

МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРАЗМИЙ

Кафедра «Технологии
мобильной связи»

ПЕРЕДАЮЩИЕ И ПРИЁМНЫЕ УСТРОЙСТВА В ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИИ

*Сборник лабораторных работ и методические указания
по их выполнению*

Ташкент 2020

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Передающие и приёмные устройства в телерадиовещании» является одной из профилирующих при подготовке бакалавров по направлению образования 5350100 – Телекоммуникационные технологии (Телерадиовещание).

Для овладения материалом курса необходимы прочные знания по таким общенаучным и общетехническим курсам как физика, высшая математика, теория линейных цепей, электроника, схемотехника, усилительные устройства, теория электрической связи.

Студент, овладевший материалом курса должен:

- знать структурные схемы радиопередающих и приёмных устройств (РПдПрУ) разных типов и принципиальные схемы каскадов РПдПрУ, основные технические характеристики РпдПрУ, их зависимость от структуры РПдПрУ и характеристик каскадов;

- понимать принцип действия всех каскадов РПдПрУ, зависимость характеристик каскадов РПдПрУ от элементов, входящих в состав каждого каскада;

- уметь рассчитать любой каскад РПдПрУ в целом, экспериментально исследовать зависимость характеристик любого каскада РПдПрУ от его параметров.

Настоящие методические указания включают в себя методики проведения восьми лабораторных работ.

Выполнение лабораторных работ складывается из трех этапов: подготовки к работе, экспериментальной части, анализа полученных результатов. Цель методических указаний состоит в оказании помощи студентам при подготовке к работе, в проведении измерений и анализе их результатов. Методические указания также содержат схемы основных узлов учебной установки, поверочных расчетов и формулы, используемых при снятии экспериментальных данных.

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Цель работы

Изучить схему получения колебаний с амплитудной модуляцией, исследовать модуляционные характеристики модулируемого каскада и усилителя модулированных колебаний.

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Ознакомиться со схемой каскада, где осуществляется амплитудная модуляция.

2. Включить лабораторную установку, подключить генератор модулирующей частоты переключателем.

3. Включить измерительные приборы: осциллограф, частотомер, вольтметр, измеритель глубины амплитудной модуляции.

4. Измерить частоту модулирующего сигнала.

5. Снять динамическую модуляционную характеристику: зависимость глубины модуляции $m=f(U_{mod})$ на выходе модулируемого каскада (предоконечного усилителя мощности), изменяя амплитуду модулирующего напряжения.

6. Снять зависимость глубины модуляции $m=f(U_{mod})$ на выходе усилителя мощности, изменяя амплитуду модулирующего напряжения,

Указания по подготовке к работе

1. Изучить теоретический материал, относящийся к амплитудной модуляции [1-8].

2. На принципиальной схеме (рис.1.1) выделить генератор низкочастотного (модулирующего) напряжения, цепи, обеспечивающие его подачу на транзистор предоконечного усилителя мощности и разобраться в назначении отдельных элементов схемы.

3. На бланке отчета изобразить каскад, где осуществляется амплитудная модуляция, и схему подачи модулирующего напряжения.

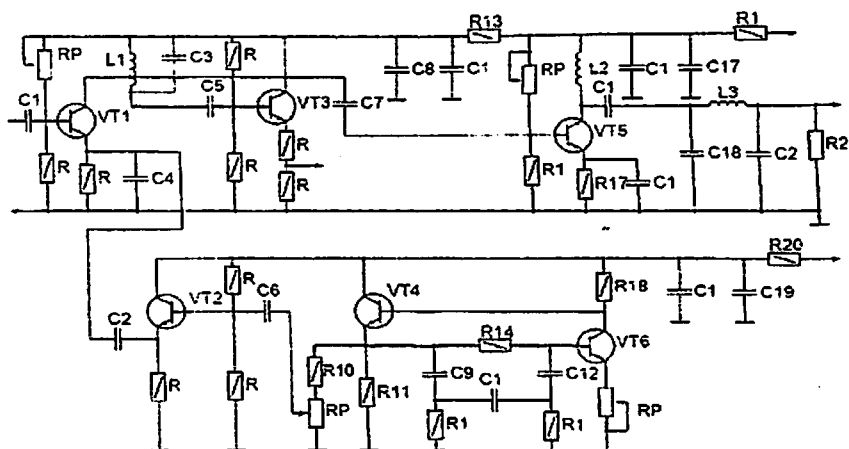


Рис.1.1. Схема принципиальная генератора НЧ, модулятора, усилителя мощности

Указания к выполнению работы

1. Включить учебную установку (рис.1.2). Убедиться в прохождении немодулированного напряжения от задающего генератора на выход передатчика. Измерить напряжение радиочастоты на выходе передатчика.

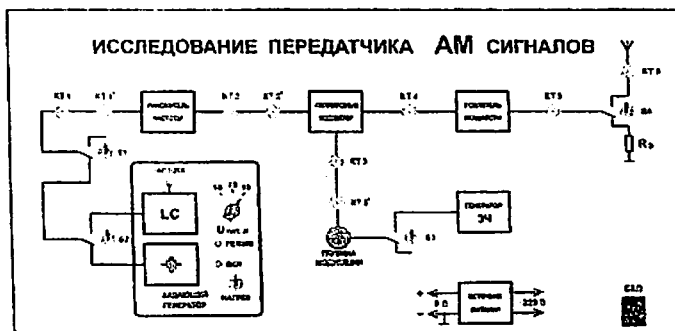


Рис.1.2. Внешний вид верхней панели лабораторного макета

2. Включить модулятор (генератор ЗЧ и усилитель низкой частоты). Измерить частоту модулирующего напряжения.

3. Снять зависимость глубины модуляции на выходе модулируемого каскада от амплитуды модулирующего сигнала. Амплитуду сигнала изменять с помощью потенциометра "глубина модуляции" от нуля до максимального уровня, сигнал с амплитудной модуляции снимать с *КТ4* (рис.1.2). В процессе измерений следует заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1

<i>U_{мод}</i> , В						
<i>m</i> , %						

Глубину модуляции можно измерять прибором "измеритель глубины амплитудной модуляции". В этом случае следует измерить глубину модуляции "вверх" и "вниз". При отсутствии измерителя глубины амплитудной модуляции величину "*m*" можно рассчитать, измеряя мгновенные амплитуды сигнала на экране осциллографа:

$$m = (U_{max} - U_{min}) / (U_{max} + U_{min})$$

4. Исследовать усилитель модулированных колебаний (оконечный усилитель мощности передатчика). С этой целью снять зависимость $m=f(U_{мод})$ на выходе передатчика (в точке *КТ5*, рис.1.2) аналогично тому, как это было сделано в п.3. По результатам измерений заполнить таблицу 1.2.

Таблица 1.2

<i>U_{мод}</i> , В						
<i>m</i> , %						

5. При глубине модуляции $m > 75\%$ по осциллограммам сигнала определить визуально искажения огибающей сигнала (уплощение вершин и минимумов огибающей).

Содержание отчета

1. Схема каскада, где осуществляют амплитудную модуляцию.

2. Таблицы экспериментальных результатов и графики $m=f(U_{\text{мод}})$, построенные на их основе.

3. Анализ полученных результатов: оценка линейности модуляционных характеристик и причины их нелинейности.

Контрольные вопросы

1. Каковы методы осуществления амплитудной модуляции?

2. По какой схеме осуществляется амплитудная модуляция в учебной установке?

3. Что такое динамическая модуляционная характеристика, глубина амплитудной модуляции?

4. Какие требования предъявляются к каскаду, где осуществляют амплитудную модуляцию?

5. Какие требования предъявляют к усилителю сигнала с амплитудной модуляцией?

6. Как можно измерить глубину амплитудной модуляции?

7. В чем механизм модуляции смещением? В каком режиме должен работать транзистор каскада, где осуществляют модуляцию смещением?

8. В каком режиме работает усилитель модулированных колебаний?

9. Оцените линейность снятых экспериментально модуляционных характеристик.

10. В чем причины возникновения искажений при глубокой амплитудной модуляции?

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОГЕНЕРАТОРА С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Цель работы

Выявить влияние различных дестабилизирующих факторов на частоту, генерируемую автогенераторами и произвести сравнение стабильности частоты автогенератора, стабилизированного кварцевым резонатором, и стабильности частоты *LC*-автогенератора.

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Включить схему учебного передатчика (рис.1.2) и установить исходный режим работы *LC*-автогенератора: $E_{пит}=9$ В.
2. Исследовать влияние питающих напряжений *LC*-автогенератора на генерируемую частоту.
3. Исследовать влияние изменения температуры *LC*-автогенератора на генерируемую частоту.
4. Переключить схему автогенераторов на кварцевый автогенератор.
5. Исследовать влияние питающих напряжений на автогенератор с кварцевой стабилизацией.
6. Исследовать влияние изменения температуры на автогенератор с кварцевой стабилизацией.

Указания по подготовке к работе

1. Самостоятельно изучить материалы разделов учебной литературы [1-8]:
 - транзисторные автогенераторы;
 - нестабильность частоты автогенераторов;
 - цепи питания автогенераторов;
 - кварцевые автогенераторы.
2. Подготовить бланк отчета, поместив в него схемы *LC*-автогенератора, автогенератора, стабилизированного кварцевым резонатором, и схему проведения измерений.
3. Рассчитать по элементам принципиальной схемы учебной установки частоту, генерируемую *LC*-автогенератором.

При этом использовать принципиальную схему LC-автогенератора (рис.2.1).

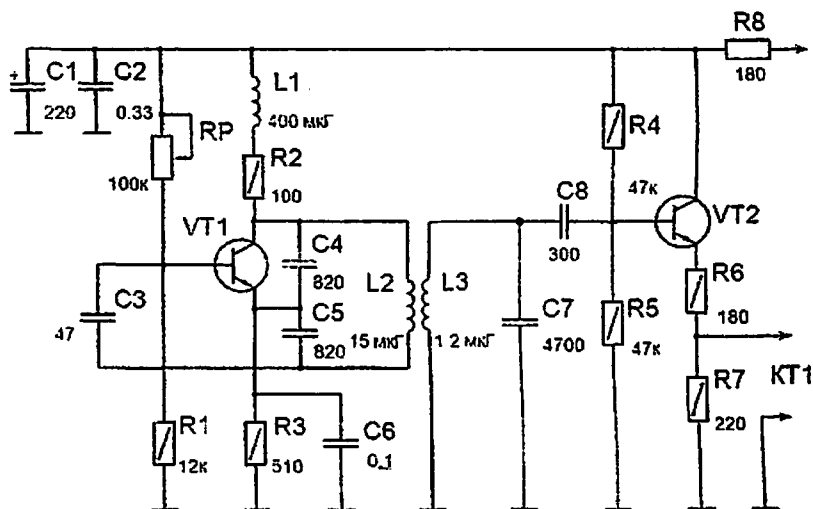


Рис.2.1. Схема принципиальная LC-автогенератора

Указания к выполнению работы

1. Проверить схему установки для проведения измерений: наличие осциллографа и частотомера.
2. Включить учебный передатчик и измерительные приборы.
3. Установить переключатель $S2$ (рис.1.2) в положение, соответствующее подключению LC-автогенератора. Установить $E_{пит}=9В$.
4. Изменяя напряжение коллекторного питания $E_{пит}$ от 9 В до 5 В измерить значения частоты автогенератора и амплитуду колебаний при комнатной температуре. Амплитуду колебаний измерять с помощью осциллографа на выходе буферного усилителя задающего генератора. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.
5. Установить переключатель $S2$ в положение, соответствующее подключению кварцевого автогенератора. Изменяя

напряжение питания $E_{пит}$ от 9 В до 5 В измерить значения частоты автогенератора и амплитуды колебаний при комнатной температуре. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

6. С помощью переключателя S2 вновь подключить LC-автогенератор. Изменить температуру в блоке автогенератора, включив с помощью тумблера "Нагрев", устройство нагрева.

Выждать время, необходимое для установки температуры в блоке автогенераторов около 50°C. После установки температуры загорится лампочка "Режим". Чтобы обеспечить прогрев всех элементов блока, выждать приблизительно 5 - 10 мин. После этого заново выполнить пункт 4 при температуре 50°C. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

7. Произвести измерения частоты кварцевого автогенератора при температуре 50°C в соответствии с пунктом 5. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

8. Рассчитать относительную нестабильность частоты LC-автогенератора и автогенератора с кварцем при изменении питающих напряжений и температуры. Для этого на основе результатов таблицы 1 вычисляют $df/dE_{пит}$ и находят относительную нестабильность частоты при изменении напряжения питания на 0,1 В и 0,5 В соответственно. Точно так же определяют отношение $df/d\theta$, где $d\theta = 50^\circ\text{C} - \theta_{комн.}$, и вычисляют относительную нестабильность частоты при изменении температуры на 1°C.

Таблица 2.1

Вид автогенератора	$E_{пит}$, В	Комнатная температура		Температура 50°C	
		Частота	Амплитуда	Частота	Амплитуда
LC-автогенератор	9				
	7				
	5				
Кварцевый автогенератор	9				
	7				
	5				

Содержание отчета

1. Схемы LC -автогенератора и кварцевого автогенератора.
2. Схема измерений и типы измерительных приборов.
3. Таблица эксперимента.
4. Результаты расчета относительного изменения частоты.
5. Оценка полученной относительной нестабильности частоты.

Контрольные вопросы

1. Указать, к какому классу схем относится LC -автогенератор (рис.2.1) в учебной установке. Доказать, что в схеме выполняется условие баланса фаз.
2. На схеме LC -автогенератора указать элементы, определяющие частоту автоколебаний, элементы цепи обратной связи, элементы схемы автоматического смещения, элементы блокировки в цепях подачи напряжения питания.
3. Объяснить необходимость включения буферного усилителя между выходом автогенератора и умножителем частоты.
4. Указать, к какому классу схем относится кварцевый автогенератор в учебном передатчике.
5. Что такое абсолютное и относительное изменение частоты автогенератора?
6. Объяснить, почему при изменении питающего напряжения меняется частота LC -автогенератора. Указать, как величина $E_{пит}$ влияет на параметры автогенератора, определяющие генерируемую частоту. Какие фазовые углы в уравнении баланса фаз меняются при изменении напряжения питания?
7. Объяснить причину ухода частоты LC -автогенератора при изменении теплового режима.
8. Объяснить, почему меняется амплитуда колебаний при изменении питающих напряжений. Указать, как при этом изменяются составляющие уравнения баланса амплитуд.
9. Сравнить нестабильность частоты LC -автогенератора под воздействием дестабилизирующих факторов с нестабильностью автогенератора с кварцевым резонатором. Объяснить причины, по которым наличие кварцевого резонатора в схеме стабилизирует частоту автоколебаний.

10. Оценить полученную величину нестабильности частоты с точки зрения требований, предъявляемых к стабильности частоты передатчиков различного назначения.

11. Как вычисляется характеристика нестабильности частоты?

12. Что означает фраза «коллекторное питание»?

⋮
⋮
⋮

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ

Цель работы

Изучение принципов построения синтезаторов частот в возбудителях передатчиков, экспериментальное исследование синтезатора частоты с импульсно-фазовым компаратором.

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Изучить структурную схему исследуемого синтезатора частот.
2. Определить диапазон перестройки генератора, управляемого напряжением (ГУН). Снять характеристики управления. Определить нестабильность частоты ГУН при разомкнутой петле импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАПЧ).
3. Определить параметры опорного генератора и рассчитать шаг сетки частот для различных значений коэффициента $M = 50, 100, 200$.
4. Рассчитать допустимые значения коэффициента N для заданного шага сетки частот и измеренного диапазона перестройки ГУН.
5. Рассчитать значения M и N для заданного диапазона частоты.
6. Экспериментально проверить правильность расчета M и N .
7. Определить нестабильность частоты ГУН при замкнутой петле импульсно-фазовой автоподстройки частоты.

Указания к выполнению лабораторной работы

Исследуемый макет (рис. 3.1) представляет собой синтезатор частот с импульсно-фазовой автоподстройкой частоты.

Структурная схема синтезатора частоты (рис. 3.2) включает в себя:

- 1) кварцевый опорный (эталонный) генератор (ОГ) частотой 500 кГц;
- 2) делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления M (ДФКД);
- 3) генератор, управляемый напряжением, ГУН;
- 4) делитель частоты с переменным коэффициентом деления N (ДПКД);
- 5) импульсный фазовый компаратор (ИФК), являющийся основным звеном кольца фазовой автоподстройки частоты;

б) фильтр низкой частоты (ФНЧ) с устройством запоминания уровня управляющего напряжения.

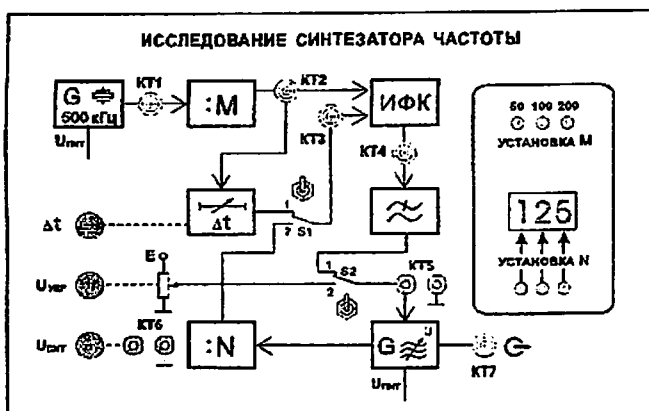


Рис.3.1. Внешний вид сменного блока «Исследование синтезатора частоты»

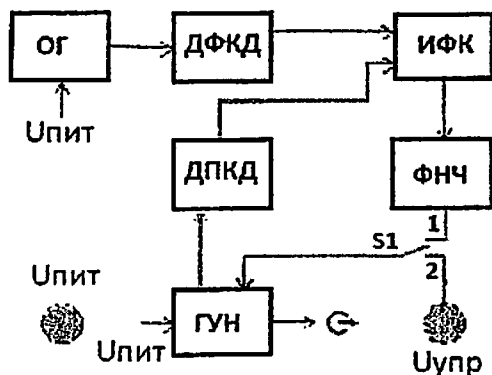


Рис.3.2. Структурная схема синтезатора частоты с ИФАПЧ

К дополнительным устройствам относится регулируемый источник управляющего напряжения. Напряжение питания ОГ и ГУН

изменяется в небольших пределах с помощью переменного резистора « $U_{\text{пит}}$ ».

Коэффициент деления M может принимать значения 50, 100, 200 и определяет шаг сетки частот. Изменение коэффициента деления осуществляется кнопчным переключателем «УСТАНОВКА M ». Таким образом, в лабораторном макете могут быть получены три сетки частот с шагом 10, 5 и 2,5 кГц соответственно.

Коэффициент деления N высвечивается трехразрядным индикатором и может принимать значения от 20 до 999. Изменение коэффициента деления N осуществляется подачей кодированной команды от устройства управления поразрядно кнопчным переключателем «УСТАНОВКА N ».

В стационарном режиме работы синтезатора

$$f_{\text{ог}}/M=f_{\text{гун}}/N,$$

а фазовый сдвиг между колебаниями на входе ИФК постоянен. Последний термин по отношению к импульсным последовательностям следует трактовать как разность фаз между их первыми гармониками.

Для смены рабочей частоты на соседнюю в сетке частот достаточно изменить значение N на единицу.

Выполнение лабораторной работы помимо лабораторной установки предполагает использование двухлучевого (двухканального) осциллографа.

2. При выполнении второго пункта задания определяется диапазон перестройки генератора, управляемого напряжением (ГУН) и снимается характеристика управления. Для этого необходимо:

- соединить контрольную точку КТ7 исследуемого макета с входом частотомера, расположенного на правой лицевой панели установки. Включить питание частотомера, переключатель режимов работы частотомера установить в положение «Внеш.»;

- переключатель режимов работы мультиметра установить в положение, соответствующее измерению постоянного напряжения до 20 В. Напряжение с контрольной точки КТ6 подать на вход мультиметра. Регулятором « $U_{\text{пит}}$ » установить максимально возможное напряжение питания ГУН и ОГ. Записать величину $U_{\text{пит макс}}$;

- вход мультиметра подключить к контрольной точке КТ5. Переключатель S1 установить в положение 2;

- регулятор « $U_{\text{упр}}$ » повернуть против часовой стрелки до упора. Записать показания мультиметра ($U_{\text{упр}}$) и минимальное значение частоты ГУН, измеренное частотомером;

- изменяя величину $U_{упр}$ от минимального до максимального, фиксировать значение частоты ГУН, соответствующее каждому значению $U_{упр}$.

Результаты измерений заносятся в таблице 3.1. По результатам измерений строится характеристика управления ГУН и определяется максимальная частота ГУН и диапазон перестройки ГУН.

Таблица 3.1

$U_{упр}, В$					
$f_{ГУН}, кГц$					

3. При выполнении третьего пункта задания определяются нестабильности частот ОГ и ГУН при изменении питающего напряжения.

Для этого необходимо, изменяя величину $U_{упр}$, установить частоту ГУН равной 500 кГц, записать значение $U_{упр}$, соответствующее этой частоте.

Вход тестера подключается к контрольной точке КТ6. Регулятором « $U_{пит}$ » устанавливаются минимально и максимально возможные напряжения питания ГУН и ОГ, значения $U_{пит\ мин}$ и $U_{пит\ макс}$ заносятся в таблицу 2.

Вход частотомера подключается к контрольной точке КТ7. Для определения нестабильности выходной частоты ГУН, обусловленной изменением напряжением питания, измеряется частота ГУН при $U_{пит\ мин}$ и $U_{пит\ макс}$.

Затем вход частотомера подключается к контрольной точке КТ1 и измеряется частота опорного генератора при $U_{пит\ мин}$ и $U_{пит\ макс}$.

По результатам измерения необходимо определить абсолютную и относительную нестабильность частоты ОГ и ГУН при изменении питающего напряжения:

$$\Delta f_{ГУН} = f_{ГУН\ макс} - f_{ГУН\ мин}$$

$$\delta f_{ГУН} = \Delta f_{ГУН} / f_{ГУН\ макс}$$

$$\Delta f_{ОГ} = f_{ОГ\ макс} - f_{ОГ\ мин}$$

$$\delta f_{ОГ} = \Delta f_{ОГ} / f_{ОГ\ макс}$$

Таблица 3.2

	$f_{\text{ГУН}}$	$\Delta f_{\text{ГУН}}$	$\delta f_{\text{ГУН}}$	$f_{\text{ОГ}}$	$\Delta f_{\text{ОГ}}$	$\delta f_{\text{ОГ}}$
$U_{\text{пит мин}} =$						
$U_{\text{пит макс}} =$						

4. При выполнении четвертого пункта задания определяется шаг сетки частот для различных значений коэффициента деления ДФКД.

Для этого рассчитывается частота импульсов на выходе ДФКД для $M=50, 100, 200$. Вход частотомера подключается к контрольной точке КТ2 и для различных значений коэффициента M (переключатель «УСТАНОВКА M ») сравниваются рассчитанные результаты с показаниями частотомера.

Полученные значения частоты определяют шаг сетки частот.

5. При выполнении пятого пункта задания рассчитываются допустимые значения коэффициента деления ДПКД для заданного шага сетки частот и измеренного диапазона перестройки ГУН.

При $M=50, 100, 200$ и измеренном диапазоне перестройки ГУН (п. 2) рассчитываются допустимые значения коэффициента деления ДПКД $N_{\text{мин}}$ и $N_{\text{макс}}$.

Для проверки правильности расчета необходимо установить значение M переключателем «УСТАНОВКА M », а затем подключить вход частотомера к контрольной точке КТ7. Переключатель S1 устанавливается в положение 1. Регулятором « $U_{\text{пит}}$ » установить максимально возможное напряжение питания ГУН и ОГ.

Нажатием кнопок «УСТАНОВКА N » устанавливаются значения коэффициента деления N от $N_{\text{мин}}$ до $N_{\text{макс}}$ и фиксируются показания частотомера. Необходимо убедиться в правильности произведенного расчета допустимых значений N .

6. При выполнении шестого пункта задания рассчитываются значения M и N для заданного диапазона частот и шага сетки частот, проводится экспериментальная проверка правильности определения M и N .

По заданному в таблице 3.3 диапазону частот работы синтезатора и шагу сетки частот требуется рассчитать значения M и N :

$$M = f_{\text{ОГ}} / F_{\text{ш}},$$

$$N_{\text{мин}} = f_{\text{мин}} / F_{\text{ш}}, N_{\text{макс}} = f_{\text{макс}} / F_{\text{ш}},$$

где $F_{ш}$ — шаг сетки частот;

$f_{мин}$ — минимальная частота заданного диапазона частот;

$f_{макс}$ — максимальная частота заданного диапазона частот.

Таблица 3.3

№ макета	1	2	3	4	5	6
$F_{ш}$, кГц	10	5	2,5	10	5	2,5
$f_{мин}$, кГц	200	300	250	350	400	450
$f_{макс}$, кГц	1000	1100	1150	1200	1250	1300

Затем устанавливаются рассчитанные значения M и N и сравниваются показания частотомера с заданными значениями частоты. Изменяя значения N , можно убедиться в правильности установки шага сетки частот.

По характеристике управления ГУН определяются напряжения $U_{упр}$, соответствующие $f_{мин}$ и $f_{макс}$, эти точки отмечаются на характеристике управления ГУН.

Затем вход мультиметра подключаются к контрольной точке КТ5 и измеряется $U_{упр}$ для частот $f_{мин}$ и $f_{макс}$. Необходимо сравнить полученные результаты с расчетными и сделать выводы.

7. При выполнении седьмого пункта задания определяется нестабильность частоты ГУН при замкнутой петле импульсно-фазовой автоподстройки частоты.

Для этого подбором M и N частота ГУН устанавливается равной 500 кГц, фиксируется точное значение частоты. Затем регулятором « $U_{пит}$ » поочередно устанавливается максимально и минимально возможное напряжение питания ГУН и ОГ.

Определяется абсолютная и относительная нестабильность частоты ГУН при изменении питающего напряжения. Результаты заносятся в таблицу, аналогичную таблице 3.2. При оформлении отчета необходимо сравнить результаты вычислений с результатами, полученными в п. 2, и сделать выводы.

8. Для наблюдения процессов в петле импульсно-фазовой автоподстройки частоты вход «Y1» осциллографа соединяется с контрольной точкой КТ2, а вход «Y2» — с КТ3, синхронизация осциллографа — по входу «Y1». Переключая коэффициенты M и N ,

можно наблюдать изменение длительности и взаимного расположения импульсов на входах ИФК.

Содержание отчета

- 1) Структурная схема синтезатора частот с ИФАПЧ.
- 2) Таблицы и графики измеренных величин.
- 3) Рассчитанные значения нестабильности частоты.
- 4) Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Какова цель настоящей лабораторной работы?
2. Что такое синтезатор частот?
3. Поясните принцип работы синтезатора с ИФАПЧ и назначение элементов его структурной схемы.
4. Как влияет изменение коэффициента деления ДФКД на параметры синтезатора частоты с ИФАПЧ?
5. Какое влияние оказывает нелинейность характеристики управления ГУН?
6. Сравните измеренные нестабильности частоты автономно работающего ГУН и синтезатора.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА АМ СИГНАЛОВ

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы супергетеродинного приемника АМ-сигналов и его основных узлов. Приобрести практические навыки определения параметров и получения характеристик радиовещательного приемника.

Основные вопросы курса, изучаемые перед выполнением работы

1. Требования, предъявляемые к радиоприемным устройствам. Основные характеристики радиоприемника, определяющие качество приема сообщений.
2. Действие АРУ в приемнике.
3. Искажение сигналов в радиоприемнике.

Содержание работы

1. Осциллографирование напряжений в контрольных точках макета радиоприемника.
2. Снятие амплитудно-частотной характеристики входной цепи.
3. Снятие амплитудно-частотной характеристики усилителя промежуточной частоты.

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет (рис.4.1) выполнен в виде сменного блока и позволяет в комплексе с контрольно-измерительной аппаратурой измерять параметры и наблюдать форму сигналов в различных точках радиоприемника. Функциональная схема макета нанесена на его верхней панели, на которой также расположены разъемы для подключения контрольно-измерительной аппаратуры, органы регулировки и коммутации:

1. Ручка регулировки частоты гетеродина «НАСТРОЙКА».
2. Выключатель гетеродина.
3. Выключатель АРУ.

4. Ручка регулировки выходного напряжения УЗЧ «ГРОМКОСТЬ».

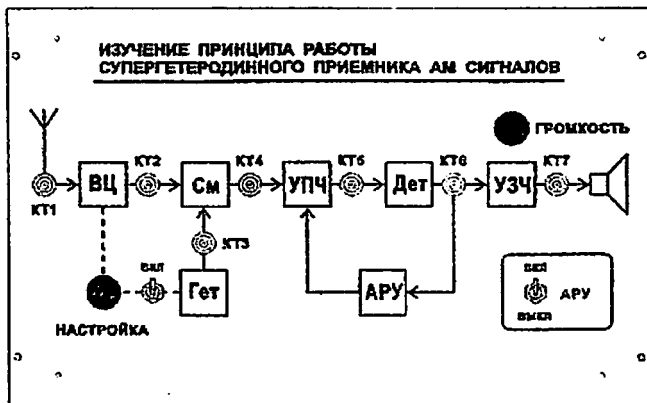


Рис.4.1. Лицевая панель сменного блока «Изучение принципа работы супергетеродинного приемника АМ-сигналов»

В качестве источника АМ-радиосигнала при проведении измерений может быть использован генератор ВЧ, расположенный в блоке №2 лабораторной установки. Генератор ВЧ перестраивается по частоте в трех поддиапазонах, имеет встроенный индикатор частоты. Выходное напряжение генератора равно 1 В на гнезде «0 дБ» при установке стрелки индикатора уровня ВЧ на деление 0 дБ (без нагрузки). Амплитудная модуляция осуществляется напряжением НЧ, подаваемым от генератора НЧ, расположенного на этой же панели установки. Глубина модуляции определяется визуально с помощью осциллографа.

При необходимости может быть использован внешний генератор ВЧ (например, Г4-102).

В блоке №4 лабораторной установки расположен частотомер, имеющий два коммутируемых входа. Один вход предназначен для измерения частоты напряжения на выходе гетеродина. Второй вход целесообразно использовать для измерения частоты напряжения в случае использования внешнего генератора ВЧ.

Выход приемника посредством переключателя (расположен на панели №5 лабораторной установки) соединяется либо с громкоговорителем, либо с резистором R_H , являющимся эквивалентом нагрузки.

Обязательными дополнительными приборами, необходимыми для проведения работы, являются:

- двухлучевой (двухканальный) осциллограф;
- милливольтметр переменного напряжения.

В процессе проведения работы следует учесть следующее:

1. Макет не предназначен для приема радиовещательных станций, а служит для чисто учебных целей.

2. Приемник имеет узкий диапазон перестройки. Средняя частота настройки приемника составляет 800 кГц. Промежуточная частота равна 455 кГц.

3. Величины напряжений на разъемах макета могут не соответствовать реально существующим в схеме приемника, поскольку принципиальная схема макета построена таким образом, чтобы подключение контрольно-измерительной аппаратуры не вызывало заметного изменения параметров самого радиоприемника.

4. Большинство измерений следует проводить при выключенном громкоговорителе (переключатель на панели №5 – в положении *RЭКВ*). Включение громкоговорителя допускается на короткое время при настройке приемника.

Порядок выполнения

1. Осциллографирование напряжений в контрольных точках макета радиоприемника

1.1. Произвести соединения согласно рис.4.2.

Подключить вход *I* осциллографа к выходу генератора *НЧ* «0 дБ». Подключить вход *II* осциллографа к выходу генератора *ВЧ* «0 дБ». Режим синхронизации осциллографа – по входу *I*. Длительность развертки 0,2 мс/дел. Коммутатор входов осциллографа установить в положение, соответствующее визуализации напряжения, подаваемого на вход *II*.

1.2. Тумблер «АРУ» установить в положение «ВКЛ». Тумблер включения гетеродина установить в положение «ВКЛ». В качестве нагрузки радиоприемника подключить громкоговоритель. Регулятор «ГРОМКОСТЬ» установить в среднее положение.

1.3. Установить требуемые параметры выходного напряжения генератора *ВЧ* в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон *II* генератора *ВЧ*);
- напряжение на выходе «-20 дБ» 10 мВ (установить с помощью внешнего вольтметра);

2. Снятие амплитудно-частотной характеристики входной цепи

2.1. Проверить частоту настройки гетеродина - 1255 кГц. Выключить гетеродин. После этого положение ручки «НАСТРОЙКА» не изменять.

2.2. Произвести переключения согласно рис.4.3.

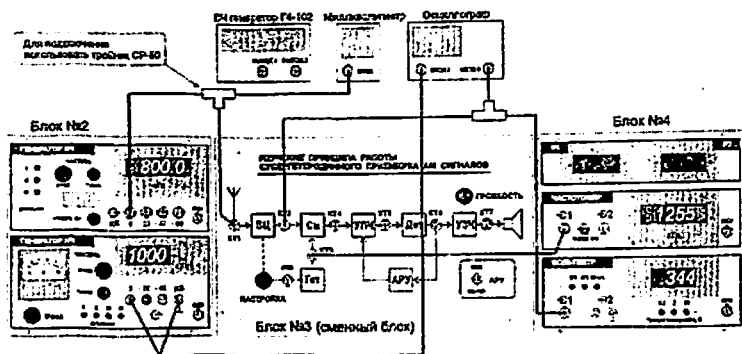


Рис.4.3. Схема соединения элементов лабораторной установки для снятия АЧХ входной цепи

2.3. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ:

- частота 800,0 кГц (диапазон II генератора ВЧ);
- глубина модуляции 0 % (установить визуально с помощью осциллографа. Глубина модуляции изменяется при изменении выходного напряжения генератора НЧ);
- выходное напряжение генератора 500 мВ (установить с помощью милливольтметра). В дальнейшем при выполнении п.2 величину выходного напряжения генератора ВЧ не менять!

2.4. Изменяя частоту генератора ВЧ в пределах поддиапазона II, снять зависимость напряжения на выходе входной цепи от частоты генератора (АЧХ входной цепи) и заполнить таблицу 4.1.

При снятии АЧХ необходимо провести не менее 10 измерений на различных рационально выбранных частотах в пределах указанного диапазона. В таблицу обязательно должны быть занесены результаты измерения на резонансной частоте ВЧ. Величина $U_{\text{ВЫХМАКС}}$ соответствует максимальному значению напряжения, из занесенных во вторую строку таблицы.

По данным, занесенным в первую и третью строки таблицы, построить график АЧХ входной цепи. На графике показать полосу пропускания $\Delta f_{ВЦ}$ по уровню 0,707.

Таблица 4.1

АЧХ входной цепи

Частота генератора, кГц			
Напряжение на выходе входной цепи $U_{ВЫХ}$, мВ при $U_{ВХ} = 500$ мВ			
Нормированное напряжение на выходе входной цепи, $U_{ВЫХ} / U_{ВЫХМАКС}$			

2.5. По вышеприведенной методике снять АЧХ ВЦ при положениях ручки «НАСТРОЙКА», соответствующих частотам гетеродина 1200 кГц и 1310 кГц. Графики АЧХ ВЦ построить в тех же координатных осях, что и предыдущий. Сравнить графики, сделать необходимые выводы.

3. Снятие амплитудно-частотной характеристики усилителя промежуточной частоты

3.1. Произвести соединения согласно рис.4.4. При снятии АЧХ УПЧ гетеродин должен быть выключен, АРУ должна быть выключена.

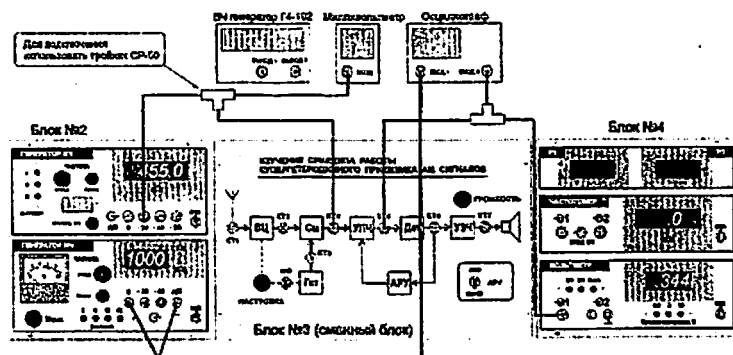


Рис.4.4. Схема соединения элементов лабораторной установки для снятия АЧХ УПЧ

На вход УПЧ с выхода генератора ВЧ подать немодулированное напряжение 10 мВ частотой 435 кГц – 475 кГц. Величину напряжения проконтролировать с помощью милливольтметра. Во время проведения измерений выходное напряжение генератора поддерживать постоянным.

3.2. Изменяя частоту генератора в диапазоне частот от 440 кГц до 470 кГц, снять зависимость напряжения на выходе УПЧ от частоты генератора и заполнить таблицу 4.2.

Таблица 4.2

АЧХ УПЧ

Частота генератора, кГц				
Напряжение на выходе УПЧ $U_{ВЫХ}$, мВ при $U_{ВХ} = 10$ мВ				
Нормированное напряжение на выходе УПЧ, $U_{ВЫХ} / U_{ВЫХМАКС}$				

3.3. По данным таблицы 4.2 построить график нормированной АЧХ УПЧ. На графике показать полосу пропускания $\Delta f_{УПЧ} 0,707$.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение основным показателям РПрУ.
2. Изобразите структурную схему супергетеродинного приемника и опишите принцип его работы.
3. Каким соотношением определяется коэффициент шума для супергетеродинного приемника?
4. Какие меры следует принимать для повышения реальной чувствительности приемника?

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Цель работы

Ознакомиться с принципом преобразования частоты в супергетеродинном приемнике АМ-сигналов. Приобрести практические навыки определения избирательности приемника по зеркальному и соседнему каналам.

Содержание работы

1. Настройка радиоприемника на частоту сигнала.
2. Определение избирательности приемника по зеркальному сигналу.
3. Определение избирательности приемника по соседнему каналу.

Порядок выполнения работы

При проведении исследований используется сменный блок «Изучение принципа работы супергетеродинного приемника АМ-сигналов» (рис.4.1).

1. Настройка радиоприемника на частоту сигнала

1.1. Произвести соединения согласно рис.5.1. Гетеродин включить, АРУ включить, громкоговоритель включить, регулятор «ГРОМКОСТЬ» установить в среднее положение.

1.2. Установить требуемые параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон II генератора ВЧ);
- напряжение на выходе «-40 дБ» 1,0 мВ (установить с помощью внешнего вольтметра);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ} 50\%$).

1.3. Изменяя частоту гетеродина, настроить приемник по наличию звука в динамике и изображению сигнала звуковой частоты на экране осциллографа (синхронизация по входу 1, длительность развертки 0,2 мс/дел.).

Записать частоту сигнала и гетеродина в таблицу 5.1.

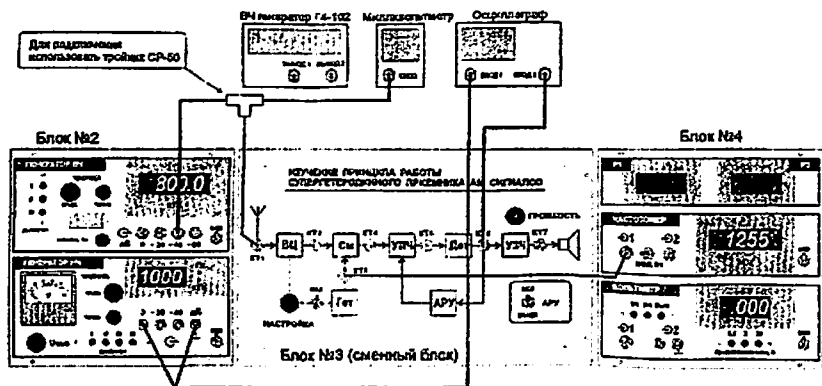


Рис.5.1. Схема соединения элементов лабораторной установки для проверки соотношения частот при настройке приемника на частоту радиостанции

Таблица 5.1

Настройка радиоприемника

Частота сигнала f_c , кГц	Частота гетеродина f_r , кГц	$f_r - f_c$, кГц
800,0		
850,0		
750,0		

1.4. Аналогично измерения для других частот сигнала, указанных в таблице 5.1. Занести полученные результаты в таблицу 5.1. Вычислить величину $f_r - f_c$ и занести в таблицу 5.1. Сделать необходимые выводы.

2. Снятие АЧХ радиоприемника вблизи частоты настройки

- 2.1. Произвести соединения согласно рис.5.2. Вольтметр перевести в режим измерения НЧ.
- 2.2. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ как в п. 1.2.
- 2.3. Установить частоту гетеродина - 1255 кГц.
- 2.4. Изменяя частоту генератора в диапазоне частот от 780 кГц до 820 кГц, снять зависимость напряжения на выходе детектора от частоты генератора ВЧ и заполнить таблицу 5.2.

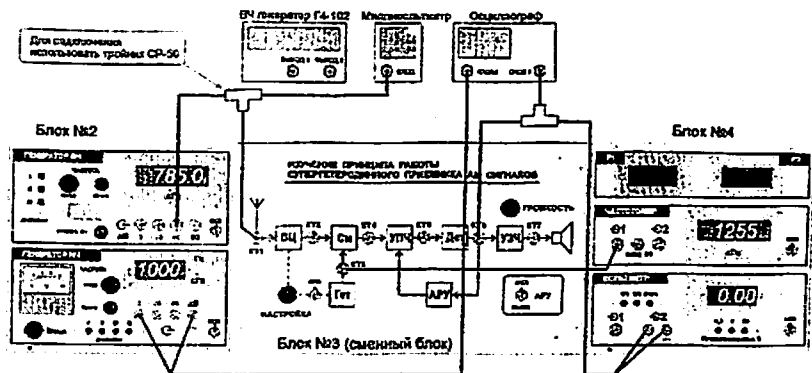


Рис.5.2. Схема соединения элементов лабораторной установки для снятия АЧХ радиоприемника

Таблица 5.2

АЧХ радиоприемника вблизи частоты настройки

Частота генератора ВЧ, кГц				
Напряжение на выходе детектора $U_{ВЧ}$, мВ при $U_{ВЧ} = 1,0$ мВ				
Нормированное напряжение на выходе детектора, $U_{ВЧ} / U_{ВЧ,МАКС}$				

2.5. По данным таблицы 5.2 построить график нормированной АЧХ приемника. На графике показать полосу пропускания $\Delta f_{0,707}$.

3. Определение избирательности приемника по зеркальному каналу

3.1. Произвести соединения согласно рис.5.1. АРУ выключить, громкоговоритель включить, регулятор «ГРОМКОСТЬ» установить в среднее положение. Установить частоту гетеродина - 1255 кГц.

3.2. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон II генератора ВЧ);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ 50\%}$);

• напряжение U_c на выходе генератора ВЧ установить минимально возможным, при котором в КТ6 наблюдается неискаженное напряжение НЧ. (При необходимости переключиться на выход «-60 дБ»). Записать значение напряжения U_c .

3.3. Подстроить приемник по наличию звука в динамике и изображению сигнала звуковой частоты на экране осциллографа (синхронизация по входу I, длительность развертки 0,2 мс/дел.). Зафиксировать по экрану осциллографа наблюдаемое значение напряжения $U_{НЧ}$.

3.4. Рассчитать частоту зеркального канала приема $f_{\text{зерк}}$.

3.5. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота $f_{\text{зерк}}$ (диапазон III генератора ВЧ);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ 50\%}$);
- напряжение на выходе генератора ВЧ $U_{\text{ЗЕРК}}$ установить таким, при котором в КТ6 наблюдается неискаженное напряжение НЧ, равное по величине $U_{НЧ}$ (как в п.3.3.). Записать значение напряжения $U_{\text{ЗЕРК}}$. Убедиться в наличии звука в громкоговорителе.

3.6. Рассчитать значение избирательности приемника по зеркальному каналу

$$B_{\text{ЗЕРК}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ЗЕРК}}}{U_c}$$

4. Ознакомиться с работой системы АРУ

4.1. Произвести соединения согласно рис.5.1. АРУ выключить, громкоговоритель включить, регулятор «ГРОМКОСТЬ» установить в среднее положение. Установить частоту гетеродина - 1255 кГц.

4.2. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон II генератора ВЧ);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ 50\%}$);
- напряжение U_c на выходе генератора ВЧ установить минимально возможным, при котором в КТ6 наблюдается неискаженное напряжение НЧ. (При необходимости переключиться на выход «-60 дБ»). Записать значение напряжения U_c .

4.3. Плавно повышая напряжение на выходе генератора, записать такое его значение $U_{с2}$, при котором начинает искажаться форма синусоидального напряжения звуковой частоты на "КТ6".

4.4. Включить АРУ. Повышая напряжение на выходе генератора, записать такое его значение $U_{сз}$, при котором начинает искажаться форма синусоидального напряжения звуковой частоты на выходе детектора (разъем "КТ6").

4.5. Сравнить величины $U_{с1}$, $U_{с2}$, $U_{сз}$. Сделать необходимые выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие побочные каналы приема существуют у супергетеродинного приемника?
2. Каково назначение преобразователя частоты?
3. Какую функцию выполняет АРУ в приемнике?

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА

Цель работы

Изучить принципы работы и основные характеристики амплитудных детекторов.

Содержание работы

1. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов.
2. Исследование искажений, возникающих из-за избыточной постоянной времени нагрузки.
3. Исследование нелинейных искажений, возникающих вследствие неравенства нагрузок детектора для постоянного и переменного тока.
4. Изучение формы импульсов тока, протекающего через диод.
5. Снятие статических детекторных характеристик.
6. Снятие динамических детекторных характеристик.
7. Исследование линейных искажений в детекторе.
8. Определение коэффициента фильтрации ВЧ напряжения.
9. Исследование детектора, работающего по схеме с удвоением напряжения.
10. Исследование совместной работы УПЧ и амплитудного детектора.

Описание лабораторного макета

Макет включает в себя диодный детектор и цепи коммутации. Внешний вид передней панели макета приведен на рис.6.1.

Переключатель S_2 позволяет изменять схему детектора. В положении 1 – последовательная схема на диоде VD_1 , в положении 2 – схема детектора с удвоением напряжения на диодах VD_1 и VD_2 .

Высокочастотный сигнал поступает на вход макета через коаксиальные разъемы, обозначенные на лицевой панели KT_1 и KT_2 .

В первом случае сигнал поступает через разделительный конденсатор $C1$ непосредственно на вход детектора. Рабочие частоты в этом случае могут варьироваться в широких пределах (рекомендуемый диапазон - 400 – 500 кГц).

Во втором случае сигнал поступает на детектор через однокаскадный резонансный УПЧ, частота настройки которого (приблизительно 400 – 500 кГц) определяется параметрами колебательного контура $L1 - C2$, а также входной емкостью детектора и емкостью измерительного прибора. Ключ $S1$ позволяет отключать детектор от контура УПЧ.

Переключатель $S3$ изменяет сопротивление нагрузки детектора R_n . Кроме того в положении 5 переключателя параллельно резистору нагрузки подключается конденсатор $C4=50$ нФ (таблица 6.1)

Таблица 6.1

Положение переключателя $S3$	1	2	3	4	5
R_n , кОм	51	10	1,5	100	100
C_n , нФ	3				53

Постоянная составляющая тока диода измеряется микроамперметром PA (по схеме, изображенной на панели сменного блока). Реальная величина протекающего тока отображается в миллиамперах на цифровом индикаторе измерителя PI , расположенного на панели №4 лабораторной установки (например показания индикатора .315 следует читать как 0,315 мА).

Форму тока, протекающего через диод, можно наблюдать в $KT4$ с помощью осциллографа при установке $S4$ в положение 2.

Большинство измерений в процессе выполнения работы проводится при установке переключателей $S1, S2, S4$ в положение 1. В случае, когда используется другая схема коммутации, это оговаривается особо.

Переключатель $S5$ подключает резисторы $R7$ или $R8$, имитирующие различные значения входного сопротивления R_y следующего за детектором усилительного каскада. $R7 = 510$ кОм; $R8 = 6,2$ кОм.

Для выполнения лабораторной работы используются генератор ВЧ и генератор НЧ, расположенные на панели №2 лабораторной установки, а также вольтметр, расположенный на панели №4.

Дополнительным прибором, необходимым для проведения работы, является двухлучевой (двухканальный) осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Исследовать работу амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов (рис.6.2).

1.1. Измерить коэффициент выпрямления в режиме сильного и слабого сигнала. Переключатели макета установить в следующее положение: $S1 - 1, S2 - 1, S3 - 1, S4 - 1, S5 - 1$. При этом $R_n = 51 \text{ кОм}$, $C_n = 3 \text{ нФ}$.

Подать в КТ1 от ВЧ генератора немодулированное напряжение $U_{нх} = 1 \text{ В}$ с частотой 400 – 500 кГц (напряжение на выходе НЧ генератора должно быть равно 0 В). Контроль величины ВЧ напряжения осуществить в КТ3 с помощью вольтметра (панель №4) в режиме «ВЧ».

При этом предел измерения вольтметра не переключается и составляет 2 В.

Измерить с помощью вольтметра (панель №4) значение постоянного напряжения на нагрузке детектора U_0 (в КТ5). Для этого вольтметр переключить в режим измерения постоянного напряжения.

Рассчитать коэффициент выпрямления:

$$K_B = U_0 / U_{m \text{ вх}},$$

где $U_{m \text{ вх}}$ – амплитуда напряжения на входе детектора, $U_{m \text{ вх}} = 1,414 \cdot U_{\text{вх}}$.

Уменьшить напряжение на выходе генератора до значения 100 мВ (для этого в КТ1 подать напряжение с выхода генератора «-20дБ»). Проконтролировать в КТ3 с помощью вольтметра величину $U_{m \text{ вх}}$, измерить U_0 и рассчитать коэффициент выпрямления. Сравнить его со значением K_B при сильном сигнале.

1.2. Измерить коэффициент передачи детектора в режиме сильных сигналов (рис.6.3).

Подать от ВЧ генератора немодулированное напряжение $U_{\text{вх}} = 1 \text{ В}$. Контроль величины ВЧ напряжения осуществить в КТ3 с помощью вольтметра (панель №4) в режиме «ВЧ».

Включить режим внутренней модуляции ВЧ генератора, установить по осциллографу глубину модуляции $m=50\%$. Синхронизация осциллографа – по входу 2.

Провести одновременное наблюдение входного и выходного сигналов. Убедиться в отсутствии искажений выходного сигнала. Определить амплитуду напряжения звуковой частоты на выходе детектора $U_{m\Omega}$. Рассчитать коэффициент передачи детектора:

$$K_D = U_{m\Omega} / m U_{modX}$$

1.3. Исследовать искажения АМ-сигнала из-за нелинейности детекторной характеристики. Увеличить глубину модуляции входного сигнала до значения $m=90\%$. Убедиться в появлении искажений выходного напряжения.

Уменьшить среднюю амплитуду сигнала на выходе генератора до значения $U_{modX} = 100$ мВ. Произвести наблюдение входного и выходного сигналов и убедиться в увеличении искажений.

2. Исследовать искажения, возникающие из-за избыточной постоянной времени нагрузки.

2.1. Вычислить критические значения глубины модуляции АМ-сигнала, выше которых не выполняется условие безынерционности нагрузки на частоте модуляции F_M и возможно появление нелинейных искажений:

$$m_{крт} = 1 / \sqrt{1 + (\Omega_m \tau_H)^2}$$

где $\Omega_m = 2\pi F_M$, $\tau_H = R_H C_H$ - постоянная времени нагрузки.

Расчет выполнить при $F_M = 1$ кГц для трех значений постоянной времени, соответствующих сопротивлениям нагрузки $R_H = 51$ кОм и $R_H = 100$ кОм при $C_H = 3$ нФ, а также $R_H = 100$ кОм при $C_H = 53$ нФ.

2.2. При $U_{modX} = 1$ В наблюдать на экране осциллографа форму напряжения на нагрузке детектора для указанных в п. 2.1 значениях R_H и C_H . Выбор соответствующей нагрузки обеспечивается установкой переключателя $S3$ в положение 1, 4 или 5.

2.3. Изменяя глубину модуляции зафиксировать значения глубины модуляции, при которых появляются искажения. Обратит внимание на появление искажений типа "пилы" и на их зависимость от глубины модуляции и значения τ_H . Сопоставить экспериментальные значения $m_{крт}$ с расчетными.

3. Исследовать нелинейные искажения, возникающие вследствие неравенства нагрузок детектора для постоянного и переменного тока.

3.1. Рассчитать теоретическое значение глубины модуляции, при которой возможно появление нелинейных искажений, обусловленных неодинаковыми значениями сопротивления нагрузки детектора постоянному току R_H и переменному току $R_{H\Omega}$:

$$m_{KPR} = R_{H\Omega} / R_H,$$

$$\text{где } R_{H\Omega} = R_H R_Y / (R_H + R_Y).$$

Расчет выполнить для значений R_H и R_Y , указанных в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Полож. переключ. S3	R_H	m_{KPR} ТЕОР при		m_{KPR} ИЗМ при	
		$R_Y=510$ кОм S5 в п.1	$R_Y=6,2$ кОм S5 в п.2	$R_Y=510$ кОм S5 в п.1	$R_Y=6,2$ кОм S5 в п.2
1	51 кОм				
2	10 кОм				
3	1,5 кОм				
4	100 кОм				

3.2. Среднюю амплитуду АМ-сигнала $U_{\text{срВХ}}$ установить максимально возможной при $m = 50\%$. С помощью осциллографа наблюдать сигналы в КТ6 при различных значениях R_H (S3 в положениях 1-2-3-4) и R_Y (S5 в положениях 1-2). Проследить изменение характера искажений при изменении глубины модуляции и значений R_H и R_Y .

4. Наблюдать форму импульсов тока, протекающего через диод (рис.6.4).

4.1. Установить максимально возможную амплитуду немодулированного сигнала $U_{\text{срВХ}}$ на входе детектора и измерить ее значение. Тумблер S4 установить в положение 2.

Наблюдать форму импульсов тока в цепи диода при различных значениях R_H . Синхронизация осциллографа – по входу 1.

4.2. Исследовать зависимость угла отсечки (θ) от значений R_H . Значение θ определить по осциллограмме при $R_H = 51$ кОм, $R_H = 10$ кОм, $R_H = 1,5$ кОм. По шкале микроамперметра зафиксировать значения постоянной составляющей тока диода I в каждом случае.

4.3. Рассчитать значения коэффициентов выпрямления при измеренных значениях θ :

$$K_\theta = \cos \theta$$

и сравнить их со значениями K_B , рассчитанными по выражению

$$K_B = I R_H / U_{mBX}.$$

5. Снять статические детекторные характеристики (схема подключений соответствует рис.6.2).

5.1. Снять зависимость постоянной составляющей тока I_0 от напряжения на входе детектора U_{BX} при значении сопротивления нагрузки $R_H = 51$ кОм ($S3$ – в положении 1). От генератора ВЧ подать на вход детектора немодулированное напряжение с частотой 400-500 кГц. Изменяя значения U_{BX} в интервале 50-1000 мВ, фиксировать значения I_0 . Для каждого значения U_{BX} рассчитывать значения амплитуды высокочастотного напряжения на входе детектора

$$U_{mBX} = \sqrt{2} U_{BX}.$$

напряжения на нагрузке

$$U_0 = R_H I_0,$$

коэффициента выпрямления

$$K_B = U_0 / U_{mBX}.$$

Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблицы.

5.2. Повторить исследования п. 5.1. при значении сопротивления нагрузки $R_H = 10$ кОм ($S3$ – в положении 2).

Построить графики зависимостей I_0 , U_0 и K_B от U_{mBX} при $R_H = 51$ кОм и $R_H = 10$ кОм. Сравнить значения K_B в режиме сильных и слабых сигналов.

Тумблер $S4$ перевести в положение 1.

6. Снять динамические детекторные характеристики (схема подключений соответствует рис.6.3).

Установить значение сопротивления нагрузки $R_H = 10$ кОм ($S3$ – в положении 2).

6.1. При постоянной глубине модуляции $m=50\%$ изменять напряжение U_{BX} на входе детектора в интервале от 100 до 1000 мВ и

фиксировать значение напряжения в $KT5$ $U_{ВЫХ}$. (Измерение $U_{ВХ}$ проводится в режиме вольтметра «ВЧ», измерение $U_{ВЫХ}$ проводится в режиме «НЧ»).

6.2. Поддерживая постоянным уровень напряжения на входе детектора ($U_{ВХ}=const$), изменять глубину модуляции в интервале от 10% до 90% и фиксировать $U_{ВЫХ}$. Измерения провести для $U_{ВХ}=100$ мВ и $U_{ВХ}=1000$ мВ. Рассчитать коэффициент передачи:

$$K_d = U_{ВЫХ} / mU_{ВХ}$$

Построить графики зависимостей $U_{ВЫХ}$ от $U_{ВХ}$, $U_{ВЫХ}$ от m , K_d от m . Отметить область, где детекторная характеристика $U_{ВЫХ}$ от $U_{ВХ}$ имеет нелинейный характер.

7. Исследовать линейные искажения в детекторе (схема соединений согласно рис.6.3).

Снять характеристику верности воспроизведения детектора. Наблюдать фазовые сдвиги выходного сигнала относительно огибающей.

7.1. Установить максимально возможное значение высокочастотного напряжения на входе детектора и зафиксировать значение $U_{ВХ}$ с помощью вольтметра.

Установить глубину модуляции генератора ВЧ, равной 50%. Синхронизация осциллографа – по входу 2.

Установить $R_H=100$ кОм, $C_H=3$ нФ, $R_V=510$ кОм ($S3$ в положении 4, $S5$ в положении 1).

Изменяя F_M в интервале 400 – 16000 Гц при неизменных значениях m и $U_{ВХ}$, снять зависимость напряжения низкой частоты U_{Ω} в $KT5$ от F_M . Для этого перевести вольтметр в режим измерения НЧ.

7.2. Установить $R_H=10$ кОм, $C_H=3$ нФ, $R_V=510$ кОм ($S3$ в положении 2, $S5$ в положении 1). Изменяя F_M в интервале 400 – 16000 Гц при неизменных значениях m и $U_{ВХ}$, снять зависимость напряжения низкой частоты U_{Ω} в $KT5$ от F_M .

7.3. Построить на одном чертеже графики зависимостей U_{Ω} от F_M при $R_H=100$ кОм и $R_H=10$ кОм. Отметить частоты верхнего среза $F_{МАКС}$. Сделать вывод о влиянии значения R_H на степень линейных искажений в области верхних частот модуляции.

7.4. Провести наблюдение фазового сдвига выходного напряжения относительно огибающей входного сигнала на верхних частотах модуляции. Зарисовать осциллограмму.

8. Определить коэффициент фильтрации ВЧ напряжения.

8.1. Подать на вход детектора немодулированный сигнал с частотой 400 - 500 кГц и максимально возможной амплитудой. Измерить напряжение на входе детектора $U_{вх}$.

С помощью осциллографа определить величину высокочастотной составляющей напряжения на нагрузке U_H при значениях $R_H = 1,5$ кОм, $R_H = 10$ кОм и $R_H = 51$ кОм.

8.2. Рассчитать значения коэффициента фильтрации:

$$K_{\phi} = U_{вх} / U_H$$

Сопоставить полученные значения с ожидаемыми, определенными по формуле

$$K_{\phi} = \pi f R_H C_H$$

8.3. Установить $m=50\%$. Наблюдать осциллограммы напряжения в КТ6 при различных значениях R_H . Обратит внимание на плохую фильтрацию высокочастотного напряжения на нагрузке при $R_H=1,5$ кОм, проявляющуюся в утолщении и размытости линии сигнала.

9. Исследовать детектор, работающий по схеме с удвоением напряжения.

Переключатель S2 установить в положение 2, переключатели S1, S3, S4 и S5 - в положение 1.

9.1. Подать на вход детектора АМ-сигнал с максимально возможной амплитудой и $m=50\%$. Наблюдать на экране двухканального осциллографа напряжения на входе и выходе детектора.

Провести исследования, аналогичные п. 1. Измеренные значения K_B и K_D сопоставить с соответствующими показателями однодиодного детектора.

9.2. По указанию преподавателя провести исследование других показателей детектора с удвоением напряжения.

Переключатель S2 установить в положение 1.

10. Исследовать совместную работу УПЧ и амплитудного детектора (схема подключений соответствует рис. 6.5).

10.1. Снять АЧХ УПЧ.

Отключить детектор от выхода УПЧ; для этого установить тумблер S1 в положение 2.

От ВЧ генератора подать на вход УПЧ немодулированное напряжение порядка 1 мВ. Вольтметр перевести в режим измерения ВЧ.

Изменять частоту ВЧ генератора в пределах его перестройки от минимальной до максимальной, фиксировать величину напряжения на выходе УПЧ (в КТ3). Результаты измерений поместить в таблицу.

Построить график нормированной АЧХ УПЧ.

Подключить детектор к выходу УПЧ; для этого установить тумблер $S1$ в положение 1.

Снять АЧХ УПЧ при $R_n = 100$ кОм, $R_n = 10$ кОм и $R_n = 1,5$ кОм .
Построить графики нормированных АЧХ. Сделать выводы о влиянии сопротивления нагрузки детектора на параметры УПЧ.

10.2. Снять динамические детекторные характеристики АД с УПЧ.

Переключатель $S3$ установить в положение 4 ($R_n = 100$ кОм).

Подать на вход УПЧ модулированное напряжение порядка 1 мВ с $m=50\%$. Частоту ВЧ генератора установить по максимуму показаний вольтметра.

Синхронизация осциллографа – по входу 2.

Изменяя F_M в интервале 400 – 16000 Гц при неизменных значениях m и $U_{ВХ}$, снять зависимость напряжения низкой частоты U_{Ω} в $KT5$ от F_M . Для этого перевести вольтметр в режим измерения НЧ.

Построить график зависимости U_{Ω} от F_M при $R_n=100$ кОм. Отметить частоту верхнего среза $F_{МАКС}$. Сравнить результатами, полученными в п. 7.3.

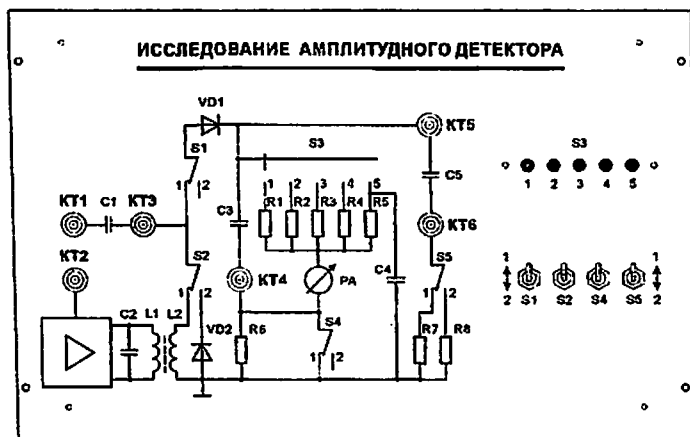


Рис.6.1. Лицевая панель сменного блока «Исследование амплитудного детектора»

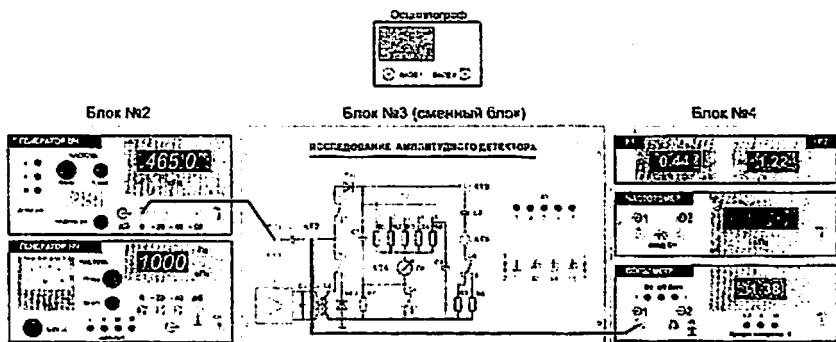


Рис. 6.2. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов

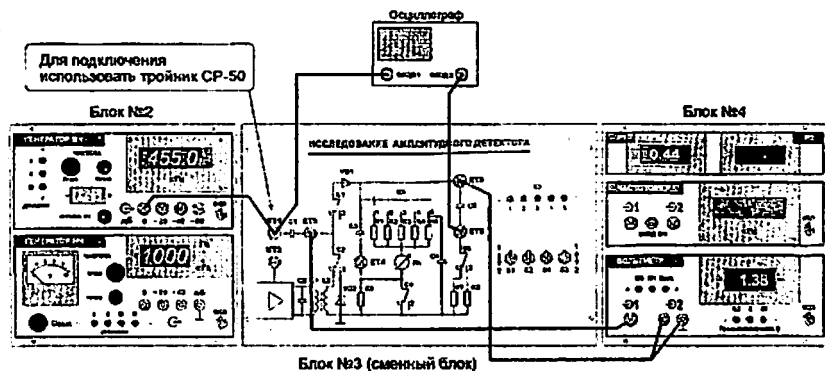


Рис. 6.3. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов (определение коэффициента передачи детектора)

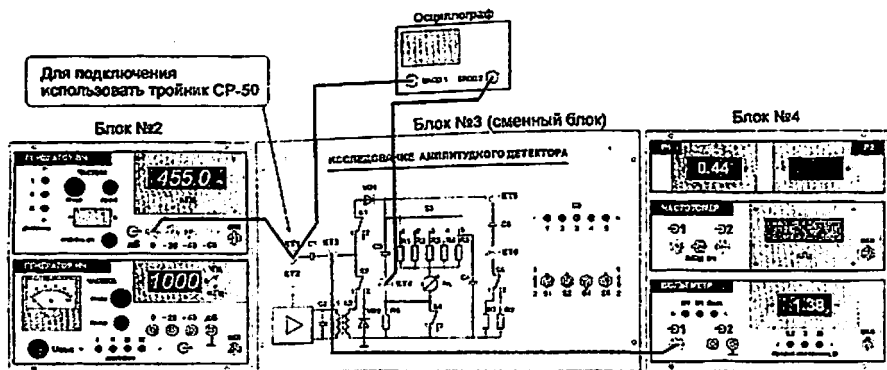


Рис.6.4. Изучение формы импульсов тока, протекающего через диод

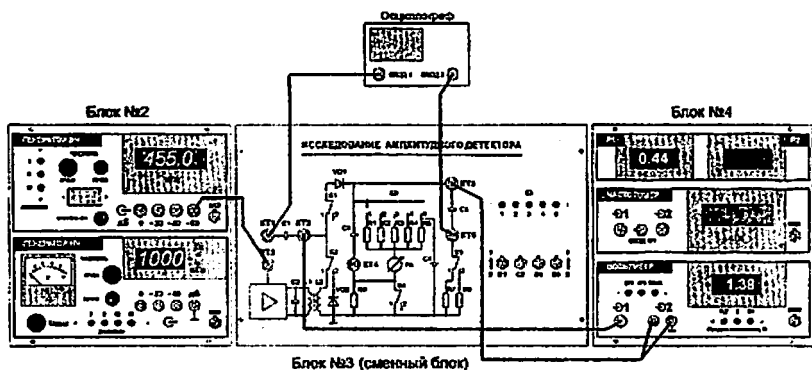


Рис.6.5. Исследование совместной работы УПЧ и амплитудного детектора

Контрольные вопросы

1. На основе каких систем можно реализовать амплитудный детектор?

2. Поясните принцип работы АД.
3. Какие искажения возникают при детектировании АМ колебаний и какие способы борьбы с ними существуют?
4. Нарисуйте и поясните диаграммы напряжения при детектировании АМ колебаний.
5. Приведите и поясните формы импульсов тока, протекающего через диод.

Внимание!

В сменных блоках «Исследование амплитудного детектора», напряжение с КТ5 подается на вход вольтметра P2, который показывает постоянную составляющую выпрямленного детектором переменного напряжения.

Данная модернизация позволяет упростить процесс проведения лабораторной работы, т.к. отпадает необходимость подключения внешнего вольтметра к КТ5 для измерения постоянного напряжения на нагрузке детектора U_n .

Предел измерения вольтметра P2 равен 2 В.

При исследовании детектора, работающего по схеме с удвоением напряжения, возможно превышение указанного предела. В данном случае рекомендуется уменьшить напряжение на входе детектора на 3 дБ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Цель работы

Изучить принципы построения частотных детекторов, экспериментально исследовать процесс детектирования ЧМ - сигналов на основе:

- преобразования изменения частоты колебания в изменение амплитуды с последующим детектированием с помощью амплитудного детектора;
- преобразования изменения частоты колебания в изменение фазы с последующим детектированием с помощью фазового детектора.

Содержание работы

1. Снятие детекторной характеристики частотного детектора на основе расстроенного контура (детектор № 1).
2. Снятие детекторной характеристики дробного частотного детектора (детектор № 2)
3. Снятие детекторной характеристики частотного детектора на основе фазового детектора (детектор №3).
4. Наблюдение и анализ искажений сигнала на выходе детекторов.
5. Снятие частотных характеристик детекторов.
6. Сравнение коэффициентов передачи детекторов.

Описание лабораторного макета

На рис. 7.1. приведена лицевая панель сменного блока «Исследование частотных детекторов»

Макет включает в себя ВЧ генератор с возможностью осуществления частотной модуляции и три схемы частотных детекторов.

ВЧ генератор в контрольной точке КТЗ формирует ЧМ синусоидальное напряжение с регулируемым индексом модуляции и амплитудой U_c . Частота генерации f_c регулируется в диапазоне 2200-2900 кГц переменным резистором ЧАСТОТА. Амплитуда U_c ЧМ напряжения регулируется переменным резистором АМПЛ. Индекс частотной модуляции зависит от величины поданного на КТ1

модулирующего напряжения низкой частоты $U_{нч}$ от генератора НЧ (рекомендуемый диапазон напряжений 0,1 В – 0,5 В).

Макет содержит детекторы, выполненные на основе:

- расстроенного контура и диодного детектора (детектор № 1);
- дробного частотного детектора (детектор № 2);
- фазового детектора с одиночным контуром (детектор №3).

Переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА ($S1 - S3$) служит для подключения той или иной схемы детектора.

В схемах детекторов №№ 1 и 3 имеется возможность подключения параллельно колебательному контуру резисторов с помощью независимого переключателя $R1-R2$.

Постоянная составляющая напряжения с выхода детектора через переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА подается на $КТ4$ и отображается в вольтах на цифровом индикаторе измерителя $P2$, расположенного на панели №4 лабораторной установки.

Для выполнения лабораторной работы также используются:

- генератор НЧ, расположенный на панели №2 лабораторной установки. Используется для модуляции напряжения $B'1$ генератора;

- измеритель $P1$, расположенный на панели №4, отображающий в вольтах напряжение смещения на варикапе $BЧ$ генератора;

- частотомер, расположенный на панели №4, необходимый для контроля частоты $BЧ$ генератора.

- вольтметр, расположенный на панели №4, необходимый для измерения величины НЧ напряжения на выходе детектора. Используется в режиме «НЧ».

Дополнительным прибором, необходимым для проведения работы, является двухлучевой (двухканальный) осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Снять модуляционную характеристику ВЧ генератора (зависимость частоты синусоидального напряжения на выходе генератора от напряжения смещения варикапа).

Произвести соединения согласно рис.7.2. Развертку осциллографа синхронизировать по входу 1.

Ручкой «Частота» изменять напряжение смещения на варикапе $BЧ$ генератора от минимального до максимального. Напряжение смещения отображается в вольтах цифровым индикатором измерителя $P1$. Частота генератора определяется частотомером.

Результаты измерений занести в таблицу 7.1.

Напряжение смещения $U_{см}$, В							
Частота генератора f_c , Гц							

Построить зависимость $f_c=f(U_{см})$. По графику определить девиацию частоты генератора при различных напряжениях смещения и амплитудах $HЧ$ напряжения на варикапе (по заданию преподавателя).

На экране осциллографа наблюдать осциллограмму напряжения на выходе $BЧ$ генератора (в $KT3$).

2. Снять детекторную характеристику частотного детектора на основе расстроенного контура (детектор № 1).

Для этого получить зависимость постоянной составляющей U на выходе частотного детектора от изменения частоты сигнала при отсутствии модуляции ($U_m = 0$).

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 1.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять частоту напряжения на выходе $BЧ$ генератора f_c в пределах 2200-2900 кГц, при этом фиксировать величину U в $KT4$ по показаниям индикатора измерителя $P2$.

Провести измерения для двух величин добротности Q резонансного контура детектора: подключен резистор $R1$ (Q_1); подключен резистор $R2$ (Q_2).

Результаты измерений занести в таблицы. Построить детекторные характеристики $U_{вых}=f(f_c)$ для различных Q . Определить частоты максимально линейных участков детекторной характеристики (возрастающего f_{cp1} и убывающего f_{cp2}).

Снять детекторную характеристику дробного частотного детектора (детектор № 2). Для этого получить зависимость постоянной составляющей U на выходе частотного детектора от изменения частоты сигнала при отсутствии модуляции ($U_m = 0$).

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 2.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять частоту напряжения на выходе $BЧ$ генератора f_c в пределах 2200-2900 кГц, при этом фиксировать величину U в $KT4$ по показаниям индикатора измерителя $P2$.

Результаты измерений занести в таблицу. Построить детекторную характеристику $U_{вых}=f(f_c)$.

Определить среднюю f_{cp} частоту на максимально линейном участке детекторной характеристики.

Снять детекторную характеристику фазового детектора с одиночным контуром (детектор №3). Для этого получить зависимость постоянной составляющей U_0 на выходе частотного детектора от изменения частоты сигнала при отсутствии модуляции ($U_m = 0$).

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 3.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять частоту напряжения на выходе ВЧ генератора f_c в пределах 2200-2900 кГц, при этом фиксировать величину U_0 в КТ4 по показаниям индикатора измерителя P2.

Провести измерения для двух величин добротности Q резонансного контура детектора: подключен резистор $R1$ (Q_1); подключен резистор $R2$ (Q_2).

Результаты измерений занести в таблицы. Построить детекторные характеристики $U_{вых} = f(f_c)$ для различных Q .

Определить среднюю f_{cp} частоту на максимально линейном участке детекторной характеристики.

3. Наблюдать низкочастотный сигнал на выходе детектора.

Оценить искажения низкочастотного сигнала на выходе детектора при отклонении значения f_c от f_{cp} для данного вида детектора.

Произвести соединения согласно рис.7.3. Развертку осциллографа синхронизировать по входу 2.

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 1.

Установить переменным резистором ЧАСТОТА частоту ВЧ генератора, равную f_{cp} для данного вида детектора. Переменный резистор «АМПЛ.» установить в крайнее положение по часовой стрелке.

Установить частоту генератора НЧ 1000 Гц. Установить напряжение на выходе генератора НЧ максимально возможным в пределах $U_n = 100 - 500$ мВ таким образом, чтобы напряжение низкой частоты U_{Ω} на выходе детектора (в КТ4), наблюдаемое на экране осциллографа, имело вид неискаженной синусоиды.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять величину f_c и наблюдать искажение формы низкочастотного сигнала U_{Ω} на экране осциллографа. Обратит внимание на взаимное соответствие частоты f_c , частот перегибов детекторной характеристики и вида искажений. Сделать необходимые выводы.

Обратить внимание на взаимное соответствие фазы напряжения на выходе детектора и знака крутизны детекторной характеристики на частоте f_{cp} для данного вида детектора.

Переменным резистором «АМГЛ.» изменять амплитуду напряжения на выходе ВЧ генератора от максимальной до минимальной. Отметить изменение амплитуды НЧ напряжения на выходе детектора.

Аналогично провести наблюдения для детекторов №№ 2 и 3.

Примечание. Для детекторов №№ 1 и 3 наблюдения провести при подключенных резисторах $R1$.

Сделать необходимые выводы.

4. Снять частотные характеристики детекторов.

Произвести соединения согласно рис.7.4.

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 1.

Включить генератор низкой частоты. $F_{НЧ}=1000$ Гц. Установить напряжение на выходе генератора НЧ (напряжение модулирующего сигнала U_m на входе генератора высокой частоты в КТ1) $U_m = 100$ мВ.

Установить переменным резистором ЧАСТОТА частоту генератора высокой частоты, равную средней частоте линейного участка детекторной характеристики f_{cp} для данного вида детектора.

Вольтметр перевести в режим «НЧ».

Получить зависимость эффективного значения напряжения U_{Ω} на выходе детектора от частоты модуляции F_m , изменяя частоту модуляции F_m в диапазоне 20 Гц - 20 кГц. Результаты измерений занести в таблицу.

$F_m, \text{кГц}$	0,02	20,0
$U_{\Omega}, \text{В}$							

Аналогично провести измерения для детекторов №№ 2 и 3.

Примечание. Для детекторов №№ 1 и 3 измерения провести при подключенных резисторах $R1$.

5. Сравнить коэффициенты передачи детекторов на различных частотах модуляции.

Сделать необходимые выводы.

6. Дополнительное задание (схема соединений согласно рис.7.2).

Вход 1 осциллографа подключить к КТ3. Развертку осциллографа синхронизировать по входу 1.

Установить частоту генератора НЧ 1000 Гц. Установить напряжение на выходе генератора НЧ $U_m = 0$ мВ.

Переключатель горизонтальной развертки осциллографа установить в положение 0,5 мкс/дел. Получить устойчивое изображение

нескольких периодов синусоидального напряжения высокой частоты без модуляции.

Увеличивая напряжение на выходе генератора НЧ U_m от 0 мВ до 500 мВ наблюдать «размывание» изображения в правой части экрана, т.е. изменение мгновенного значения фазы напряжения ВЧ в процессе частотной модуляции.

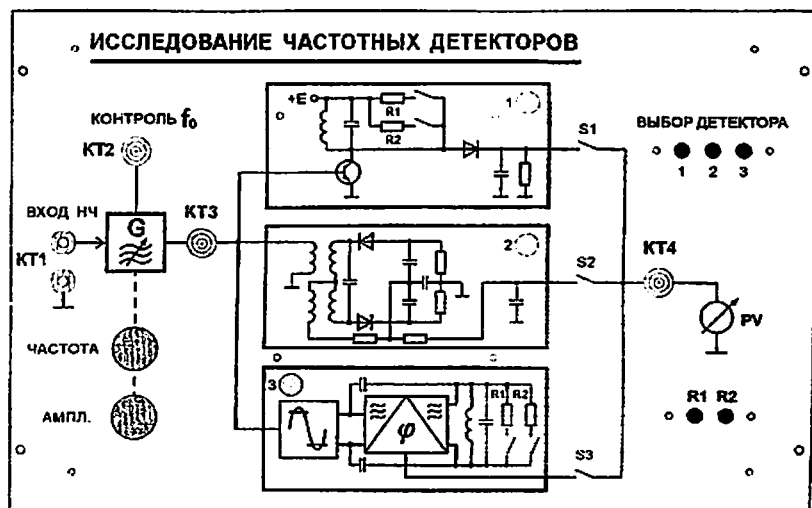


Рис. 7.1. Лицевая панель сменного блока «ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ»

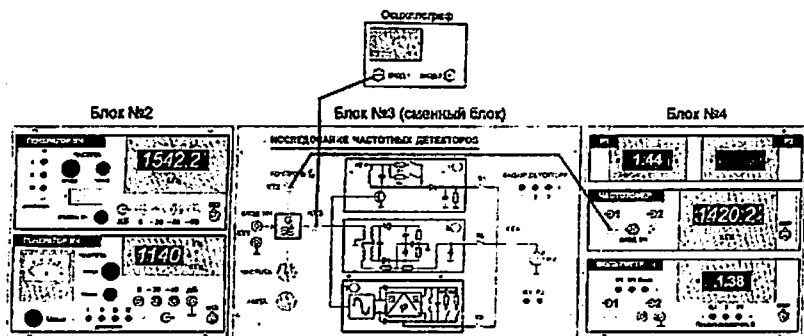


Рис.7.2. Соединение элементов лабораторной установки для снятия модуляционной характеристики генератора

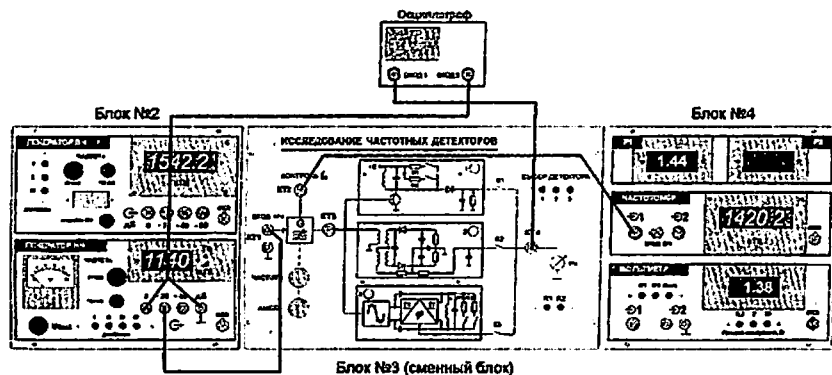


Рис.7.3. Соединение элементов лабораторной установки для наблюдения формы НЧ напряжения на выходе детектора

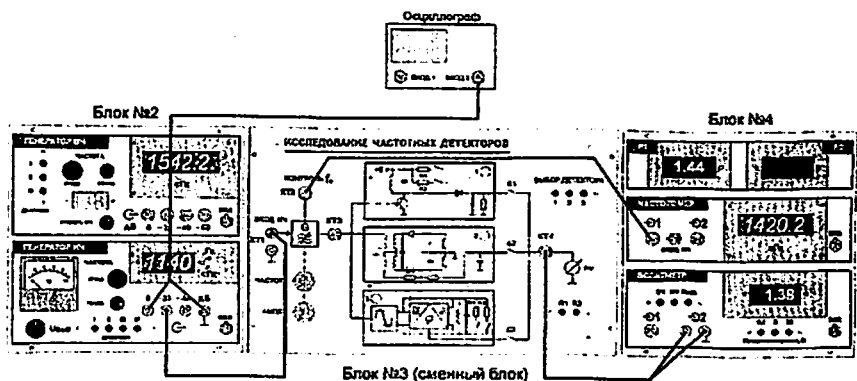


Рис. 7. 4. Соединение элементов лабораторной установки для снятия частотных характеристик детекторов

Контрольные вопросы

1. В каких устройствах осуществляется частотное детектирование?
2. Укажите особенности однотактных и балансных ЧД.
3. Приведите принципиальные схемы и поясните принцип работы ЧД с преобразованием отклонения частоты в изменение амплитуды.
4. Каковы принципиальная схема и принцип действия ЧД с одиночным контуром, преобразующим изменение частоты в изменение фазы?
5. Приведите классификацию ЧД.
6. Поясните полученные частотные характеристики детекторов.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ ПРИЕМНИКА

Цель работы

Изучить принципы построения систем автоматической регулировки усиления (АРУ) приемников, экспериментально исследовать инерционную систему АРУ, сопоставить результаты с теоретическими сведениями о системах АРУ.

Основные вопросы курса, изучаемые перед выполнением работы

1. Назначение, принцип действия и классификация систем АРУ.
2. Эффективность системы АРУ и способы ее повышения.
3. Выбор постоянной времени фильтра системы АРУ.

Содержание работы

1. Определение максимального коэффициента усиления тракта.
2. Снятие регулировочной характеристики.
3. Исследование амплитудно-амплитудных характеристик тракта.
4. Исследование влияния постоянной времени фильтра системы АРУ на искажения АМ-сигнала.
5. Расчет амплитудно-амплитудных характеристик тракта и сравнение их с результатами эксперимента.

Описание лабораторного макета

На рис.8.1. приведен внешний вид лицевой панели сменного блока «Исследование системы АРУ».

Исследуемый макет представляет собой усилитель промежуточной частоты (УПЧ) приемника с амплитудным детектором и системой АРУ. Регулировка усиления осуществляется изменением режима по постоянному току транзисторов УПЧ. При выключенной системе АРУ в режиме ручной регулировки усиления (переключатель S2 в положении «РРУ») для этой цели служит потенциометр «РРУ», выведенный на

переднюю панель. Значение напряжения регулировки усиления, подаваемого на каскады УПЧ, отображается в вольтах на цифровом индикаторе измерителя *P1*, расположенного на панели №4 лабораторной установки.

С выхода УПЧ (гнездо *КТ3*) усиленный сигнал подается на амплитудный детектор. Продетектированный сигнал (гнездо *КТ5*) поступает на усилитель постоянного тока (УПТ) системы АРУ. Коэффициент усиления УПТ зависит от положения переключателя *S5*. К выходу УПТ (*КТ6*) подключен однозвенный фильтр низкой частоты ФНЧ, постоянная времени которого τ зависит от положения переключателя *S3* и равна 0,01 с или 5 мкс. Первое значение типично для инерционных систем АРУ приемников радиосвязи с амплитудной модуляцией. Второе значение отражает ситуацию, когда постоянная времени ФНЧ выбрана неправильно и действие системы АРУ приводит к искажению закона модуляции АМ-сигнала.

При включенной системе АРУ (переключатель *S2* в положении АРУ) с ростом сигнала на входе УПЧ (гнездо *КТ2*) возрастает постоянное напряжение на выходе детектора. Это напряжение усиливается УПТ и через ФНЧ воздействует на транзисторы УПЧ, уменьшая его коэффициент усиления. С помощью переключателя *S4* можно включить задержку срабатывания АРУ.

Структурная схема лабораторного макета включает также генератор прямоугольных импульсов (ГИ) и амплитудный модулятор (АМ). При подаче на *КТ1* немодулированного синусоидального напряжения ПЧ и при включенном ГИ (тумблер *S1* в положении ВКЛ) на вход УПЧ поступает напряжение промежуточной частоты с прямоугольным законом модуляции. Именно данный закон модуляции позволяет более наглядно продемонстрировать влияние инерционности системы АРУ на форму сигнала при различных величинах постоянной времени фильтра низкой частоты.

Для выполнения лабораторной работы используются встроенные измерительные приборы лабораторной установки:

- измеритель *P1*, расположенный на панели №4, отображающий в вольтах значение напряжения регулировки усиления;
- генератор ВЧ, расположенный на панели №2;
- генератор НЧ, расположенный на панели №2;
- вольтметр, расположенный на панели №4.

Дополнительными приборами, необходимыми для проведения работы, являются:

- двухлучевой (двухканальный) осциллограф;
- милливольтметр переменного напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Определить максимальное значение коэффициента усиления УПЧ (рис.8.2).

$$K_{УПЧ \max} = U_{\text{вых УПЧ}} / U_{\text{вх УПЧ}}$$

Генератор импульсов выключен.

Система АРУ выключена (S2 в положении РРУ).

Включить генератор ВЧ на панели №2.

Установить частоту генератора ВЧ $f_{\text{ген}} \approx 455$ кГц.

Установить на выходе генератора ВЧ немодулированное напряжение ($m=0$ %). Для этого необходимо, чтобы напряжение на выходе НЧ генератора было равно 0 В.

Установить выходное напряжение ВЧ генератора $U_{\text{вых ген}} = U_{\text{вх УПЧ}} \approx 5$ мВ (-46 дБ В).

Для этого необходимо подать напряжение на вход УПЧ с выхода генератора «-40 дБ» и на шкале индикатора уровня ВЧ с помощью регулятора «Уровень ВЧ» установить стрелку на значение «-6 дБ»

Напряжение на выходе УПЧ (в КТ3) измеряется внешним вольтметром

Напряжение РРУ выставляется таким образом, чтобы усиление УПЧ было максимальным.

2. Снять регулировочную характеристику УПЧ (зависимость коэффициента усиления УПЧ $K_{УПЧ}$ от величины напряжения регулирования $U_{\text{рег}}$).

Для этого необходимо подать на вход УПЧ (КТ2) немодулированное переменное напряжение $U_{\text{вх УПЧ}} \approx 5$ мВ, изменять потенциометром РРУ напряжение регулирования от 0 до 12 В (фиксировать значения $U_{\text{рег}}$ по показаниям измерителя Р1) и фиксировать $U_{\text{вых УПЧ}}$ в КТ3. На основании результатов эксперимента рассчитать и построить график зависимости $K_{УПЧ}$ от $U_{\text{рег}}$.

$U_{\text{рег}}, \text{В}$	0	1	2	3	12
$U_{\text{вых УПЧ}}, \text{В}$								
$K = U_{\text{вых УПЧ}} / U_{\text{вх УПЧ}}$								

3. Определить коэффициент усиления УПТ Купт при различных положениях переключателя S5 (рис.8.3).

$$K_{упт} = U_{вых\ упт} / U_{вх\ упт}$$

Для проведения измерений необходимо на вход УПЧ подать модулированное напряжение промежуточной частоты порядка 5 мВ. Модуляция ВЧ генератора осуществляется напряжением низкой частоты, подаваемым от НЧ генератора, расположенного на панели №2. Глубина модуляции зависит от величины напряжения НЧ.

Установить максимальное усиление УПЧ.

Тумблер S4 «ЗАДЕРЖКА АРУ» установить в положение ВЫКЛ.

Включить питание НЧ генератора. Установить его частоту порядка 1000 Гц.

Наблюдать на экране осциллографа напряжение в КТ3.

Изменяя выходное напряжение НЧ генератора регулятором «U_{вых}», добиться глубины модуляции порядка $m=50\%$.

Затем:

а) изменяя глубину модуляции и усиление УПЧ добиться напряжения низкой частоты на входе УПТ (в КТ5) порядка 10 - 20 мВ.

Записать величину $U_{вх\ упт}$;

б) измерить напряжение низкой частоты на выходе УПТ (в КТ6) при различных положениях (K1, K2, K3) переключателя S5 УСИЛЕНИЕ УПТ. Измерение производится вольтметром панели №4 в режиме «НЧ».

Положение переключателя S5	K1	K2	K3
$U_{вых\ упт}, В$ в КТ6			
$K_{упт} = U_{вых\ упт} / U_{вх\ упт}$			

4. Снять и построить амплитудную характеристику УПЧ (зависимость $U_{вых}$ от $U_{вх}$) при разомкнутой петле АРУ и максимальном усилении УПЧ (схема соединений на рис.8.2):

- переключатель S2 - в положении «РРУ»;

- генератор НЧ выключен ($m=0\%$);

- переменным резистором РРУ установить максимальное напряжение РРУ;

- в КТ3 измерять напряжение на выходе УПЧ;

- затем изменять выходное напряжение ВЧ генератора от 0,1 мВ до 60 - 100 мВ .

Величина напряжения на выходе ВЧ генератора, выраженная в дБВ, определяется алгебраической суммой показаний индикатора УРОВЕНЬ ВЧ и ослаблением, указанным рядом с соответствующим разъемом ВЧ генератора. (Например: напряжение снимается с разъема «-40 дБ», показания индикатора УРОВЕНЬ ВЧ «-12 дБ», значит с выхода ВЧ генератора снимается напряжение -52 дБВ или 2,51 мкВ). Таблица перевода значений уровня напряжения из относительных единиц в абсолютные приведена в *приложении*.

Величины напряжений в КТ2 и КТ3 фиксировать в таблице.

$U_{ax} \text{ УПЧ, дБВ}$									
$U_{ax} \text{ УПЧ, мВ}$									
$U_{вых} \text{ УПЧ, мВ}$									

По полученным данным построить зависимость $U_{вых \text{ УПЧ}} = f(U_{ax \text{ УПЧ}})$.

5. Снять и построить амплитудную характеристику УПЧ (зависимость $U_{вых}$ от U_{ax}) при замкнутой петле АРУ:

- переключатель S2 установить в положение АРУ.

В остальном методика та же, что в п.4.

Измерения проводить при различных положениях переключателей S4 и S5.

$U_{ax} \text{ УПЧ, дБВ}$							
$U_{ax} \text{ УПЧ, мВ}$							
$U_{вых} \text{ УПЧ, мВ}$	Задержка АРУ выкл	К1					
	Задержка АРУ выкл	К2					
	Задержка АРУ выкл	К3					
	Задержка АРУ вкл	К1					
	Задержка АРУ вкл	К2					
	Задержка АРУ вкл	К3					

По полученным данным построить зависимости $U_{вых \text{ УПЧ}} = f(U_{ax \text{ УПЧ}})$ в тех же координатных осях, что и в п.4.

Провести оценку эффективности системы АРУ. Для этого определить изменение уровня выходного сигнала (в децибелах) при увеличении входного на 50дБ относительно $U_{ax \text{ УПЧ}} = -60\text{дБВ}$.

6. Определить значения входных уровней, начиная с которых возникает искажение АМ-сигнала (рис. 8.4).

Для проведения измерений необходимо на вход УПЧ подать модулированное напряжение промежуточной частоты порядка 5 мВ. Модуляция ВЧ генератора осуществляется напряжением низкой частоты, подаваемым от НЧ генератора, расположенного на панели №2. Глубина модуляции зависит от величины напряжения НЧ.

Установить максимальное усиление УПЧ.

Установить переключатель S3 в положение «1».

Включить питание НЧ генератора. Установить его частоту порядка 1000 Гц.

Наблюдать на экране осциллографа напряжение в КТ3.

Изменяя выходное напряжение НЧ генератора регулятором «U_{вых}», добиться глубины модуляции порядка $m=50\%$.

Для трех случаев:

-РРУ;

-АРУ с задержкой при КЗ;

-АРУ без задержки при КЗ

определить максимальные значения входного напряжения $U_{вх\ упч}$, при которых становятся заметны на глаз искажения огибающей выходного сигнала в КТ3 и на выходе амплитудного детектора (в КТ4).

Оценить увеличение динамического диапазона тракта при использовании системы АРУ.

7. Исследовать влияние постоянной времени ФНЧ на работу системы АРУ при усилении АМ напряжения.

7.1. На вход УПЧ подать модулированное напряжение промежуточной частоты порядка 5 мВ.

АРУ включена. Задержка АРУ выключена.

Наблюдать на экране осциллографа напряжения в КТ3 и КТ4.

Установить переключатель S3 в положение «2».

Отметить уменьшение глубины модуляции напряжения на выходе УПЧ и уменьшение амплитуды НЧ напряжения на выходе детектора.

7.2. Выключить НЧ генератор.

Произвести соединения согласно рис.8.5.

С выхода ВЧ генератора на КТ1 подать немодулированное напряжение промежуточной частоты порядка 50 мВ.

Тумблером S1 включить генератор прямоугольных импульсов.

Наблюдать на экране осциллографа модулированное напряжение промежуточной частоты в КТ3 (луч 1) и прямоугольное модулирующее напряжение в КТ4 (луч 2) :

- в режиме *РРУ* при максимальном усилении ;
- в режиме *АРУ* при *K1, K2, K3*. Постоянная времени *ФНЧ* τ_1 ;
- в режиме *АРУ* при *K1, K2, K3*. Постоянная времени *ФНЧ* τ_2 .

Оценить влияние постоянной времени *ФНЧ* ($\tau_1 > \tau_2$) на искажение формы огибающей АМ-сигнала при работе *АРУ*.

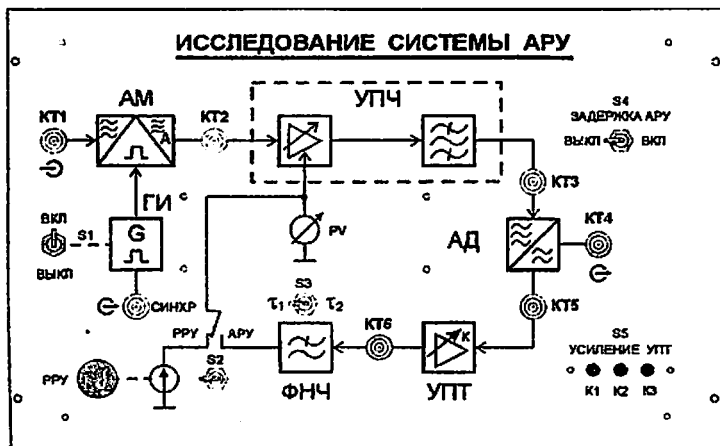


Рис.8.1. Внешний вид лицевой панели сменного блока «ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АРУ»

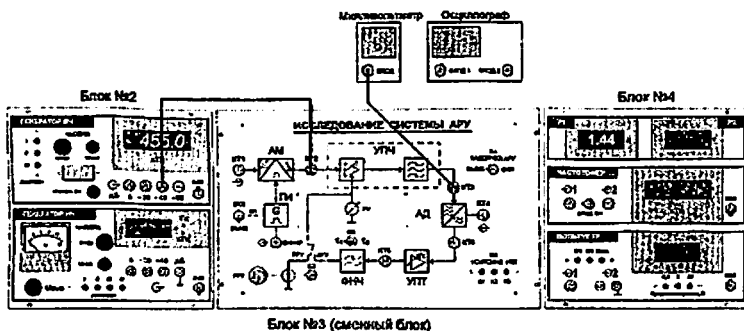


Рис.8.2. Определение максимального коэффициента усиления *УПЧ*

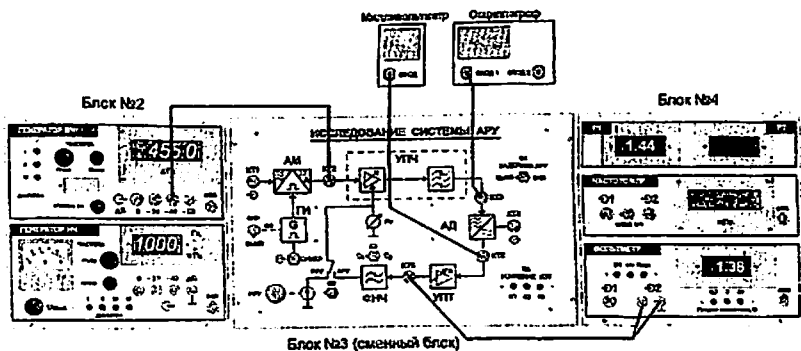


Рис.8.3. Определение коэффициента усиления УПТ

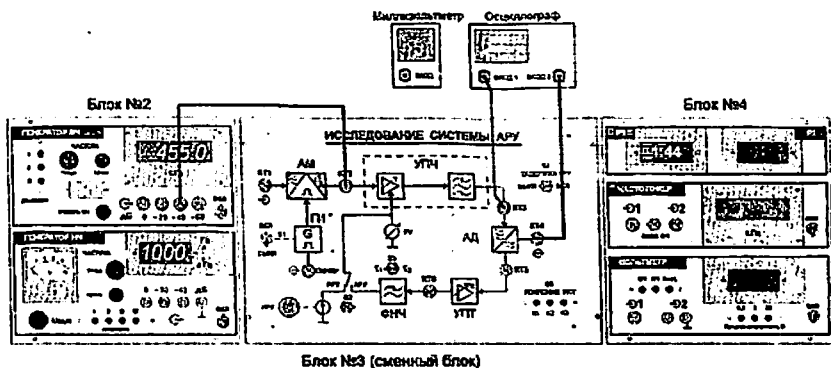


Рис.8.4. Определение входных уровней, при которых возникают искажения АМ-сигнала

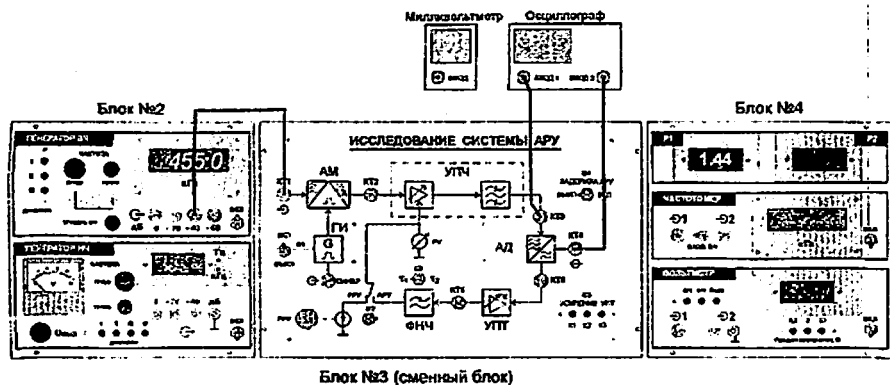


Рис.8.5. Исследование влияния постоянной времени ФНЧ на работу АРУ при усилении АМ-сигнала

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды и типы регулировок в приемниках.
2. Каково назначение регулировок?
3. Какие способы регулировки усиления резонансного усилителя Вы знаете?
4. Каким образом осуществляется регулировка коэффициента усиления усилителя и каковы ее преимущества и недостатки?
5. Приведите структурные схемы обратной, прямой и комбинированной АРУ и проведите их сравнительный анализ.
6. Каковы структурная схема и назначение элементов АРУ?
7. Приведите схему фильтра АРУ. Каково назначение фильтра в системе АРУ?

ПРИЛОЖЕНИЕ

**ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА ЗНАЧЕНИЙ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗ
ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ В АБСОЛЮТНЫЕ**

Таблица позволяет перевести значения относительных уровней напряжений, выраженных в децибелах относительно 1 В (дБ В), в абсолютные единицы напряжения – микровольты (мкВ), которые между собой связаны следующими выражениями

$$\epsilon \text{ (дБВ)} = 20 \lg E \text{ (мкВ)} \cdot 10^{-6} / 1 \text{ (В)},$$

$$E \text{ (мкВ)} = 10^{(\epsilon \text{ (дБВ)} + 120) / 20}.$$

Значению напряжения в мкВ, указанному в каждой клетке таблицы, соответствует относительный уровень, равный алгебраической сумме чисел, стоящих в заголовках, соответствующих данным строке и столбцу.

Уровни, дБВ	-4	-3	-2	-1	0
-80	63,1	70,8	79,4	89,1	100
-70	200	224	251	282	316
-60	631	708	794	891	1000
-50	2000	2240	2510	2820	3160
-40	$6,31 \cdot 10^3$	$7,08 \cdot 10^3$	$7,94 \cdot 10^3$	$8,91 \cdot 10^3$	10^4
-30	$20,0 \cdot 10^3$	$22,4 \cdot 10^3$	$25,1 \cdot 10^3$	$28,2 \cdot 10^3$	$31,6 \cdot 10^3$
-20	$63,1 \cdot 10^3$	$70,8 \cdot 10^3$	$79,4 \cdot 10^3$	$89,1 \cdot 10^3$	10^5
-10	$200 \cdot 10^3$	$224 \cdot 10^3$	$251 \cdot 10^3$	$282 \cdot 10^3$	$316 \cdot 10^3$
0	$631 \cdot 10^3$	$708 \cdot 10^3$	$794 \cdot 10^3$	$891 \cdot 10^3$	10^6

Уровни, дБВ	-9	-8	-7	-6	-5
-80	35,5	39,8	44,7	50,1	56,2
-70	112	126	141	159	178
-60	355	398	447	501	562
-50	1120	1260	1410	1590	1780
-40	$3,55 \cdot 10^3$	$3,98 \cdot 10^3$	$4,47 \cdot 10^3$	$5,01 \cdot 10^3$	$5,62 \cdot 10^3$
-30	$11,2 \cdot 10^3$	$12,6 \cdot 10^3$	$14,1 \cdot 10^3$	$15,9 \cdot 10^3$	$17,8 \cdot 10^3$
-20	$35,5 \cdot 10^3$	$39,8 \cdot 10^3$	$44,7 \cdot 10^3$	$50,1 \cdot 10^3$	$56,2 \cdot 10^3$
-10	$112 \cdot 10^3$	$126 \cdot 10^3$	$141 \cdot 10^3$	$159 \cdot 10^3$	$178 \cdot 10^3$
0	$355 \cdot 10^3$	$398 \cdot 10^3$	$447 \cdot 10^3$	$501 \cdot 10^3$	$562 \cdot 10^3$

ЛИТЕРАТУРА

1. Multi-Mode / Multi-Band RF Transceivers for Wireless Communications: Advanced Techniques, Architectures, and Trends / Edition 1 By Gernot Hueber (Editor), Robert Bogdan Staszewski (Editor)
2. Wolfgang Eberle. Wireless Transceiver Systems Design. Katholieke Universiteit Leuven. Interuniversity Microelectronics Center (IMEC). Leuven. Belgium.
3. А.Абдуазизов, Д.Давронбеков. Радиоузатиш ва кабул қилиш қурилмалари. Ўқув қўлланма. Т.: «Фан ва технология», 2011, 272 б.
4. А.Абдуазизов. Электралоқа назарияси. (Дарслик). – Т.: «Фан ва технология», 2011, 416 б.
5. Д.А.Давронбеков, У.Т.Алиев. Телерадиоэшиттиришда узатиш ва кабул қилиш қурилмалари: дарслик. Т.: “Aloqachi”, 2019 й. (Ўзбек ва рус тилларида).
6. Радиопередающие устройства: Учебник для вузов /В.В. Шахгильдян, В.Б.Козырев, А.А.Ляховкин и др.; Под ред. В.В.Шахгильдяна. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 2003. – 560 с.: ил.
7. Радиопередающие устройства: Учебник / Вильям Ильич Каганов. – М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2002. – 288 с.
8. Онищук А.Г., Забеньков И.И., Амелин А.М. Радиоприёмные устройства. Уч. пособие. Минск, ООО «Новые знания», 2005. – 240 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>Лабораторная работа 1</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ.....	4
<i>Лабораторная работа 2</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОГЕНЕРАТОРА С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ.....	8
<i>Лабораторная работа 3</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ.....	13
<i>Лабораторная работа 4</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА АМ СИГНАЛОВ.....	20
<i>Лабораторная работа 5</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ.....	27
<i>Лабораторная работа 6</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА.....	32
<i>Лабораторная работа 7</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ.....	44
<i>Лабораторная работа 8</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ ПРИЕМНИКА.....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	61
ЛИТЕРАТУРА.....	62

ПЕРЕДАЮЩИЕ И ПРИЁМНЫЕ УСТРОЙСТВА В ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИИ

Сборник лабораторных работ и
методические указания
по их выполнению

Рассмотрено на заседании кафедры ТМС
«__» _____ 2020 года (протокол №____)
и рекомендовано к печати

Рекомендовано к печати научно-методическим советом факультета
Радио и мобильная связь (протокол №__ от «__» _____ 2020 г.)

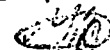
Составители:



Давронбеков Д.А.



Пулатов Ш.У.



Алиев У.Т.



Исроилов Ж.Д.



Писецкий Ю.В.

Шамсиев А.С.

Ответственный редактор: д.т.н.



Давронбеков Д.А.

Корректор:

Абдуллаева С.Х.

Босишга рухсат этилди _____ й.
Бичими 60x84 1/16. Босма табоги 4,0
Адади 50. Буюртма – № 372
Тошкент ахборот технологиялари университети
«Aloqachib» босмахонасида чоп этилди.
Тошкент ш., Амир Темур кўчаси, 108-уй.