выхода Эквивалента высокоомной антенны с контактом КТ6 (8 рис. 7.5) входа Входной цепи с индуктивной связью.

3. Подключить вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ8 (9 рис. 7.5) выхода Входной цепи с индуктивной связью.

Примечание: Рекомендуется использовать штатные щупы осциллографа с делителем 1:10, обладающие малой входной емкостью и высоким входным сопротивлением.

4. Установить переключатель «Сеть» (1 рис. 7.1) в верхнее положение, при этом будет включено электропитание стенда.

5. Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 7.1), установить режим Амплитудной модуляции (АМ).

6. Установить регуляторы «Девиация частоты» (11 рис. 7.1) и «Глубина АМ» (12 рис. 7.1) в крайнее левое положение.

7. Установить регулятор «Амплитуда» (13 рис. 7.1) в среднее положение.

8. Выполнить пп. 7.2.1-7.2.4 для преселектора с индуктивной связью.

Содержание отчета.

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме работы.
3. Результаты измерений, схемы, таблицы, осциллограммы и спектрограммы.
4. Выводы.

8. Лабораторная работа

«ИССЛЕДОВАНИЕ И НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ЧАСТОТНОГО ДЕТЕКТОРА»

Цель работы: исследование характеристик и параметров и настройка системы автоматической регулировки усиления (АРУ); исследование характеристик и параметров частотного детектора радиоприемника.

8.1. Теоретические сведения

8.1.1. Описание сменного блока «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ»

Конструкция сменного блока реализует функционально-законченные узлы усилителя промежуточной частоты приемника с возможностью коммутации фильтров, охваченного системой Автоматической регулировки усиления (АРУ) с регулируемой глубиной обратной связи (рис. 8.1).

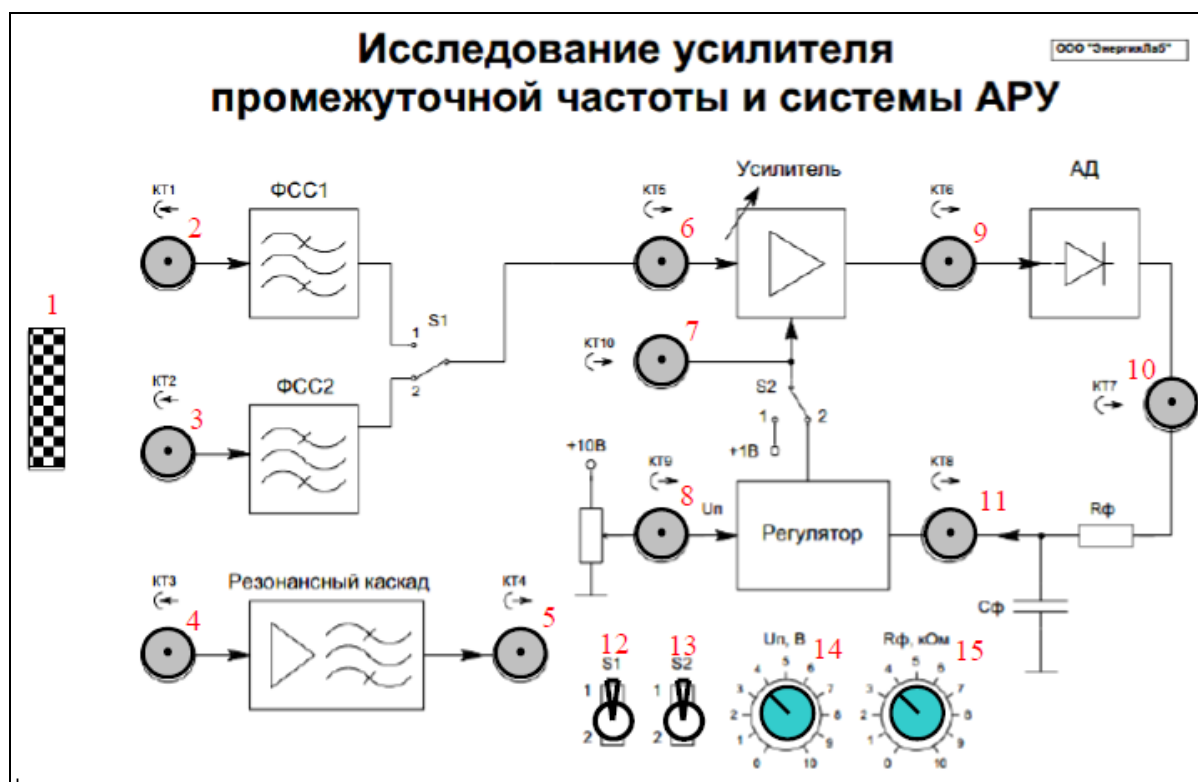


Рис. 8.1. Расположение контактов и органов управления сменного блока «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ» лабораторной установки

На рис. 8.1 цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа электропитания сменной панели.

2. Коаксиальный контакт входа пьезоэлектрического полосового Фильтра Сосредоточенной Селекции (ФСС1) с центральной частотой 455 кГц и полосой пропускания 9 кГц.

3. Коаксиальный контакт входа электромеханического полосового Фильтра Сосредоточенной Селекции (ФСС2) «Надежда» с центральной частотой 465 кГц и полосой пропускания 6 кГц.

4. Коаксиальный контакт входа резонансного усилительного каскада с одиночным LC контуром.

5. Коаксиальный контакт выхода резонансного усилительного каскада с одиночным LC контуром.

6. Контрольная точка **КТ5** входа усилителя с Автоматической Регулировкой Уровня (АРУ) сигнала.

7. Контрольная точка **КТ10** сигнала управления усилением системы АРУ.

8. Контрольная точка **КТ9** установки опорного напряжения Регулятора системы АРУ

9. Контрольная точка **КТ6** сигнала выхода усилителя с АРУ.

10. Контрольная точка **КТ7** сигнала выхода Амплитудного Детектора.

11. Контрольная точка сигнала выхода фильтра системы АРУ.

12. Переключатель **S1** коммутации фильтров УПЧ. В верхнем положении «1» переключателя **S1** подключен фильтр ФСС1, в нижнем положении «2» подключен фильтр ФСС2.

13. Переключатель **S2** режима цепи обратной связи цепи АРУ. В нижнем положении «2» обратная связь замкнута, в верхнем положении «1» - разомкнута.

14. Регулятор установки величины порогового напряжения $U_{п}$ Регулятора системы АРУ.

15. Регулятор установки величины сопротивления фильтра R_{ϕ} системы АРУ.

8.1.2. Описание сменного блока «Исследование амплитудных и частотных детекторов»

Сменный блок объединяет функционально-законченные узлы амплитудного и частотного детектирования и необходимые цепи исследования их нагрузочных характеристик (рис. 8.2).

На рис. 8.2 цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа электропитания сменной панели.

2. Коаксиальный контакт входа Амплитудного детектора

3. Коаксиальный контакт входа Частотного детектора.

4. Контрольная точка сигнала в активно-реактивной нагрузке детекторов.

5. Коаксиальный контакт выхода Усилителя нижних частот нагрузки детекторов.

6. Переключатель входа нагрузки детекторов. В верхнем положении «1» к нагрузке подключен Амплитудный детектор, в нижнем положении «2» - Частотный детектор.

7. Переключатель установки величины емкости нагрузки. В верхнем положении к нагрузке подключена емкость номиналом 1нФ, в нижнем положении – отключена.

8. Переключатель установки величины емкости нагрузки. В верхнем положении к нагрузке подключена емкость номиналом 10 нФ, в нижнем положении – отключена.

9. Переключатель установки величины емкости нагрузки. В верхнем положении к нагрузке подключена емкость номиналом 100 нФ, в нижнем положении – отключена.

10. Регулятор установки величины сопротивления нагрузки.

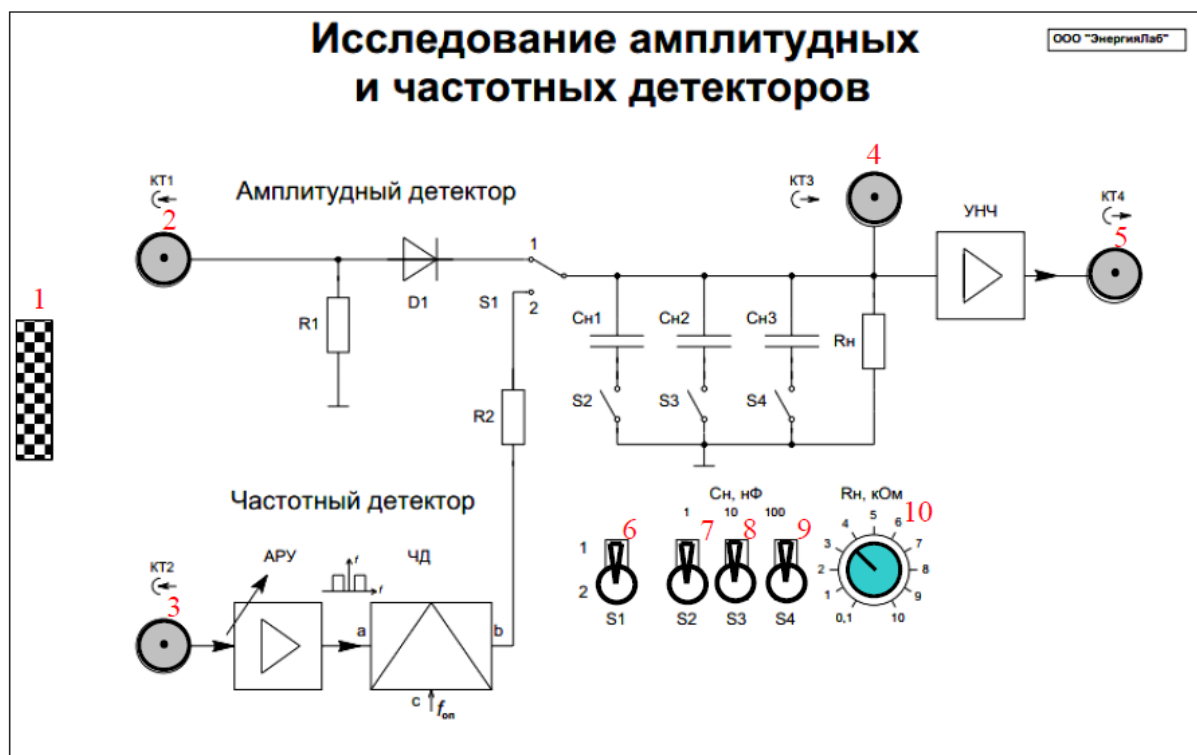


Рис. 8.2. Расположение контактов и органов управления сменного блока «Исследование амплитудных и частотных детекторов» лабораторной установки

8.2. Порядок выполнения работы

8.2.1. Исследование системы АРУ

1. Установите сменный блок «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ» справа от базового модуля.
2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 7.1) с разъемом питания (1 рис. 8.1) сменного блока.
3. Соедините контакт «Выход ВЧ» «-0dB» (15 рис. 7.1) Генератора ВЧ с контактом КТ1 (2 рис. 8.1) входа ФСС1 сменного блока.
4. Установите в верхнее положение «1» переключатель входа S1 (12 рис. 8.1) сменного блока.
5. Установите в нижнее положение «2» переключатель режима работы системы АРУ S2 (13 рис. 8.1), при этом будет включен режим регулировки уровня сигнала.
6. Установите в среднее положение регулятор опорного (порогового) напряжения Регулятора системы АРУ Уп (14 рис. 8.1).
7. Установите в крайнее правое положение регулятор Rф (10 рис. 8.1) полосы среза фильтра системы АРУ.

8. Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 7.1) Генератора ВЧ в крайнее левое положение.

9. Регулятор «Амплитуда» (13 рис. 7.1) установите в положение 0,2В.

10. Включить питание лабораторной установки, установив переключатель «Сеть» (1 рис. 7.1) в верхнее положение.

11. Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 7.1) установить режим генерации Амплитудно-модулированных сигналов «АМ».

12. Кнопками управления «Частота +», «Частота -» и «Шаг частоты» установить частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц.

13. Подключить вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ5 (6 рис. 8.1) выхода Фильтра Сосредоточенной Селекции (ФСС).

14. Подключить вход второго канала внешнего осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 8.1) выхода Усилителя с АРУ.

15. Качественно эффективность работы АРУ можно произвести следующим образом: На экране первого канала осциллографа измерьте амплитуду входного сигнала на входе устройства. Затем измерить амплитуду сигнала второго канала осциллографа на выходе усилителя с АРУ. (*Примечание: если сигнал на выходе усилителя сильно искажен, то следует снизить уровень ВЧ сигнала*). Найдите коэффициент передачи усилителя как отношение амплитуды выходного сигнала к входному.

16. Проведите аналогичные исследования при снижении уровня входного сигнала в 10 раз.

17. Для этого необходимо установить отсоединить вход ФСС1 от контакта «Выход ВЧ» «0 dB» и соединить с контактом «-20 dB» (16 рис. 7.1). Найдите коэффициент передачи усилителя как отношение амплитуды выходного сигнала к входному. Сделать вывод об эффекте «сжатия» динамического диапазона амплитуды входного сигнала усилителем с АРУ.

Исследование влияния уровня порогового (опорного) напряжения U_p на регулировку усиления АРУ.

18. Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 7.1) Генератора ВЧ в крайнее левое положение. Регулятор «Амплитуда» (13 рис. 7.1) установите в положение 0,2В.

19. Подключите вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 8.1) выхода усилителя с АРУ. По экрану осциллографа измерить величину входного сигнала $U_{вх}$.

20. Установить в крайнее левое положение регулятор порогового напряжения « U_p » (11 рис. 8.1).

21. Плавно поворачивая регулятор « U_p » (11 рис. 8.1) по часовой стрелке, измерить зависимость амплитуды сигнала на выходе Усилителя $U_{вых}$ (измерять по экрану осциллографа) от величины порогового напряжения U_p (измерять по лимбу шкалы регулятора « U_p »).

Примечание: Для более точного измерения величины порогового напряжения, возможно подключить к контакту КТ9 (8 рис. 8.1) вольтметр или осциллограф с открытым входом.

Экспериментальные данные занести в таблицу 8.1.

Коэффициент передачи усилителя с АРУ

Напряжение сигнала на выходе $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи $K=20\lg(U_{вых}/U_{овх})$, дБ				

Измерение амплитудной характеристики усилителя с АРУ.

22. Установите в среднее положение регулятор порогового напряжения U_p (11 рис. 8.1).

23. Подключите вход первого канала осциллографа к контакту КТ5 (3 рис. 8.1) выхода ФСС1 сменного блока.

24. Подключите вход второго канала осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 8.1) выхода Усилителя с АРУ.

25. Соедините выход «Выход ВЧ» «0 дБ» (15 рис. 7.1) с контактом КТ1 (2 рис. 8.1) входа ФСС1.

26. Установите регулятор «Уровень ВЧ» (12 рис. 7.1) в крайне левое положение.

27. Плавно поворачивая по часовой стрелке регулятор «Уровень ВЧ», изменяя амплитуду входного сигнала $U_{вх}$ (по экрану первого канала осциллографа), зафиксируйте изменение величины выходного сигнала $U_{вых}$ (по экрану второго канала осциллографа). Результаты занесите в таблицу 8.2.

Таблица 8.2

Амплитудная характеристика усилителя с АРУ

Амплитуда сигнала на входе усилителя, В				
Амплитуда сигнала на выходе усилителя, В				

Оценка влияния полосы среза фильтра системы АРУ на эффективность усиления сигнала.

28. Установите регулятор «Амплитуда» (13 рис. 8.1) в среднее положение. Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 8.1) в крайнее правое положение.

29. Подключите первый канал осциллографа к контакту КТ5 (6 рис. 8.1) выхода Усилителя с АРУ.

30. Подключите второй канал осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 8.1) выхода фильтра АРУ.

31. Плавно поворачивая против часовой стрелке регулятор $R\phi$ (15 рис. 8.1), увеличивать полосу среза фильтра нижних частот системы АРУ. На экране первого канала осциллографа наблюдать форму сигнала на выходе Усилителя, а на экране второго канала – сигнал на выходе фильтра. Обратите внимание, что с увеличением полосы пропускания на выходе фильтра (второй канал осциллографа) появляются пульсации сигнала, что приводит к искажениям сигнала на выходе Усилителя (первый канал осциллографа).

32. Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

8.2.2. Исследование частотного детектора

1. Установите сменный блок «Исследование амплитудных и частотных детекторов» справа от базового модуля .

2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 7.1) с разъе-

мом питания (1 рис.1.4) сменного блока.

3. С помощью коаксиального кабеля соедините контакт КТ2 (3 рис. 8.2) входа Частотного детектора сменного блока с разъемом «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 7.1) Генератора ВЧ. Установите в среднее положение регуляторы «Амплитуда» (13 рис. 7.1) и регулятор «Девияция частоты» (11 рис. 7.1). Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 7.1) установить режим генерации Частотно-модулированного сигнала «ЧМ».

4. Кнопками управления «Частота +», «Частота -» и «Шаг частоты» установите частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц.

5. Установить в нижнее положение «2» переключатель нагрузки S1 (6 рис. 8.2), при этом нагрузка будет подключена к выходу Частотного детектора.

6. Подключить к контакту КТ4 (5 рис. 8.2) вход первого канала осциллографа. Установить режим открытого хода первого канала осциллографа.

Исследование частотной характеристики ЧМ-детектора.

7. С помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 7.1) и «Частота -» (8 рис. 7.1) изменять частоту Генератора ВЧ в пределах 455 ± 20 кГц и величину постоянного напряжения сигнала на экране осциллографа. Вблизи точки резонанса колебательной системы детектора должен наблюдаться линейный участок с высокой крутизной зависимости напряжения на выходе детектора от частоты на его входе. Если частотная зависимость не четко выражена, необходимо изменить уровень сигнала с помощью регулятора «Уровень ВЧ».

8. Зафиксируйте изменение постоянного напряжения (показания осциллографа) на выходе детектора от частоты входного сигнала (по показаниям частотомера). Результаты занесите в таблицу 8.3.

Таблица 8.3

Дискриминационная характеристика ЧМ детектора

Частота сигнала, кГц				
Напряжение на выходе детектора, В				

9. Представить экспериментальные данные в виде графической зависимости. По графику определить крутизну преобразования (В/Гц) и границы линейного участка.

Исследование особенностей детектирования ЧМ сигналов.

10. С помощью коаксиального кабеля подключите вход осциллографа к разъему КТ3 (4 рис. 8.2) выхода нагрузки сменного блока. Установите регулятор «девиация частоты» (11 рис. 7.1) в среднее положение. С помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 7.1) и «Частота -» (8 рис. 7.1) установить частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц.

11. Наблюдая за формой сигнала на экране осциллографа, с помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 7.1) и «Частота -» (8 рис. 7.1) измените частоту генератора вверх, а затем вниз по диапазону. Наиболее характерные осциллограммы занесите в отчет. Сделайте соответствующие выводы.

12. С помощью регулятора «Девияция частоты» (11 рис. 7.1) плавно изменяйте девиацию сигнала, при этом наблюдайте за изменением формы сигнала на экране осциллографа. Наиболее характерные осциллограммы занесите в отчет. Сделайте соответствующие выводы.

13. С помощью регулятора «Амплитуда» (13 рис. 7.1) плавно изменяйте уровень сигнала, при этом наблюдайте за изменением формы сигнала на экране осциллографа. Наиболее характерные осциллограммы занесите в отчет. Сделайте соответствующие выводы.

Исследование особенностей влияния нагрузки на работу Частотного детектора.

14. С помощью коаксиального кабеля подключите вход осциллографа к разъему КТ4 (5 рис. 8.2) выхода нагрузки сменного блока. Установите регулятор «Девияция частоты» (11 рис. 7.1) и «Амплитуда» (13 рис. 7.1) в среднее положение.

15. С помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 7.1) и «Частота -» (8 рис. 7.1) установить частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц.

16. На экране осциллографа наблюдать сигнал на выходе Частотного детектора. Оперирова переключателами емкости нагрузки S1 S2 S3 (7,8,9 рис. 8.2) и регулятором сопротивления нагрузки RH (10 рис. 8.2) и наблюдая за изменением формы сигнала на экране осциллографа, оценить влияние параметров нагрузки на форму детектируемого сигнала. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

Содержание отчета.

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме работы.
3. Результаты измерений, схемы, таблицы, осциллограммы и спектрограммы.
4. Выводы.

9. Лабораторная работа

«ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ НАСТРОЙКИ И РЕГУЛИРОВКИ АНТЕНН»

Цель работы: изучение характеристик антенн различного вида; получение навыков измерения диаграммы направленности и КНД антенн, а также их регулировки.

9.1. Теоретические сведения

Описание лабораторного стенда

В данном стенде исследуемой является приемная антенна, установленная на вращающемся основании, поворачивающемся на 360°. Вращая антенну вокруг оси, можно определить интенсивность излучения антенны в заданном направлении, т.е. снять диаграмму направленности антенны. В качестве исследуемых антенн используются рупорные антенны с различными геометрическими размерами, рупорно-линзовая с замедляющей линзой, линзовая и щелевая антенны.

Строя зависимость показаний индикатора от угла, получим диаграмму направленности антенны по мощности. Для получения правильных результатов измерения необходимо, чтобы приемная и передающая антенны находились в дальней зоне. Для этого расстояние между ними должно быть не менее

$$R_{\min} = \frac{2 \cdot d_1 \cdot d_2}{\lambda},$$

где d_1 и d_2 – размеры раскрыва антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Схема лабораторного стенда приведена на рис.9.1.

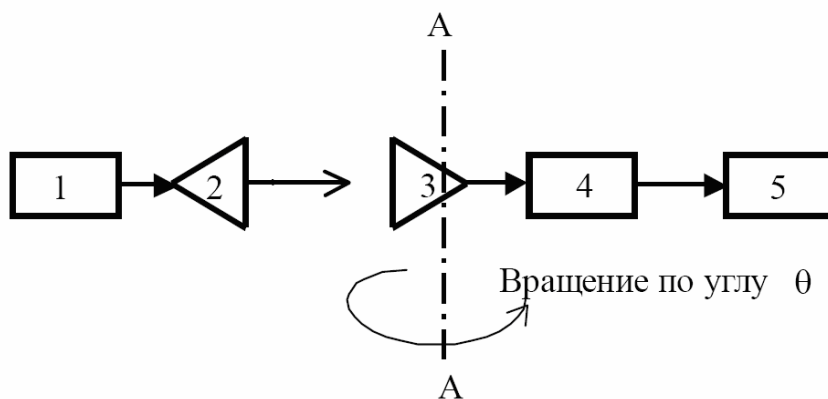


Рис. 9.1. Структурная схема лабораторного стенда

1 – генератор высокочастотного сигнала; 2 – вспомогательная передающая антенна, имеющая линейную поляризацию; 3 – исследуемая антенна, работающая в режиме приема; 4 – детекторная секция; 5 – индикатор.

9.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой и конструкцией исследуемых антенн.

2. Включить и настроить лабораторную установку. Установить заданную частоту и удобный для измерений уровень мощности генератора. Совместить оптические оси передающей и приемной антенн, установить начало отсчета угла наблюдения от ожидаемого направления главного максимума ДН исследуемой приемной антенны. Далее начало отсчета угла наблюдения не менять.

3. Измерить параметры рупорных антенн на двух заданных преподавателем частотах:

а) снять ДН в горизонтальной плоскости, вращая приемную антенну по азимуту и фиксируя показания прибора через каждые 5° ;

б) измерить КНД методом сравнения с эталонной антенной, в качестве которой использовать открытый конец прямоугольного волновода, а его КНД рассчитать теоретически;

в) определить поляризацию заданных рупорных антенн по коэффициенту эллиптичности.

4. Измерить параметры рупорно-линзовой антенны на двух частотах, заданных в п.2:

а) снять ДН в горизонтальной плоскости, вращая приемную антенну по азимуту и фиксируя показания прибора через каждые 5° ;

б) измерить КНД методом сравнения с эталонной антенной и оценить выигрыш по КНД рупорно-линзовой антенны по сравнению с рупорной без линзовой вставки.

5. Определить фокусное расстояние линзовой антенны, перемещая облучатель по фокальной оси до тех пор, пока показания индикаторного прибора не будут иметь максимальной величины, при этом частота и выходная мощность генератора должны быть постоянными. Измерить фокусное расстояние и зафиксировать его. Измерить параметры линзовой антенны на двух частотах, заданных в п.2:

а) снять ДН в горизонтальной плоскости, вращая приемную антенну по азимуту и фиксируя показания прибора через каждые 5° ;

б) измерить КНД методом сравнения с эталонной антенной и оценить выигрыш по КНД линзовой антенны по сравнению с рупорной без линзы.

6. Оценить центральную частоту рабочего диапазона резонансной многощелевой антенны (МЩА).

7. Измерить диаграмму направленности на трех заданных частотах резонансной МЩА.

8. Измерить диаграмму направленности на заданных частотах нерезонансной МЩА. Зафиксировать величину смещения главного максимума ДН с нормали к оси антенны при изменении частоты.

9. Определить поляризацию обеих антенн (измерить коэффициент эллиптичности и положение плоскости E).

10. Измерить диаграмму направленности и КНД двух диэлектрических антенн с разной длиной стержня. КНД измерить методом сравнения. В качестве эталонной антенны использовать открытый конец прямоугольного волновода. Его КНД определить теоретически:

$$КНД = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot S \cdot КИП,$$

где S – площадь раскрытия волновода; $КИП = 0.81$.

11. Обработать результаты измерения ДН и построить графики нормированных ДН в прямоугольных координатах. Определить ширину главного лепестка по уровню половинной мощности и направление главного максимума ДН всех используемых антенн.

12. Сделать выводы по всем пунктам работы.

Содержание отчета.

1. Название и цель работы.
2. Структурная схема установки, перечень и схематические рисунки исследованных антенн.
3. Экспериментальные графики ДН в прямоугольной системе координат и результаты измерения.
4. Выводы по всем пунктам работы.

Контрольные вопросы.

1. Измерение ДН и определение КНД антенны.
2. Амплитудное и фазовое распределение поля в раскрыве пирамидального рупора.
3. Амплитудное и фазовое распределение поля в раскрыве Е – секториального рупора.
4. Амплитудное и фазовое распределение поля в раскрыве Н – секториального рупора.
5. Зависимость КНД от амплитудного и фазового распределения поля на раскрыве рупорной антенны и от угла раскрыва рупора.
6. Оптимальный рупор, критерий оптимальности, параметры ДН и КНД.
7. Назначение линзы в рупорно-линзовой антенне.
8. Конструкция и принцип действия замедляющей линзы, требования к материалу линзы.
9. Конструкция и принцип действия ускоряющей металлопластинчатой линзы.
10. Состав и принцип действия линзовой антенны.
11. Требования к облучателю линзовой антенны.
12. Принципы определения поля на раскрыве линзовой антенны и в дальней зоне.
13. Чем определяется рабочий диапазон частот линзовой и рупорно-линзовой антенны.
14. Диаграмма направленности и поляризация полуволновой щели в экране.

15. Способы расположения излучающих щелей на стенках прямоугольного волновода с волной H_{10} .

16. Конструкция, принцип работы и свойства резонансной МЩА на прямоугольном волноводе.

17. Конструкция, принцип работы и свойства нерезонансной МЩА на прямоугольном волноводе.

18. Конструкции и принцип работы антенн бегущей волны.

19. Зависимость параметров ДН (направления главного максимума, ширины главного лепестка и уровня боковых лепестков) антенны бегущей волны от коэффициента замедления.

20. Зависимость КНД антенны бегущей волны от коэффициента замедления. Оптимальный коэффициент замедления. Оптимальная длина антенны бегущей волны.

21. Принцип действия диэлектрической антенны.

22. Выбор типа волны, диаметра и длины стержня диэлектрической антенны.

23. Влияние формы стержня на диаграмму направленности диэлектрической антенны

24. КНД, КПД и коэффициент усиления диэлектрической антенны.

25. Назначение антенн с вращающейся поляризацией. Принцип действия и конструкция цилиндрической спиральной антенны.

26. Принцип действия и конструкция конической спиральной антенны.

27. Принцип действия и конструкция плоских спиральных антенн.

28. Направление вращения поляризации спиральных антенн, коэффициент эллиптичности поляризации.

10. Лабораторная работа

«ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И РЕГУЛИРОВКА ЛИНЕЙНЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ»

Цель работы: изучить принцип работы, схемотехнику, параметры и регулировку линейных и импульсных стабилизаторов постоянного напряжения.

10.1. Теоретические сведения

Импульсные стабилизаторы напряжения построены на DC-DC конвертере MC34063 компании STMicroelectronics (отечественный аналог 1156EY5). Микросхема содержит (рис. 10.1): температурно-компенсированный ИОН, компаратор, управляющий длительностью импульсов генератора с цепью ограничения тока, предвыходной транзистор (драйвер) и мощный выходной ключ. От генератора на схему управления поступают импульсы, скважность которых зависит от сигнала схемы ограничения по току. Также на схему управления подается сигнал обратной связи с компаратора К. Он производит сравнение напряжения обратной связи с напряжением внутреннего ИОН. Стабильность параметров выходного напряжения ИС обеспечивает ИОН.

Ключевой элемент микросхемы образован двумя биполярными транзисторами, которые могут быть включены по схеме составного транзистора с общим эмиттером (схема Дарлингтона). Суммарный коэффициент передачи тока в этом случае может достигать 10000 и более. Поэтому даже при максимальном рабочем токе через VT2 схема управления нагружается незначительно. В эмиттере драйвера включен резистор величиной 100 Ом.

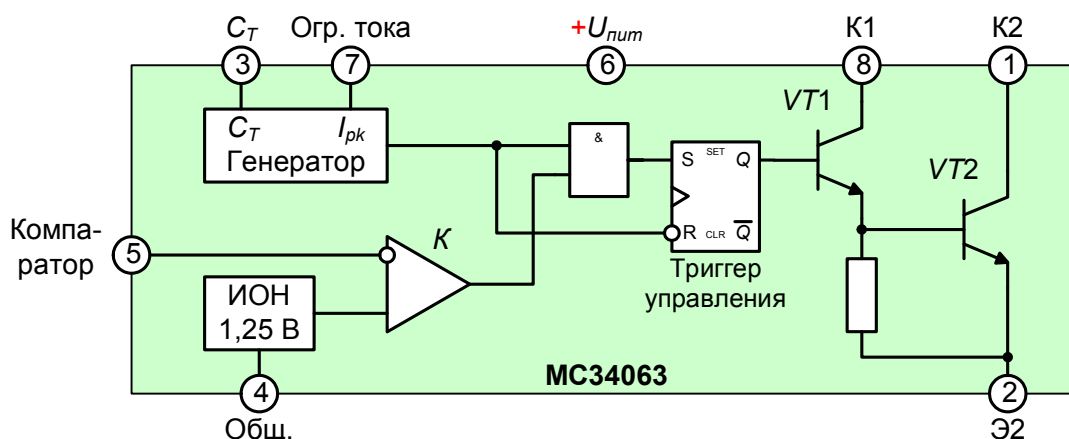


Рис. 10.1. Функциональная схема конвертера постоянного напряжения MC34063 (1156EY5)

Интегральная схема MC34063 специально разработана для построения понижающих, повышающих и инвертирующих импульсных преобразователей напряжения с минимальным числом внешних компонентов.

10.2. Порядок выполнения работы

10.2.1. Исследование регулируемого стабилизатора напряжения.

1. Не включая питания, переключить тумблер S1 в положение III, что соответствует подключению схемы стабилизатора, приведенной на рис. 10.2. При этом на схеме выпрямителя I должна быть подключена емкость C1.
2. Снять осциллограмму на входе стабилизатора, подключив осциллограф к гнезду X2. Зарисовать полученную характеристику.
3. Измерить постоянной составляющей U_{ex} и напряжение пульсаций ΔU_{ex} на входе схемы (гнездо X2) при среднем положении движка резистора R_R .

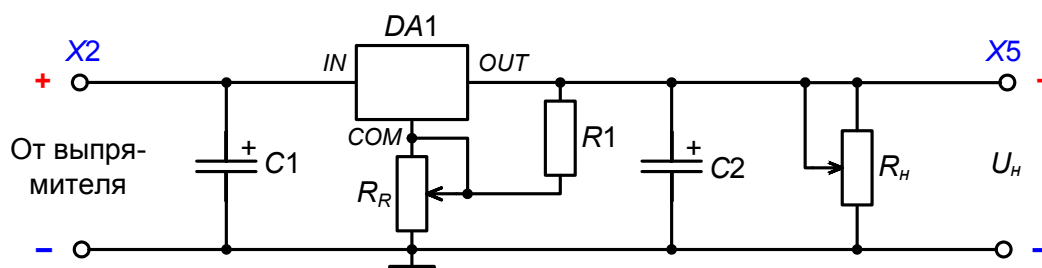


Рис. 10.2. Регулируемый стабилизатор положительного напряжения

4. Подключив вольтметр к гнезду X5, измерить значение постоянной составляющей U_H и напряжение пульсаций ΔU_H на выходе стабилизатора при среднем положении движка резистора R_R . Определить коэффициент сглаживания пульсаций $K_{ce} = \Delta U_{ex} / \Delta U_H$ и коэффициент стабилизации напряжения

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{ex} \cdot U_H}{U_{ex} \cdot \Delta U_H} \text{ стабилизатора.}$$

5. Измерить значение постоянной составляющей (U_H) выходного напряжения стабилизатора при изменении сопротивления R_R (таблица 10.1).

Таблица 10.1

R_R , кОм	0	1	2	3	4	5	6	7
U_H , В								

6. Подключив вольтметр к гнезду X5, снять значение постоянной (U_H) и переменной (ΔU_H) составляющих выходного напряжения при изменении R_H и значении $R_R = 2$ кОм. Полученные значения свести в таблицу 10.2.

Таблица 10.2

R_H , кОм	10	12	14	16	18	20
U_H , В						
ΔU_H , В						

7. Построить полученные зависимости – $U_H = f(R_R)$, $U_H = f(R_H)$, $\Delta U_H = f(R_H)$ и рассчитать сопротивление резистора $R1$, используя выражение для интегральных стабилизаторов напряжения с обратной связью: $U_H = U_{cm0}(1 + R1/R_R)$,

где U_{cm0} – напряжение стабилизации ИС DA1, которое может быть найдено из графика $U_H = f(R_R)$ при $R_R = 0$.

10.2.2. Исследование двухполярного стабилизатора напряжения.

1. Переключить тумблер S1 в положение IV, подключив схему двухполярного стабилизатора (рис. 10.3).
2. Снять осциллограмму и измерить значение постоянного напряжения на входе схемы (гнездо X1).

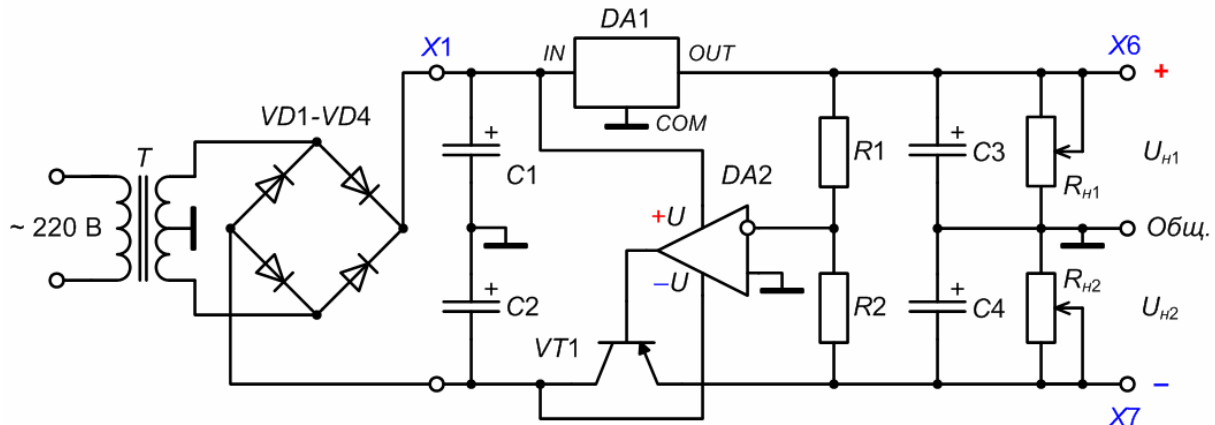


Рис. 10.3. Двухполярный стабилизатор постоянного напряжения

3. Подключив вольтметр к гнезду X6, снять постоянную составляющую выходного напряжения верхнего по схеме плеча стабилизатора (U_{H1}) при изменении сопротивления R_{H1} и фиксированном $R_{H2} = 2$ кОм. Полученные значения свести в таблицу 10.3.

Таблица 10.3

R_{H1} , кОм	2	4	6	8	10	12
U_{H1} , В						

4. Зафиксировав $R_{H1} = 2$ кОм, измерить постоянное значение напряжения во втором плече (U_{H2}) при изменении R_{H2} (таблица 10.4).

Таблица 10.4

R_{H2} , кОм	2	4	6	8	10	12
U_{H1} , В						

5. Построить полученные в работе характеристики. Сделать выводы.

10.2.3. Исследование DC-DC конверторов на ИС MC34063

1. Ознакомиться со схемами повышающего и понижающего преобразователей постоянного напряжения (DC-DC конверторов), выполненных на ИС MC34063 (DA1 и DA2) и изображенных на рис. 10.4. Включить питание.

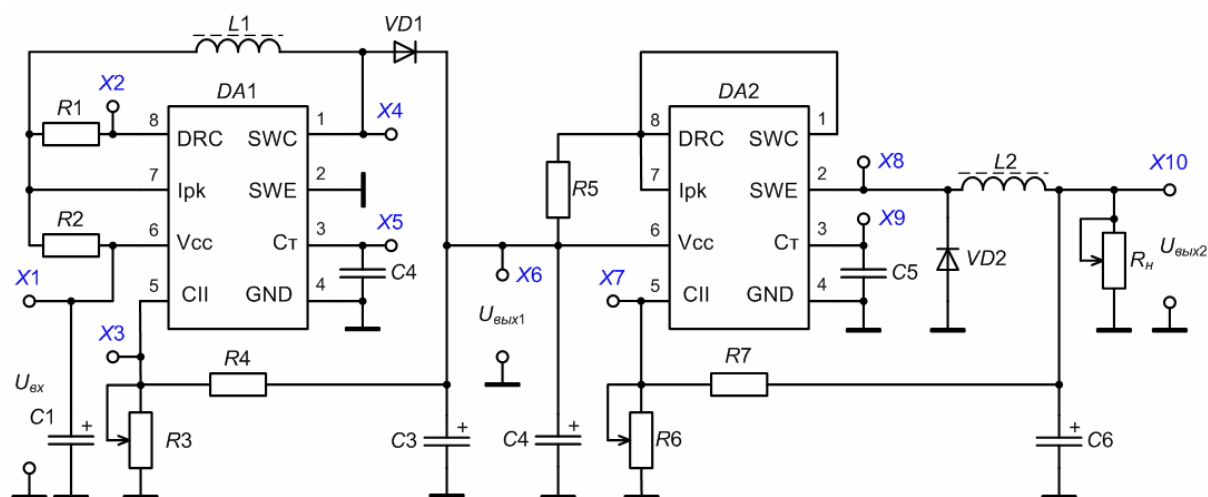


Рис. 10.4. DC-DC конвертеры на интегральной микросхеме MC34063

2. Подключить вольтметр к гнезду **X1**, измерить напряжение и снять осциллограмму напряжения на входе.
3. Снять осциллограмму напряжения на выходе частото задающего генератора ИС **DA1** (гнездо **X5**). Определить частоту колебаний.
4. Снять осциллограмму напряжения на выводе 1 ИС **DA1** (гнездо **X4**).
5. В точке **X6** произвести измерения выходного напряжения повышающего преобразователя при различных значениях сопротивления **R3**. Полученные данные занести в таблицу 10.5.

Таблица 10.5

R3, кОм	5	7	9	11	13	15
U_{вх1}, В						

6. По данным таблицы 10.5 построить зависимость $U_{вх1} = f(R3)$.
7. С помощью резистора **R3** установить в точке **X6** напряжение 10...12 В. Снять осциллограмму установленного напряжения.
8. Снять осциллограмму напряжения на выходе частото задающего генератора ИС **DA2** (гнездо **X9**). Определить частоту колебаний.
9. Снять осциллограмму напряжения на выводе 2 ИС **DA2** (гнездо **X8**).
10. Подключить вольтметр к гнезду **X10**, произвести измерения выходного напряжения понижающего преобразователя при различных значениях сопротивления **R6** (при этом сопротивление **Rн** должно быть равно 5 кОм). Полученные данные занести в таблицу 10.6. По данным таблицы 10.6 построить зависимость $U_{вх2} = f(R6)$.

Таблица 10.6

R6, кОм	1	2	3	4	5	6
U_{вх2}, В						

11. Рассчитать величину сопротивления **R4**, используя выражение $U_{вх2} = U_{оп}(1 + R7/R6)$, где $U_{оп} = 1,25$ В – напряжение ИОН микросхемы.
12. В точке **X10** измерить выходное напряжение понижающего преобразо-

вателя при различных значениях сопротивления R_H (при этом сопротивление R_6 должно быть равно 1 кОм). Полученные данные занести в таблицу 10.7.

Таблица 10.7

R_H , кОм	5	7	9	11	13	15
$U_{вых2}$, В						

13. По данным таблицы 10.7 построить зависимость $U_{вых2} = f(R_H)$.

Содержание отчёта

- Название и цель работы.
- Схемы исследуемых устройств.
- Результаты измерений и графические зависимости согласно заданию.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему параметрического стабилизатора напряжения, объясните принцип его работы.
2. Нарисуйте схему простейшего компенсационного стабилизатора, объясните принцип его работы, назовите его достоинства и недостатки.
3. Приведите схемы двухкаскадного и мостового параметрических стабилизаторов напряжения, назовите достоинства данных схем.
4. Приведите структурные схемы последовательного и параллельного компенсационных стабилизаторов напряжения. Охарактеризуйте их.
5. Приведите схему последовательного компенсационного стабилизатора на двух транзисторах.
6. Приведите схему последовательного компенсационного стабилизатора с дифференциальным усилителем постоянного тока.
7. Приведите схему последовательного компенсационного стабилизатора с операционным усилителем.
8. Приведите схему параллельного стабилизатора на двух транзисторах.
9. Приведите схемы защиты стабилизаторов от короткого замыкания в нагрузке.
10. Приведите схемы регулируемых стабилизаторов напряжения на четырехвыводной и трехвыводной ИС.
11. Назовите способ повышения нагрузочной способности интегральных стабилизаторов напряжения.
12. Поясните принцип действия термокомпенсированных стабилитронных источников опорного напряжения.
13. Поясните принцип действия опорных источников с напряжением заперщенной зоны.
14. Объясните на примере принцип работы интегральных стабилизаторов постоянного напряжения. Назовите их наиболее известные серии и параметры.
15. Назовите назначение и области применения повышающих, понижающих и инвертирующих импульсных стабилизаторов постоянного напряжения.

16. Приведите функциональную схему понижающего импульсного стабилизатора, поясните принцип работы, особенности и режимы работы.

17. Приведите функциональную схему повышающего импульсного стабилизатора, поясните принцип работы и особенности.

18. Приведите функциональную схему инвертирующего импульсного стабилизатора, поясните принцип работы и особенности.

19. Объясните назначение и принцип работы интегрального таймера NE555 по его функциональной схеме.

20. Объясните назначение и принцип работы импульсного преобразователя MC340763 по его функциональной схеме.

21. Объясните принцип действия повышающих импульсных преобразователей постоянного напряжения с использованием полученных в работе осциллограмм.

22. Объясните принцип действия понижающих импульсных преобразователей постоянного напряжения с использованием полученных в работе осциллограмм.

23. Поясните назначение основных элементов исследуемого понижающего импульсного стабилизатора.

24. Поясните назначение основных элементов исследуемого повышающего импульсного стабилизатора.

25. Поясните назначение основных элементов DC-DC преобразователей, выполненных на ИС MC340763.

26. Объясните полученные в работе графические зависимости.

11. Лабораторная работа

«ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И РЕГУЛИРОВКА ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ»

Цель работы: изучить принцип работы, исследовать параметры и выполнить регулировку импульсного источника электропитания на специализированной интегральной схеме.

11.1. Теоретические сведения

Базовый теоретический материал по теме лабораторной работы приведен в [1...5], [6 – пп.1.3, 3.1-3.3, 3.6].

При построении современных импульсных источников питания широкое применение находят интегральные специализированные микросхемы управления, использующие широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). В качестве примера в лабораторной работе исследуется ШИМ-контроллер MB3759 фирмы Fujitsu, функциональная схема которого приведена на рис. 11.1,а.

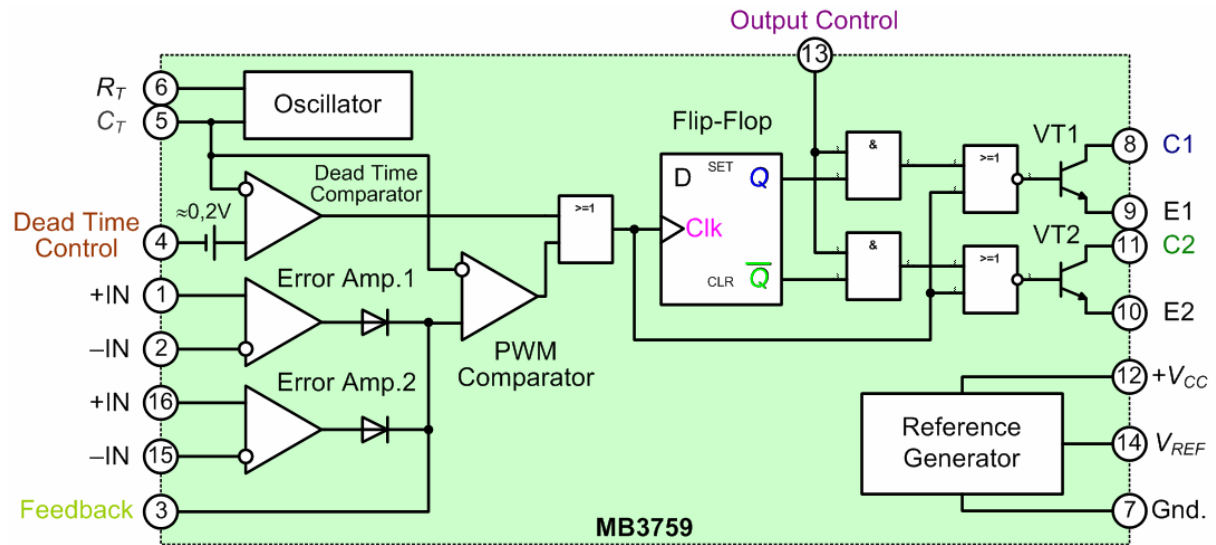
MB3759 – это полнофункциональная система формирования и управления ШИМ, выполненная на одном кристалле и работающая с фиксированной частотой преобразования. Микросхема содержит: внутренний источник опорного напряжения (*Reference Generator*) $U_{оп} = 5В$; два независимых усилителя сигнала ошибки (*Error Amp.1* и *Error Amp.2*); генератор пилообразного напряжения (*Oscillator*), частота которого задается внешней *RC*-цепью; компаратор управления защитным интервалом (*Dead Time Comparator*); компаратор ШИМ (*PWM Comparator*); схему управления импульсами, которая построена на триггере (*Flip-Flop*), работающем в режиме деления частоты на 2.

MB3759 обеспечивает противофазный (двухтактный) или синфазный режимы работы выходного каскада и внешнее управление шириной защитного интервала импульсов. Два выходных ключевых *nnp*-транзистора имеют открытые коллекторы и эмиттеры и обеспечивают выходной ток до 200мА каждый.

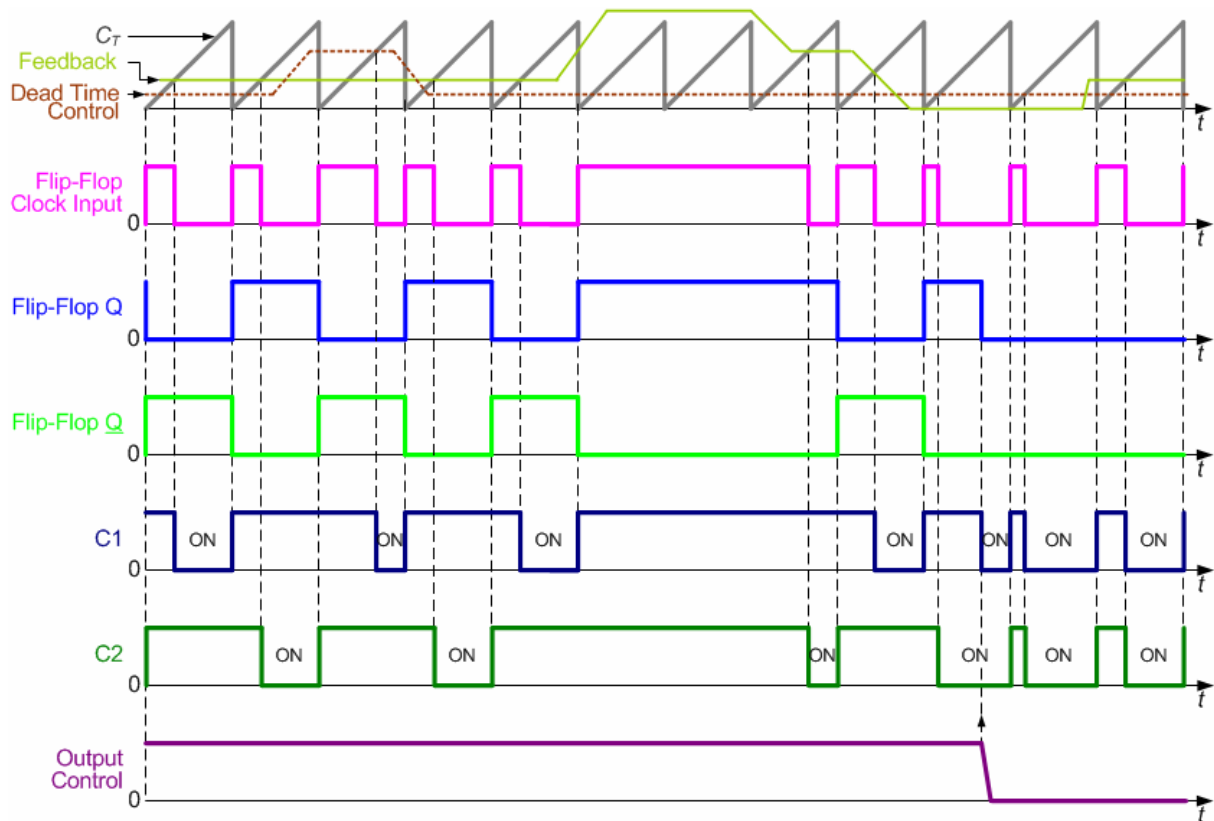
Временные диаграммы работы ШИМ-контроллера MB3759 в двухтактном режиме работы и при резистивных нагрузках в коллекторах выходных транзисторов *VT1* и *VT2* приведены на рис. 11.1,б. Интервалы времени, в течение которых транзисторы находятся во включенном состоянии, обозначены «ON».

Особенности микросхемы ШИМ-контроллера MB3759:

- законченная система ШИМ со схемой регулирования мощности;
- встроенная электрическая схема запрещает одновременную работу выходных ключей;
- встроенная электрическая схема предотвращает неправильную работу ИС при низком напряжении питания.



a



б

Рис. 11.1. Функциональная схема (а) и временные диаграммы работы (б) интегрального ШИМ-контроллера MB3759

The diagram shows a two-channel differential amplifier DA1. The input stage consists of two differential inputs, $-IN1$ (pin 2) and $+IN1$ (pin 1), and $-IN2$ (pin 15) and $+IN2$ (pin 16). The feedback network includes resistors $R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11$ and capacitors $C5$. A reference voltage V_{ref} (pin 14) is connected to a network of resistors $R7, R8, R4$ and capacitors $C5, R10, R11$. The output stage is transformer-coupled, with primary windings connected to pins 8 and 10 (output 1) and pins 9 and 11 (output 2). The secondary windings are connected to a full-bridge rectifier consisting of diodes $VD2, VD3, VD4, VD5$. The rectifier output is filtered by a capacitor $C7$ and a resistor $R12$. The transformer is connected to a power supply $+E$ (pin 12) and a ground connection (pin 5). The output of the rectifier is connected to a load resistor R_H and a capacitor C_ϕ . The output voltage is U_H . The circuit also includes a transformer with a primary winding connected to a power supply $+U_{num}$ and a secondary winding connected to a load resistor R_T and a capacitor C_T . The output voltage is U_H . The circuit is labeled with various components and their values, including $R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R_H, R_T, C5, C7, C_\phi, C_T, VD1, VD2, VD3, VD4, VD5, L_\phi, X_B, X_C, X_D, X_E, X_A$.

8. Подключив к гнезду X_E вольтметр, снять зависимость постоянной составляющей (U_n) и пульсаций (ΔU_n) выходного напряжения от сопротивления нагрузки R_H . Полученные результаты свести в таблицу 11.1.

Таблица 11.1

Положение переключателя нагрузки	1	2	3	4	5
R_H , Ом	300	430	680	1000	∞
U_H , В					
ΔU_H , В					

9. По данным таблицы 11.1 построить зависимости $U_H = f(R_H)$ и $\Delta U_H = f(R_H)$. Сделать выводы.

10. Вновь подключив осциллограф к гнезду X_C , снять зависимость длительности импульсов t_u от сопротивления нагрузки. Результаты свести в таблицу, аналогичную 11.1. По полученным данным построить зависимость $t_u = f(R_H)$. Сделать выводы.

Содержание отчёта

- Название и цель работы.
- Схема исследуемого импульсного источника питания.
- Результаты измерений, расчетов и графические зависимости согласно заданию.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Поясните различие между линейными и импульсными источниками питания, назовите достоинства и недостатки каждого из них.
2. Приведите структурную схему импульсного источника питания, определите функции основных блоков и объясните принцип его работы.
3. Объясните принцип формирования ШИМ. Применение ШИМ.
4. Приведите упрощенную схему обратноходового импульсного источника питания. Поясните принцип ее работы, назовите достоинства и недостатки.
5. Приведите упрощенную схему прямоходового импульсного источника питания. Поясните принцип ее работы, назовите достоинства и недостатки.
6. Интегральные специализированные микросхемы управления, использующие ШИМ (на примере ИС MB3759 – рис. 11.1,а).
7. Объясните (с использованием приведенных на рис. 11.1,б и полученных в работе осциллограмм) принцип работы импульсного источника питания, приведенного на рис. 11.2.
8. Покажите защитный интервал на осциллограммах импульсов. Его назначение и формирование.
9. Поясните назначение элементов L_ϕ , C_ϕ на схеме рис. 11.2. Назовите критерии выбора их номиналов.
10. Какое влияние на работу схемы (рис. 11.2) оказывает изменение номиналов $R1$, $R11$, R_T и C_T .
11. Поясните назначение элементов $VD2$ и $VD3$ (рис. 11.2).

12. Поясните назначение сопротивления R_3 (рис. 11.2). Назовите критерии выбора его номинала.

13. Назначение цепочек $R12C7$ и $R13C8$ на схеме рис. 11.2. Назовите критерии выбора их номиналов.

14. Объясните полученные в работе графические зависимости.

12. Лабораторная работа

«МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ УЗЛОВ И БЛОКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ»

Цель работы: изучить принципы и получить навыки применения ЭВМ для моделирования процесса испытаний узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры.

12.1. Теоретические сведения

Моделирование выполнить согласно варианту задания (таблица 12.1).

Таблица 12.1

Варианты заданий для работы

Вариант	Исследуемая цепь	Сопротивление, $R1$, кОм	Емкость, $C1$, нФ	Частота, f , Гц	Длительность, t , %	Амплитуда, U , В
1	Интегрирующая	3	50	400	30	5
	Дифференцирующая	4	60	500	40	6
2	Интегрирующая	5	70	600	50	7
	Дифференцирующая	6	80	700	30	8
3	Интегрирующая	7	90	300	40	9
	Дифференцирующая	8	100	400	50	10
4	Интегрирующая	9	50	500	35	5
	Дифференцирующая	10	60	600	45	6
5	Интегрирующая	3	70	700	55	7
	Дифференцирующая	4	80	550	30	8
6	Интегрирующая	5	90	650	40	9
	Дифференцирующая	6	100	750	45	10
7	Интегрирующая	7	50	450	50	7
	Дифференцирующая	8	60	350	35	8
8	Интегрирующая	9	70	450	55	9
	Дифференцирующая	10	90	500	40	4

12.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с интерфейсом программы.
2. Используя возможности программы собрать схему, в соответствии с вариантом задания (таблица 12.1).

Для того чтобы собрать схему необходимо:

- 2.1. Выбрать компонент схемы, указанный на рис. 12.2.

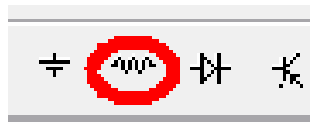


Рис. 12.2.

2.2. Выбрать номинал в соответствии с вариантом задания (рис. 12.3).

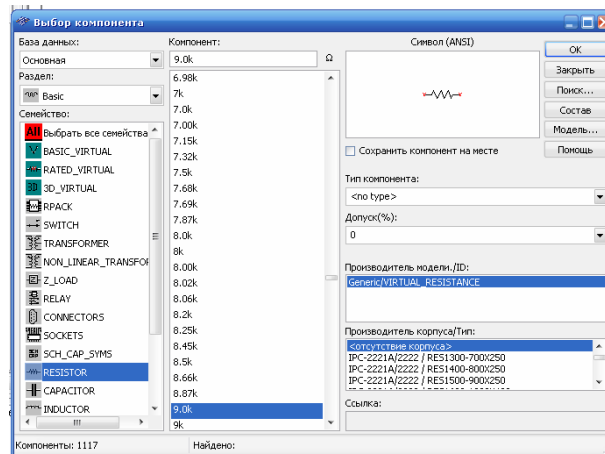


Рис. 12.3.

2.3. Выбрать конденсатор с номиналом, соответствующим варианту задания (рис. 12.4).

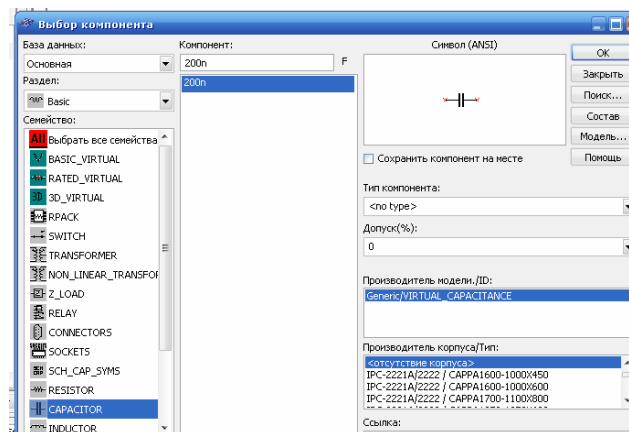


Рис. 12.4.

2.4. Выбрать корпус (рис. 12.5) и перенести его на рабочее поле (рис. 12.6).

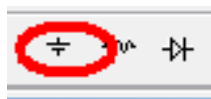


Рис. 12.5.

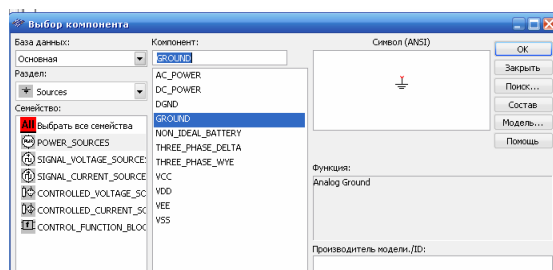


Рис. 12.6.

2.5. Выбрать в правой части экрана функциональный генератор и перенести его на рабочее поле курсором

2.6. Выбрать в правой части панели осциллографа и перенести его на экран курсором

2.7. Навести курсор на генератор и установить режим работы в соответствии с вариантом задания (рис. 12.7).

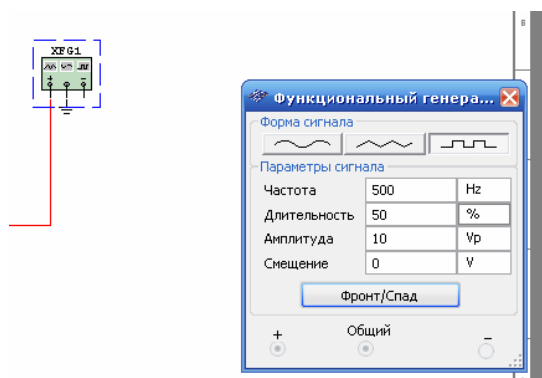


Рис. 12.7.

2.8. Включить осциллограф.

2.9. Навести курсор на осциллограф два раза кликнуть мышкой и получить осциллограмму сигнала (рис. 12.8).

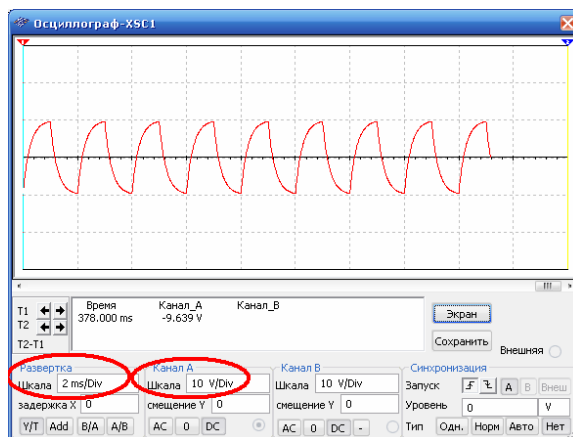


Рис. 12.8.

2.10. Подобрать развертку по вертикали и по горизонтали. Осциллограмму и измеренные параметры занести в отчет

3. Изменить величину резистора на 1 кОм в интегрирующей цепи и емкость конденсатора на 10нФ в дифференцирующей цепи. Включить осциллограф и зарисовать осциллограмму сигнала и записать его параметры.

4. Сделать выводы и оформить отчет

Содержание отчёта

- Название и цель работы.
- Схемы исследуемой цепи с указанием ее параметров.
- Результаты измерений и графические зависимости согласно заданию.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип моделирования узлов радиоэлектронной аппаратуры на ЭВМ.

2. Назовите программы для моделирования радиоэлектронной аппаратуры на ЭВМ.

3. Назовите преимущества моделирования узлов радиоэлектронной аппаратуры на ЭВМ.

4. Поясните принцип настройки узлов радиоэлектронной аппаратуры на ЭВМ.

5. Какие технические средства используются для настройки узлов радиоэлектронной аппаратуры на ЭВМ?

6. Объясните ход выполнения работы и полученные результаты.

13. Лабораторная работа

«ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ ВНЕШНЕГО ОСМОТРА. ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ «ПРОЗВОНКИ». ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК»

Цель работы: изучить методики тестирования и поиска неисправностей в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА); освоить методику составления алгоритма поиска неисправностей на примере тракта обработки видеосигналов.

13.1. Теоретические сведения

Практические методы поиска и устранения неисправностей в РЭА, приведены без привязки к конкретному оборудованию. Под причинами неработоспособности подразумеваются ошибки разработчиков, монтажников и т.д. Методы являются взаимосвязанными между собой и почти всегда необходимо их комплексное применение. Порой поиск очень тесно связан с устранением.

Основные концепции поиска неисправностей.

1. Действие не должно наносить вреда исследуемому устройству.
2. Действие должно приводить к прогнозируемому результату:
 - выдвижение гипотезы о исправности или неисправности блока, элемента.
 - подтверждение или опровержение выдвинутой гипотезы и как следствие локализации неисправности;
3. Необходимо различать вероятную неисправность и подтвержденную (обнаруженную неисправность), выдвинутую гипотезу и подтвержденную гипотезу.
4. Необходимо адекватно оценивать ремонтпригодность изделия. Например, платы с элементами в корпусе BGA имеют очень низкую ремонтпригодность, вследствие невозможности или ограниченной возможности применения основных методов диагностики.

Схема описания методов: суть метода возможности метода, достоинства метода, недостатки метода, применение метода.

1. Выяснения истории появления неисправности.

Суть метода: История появления неисправности много может рассказать о локализации неисправности, о том какой модуль является источником неработоспособности системы, а какие модули вышли из строя в следствие первоначальной неисправности, о типе неисправного элемента. Также знание истории появления неисправности позволяет сильно сократить время тестирования устройства, повысить качество ремонта, надежность исправленного оборудования. Выяснение истории позволяет выяснить, не является ли неисправность результатом внешнего воздействия, как то климатические факторы (температура, влажность, запыленность и пр.), механические воздействия, загрязнение различными веществами и пр.

Примеры: если неисправность сначала проявлялась редко, а затем стала проявляться чаще в течение недели или нескольких лет), то, скорее всего, неисправен электролитический конденсатор, электронная лампа или силовой полупроводниковый элемент, чрезмерный разогрев которого приводит к ухудшению характеристик.

Если неисправность появилась в результате механического воздействия, то вполне вероятно ее удастся выявить внешним осмотром блока.

Если неисправность появляется при незначительном механическом воздействии, то ее локализацию следует начать с использования механических воздействий на отдельные элементы.

Возможности метода: Метод позволяет очень оперативно выдвинуть гипотезу о локализации неисправности.

Достоинства метода: нет необходимости знать тонкости работы изделия; оперативность; не требуется наличие документации.

Недостатки метода: необходимость получить информацию о событиях растянутых во времени, при которых вы не присутствовали, неточность и недостоверность предоставляемой информации; в некоторых случаях велика вероятность ошибки, и неточность локализации; требует подтверждения и уточнения другими методами.

2. Внешний осмотр.

Суть метода: Внешним осмотром зачастую пренебрегают, но именно внешний осмотр позволяет локализовать порядка 50% неисправностей. Особенно в условиях мелкосерийного производства. Внешний осмотр в условиях производства и ремонта имеет свою специфику. В условиях производства особое внимание необходимо уделять качеству монтажа. Качество монтажа включает в себя: правильность размещения элементов на плате, качество паяных соединений, целостность печатных проводников, отсутствие инородных включений в материал платы, отсутствие замыканий (порой замыкания видны только под микроскопом или под определенным углом), целостность изоляции на проводах, надежное крепление контактов в разъемах. Иногда неудачный конструктив провоцирует замыкания или обрывы.

В условиях ремонта следует выяснить, работало ли устройство когда-нибудь правильно. Если не работало (случай заводского дефекта), то следует проверить качество монтажа. Если же устройство работало нормально, но вышло из строя (случай собственно ремонта), то следует обратить внимание на следы тепловых повреждений электронных элементов, печатных проводников, проводов, разъемов и пр. Также при осмотре необходимо проверить целостность изоляции на проводах, трещины от времени, трещины в результате механического воздействия, особенно в местах где проводники работают на перегиб (например, слайдеры и флипы мобильных телефонов). Особое внимание следует обратить на наличие загрязнений, пыли, вытекания электролита и запахов. Наличие загрязнений может являться причиной не работоспособности РЭА или индикатором причины неисправности (например, вытекание электролита). Во всех случаях следует обратить внимание на любые механические повреждения корпуса, электронных элементов, плат, проводников, экранов и пр. пр.

Возможности метода: метод позволяет оперативно выявить неисправность и локализовать ее с точностью до элемента.

Достоинства метода: оперативность; точная локализация; требуется минимум оборудования; не требуется наличие документации (или наличие в минимальном количестве).

Недостатки метода: позволяет выявлять только неисправности имеющие проявление во внешнем виде элементов и деталей изделия; как правило требует разборки изделия, его частей и блоков.

3. Прозвонка.

Суть метода: Хотя данная методика имеет определенные недостатки, она очень широко применяется в условиях мелкосерийного производства, в связи со своей простотой и эффективностью. Суть метода в том, что при помощи омметра, в том или ином варианте, проверяется наличие необходимых связей и отсутствие лишних соединений (замыканий). На практике, как правило, достаточно проверить наличие необходимых связей и отсутствие замыканий по цепям питания. Отсутствие лишних связей также обеспечивается технологическими методами: маркировка и нумерация проводов в жгуте. Проверку на наличие лишних связей проводят в случае, когда есть подозрение на конкретные проводники, или подозрение на конструкторскую ошибку. Проводить проверку на наличие лишних связей чрезвычайно трудоемко. В связи с этим ее проводят как один из заключительных этапов, когда возможная область замыкания (например, нет сигнала в контрольной точке) локализована другими методами. Очень точно локализовать замыкание можно при помощи миллиомметра, с точностью до нескольких сантиметров.

Прозванивать лучше по *таблице прозвонки*, составленной на основании схемы электрической принципиальной. В этом случае исправляются возможные ошибки конструкторской документации, и обеспечивается отсутствие ошибок в самой прозвонке.

Возможности метода: предупреждение неисправностей при производстве, контроль качества монтажа; проверка гипотезы о наличии неисправности в конкретной цепи.

Достоинства метода: простота; не требуется высокая квалификация исполнителя; высокая надежность; точная локализация неисправности.

Недостатки метода: высокая трудоемкость; ограничения при проверке плат со смонтированными элементами и подключенных жгутов, элементов в составе схемы; необходимость получить прямой доступ к контактам и элементам.

4. Снятие внешних рабочих характеристик.

Суть метода. При применении метода изделие включается в рабочих условиях или в условиях имитирующих рабочие. Проверяют характеристики сравнивая их с необходимыми, характеристиками исправного изделия или теоретически рассчитанными.

Возможности метода: позволяет достаточно оперативно диагностировать изделие; позволяет примерно оценить расположение неисправности, выявить функциональный блок, работающий не правильно, в случае если изделие работает не правильно.

Достоинства метода: достаточная высокая оперативность; точность, адекватность; оценка изделия в целом.

Недостатки метода: необходимость специализированного оборудования или, как минимум, необходимость собрать схему подключения; необходимость стандартного оборудования; необходимость достаточно высокой квалификации исполнителя.

Применение метода. Например: В телевизоре наличие изображения и его параметры, наличие звука и его параметры, энергопотребление, тепловыделение. В мобильном телефоне на тестере проверяют параметре ВЧ тракта и по отклонению тех или иных параметров судят об исправности функциональных блоков и т.д.

5. Наблюдение прохождения сигналов по каскадам.

Данный метод достаточно эффективен. К недостаткам следует отнести трудоемкость и неоднозначность результата.

Суть метода в том, что при помощи измерительной аппаратуры (осциллограф, тестер, анализатор спектра и др.) наблюдают правильность распространения сигналов по каскадам и цепям устройства. В цепях с обратными связями очень тяжело получить однозначные результаты, в схемах с последовательным расположением каскадов, пропадание правильного сигнала в одной из контрольных точек, говорит о возможной неисправности либо выхода, либо замыкания по входу, либо о неисправности связи.

В начале вычлениют встроенные источники сигналов (тактовые генераторы, датчики, модули питания и пр.) и последовательно находят узел в котором сигнал не соответствует правильному, описанному в документации или определенному при помощи моделирования. После проверки правильности функционирования встроенных источников сигналов на вход (или входы) подают испытательные сигналы и вновь контролируют правильность их распространения и преобразования. В ряде случаев для более эффективного применения метода требуется временная модификация схемы, т.е. если необходимо и возможно разрыв цепей обратной связи, разрыв цепей связи входа и выхода подозреваемых каскадов.

Возможности метода: оценка работоспособности изделия в целом; оценка работоспособности по каскадам и функциональным блоком.

Достоинства метода: высокая точность локализации неисправности; адекватность оценки состояния изделия в целом и по каскадам.

Недостатки метода: большая затрудненность оценки цепей с обратной связью; необходимость высокой квалификации исполнителя.

6. Сравнение с исправным блоком.

Сравнение с исправным блоком очень эффективный метод, потому что документированы не все характеристики изделия и сигналы не во всех узлах схемы. Суть метода заключается в том, что сравниваются различные характеристики заведомо исправного изделия и не исправного. Необходимо начать сравнение со сравнения внешнего вида, расположения элементов и конфигурации проводников на плате, отличие в монтаже говорит о том, что конструктив изделия был изменен и вполне вероятно допущена ошибка.

Возможности метода: оперативная диагностика в комбинации с другими методами.

Достоинства метода: оперативный поиск неисправностей, нет необходимости использовать документацию.

Недостатки метода: необходимость в наличии исправного изделия, необходимость в комбинации с другими методами

7. Моделирование.

Суть метода в том, что моделируется поведение исправного и неисправного устройства и на основе моделирования выдвигается гипотеза о возможной неисправности и затем гипотеза проверяется измерениями.

Метод применяется в комплексе с другими методами для повышения их эффективности.

При устранении периодической проявляющейся неисправности необходимо применять моделирование для выяснения мог ли заменяемый элемент провоцировать данную неисправность. Для моделирования необходимо представлять принципы работы оборудования и порой знать даже тонкости работы.

Возможности метода: оперативное и адекватное выдвижение гипотезы о локализации неисправности.

Достоинства метода: возможность работать с исчезающими неисправностями, адекватность оценки.

Недостатки метода: необходима высокая квалификация исполнителя, необходима комбинация с другими методами.

8. Разбиение на функциональные блоки.

Для предварительной локализации неисправности весьма эффективно разбить устройство на функциональные блоки. Надо учитывать, что зачастую конструкторское разбиение на блоки не является эффективным с точки зрения диагностики так как один конструктивный блок может содержать несколько функциональных блоков или один функциональный блок может быть конструктивно выполнен в виде нескольких модулей.

Возможности метода: позволяет оптимизировать применение других методов.

Достоинства метода: ускоряет процесс поиска неисправности

Недостатки метода: необходимо глубокое знание схмотехники изделия

9. Временная модификация схемы.

Частичное отключение цепей применяется в следующих случаях:

- когда цепи оказывают взаимное влияние и не ясно, какая из них является причиной неисправности,
- когда неисправный блок может вывести из строя другие блоки,
- когда есть предположение, что не правильная/неисправная цепь блокирует работу системы

Следует с особой осторожностью отключать цепи защиты и цепи отрицательной обратной связи, т.к. их отключение может привести к значительному повреждению изделия. Отключение цепей обратной связи может приводить к полному нарушению режима работы каскадов и в результате не дать желаемого результата. Размыкание цепи ПОС в генераторах естественно приводит к срыву генерации но может позволить снять характеристики каскадов.

Возможности метода: локализация неисправности в цепях с ОС, точная локализация неисправности.

Достоинства метода: позволяет более точно локализовать неисправность.

Недостатки метода: необходимость модифицировать систему, необходимость знания тонкостей работы устройства.

10. Включение функционального блока вне системы, в условиях моделирующих систему.

По сути метод является комбинацией методов: разбиение на функциональные блоки и снятие внешних рабочих характеристик.

При обнаружении неисправностей «подозреваемый» блок проверяется вне системы, что позволяет либо сузить круг поиска, если блок исправен, либо локализовать неисправность в пределах блока, если блок неисправен. При применении данного метода необходимо следить за корректностью создаваемых условий и применяемых тестов. Блоки могут быть плохо согласованы между собой на стадии разработки.

Возможности метода: проверка гипотезы о работоспособности той или иной части системы.

Достоинства метода: возможность испытания и ремонта функционального блока без наличия системы.

Недостатки метода: необходимость собирать схему проверки

11. Предварительная проверка функциональных блоков.

Очень широко применяется для профилактики неисправностей системы в условиях производства новых изделий. Функциональный блок предварительно проверяется вне системы, на специально изготовленном стенде (рабочем месте).

При ремонте, метод имеет смысл если для блока требуется не слишком много входных сигналов или, иначе говоря, не слишком трудно имитировать систему. Например, этот метод имеет смысл применять при ремонте блоков питания.

12. Метод замены.

Подозреваемый блок/компонент заменяется на заведомо исправный. И проверяется функционирование системы. По результатам проверки судят о правильности гипотезы в отношении неисправности. Возможны несколько случаев:

- когда поведение системы не изменилось, это означает, что гипотеза не верна;

- когда все неисправности в системе устранены, значит, неисправность действительно локализована в замененном блоке;

- когда исчезла часть дефектов, это может означать что устранена только вторичная неисправность и исправный блок вновь сгорит под воздействием первичного дефекта системы. В этом случае лучшим решением будет вновь поставить замененный блок (если это возможно и целесообразно) и продолжить поиск неисправностей, чтобы устранить именно первопричину.

Например, неисправность блока питания может привести к неудовлетворительной работе нескольких блоков, один из которых выйдет из строя в результате перенапряжения.

13. Проверка режима работы элемента.

Суть метода в том, что проверяют соответствие токов и напряжений в схеме, предположительно правильной, отраженным в документации, рассчитанным при моделировании, полученным при исследовании исправного блока. На основании этого делают заключение об исправности элемента.

Правильность логических уровней цифровых схем (соответствие стандартам, а также сравнивают с обычными, типовыми уровнями), проверяют падения напряжений на диодах, резисторах (сравнивают с расчетным или со значениями в исправном блоке).

14. Провоцирующие воздействия.

Повышение или понижение температуры, влажности механическое воздействие. Подобные воздействия очень эффективно для обнаружения пропадающих неисправностей.

15. Проверка температуры элемента.

Суть метода проста, любым измерительным прибором (или пальцем) нужно оценить температуру элемента или сделать вывод о температуре элемента по косвенным признакам (цвета побежалости, запах горелого и пр.). На основании этих данных делают вывод о возможной неисправности элемента.

16. Выполнение тестовых программ.

Суть метода заключается в том, что на работающей системе выполняется тестовая программа которая взаимодействует с различными компонентами системы и предоставляет информацию о их отклике, либо система под управлением тестовой программы управляет периферийными устройствами и оператор наблюдает отклик периферийных устройств, либо тестовая программа позволяет наблюдать отклик периферийных устройств на тестовое воздействие (нажатие клавиши, реакция датчика температуры на изменение температуры и пр.).

Метод применим только для заключительного тестирования и устранения очень мелких недоработок.

Метод имеет существенные недостатки т.к. для исполнения тестовой программы ядро системы должно находиться в исправном состоянии, не правильный отклик не позволяет точно локализовать неисправность (может быть неисправна как периферия так и ядро системы, так и тест-программа).

К достоинствам метода следует отнести очень быструю оценку по критерию работает - не работает.

17. Пошаговое исполнение команд.

Этот метод можно классифицировать как одну из разновидностей «метода исполнения тестовых программ», но применение метода возможно на почти не работоспособной системе. Метод очень эффективен для отладки микропроцессорных систем на стадии разработки.

К недостаткам метода следует отнести очень большую трудоемкость. К достоинствам очень низкую стоимость необходимого оборудования.

13.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с принципиальной схемой монитора для этого:
 - используя принципиальную и структурную схему монитора выделить основные элементы монитора;
 - записать элементы, относящиеся к тракту обработки видеосигнала.
 - используя шасси видеомонитора (BM), ознакомится с размещением элементов на плате BM.
2. Ознакомится с критериями исправной работы тракта обработки видеосигнала для этого:
 - загрузить электронную модель тракта обработки видеосигнала (файл D:\...\STUDENT\Lab\CRT.sch);
 - ознакомится с расположением и назначением элементов управления модели:
 - соединительный кабель BM-ПК, сигнальный разъем BM,
 - узел обработки сигнала,
 - выходные каскады видеоусилителя,
 - ЭЛТ,
 - блок питания,
 - измерительные вольтметры: U_c - измеряет сетевое напряжение, U_{p1} , U_{p2} -измеряют напряжение питания видеоусилителей, U_n - измеряет напряжение накала ЭЛТ, V_1 и V_2 в зависимости от положения переключателей U_m - U_{a1} , U_{a2} - U_{a3} измеряют напряжение на электродах ЭЛТ,
 - переключатели G-BR (2 шт.) и B-R (2 шт.) обеспечивают подключение генератора сигналов и осциллографа к каналам видеоусилителя.
3. Включить модель и ознакомится с критериями исправной работы тракта обработки видеосигналов RGB. Результаты занести в таблицу 13.1.

Таблица 13.1

Элемент, параметр	Обозначение параметра	Напряжение, В	Признак исправности тракта		
			R	G	B
Сетевое напряжение	U_c				
Питающие напряжения	U_{p1}				
	U_{p2}				
	U_m				
	U_{a1}				
	U_{a2}				
	U_{a3}				
	U_n				
Входная цепь	Амплитуда сигнала				
Узел обработки сигнала	Амплитуда сигнала				
Выходные видеоусилители	Амплитуда				

	сигнала				
--	---------	--	--	--	--

4. Ознакомится с методикой поиска неисправностей в тракте обработки видеосигнала для этого:

- последовательно загружая модели D:\.....\STUDENT\Lab\CRT2.sch, D:\...\STUDENT\Lab\CRT3.sch, D:\...\STUDENT\Lab\CRT4.sch с введенными в них неисправностями, заполнить таблицы 13.2, 13.3, 13.4 (аналогичную таблице 13.1);

- по результатам анализа данных в таблицах сделать выводы о предполагаемых неисправностях тракта и предложить метод ремонта.

5. Используя полученные данные составить общий алгоритм поиска неисправностей в тракте обработки видеосигнала.

Содержание отчёта

- Название и цель работы.
- Структурные схемы исследуемых цепей.
- Результаты измерений и графические зависимости согласно заданию.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные методы поиска неисправностей в радиоэлектронной аппаратуре.

2. В чем заключаются суть, возможности, достоинства, недостатки и применение поиска неисправностей методом внешнего осмотра?

3. В чем заключаются суть, возможности, достоинства, недостатки и применение поиска неисправностей методом прозвонки?

4. В чем заключаются суть, возможности, достоинства, недостатки и применение поиска неисправностей методом измерения характеристик?

5. Каково назначение основных элементов видеомонитора (ВМ)?

6. Указать расположение основных элементов ВМ.

7. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при ремонте и диагностике ВМ и почему ?

8. Какова последовательность действий при поиске неисправностей в видеомониторе?

9. Каковы признаки исправной работы тракта обработки видеосигнала?

10. Какие виды сигналов подаются на вход видеомонитора и какова их характеристика?

Библиографический список

1. Метрология и технические измерения: учебное пособие / Э.Г. Миронов, Н.П. Бессонов. – Москва: КноРус, 2016. – 421 с.. <https://www.book.ru/book/919201>
2. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий: справочник / Ю.Д. Сибикин. – Москва: КноРус, 2018. – 281 с. – ISBN 978-5-406-00277-3. – Режим доступа: <https://www.book.ru/book/927499>
3. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры. Учебное пособие: учебное пособие / В.А. Шахнов под ред. и др. – Москва: КноРус, 2016. – 532 с. – ISBN 978-5-406-00230-8. – Режим доступа: <https://www.book.ru/book/930465>
4. Козлов В. Г. Теория надёжности: Учебное пособие – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 138 с.. <https://ibooks.ru/reading.php?productid=27976>
5. Шостак А.С. Формирование и передача сигналов. Часть 1 [Электронный ресурс]: курс лекций/ Шостак А.С. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 154 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14029>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю. <http://www.iprbookshop.ru/14029>
6. Шостак А.С. Формирование и передача сигналов. Часть 2 [Электронный ресурс]: курс лекций/ Шостак А.С. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 90 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14030>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.
7. Пушкарев В.П. Устройства приема и обработки сигналов / Томск.: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2012. - 201с.. <http://www.iprbookshop.ru/13995.html>
8. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 4-е изд. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2013. – 496 с.: ил.. <https://ibooks.ru/reading.php?productid=21607>
9. Электроника и микропроцессорная техника: учебник / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - Москва : КноРус, 2016. — 798 с.. <https://www.book.ru/book/919270>
10. Контрольно измерительное оборудование [Электронный ресурс]: Сайт компании Rohde & Schwarz. – Режим доступа: https://www.rohde-schwarz.ru/products/test_and_measurement/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус
11. Сайт фирмы Texas Instruments [Электронный ресурс]: Содержатся сведения об электронных компонентах и устройствах техники радиочастот. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lscs/ti/analog/broadband-rf-if/overview.page>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ
12. Информационно-справочная социальная сеть радиотехников и электроников. – Режим доступа: www.umur.ru/

13. Сайт журнала "Радио" [Электронный ресурс]: Содержится разнообразная информация, касающаяся проектирования и изготовления радиоэлектронных устройств. – Режим доступа: <http://www.radio.ru/> - Загл. с экрана. – Яз. рус

14. Радиотехника и электроника для разработчиков и радиолюбителей [Электронный ресурс]: Радиотехнический сайт RADIOTRACT. – Режим доступа: http://radiotract.ru/link_sprav.html

15. Портал для радиолюбителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.radioman-portal.ru/>