

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.А. БУНИНА»

**И.Н. Зайцева, Э.И. Исакович,
Н.А. Фортунова**

***РАДИОПРИЁМНЫЕ
УСТРОЙСТВА***

*Учебное пособие
по выполнению лабораторных работ*

Елец – 2015

УДК 621.397.13

ББК 32.84

З 12

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Елецкого государственного университета имени И.А. Бунина
от 16.01.2015 г., протокол № 1*

Рецензенты:

Радин С.Ю., кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой
механизации и автоматизации технологических процессов
(Елецкий Государственный Университет им. И.А. Бунина)

Захаров С.В., начальник радиотелевизионной передающей станции
(г. Елец)

И.Н. Зайцева, Э.И. Исакович, Н.А. Фортунова

З 12 Радиоприёмные устройства: учебное пособие по выполнению лабораторных работ. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2015. – 105 с.

В учебном пособии излагаются требования к выполнению лабораторных работ по курсу «Радиоприёмные устройства» и оформлению отчётов по ним. Дано описание лабораторной стойки УРПС. Даются основные теоретические положения по теме каждой лабораторной работы, описания сменных блоков, их органов регулировки и коммутации. Определена последовательность выполнения каждой лабораторной работы с построением необходимых таблиц и графиков. В конце каждой лабораторной работы предлагаются вопросы для проверки усвоения материала.

Пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Радиоприёмные устройства».

УДК 621.397.13

ББК 32.84

© Елецкий государственный
университет им. И.А. Бунина, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Общее техническое описание лабораторной учебной стойки «УРПС»	5
Структура, содержание и оформление лабораторных работ	7
Описание конструкции передней панели «Стационарный блок 1»	11
Описание конструкции передней панели «Стационарный блок 2»	13
1. Лабораторная работа №1 «Изучение принципа работы супергетеродинного приёмника»	15
1.1. Исследование принципа работы супергетеродинного приёмника АМ- сигналов	23
1.2. Оценка приёма по зеркальному каналу связи	25
1.3. Измерение амплитудно-частотной характеристики входной цепи РПрУ	26
Контрольные вопросы	26
2. Лабораторная работа №2 «Исследование усилителя промежуточной частоты»	28
2.1. Исследование УПЧ 1 с кварцевым полосовым фильтром	34
2.2. Исследование АЧХ резонансного каскада УПЧ 2	36
2.3. Исследование нелинейных искажений, вносимых УПЧ	37
2.4. Построение амплитудной характеристики УПЧ	38
Контрольные вопросы	38
3. Лабораторная работа №3 «Исследование амплитудного детектора»	40
3.1. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов	52
3.2. Измерение коэффициента передачи в режиме сильных сигналов	54
3.3. Оценка влияния нелинейности амплитудного детектора	55
3.4. Исследование искажений, вызванных чрезмерно большой постоянной времени нагрузки	55
3.5. Исследование нелинейных искажений, вызванных неравенством нагрузок детектора для постоянного и переменного тока	55
3.6. Исследование формы импульсов тока, проходящих через диод амплитудного детектора	56
3.7. Исследование амплитудной характеристики амплитудного детектора	57
3.8. Исследование динамической характеристики детектора	58

3.9. Исследование линейных искажений амплитудного детектора	59
3.10. Измерение коэффициента фильтрации амплитудного детектора	59
3.11. Исследование детектора, работающего по схеме удвоения напряжения	60
3.12. Исследование совместной работы амплитудного детектора с УПЧ	60
3.13. Исследование динамической характеристики УПЧ с АД	61
Контрольные вопросы	62
4. Лабораторная работа №4 «Исследование частотных детекторов»	63
4.1. Исследование амплитудной характеристики ограничителя амплитуды	77
4.2. Исследование частотной характеристики ЧМ- детектора с расстроенными контурами	79
4.3. Исследование особенностей детектирования ЧМ-сигналов	80
4.4. Исследование частотного детектора с преобразованием ЧМ в АМ и последующим детектированием	81
4.5. Исследование частотной характеристики ЧМ-детектора	82
4.6. Исследование частотного детектора с преобразованием ЧМ в ФМ и последующим детектированием	83
Контрольные вопросы	85
5. Лабораторная работа №5 «Исследование системы автоматической регулировки усиления»	86
5.1. Измерение максимального коэффициента усиления тракта	93
5.2. Измерение регулировочной характеристики УПЧ системы АРУ	94
5.3. Исследование амплитудной характеристики УПЧ системы АРУ	95
5.4. Исследование влияния постоянной времени АРУ на искажение АМ-сигнала	96
Контрольные вопросы	97
Приложения	98
Литература	105

ОБЩЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УЧЕБНОЙ СТОЙКИ «УРПС»

Лабораторный комплекс «Учебная радиоприёмная стойка» (далее – «УРПС») предназначена для изучения принципов построения и снятия характеристик основных узлов радиоприёмных устройств.

Конструктивно лабораторный комплекс выполнен на специальном столе в двух уровнях. На верхней полке стола установлены два стационарных блока: «Стационарный блок 1» и «Стационарный блок 2».

В комплект УРПС входят также пять различных сменных блоков, позволяющих изучать принципы построения и работы отдельных систем радиоприёмных устройств. Содержание выполняемой студентами лабораторной работы определяется видом установленного сменного блока. Кроме того, в комплект УРПС входит двухканальный осциллограф и соединительные провода.

На лицевых панелях стационарных и сменных блоков изображены функциональная схема и выведены необходимые контрольные гнезда и органы управления.

«Стационарный блок 1» включает в себя:

- ✓ Встроенный генератор ВЧ, перестраиваемый по частоте в трёх поддиапазонах:
 - 1-й поддиапазон – 800 кГц ÷ 1,2 МГц;
 - 2-й поддиапазон – 1,2 МГц ÷ 2,0 МГц;
 - 3-й поддиапазон – 420 кГц ÷ 600 кГц.
- ✓ Встроенный цифровой индикатор частоты;
- ✓ Встроенный генератор НЧ, перестраиваемый по частоте в четырёх поддиапазонах:
 - 1-й поддиапазон – 40 Гц ÷ 200 Гц;
 - 2-й поддиапазон – 200 Гц ÷ 2,0 кГц;
 - 3-й поддиапазон – 2 кГц ÷ 20 кГц;
 - 4-й поддиапазон – 20 кГц ÷ 150 кГц.
- ✓ Эквиваленты антенн СВ- и КВ-диапазонов.

«Генератор ВЧ» включает в себя перестраиваемый по частоте микропроцессорный генератор гармонических колебаний с возможностью внутренней амплитудной и частотной модуляции, функциями плавной регулировки амплитуды и девиации частоты ЧМ-сигнала, возможностью выбора шага настройки частоты, встроенным аттенуатором, а также цифровой индикацией текущего значения частоты.

«Генератор НЧ» включает в себя перестраиваемый по частоте микропроцессорный функциональный генератор колебаний с возможностью выбора типа формы сигнала (синус, меандр, треугольник и др.), функциями плавной регулировки амплитуды, возможностью выбора шага настройки частоты, а также цифровой индикацией текущего значения частоты.

«Стационарный блок 2» включает в себя:

- ✓ **«Измеритель постоянного напряжения / тока 2»**, включающий в себя совмещённый амперметр и вольтметр (ампервольтметр) постоянного тока с цифровой индикацией показаний. Предусмотрена гальваническая развязка модулей **«Измеритель постоянного тока / напряжения 1»** и **«Измеритель постоянного напряжения / тока 2»**.
- ✓ **«Вольтметр постоянного / переменного напряжения»**, позволяющий измерять среднеквадратическое значение амплитуды переменного напряжения и значение величины постоянного напряжения.
- ✓ **«Частотомер»**, включающий в себя цифровой микропроцессорный частотомер с возможностью ручной коммутации источника сигнала **«Вход 1»** или **«Вход 2»**.
- ✓ **«Динамик»**, состоящий из усилителя низкой частоты и громкоговорителя.

Отличительной особенностью лабораторной установки является использование современной элементной базы и, в частности, специализированной микросхемы, реализующей основные функции супергетеродинного приёмника.

Лабораторная установка имеет одно рабочее место для двух студентов и обеспечивает проведение серии экспериментов по специальностям «Радиоприёмные устройства» и смежных дисциплин учебного лабораторного практикума радиотехнических специальностей.

Лабораторный комплекс «УРПС» комплектуется сменными блоками:
«Исследование принципа работы супергетеродинного приёмника»;
«Исследование УПЧ»;
«Исследование амплитудного детектора»
«Исследование частотных детекторов»;
«Исследование системы АРУ».

СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие положения

Лабораторная работа – небольшой научный отчёт, обобщающий проведённую студентом работу, которую он представляет для защиты преподавателю. К лабораторным работам предъявляется ряд требований, основным из которых является полное, исчерпывающее описание всей проделанной работы, позволяющее судить о полученных результатах, степени выполнения заданий и профессиональной подготовке студента.

В отчёт по лабораторной работе должны быть включены следующие пункты:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- описание экспериментальной установки и методики эксперимента;
- экспериментальные результаты;
- анализ результатов работы;
- выводы.

Подготовка к проведению лабораторной работы

- Даты выполнения лабораторных работ определяются расписанием занятий. Очередность выполнения лабораторных работ определяется преподавателем на вводном занятии.
- **Техника безопасности**
- Запрещается эксплуатировать установку при снятом кожухе.
- ***Внимание! Все операции по установке и коммутации сменных блоков необходимо осуществлять только при выключенном питании лабораторной установки!***

Требования к содержанию отдельных частей отчёта по лабораторной работе

Титульный лист

Титульный лист является первой страницей любой научной работы и для конкретного вида работы заполняется по определённым правилам. Для лабораторной работы титульный лист оформляется следующим образом.

В верхнем поле листа указывают полное наименование учебного заведения и кафедры, на которой выполнялась данная работа.

В среднем поле указывается вид работы, в данном случае лабораторная работа с указанием курса, по которому она выполнена, и ниже её название. Название лабораторной работы приводится без слова ***тема*** и в кавычки не заключается.

Далее, ближе к правому краю титульного листа, указывают фамилию, инициалы, курс и группу учащегося, выполнившего работу, а также фамилию, инициалы, учёную степень и должность преподавателя, принявшего работу.

В нижнем поле листа указывается место выполнения работы и год её написания (без слова ***год***).

Образец оформления титульного листа лабораторной работы приведён в приложении №1.

Цель работы

Цель работы должна отражать тему лабораторной работы, а также конкретные задачи, поставленные студенту на период её выполнения. По объёму цель работы в зависимости от её сложности и многозадачности составляет от нескольких строк до 0,5 страницы.

Краткие теоретические сведения

В этом разделе излагается краткое теоретическое описание изучаемого в работе явления или процесса, приводятся также необходимые расчётные формулы. Материал раздела не должен копировать содержание методического пособия или учебника по данной теме, а ограничивается изложением основных понятий и законов, расчётных формул, таблиц, требующихся для дальнейшей обработки полученных экспериментальных результатов. Объём литературного обзора не должен превышать 1/3 части всего отчёта.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента

В данном разделе приводится схема экспериментальной установки с описанием её работы и подробно излагается методика проведения эксперимента, процесс получения данных и способ их обработки. Если используются стандартные пакеты компьютерных программ для обработки экспериментальных результатов, то необходимо обосновать возможность и целесообразность их применения, а также подробности обработки данных с их помощью. Для лабораторных работ, связанных с компьютерным моделированием физических явлений и процессов, необходимо в этом разделе необходимо описать математическую модель и компьютерные программы, моделирующие данные явления.

Экспериментальные результаты

В этом разделе приводятся непосредственно результаты, полученные в ходе проведения лабораторных работ: экспериментально или в результате компьютерного моделирования определённые значения величин, графики, таблицы, диаграммы.

Анализ результатов работы

Этот раздел отчёта должен содержать подробный анализ полученных результатов и интерпретацию этих результатов на основе физических законов. Следует сравнить полученные результаты с данными, известными из литературных источников, оценить их соответствие существующим теоретическим моделям. Если обнаружено несоответствие полученных результатов и теоретических расчётов или литературных данных, – необходимо объяснить возможные причины этих несоответствий.

Выводы

В выводах кратко излагаются результаты работы: полученные экспериментально или теоретически значения физических величин, их зависимости от условий эксперимента или выбранной расчётной модели, указывается их соответствие или несоответствие физическим законам и теоретическим моделям, возможные причины несоответствия.

Отчёт по лабораторной работе оформляется на писчей бумаге стандартного формата А4 на одной стороне листа, которые сшиваются в скоросшивателе. Допускается оформление отчёта по лабораторной работе только в электронном виде средствами *Microsoft Office*.

Описание конструкции передней панели «Стационарный блок 1»

В состав стационарного блока входят все необходимые для проведения серии экспериментов источники сигналов и питающих напряжений, а также параметрические эквиваленты антенн.

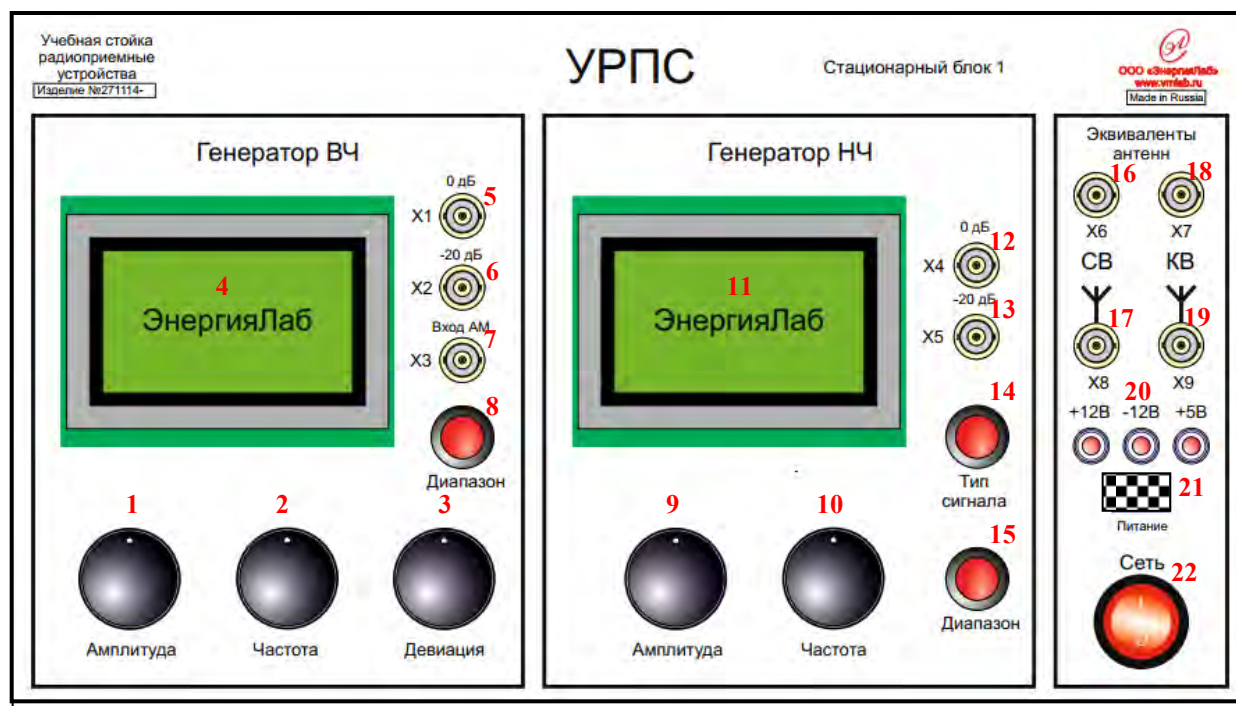


Рис. 1. Вид передней панели УРПС «Стационарный блок 1»

Здесь цифрами жирного шрифта обозначены:

1. Регулятор (энкодер) «Амплитуда» установки амплитуды сигнала на выходе X1 «0 dB» генератора ВЧ X1.

Примечание: При сочетании поворота и одновременного нажатия регулятора изменяется шаг установки амплитуды.

2. Регулятор (энкодер) «Частота» установки текущей частоты генератора ВЧ.

Примечание: При сочетании поворота и одновременного нажатия регулятора изменяется шаг установки частоты.

3. Регулятор (энкодер) «Девияция» установки девиации частотно-модулированного сигнала генератора ВЧ. Модулирующий сигнал – меандр с частотой 1 кГц.

4. Многофункциональный дисплей генератора ВЧ.
5. Контакт **X1 «0 dB»** выхода генератора ВЧ.
6. Контакт **X2 « -20 dB»** (6 рис.1) аттенюатора (ослабление 10:1 по напряжению) генератора ВЧ.
7. Контакт **X3 «Вход АМ»** подключения внешнего генератора модулирующего сигнала для формирования сигнала с амплитудной модуляцией.
8. Кнопка «**Диапазон**» выбора частотного диапазона генератора ВЧ.
9. Регулятор (энкодер) «**Амплитуда**» установки амплитуды сигнала на выходе **X1 «0 dB»** генератора НЧ.
10. Регулятор (энкодер) «**Частота**» установки текущей частоты генератора НЧ.
11. Многофункциональный дисплей генератора НЧ.
12. Контакт **X4 «0 dB»** выхода генератора НЧ.
13. Контакт **X5 « -20 dB»** аттенюатора (ослабление 10:1 по напряжению) генератора НЧ.
14. Кнопка «**Тип сигнала**» выбора формы сигнала генератора НЧ.
15. Кнопка «**Диапазон**» выбора частотного диапазона генератора НЧ.
16. Контакт **X6** входа эквивалента антенны диапазона средних волн.
17. Контакт **X8** выхода эквивалента антенны диапазона средних волн.
18. Контакт **X7** входа эквивалента антенны диапазона коротких волн.
19. Контакт **X9** выхода эквивалента антенны диапазона коротких волн.
20. Контрольные индикаторы питающих напряжений сменных блоков.
21. Разъём подключения шлейфа питания сменных блоков.
22. Переключатель включения электропитания лабораторной установки.

Описание конструкции передней панели «Стационарный блок 2»

В состав блока входят двухканальный цифровой измеритель тока и напряжения с гальванической развязкой каналов, цифровой среднеквадратичный вольтметр переменного и постоянного напряжения, микропроцессорный частотомер, а также динамик (акустический громкоговоритель) с усилителем низких частот для аудиоконтроля звукового сигнала.

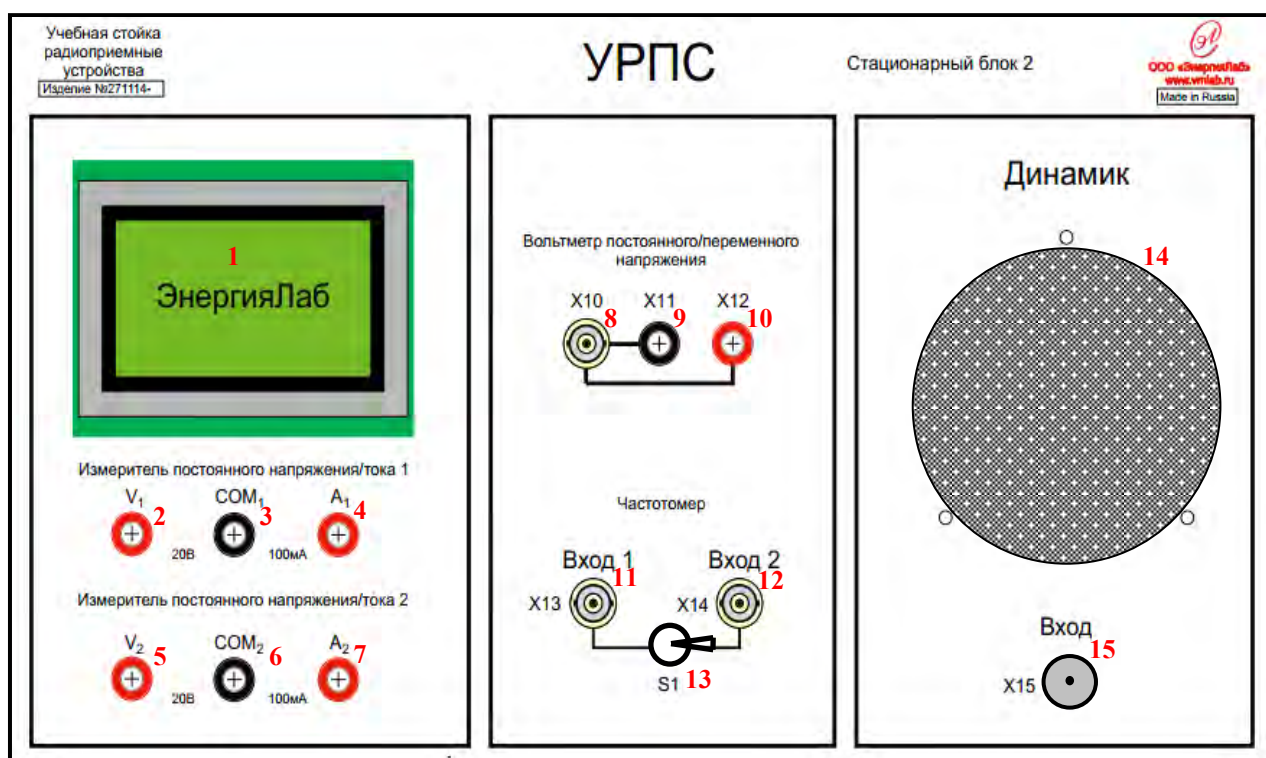


Рис. 2. Вид передней панели УРПС «Стационарный блок 2»

Здесь цифрами жирного шрифта обозначены:

1. Многофункциональный дисплей;
2. Контакт V_1 входа вольтметра первого (верхнего) канала измерения.
3. Контакт COM_1 общей цепи амперметра и вольтметра первого (верхнего) канала измерения.
4. Контакт A_1 входа амперметра первого (верхнего) канала измерения.
5. Контакт V_2 входа вольтметра второго (нижнего) канала измерения.
6. Контакт COM_2 общей цепи амперметра и вольтметра второго (нижнего) канала измерения.

7. Контакт **A₂** входа амперметра второго (нижнего) канала измерения.
8. Коаксиальный контакт **X10** входа среднеквадратичного вольтметра переменного напряжения.
9. Контакт **X11** общей цепи (земля) вольтметра постоянного напряжения.
10. Контакт **X12** входа вольтметра постоянного напряжения.
11. Коаксиальный контакт **X13 «Вход 1»** первого входа коммутатора частотомера.
12. Коаксиальный контакт **X14 «Вход 2»** второго входа коммутатора частотомера.
13. Переключатель **S1** коммутатора частотомера. В левом положении вход частотомера подключен к контакту **X13 «Вход 1»**, в правом положении – к контакту **X14 «Вход 2»**.
14. «Динамик» (акустический громкоговоритель).
15. Контакт **X15** входа усилителя низких частот акустического громкоговорителя.

Лабораторная работа №1

«Изучение принципа работы супергетеродинного приёмника»

Описание конструкции передней панели сменного блока «Изучение принципа работы супергетеродинного приёмника»

В основе конструкции сменного блока заложена специализированная микросхема супергетеродинного приёмника с однократным преобразованием «вниз» по частоте. С целью снижения возможных наводок на мало-сигнальные цепи приёмника, входной сигнал приёмника подаётся на встроенный экранированный аттенюатор, понижающий амплитуду входного сигнала на -60 дБ (ослабление в 1000 раз) по напряжению, а контрольные точки приёмника выведены через буферные усилители с коэффициентом передачи по напряжению около $+20$ дБ (усиление в 10 раз).

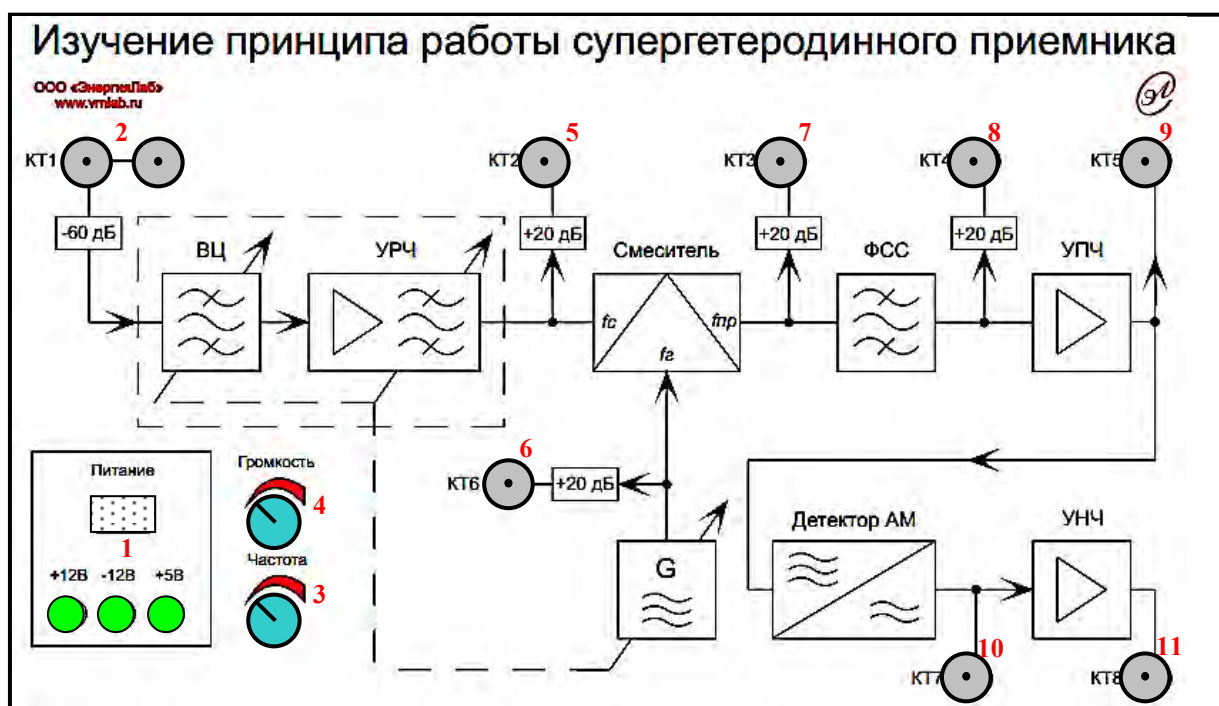


Рис. 3. Вид передней панели сменного блока «Изучение принципа работы супергетеродинного приёмника»

Здесь цифрами жирного шрифта обозначены:

1. Разъём «**Питание**» подключения шлейфа питания и контрольные индикаторы электропитания сменной панели.

Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключу разъёма!

2. Коаксиальные контакты **КТ1** аттенюатора входа приёмника.
3. Регулятор «**Частота**» установки частоты настройки приёмника. Конструкцией предусмотрено согласование изменения частоты гетеродина (**G**) с перестройкой по частоте преселектора (ВЦ и УРЧ).
4. Регулятор «**Громкость**» установки амплитуды звукового сигнала на выходе (**КТ8**) усилителя низкой частоты приёмника.
5. Контрольная точка **КТ2** выхода сигнала преселектора.
6. Контрольная точка **КТ6** сигнала гетеродина (**G**).
7. Контрольная точка **КТ3** сигнала выхода смесителя.
8. Контрольная точка **КТ4** сигнала выхода фильтра сосредоточенной селекции (кварцевого полосового фильтра).
9. Контрольная точка **КТ5** сигнала выхода усилителя промежуточной частоты.
10. Контрольная точка **КТ7** сигнала выхода детектора сигнала амплитудной модуляции.
11. Контрольная точка **КТ8** сигнала выхода усилителя низкой частоты.

Цель работы:

- изучение принципов работы супергетеродинного радиоприёмника.
- приобретение практических навыков измерения параметров супергетеродинного приёмника.

Краткие теоретические сведения

Со времени появления радиосвязи было разработано достаточно большое количество вариантов радиоприёмных устройств. Однако несмотря на большое разнообразие схем, в настоящее время основным вариантом построения стал супергетеродинный радиоприёмник (супергетеродин). Это

объясняется тем, что супергетеродинный приёмник обладает целым рядом преимуществ перед другими вариантами построения РПрУ.

В супергетеродинном РПрУ осуществляется преобразование частоты радиосигнала в промежуточную частоту. Суть такого преобразования заключается в том, что спектр радиосигнала переносится в область более низких частот без нарушения амплитудных и фазовых соотношений его составляющих, т.е. без изменения формы сигнала.

Функциональная схема супергетеродинного РПрУ с однократным преобразованием частоты приведена на рис. 4.

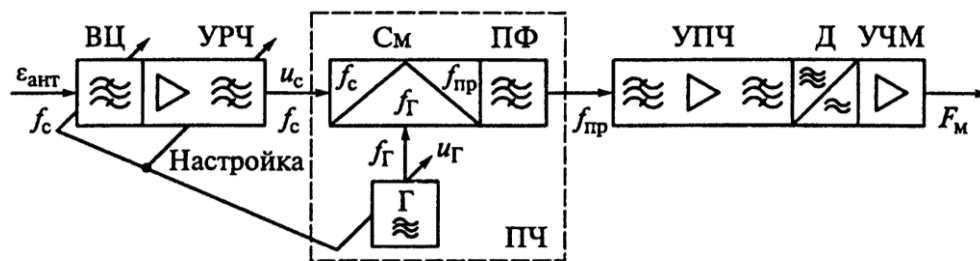


Рис.4. Структурная схема супергетеродинного РПрУ

В этой схеме:

ВЦ – входная цепь; **УРЧ** – усилитель радиочастоты; **ПЧ** – преобразователь частоты; **См** – смеситель; **Г** – гетеродин; **ПФ** – полосовой фильтр; **УПЧ** – усилитель промежуточной частоты; **Д** – детектор; **УМЧ** – усилитель частоты модуляции.

Электромагнитные поля наводят в приёмной антенне ЭДС $\varepsilon_{\text{ант}}$ сигнал, который подаётся во входную цепь (**ВЦ**). Входная цепь выполняет роль частотного фильтра, выделяющего необходимый сигнал с частотой f_c . С выхода **ВЦ** выделенный сигнал поступает на вход **УРЧ**. Входная цепь и усилитель радиочастоты объединяются одним понятием «**преселектор**» (предварительный селектор). С выхода **УРЧ** усиленный на радиочастоте f_c сигнал подаётся на вход преобразователя частоты (**ПЧ**). Преобразователь частоты состоит из смесителя (**См**), гетеродина (**Г**) и полосового фильтра (**ПФ**). Усиленный сигнал после **УРЧ** подаётся на один из входов смесителя. На другой его вход подаётся напряжение от гетеродина, представляющего

собой маломощный генератор незатухающих гармонических колебаний. Частота колебаний гетеродина f_T может быть либо ниже, либо выше частоты принятого радиосигнала на частоте f_c . Смеситель представляет собой нелинейный элемент, в котором под действием напряжений с частотами f_T и f_c происходит процесс преобразования входного сигнала. В результате взаимодействия двух напряжений с разными частотами в спектре выходного тока смесителя появляются частоты f_c, f_T , их гармоники nf_c и mf_T , а также комбинационные частоты вида $|nf_c \pm mf_T|$, где $n, m = 1, 2, 3, \dots$

Полосовой фильтр на выходе **ПЧ** настроен на разностную частоту $f_{\text{пр}} = |f_T - f_c|$. Это соответствует первой гармонике комбинационных частот ($m = n = 1$). При этом частоту гетеродина можно выбрать так, чтобы она была выше или ниже частоты принимаемого сигнала. Если $f_T > f_c$, то имеет место **верхняя настройка** частоты гетеродина, а в случае $f_T < f_c$ – его **нижняя настройка**. При любом виде модуляции (АМ, ЧМ или ФМ) закон изменения модулирующего сигнала в ПЧ сохраняется. Отсюда ясно, что назначение **ПЧ** состоит в переносе спектра принимаемого сигнала f_c в область более низких (промежуточных) частот без изменения закона модуляции.

Наряду с достоинствами супергетеродинный метод приёма имеет и недостатки. Наиболее серьёзный из них – появление так называемых побочных каналов приёма. В приёмнике прямого усиления основным источником помех являются соседние по частоте станции. В супергетеродинном приёмнике эти помехи могут эффективно подавляться в УПЧ. Однако в супергетеродинном приёмнике помехи, кроме того, могут возникать как результат преобразования частоты.

Побочными каналами приёма называются полосы частот, находящиеся за пределами канала, на который настроен приёмник, но сигналы которых могут проходить на его выход. Наибольшую опасность нормальному приёму радиосигналов представляют **зеркальный (симметричный) канал** и **канал приёма на промежуточной частоте**.

Предположим, что приёмник одновременно принимает сигналы нескольких радиостанций (рис.5).

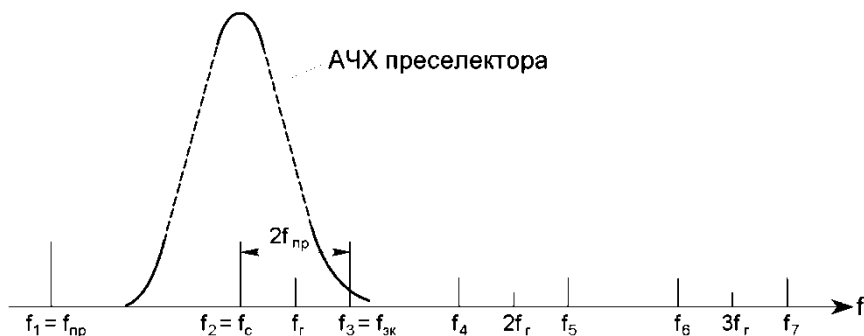


Рис. 5. Появление побочных каналов приёма в супергетеродинном РПрУ

Из этих сигналов полезным является сигнал на частоте $f_2 = f_c$. Для приёма этого сигнала устанавливается такая частота гетеродина f_r , при которой выполняется условие $f_{np} = f_r - f_c$. Теперь предположим, что на входе приёмника действует помеха с частотой f_3 , для которой выполняется условие $f_{np} = f_3 - f_r$. Тогда напряжение с частотой f_{np} на выходе ПЧ, а следовательно, и на выходе приёмника появится одновременно как от полезного сигнала с частотой f_c , так и от помехи с частотой f_3 . Канал на частоте f_3 создающий при преобразовании также частоту f_{np} , называется **симметричным**, или **зеркальным**, каналом ($f_{з\text{ерк}}$). Если помеха с этой частотой попадает в полосу пропускания преселектора, то в ПЧ появляется составляющая с частотой $|f_{з\text{ерк}} - f_r| = f_{np}$, т.е. с точно такой же промежуточной частотой, какую образует полезный сигнал. В результате происходит наложение спектров полезного сигнала и помехи, и их частотная фильтрация в дальнейшем становится невозможной. В случае нижней настройки гетеродина ($f_r < f_c$) полезный сигнал и зеркальная помеха на частотной оси относительно частоты гетеродина меняются местами, что показано на рис. 6:

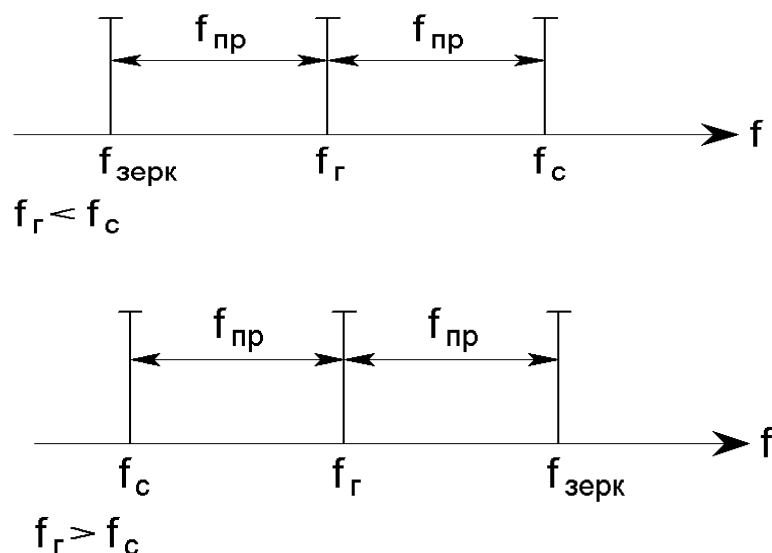


Рис.6. Возникновение зеркальных каналов приёма при различных настройках частоты гетеродина

Таким образом, зеркальным называется побочный канал приёма радиосигналов, отличающийся по частоте от частоты настройки РПрУ на удвоенное значение промежуточной частоты (рис. 6).

Подавить зеркальный канал можно только в преселекторе двумя способами:

1. Повышение избирательных свойств преселектора путём создания сложных избирательных систем и повышения их добротности.
2. Увеличение значения промежуточной частоты, что позволяет «отодвинуть» частоту зеркального канала.

Не менее опасным в смысле создания помех радиоприёму является **канал приёма на промежуточной частоте**. На рис. 5 этот канал на частотной оси обозначен как $f_1 = f_{пр}$. В этом случае достаточно мощная помеха на промежуточной частоте проходит в тракт УПЧ и усиливается так же, как и полезный сигнал. Основной способ борьбы с такой помехой – включение в состав ВЦ режекторного фильтра (фильтра-пробки), настроенного на частоту $f_{пр}$, и повышение избирательности преселектора.

В супергетеродинном РПрУ существуют также побочные каналы приёма, связанные с преобразованием на гармониках гетеродина $2f_{\Gamma}, 3f_{\Gamma}, \dots$. Вокруг этих гармоник могут располагаться помехи с частотами $2f_{\Gamma} \pm f_{\text{пр}}$, $3f_{\Gamma} \pm f_{\text{пр}}$ и т. д., что показано на рис. 5. Основными мерами по ослаблению побочных каналов приёма этого вида являются снижение уровня гармоник гетеродина, повышение линейности ВАХ преселектора и выбор соответствующего режима работы смесителя.

Помимо высокой избирательности по зеркальному каналу, к супергетеродинному РПрУ предъявляются требования избирательности по соседнему каналу приёма. Этот вид избирательности реализуется в УПЧ приёмника.

Требования высокой избирательности супергетеродинного приёмника одновременно по зеркальному и соседнему каналам противоречат друг другу. В тех случаях, когда разумный компромисс найти не удаётся, применяют двойное преобразование частоты.

Приёмник с двойным преобразованием частоты имеет в своём составе два преобразователя частоты и два канала УПЧ. Структурная схема РПрУ с двойным преобразованием частоты показана на рис. 7:

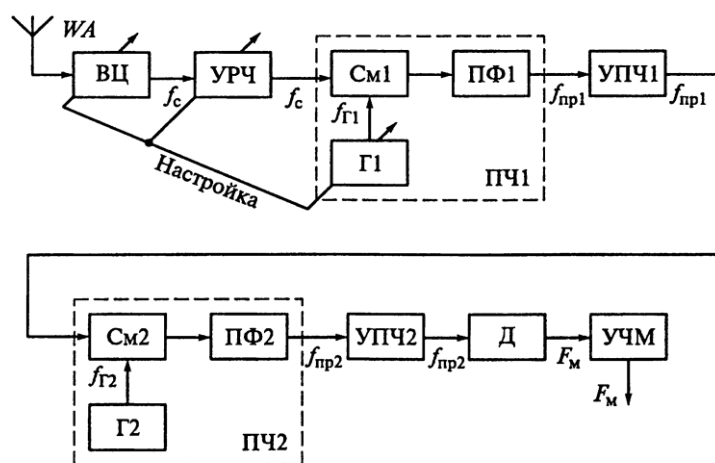


Рис. 7. Структурная схема РПрУ с двойным преобразованием частоты

В таких приёмниках первая промежуточная частота выбирается возможно более высокой для обеспечения высокой избирательности преселектора по зеркальному каналу, а вторая промежуточная частота – достаточно низкой для обеспечения необходимой полосы пропускания и избирательно-

сти по соседнему каналу. Основное усиление сигнала происходит в тракте УПЧ 2.

При высоких значениях частоты радиосигнала на качество радиоприёма может оказывать влияние нестабильность первого гетеродина. Уменьшить влияние нестабильности частоты первого гетеродина можно исполнением гетеродина в виде **синтезатора частоты (СЧ)** с заданным шагом перестройки.

Синтезатор частоты представляет собой устройство для формирования гармонических колебаний с заданными частотами из колебаний одного или нескольких опорных генераторов. Гетеродин в этом случае делают не перестраиваемым и стабилизируют его кварцем. При этом плавную настройку на частоту принимаемого сигнала осуществляют перестройкой контуров УПЧ 1 и гетеродином $G2$ (рис.7). Так как частота $G2$ значительно меньше частоты $G1$, то и влияние его нестабильности на работу РПрУ также меньше.

РПрУ с двойным преобразованием частоты применяют в диапазоне СВЧ (на частотах свыше **10 ГГц**). В этом диапазоне работают спутниковые ТВ-системы и некоторые радиолокационные станции (РЛС).

Порядок выполнения работы:

1. Провести инструктаж по технике безопасности;
2. Собрать экспериментальную схему;
3. Произвести измерения.

Используемые электрические схемы и порядок измерений

В лабораторной работе используются стационарные базовые блоки «**Стационарный блок 1**» (рис.1), «**Стационарный блок 2**» (рис.2) и сменный блок «**Изучение принципа работы супергетеродинного приемника**» (рис.3).

1.1. Исследование принципа работы супергетеродинного приёмника АМ-сигналов

1. Установить сменный блок «Изучение принципа работы супергетеродинного приёмника» в нишу между базовыми блоками.
2. Собрать схему экспериментальной цепи согласно рис.8.

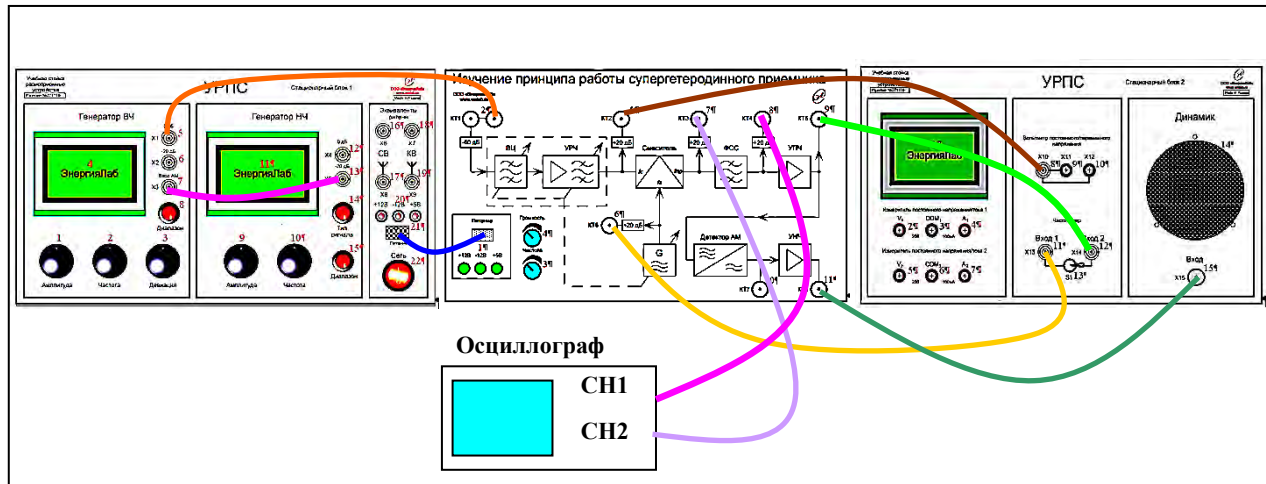


Рис. 8. Схема соединений сборки экспериментальной цепи

3. Соединить шлейфом разъем «Питание» (21 рис.1) с разъемом «Питание» (1 рис.3) сменного блока.
4. Соединить коаксиальным кабелем разъем входа приемника «КТ1» (2 рис.3) с разъемом «-20 дБ» (6 рис.1.) панели генератора ВЧ базового модуля.
5. Соединить контакт X3 «Вход АМ» (7 рис.1) панели «Генератора ВЧ» с контактом X5 «-20 дБ» (13 рис.1) панели «Генератор НЧ».
6. Соединить коаксиальным кабелем разъем «КТ6» (6 рис.3) выхода гетеродина сменного блока с разъемом X13 «Вход1» (11 рис.2) панели «Частотомер» базового модуля.
7. Соединить коаксиальным кабелем разъем КТ5 (9 рис.3) выхода УПЧ с контактом X14 «Вход 2» (12 рис.2) панели «Частотомер» базового модуля.
8. Соединить коаксиальным кабелем разъем КТ4 (8 рис.3) выхода ФСС сменного блока с первым каналом внешнего осциллографа.
9. Соединить вход второго канала внешнего осциллографа с контактом КТ3 (7 рис.3) выхода смесителя.

10. Соединить коаксиальным кабелем разъем **КТ8** (11 рис.3) выхода УНЧ сменного блока с разъемом **X15 «Вход»** (15 рис.2) панели «**Динамик**» базового модуля.

11. Регулятор «**Громкость**» (4 рис.3) сменного блока установить в крайнее левое положение.

Примечание: При сочетании поворота и одновременного нажатия регулятора (энкодера) изменяется шаг установки амплитуды.

12. Установив переключатель «**Сеть**» (22 рис.1) базового блока в верхнее положение, включить питание лабораторной установки.

13. Повернуть по часовой стрелке регулятор «**Громкость**» (4 рис.3) сменной панели и установить его в среднее положение. Из громкоговорителя должен быть слышен характерный шум радиоприемника.

14. Установить регулятор «**Амплитуда**» (1 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**» в положение, соответствующее амплитуде напряжения **3 В**.

15. Плавно поворачивая регулятор «**Амплитуда**» (9 рис.1) панели «**Генератор НЧ**» в положение, соответствующее амплитуде сигнала **1 В**.

16. Плавно поворачивая регулятор «**Частота**» (10 рис.1) панели «**Генератор НЧ**» установить частоту сигнала **1 кГц**.

17. Последовательно нажимая кнопку «**Тип сигнала**» (14 рис.1) установить тип сигнала «**Синус**».

18. С помощью регулятора «**Частота**» (2 рис.1) и кнопки «**Диапазон**» (8 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**» установить частоту **1000 кГц**.

19. Плавно вращая регулятор «**Частота**» (3 рис.3) сменного блока и наблюдая за показаниями дисплея частотомера (1 рис.2) установить частоту гетеродина **1455 кГц**, при этом из громкоговорителя должен начать звучать тональный звук с частотой около **1 кГц**. При необходимости с помощью регулятора «**Частота**» подстроить частоту по максимальному сигналу громкоговорителя.

Для исследования принципа работы смесителя необходимо занести в отчет значение частоты входного сигнала приемника f_c (показания дисплея

«Генератор ВЧ»), значение частоты гетеродина $f_{\text{гет}}$ (показания дисплея «Частотомер»). Для бóльшей наглядности рекомендуется занести в отчёт осциллограммы сигнала на выходе смесителя (КТЗ – первый канал осциллографа) и на выходе УПЧ (КТ5 – второй канал осциллографа). На экране осциллографа наблюдать сигнал «перемножения» входного сигнала и сигнала гетеродина. Сделать вывод о нелинейности преобразования.

Примечание: В случае использования цифрового осциллографа с режимом анализатора спектра, весьма полезным будет наблюдение спектра сигнала на входе и выходе УПЧ. Сделать вывод о возможности приёма по зеркальному каналу.

20. Установить переключатель коммутатора частотомера S1 (13 рис.3) в крайнее правое положение. На экране частотомера будет показано значение частоты преобразованного «вниз» информационного сигнала $f_{\text{пр}}$, равной центральной частоте полосового фильтра ФСС (около 455 кГц).

21. Убедиться, что смеситель выполняет функцию «переноса» частоты сигнала из высокочастотной в низкочастотную область спектра:

$$f_{\text{гет}} - f_c = f_{\text{пр}}$$

Если показания частотомера сильно отличаются от номинальных (более чем на 10 кГц), необходимо более точно установить частоту генератора ВЧ и, при необходимости, увеличить уровень сигнала с помощью регулятора «Амплитуда» панели «Генератор ВЧ».

1.2. Оценка приёма по зеркальному каналу связи

1. С помощью регулятора «Частота» (2 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить частоту зеркального канала приёма

$$1000\text{кГц} + (455\text{ кГц} + 455\text{кГц}) = 1910\text{ кГц}.$$

2. Регулятором «Амплитуда» (1 рис.1) увеличить амплитуду сигнала. Из громкоговорителя будет слышен звук, соответствующий приёму по зеркальному каналу. Сделать соответствующие выводы и занести их в отчёт.

1.3. Измерение амплитудно-частотной характеристики входной цепи РПрУ

1. С помощью регулятора «Частота» (2 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить частоту 1000 кГц.
2. Соединить контакт КТ2 (5 рис.3) выхода УРЧ с контактом Х10 (8 рис.2) панели «Вольтметр постоянного/переменного напряжения».
3. Плавно поворачивая регулятор «Частота», изменять частоту генератора ВЧ в пределах ± 300 кГц. Наблюдать за показаниями экрана вольтметра (1 рис.2). Экспериментальные данные занести в таблицу

Таблица 1

Амплитудно-частотная характеристика УРЧ

Частота, f (кГц)				
Амплитуда сигнала, U (В)				

4. Представить экспериментальные результаты в виде графической зависимости $U = f(f)$. По графику определить полосу пропускания УРЧ.

Внимание! При графическом построении АЧХ руководствоваться «Приложением №2»

Содержание отчета:

Домашнее задание (задание выдается преподавателем), структурная схема экспериментальной цепи, значения частоты и осциллограммы контрольных точек, графики и выводы по работе.

Контрольные вопросы:

- Объясните, что понимают под термином «линейный тракт приёма».
- Начертите структурную схему приёмника прямого усиления и объясните назначение его функциональных узлов. Перечислите недостатки этого приёмника.
- Объясните, почему приёмник прямого усиления имеет низкую чувствительность и избирательность.
- Начертите структурную схему РПрУ супергетеродинного типа и поясните назначение его функциональных узлов.

- Перечислите достоинства супергетеродинного приёмника и объясните, чем они достигаются.
- Перечислите недостатки супергетеродинного приёмника и объясните, чем они вызваны.
- Объясните, какие преимущества даёт преобразование частоты в супергетеродинном приёмнике.
- Объясните причины появления побочных каналов приёма в супергетеродинном РПрУ. Покажите на частотной оси побочные каналы приёма и объясните, чем они опасны.
- Какие цепи супергетеродинного приёмника осуществляют защиту от помех зеркального канала, соседнего канала и от помехи на промежуточной частоте? Каким способом осуществляется эта защита?
- В каких случаях переходят к супергетеродинному приёму с двойным преобразованием частоты?
- Объясните, какими способами можно осуществить подавление помехи по зеркальному каналу.
- Начертите структурную схему супергетеродинного приёмника с двойным преобразованием частоты и объясните принцип его работы. Поясните назначение функциональных узлов этого приёмника.

Лабораторная работа № 2

«Исследование усилителя промежуточной частоты»

Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование УПЧ»

Сменный блок объединяет функционально законченные узлы двух видов усилителей промежуточной частоты: с кварцевым фильтром сосредоточенной селекции и с однокаскадным усилителем с резонансной нагрузкой, а также амплитудного детектора и оконечного усилителя низких частот.

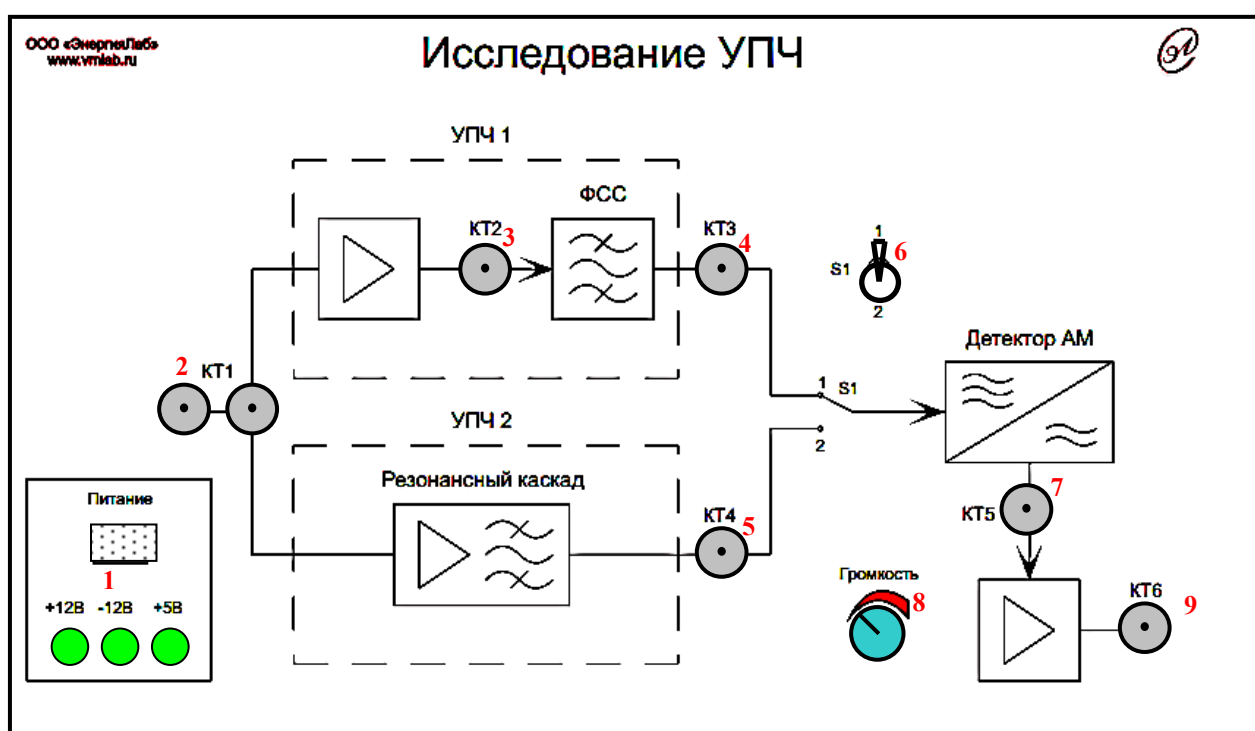


Рис. 9. Вид передней панели сменного блока «Исследование УПЧ»

Здесь цифрами жирного шрифта обозначены:

1. Разъём подключения шлейфа электропитания сменной панели. **Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключу разъёма!**
2. Коаксиальные контакты **КТ1** входа УПЧ 1 и УПЧ 2.
3. Коаксиальный контакт **КТ2** выхода усилителя УПЧ 1.
4. Коаксиальный контакт **КТ3** выхода фильтра сосредоточенной селекции (кварцевого полосового фильтра) УПЧ 1.

5. Коаксиальный контакт **КТ4** выхода резонансного однокаскадного усилителя УПЧ 2.
6. Переключатель **S1** коммутации выхода УПЧ1 (верхнее положение «1») или УПЧ 2 (нижнее положение «2») ко входу детектора амплитудно-модулированного (АМ) сигнала.
7. Коаксиальный контакт **КТ5** выхода детектора АМ.
8. Регулятор «Громкость» установки коэффициента усиления оконечного усилителя.
9. Коаксиальный контакт **КТ6** выхода оконечного усилителя.

Цель работы:

- измерение амплитудно-частотных характеристик УПЧ,;
- построение регулировочной характеристики УПЧ;
- исследование линейных искажений сигнала, вносимых УПЧ.

Краткие теоретические сведения

Усилителем промежуточной частоты (УПЧ) называются каскады супергетеродинного радиоприёмника, усиливающие принимаемые сигналы на постоянной для данного радиоприёмника промежуточной частоте.

УПЧ выполняет две основные задачи:

- Обеспечивает **основное усиление** принимаемого сигнала до величины, необходимой для нормальной работы детектора.
- Обеспечивает **избирательность по соседнему каналу** всего радиоприёмника при допустимом уровне искажений принимаемого сигнала.

В структурной схеме супергетеродинного радиоприёмника УПЧ располагается между преобразователем частоты и детектором. Усилители промежуточной частоты классифицируются по ширине полосы пропускания на узкополосные и широкополосные. Узкополосные УПЧ ($\Pi < 0,05f_{\text{пр}}$) применяются в вещательных РПрУ, где полоса пропускания лежит в пределах $3 \div 12$ кГц. Широкополосные УПЧ в основном используются в телевизионных и специальных РПрУ, полоса пропускания которых располагается от 100 кГц и выше.

Особенности УПЧ:

- фиксированная настройка на промежуточную частоту $f_{\text{пр}}$;
- большой коэффициент усиления, так как промежуточная частота ниже частоты принимаемого радиосигнала;
- лучшая избирательность, поскольку в качестве нагрузки применяют фильтры, резонансная характеристика которых может быть близкой к прямоугольной.

Основные параметры УПЧ:

- Резонансный коэффициент усиления (K_0). В отличие от УРЧ, резонансный коэффициент усиления УПЧ определяется на средней частоте полосы пропускания усилителя.
- Избирательность по соседним каналам. Всю избирательность по соседним каналам, т.е. ослабление амплитуды сигналов, частоты которых непосредственно примыкают к нижней и верхней границам полосы пропускания приёмника, обеспечивают практически только избирательные цепи УПЧ. Частотная избирательность УПЧ определяется крутизной скатов его АЧХ: чем они круче, тем лучше избирательность.
- Полоса пропускания и коэффициент прямоугольности АЧХ. Эти параметры УПЧ определяются также крутизной скатов АЧХ. Полосой пропускания (Π) называется полоса частот вблизи промежуточной частоты $f_{\text{пр}}$, в пределах которой коэффициент усиления УПЧ уменьшается не более определённого уровня (обычно за этот уровень принимают $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ по сравнению с максимальным коэффициентом усиления). Её значение может лежать в пределах от единиц герц до десятков мегагерц. От ширины полосы пропускания зависит качество воспроизведения принимаемого сигнала. Чем она шире, тем лучше качество воспроизведения.

Максимальная избирательность и наилучшее качество воспроизведения сигнала могут быть обеспечены только при идеальной прямоугольной форме АЧХ (рис.10).

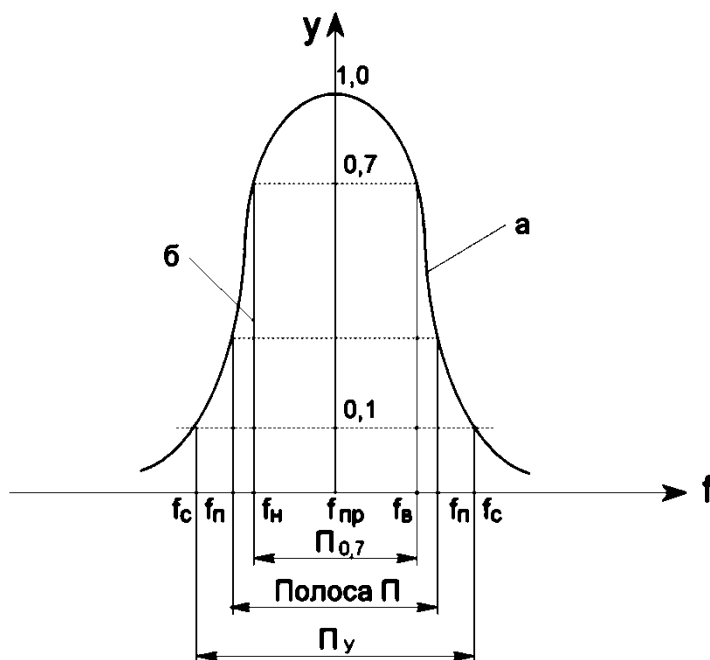


Рис. 10. Амплитудно-частотная характеристика УПЧ:
а) реальная; б) идеальная

Для одновременной оценки качества воспроизведения (величины искажений) и избирательности за пределами этой полосы применяется параметр, называемый **коэффициентом прямоугольности** (k_{Π}). Он представляет собой отношение полосы частот Π_y , ограниченной ординатами на каком-то определённом уровне (обычно 0,1; 0,01 или 0,001 от максимального значения коэффициента усиления УПЧ), к полосе пропускания на уровне $\Pi_{0,7}$:

$$k_{\Pi} = \Pi_y / \Pi_{0,7}$$

Идеальной прямоугольной форме АЧХ УПЧ соответствует значение $k_{\Pi} = 1$. Для реальной характеристики $k_{\Pi} > 1$.

- Коэффициент шума. Требование получения минимального коэффициента шума особенно важно для приёмников диапазона СВЧ с полупроводниковым диодным смесителем на входе, который не усиливает, а ослабляет мощность входного сигнала. В этом случае шумовые свойст-

ва первых каскадов УПЧ определяют чувствительность приёмника в целом.

Усиление сигнала на промежуточной частоте должно обеспечивать эффективную работу детектора и может достигать значений $10^2 \div 10^7$ в зависимости от назначения приёмника.

Для вещательных и связных РПрУ характерной помехой является соседний канал приёма, под которым понимается паразитный канал, имеющий наименьшую расстройку несущей частоты помехи относительно полезного сигнала. Для вещательных РПрУ с АМ эта наименьшая расстройка установлена ± 9 кГц, с ЧМ – ± 150 кГц. Полоса пропускания АМ-трактов вещательных РПрУ составляет $6 \div 8$ кГц, а ЧМ-трактов – $150 \div 200$ кГц. Для РПрУ РЛС полоса пропускания лежит в пределах $1 \div 10$ МГц.

В УПЧ применяются те же усилительные приборы, что и в УРЧ (за исключением усилительных приборов, работающих в диапазоне СВЧ).

В качестве избирательных цепей в УПЧ применяются одиночные контуры и полосовые фильтры различных типов: двухконтурные, многозвенные фильтры сосредоточенной селекции (ФСС), пьезоэлектрические, пьезокерамические, пьезомеханические и электромеханические. Основное отличие УПЧ от УРЧ в том, что избирательные цепи УПЧ всегда настроены на постоянную для данного радиоприёмника промежуточную частоту $f_{пр}$, в то время как частотно-избирательные цепи УРЧ перестраиваются по частоте. Это позволяет применять в УПЧ сложные избирательные цепи с амплитудно-частотными характеристиками, близкими к прямоугольным, и обеспечивать высокую избирательность при необходимом качестве воспроизведения усиленного сигнала.

Идеальным с точки зрения удовлетворения противоречивых требований высокой избирательности и малых частотных искажений был бы усилитель с прямоугольной АЧХ. Однако практически осуществить такой усилитель невозможно. Применение в качестве нагрузки усилителя специальных полосовых фильтров позволяет к этому приблизиться.

Полосовым фильтром называют резонансную систему, состоящую из нескольких связанных или одиночных, соответствующим образом настроенных, колебательных контуров (в том числе их механических или пьезоэлектрических аналогов). УПЧ с такими фильтрами называют **полосовыми усилителями**.

Для согласования избирательной цепи с выходом усилительного прибора и входом следующего каскада используются такие же цепи связи, как и в УРЧ (трансформаторные, автотрансформаторные, ёмкостные). Принцип работы УПЧ аналогичен принципу работы УРЧ. Первые каскады УПЧ работают при достаточно низком уровне сигнала, поэтому режим их работы является практически линейным. Только последние каскады УПЧ работают при сравнительно больших амплитудах усиливаемого сигнала. Поэтому необходимо принимать меры, обеспечивающие линейность амплитудной характеристики УПЧ, выбирая соответствующие усилительные приборы и их режим.

Количество каскадов УПЧ определяется конкретными требованиями, которым он должен удовлетворять. В супергетеродинном приёмнике основное усиление принимаемого сигнала на участке от антенны до детектора осуществляется усилителем промежуточной частоты. В некоторых случаях требуемое усиление достигает весьма больших значений, порядка сотен тысяч раз (до **120 дБ**). Поэтому, если УРЧ содержат один-два каскада, то число каскадов УПЧ может достигать до **10 ÷ 12**. Однако это не приводит к большим трудностям конструктивного характера, так как УПЧ работает на фиксированной частоте.

В зависимости от функционального назначения различают УПЧ с равномерным распределением усиления и избирательности в каскадах усиления и УПЧ с разделением функций избирательности и усиления.

В первом случае каждый каскад содержит усилительный прибор и избирательную цепь. При этом каждый каскад обеспечивает как часть необходимого усиления, так и часть требуемой избирательности.

Во втором случае необходимые избирательность и форма АЧХ обеспечиваются фильтрами сосредоточенной селекции (ФСС), устанавливаемыми перед УПЧ (между ПЧ и первым каскадом УПЧ) или в первых его каскадах. Основное же усиление принимаемого сигнала осуществляется в широкополосных или апериодических (резистивных) каскадах УПЧ, обладающих слабо выраженными избирательными свойствами. Обеспечение основной избирательности в ФСС до УПЧ или в первых каскадах УПЧ, когда амплитуды полезных сигналов и помех ещё малы, позволяет избежать искажений, вызванных нелинейностью усилительных приборов.

Порядок выполнения работы:

1. Провести инструктаж по технике безопасности;
2. Собрать экспериментальную схему;
3. Произвести измерения.

Используемые электрические схемы и порядок измерений

В лабораторной работе используются стационарные базовые блоки №1 и №2 (рис.1 и рис.2) и сменный блок «Исследование УПЧ» (рис. 11).

2.1. Исследование УПЧ 1 с кварцевым полосовым фильтром.

1. Установить сменный блок «Исследование УПЧ» в нишу между базовыми блоками.
2. Собрать схему экспериментальной цепи согласно рис.11.

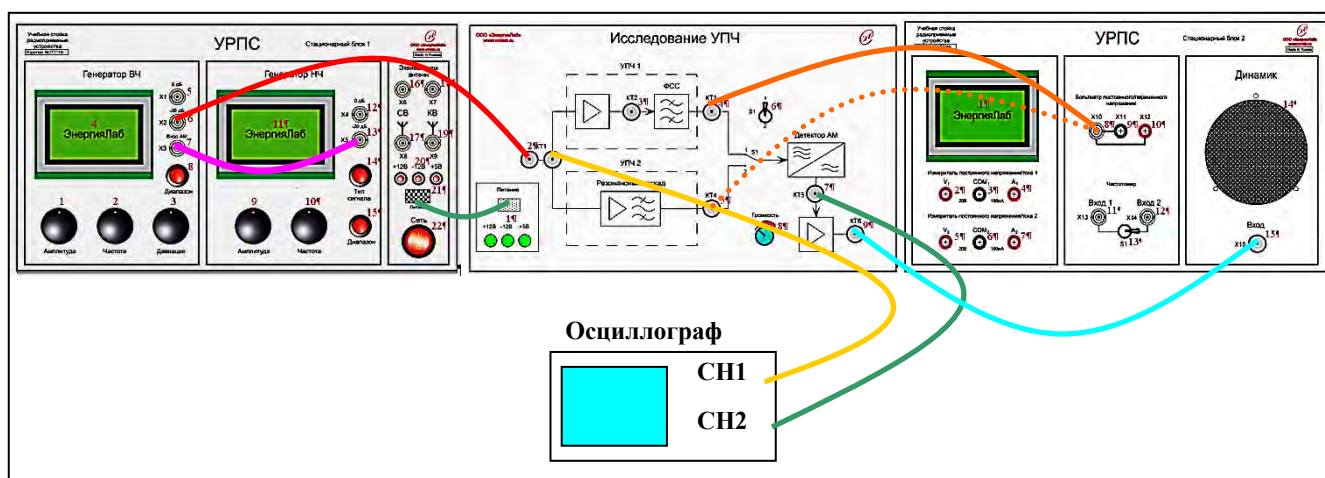


Рис. 11. Схема соединений сборки экспериментальной цепи исследования УПЧ 1.

3. Соединить шлейфом разъём «Питание» (21 рис.1) с разъёмом «Питание» (1 рис.9) сменного блока.
4. Соединить контакт X3 «Вход АМ» (7 рис.1) панели «Генератор ВЧ» с контактом X5 «-20 дБ» (13 рис.1) панели «Генератор НЧ».
5. Соединить коаксиальным кабелем разъём КТ1 (2 рис.9) входа фильтра сосредоточенной селекции ФСС1 (кварцевый фильтр) сменного блока с разъёмом X2 «-20dB» (6 рис.1) генератора ВЧ базового блока.
6. Установить переключатель S1 (6 рис.9) в верхнее положение «1».
7. Соединить коаксиальным кабелем разъём КТ1 выхода УПЧ (2 рис.9) сменного блока с разъёмом входа первого канала осциллографа.
8. Соединить второй контакт осциллографа с контактом КТ5 (7 рис.9) выхода детектора АМ.
9. Соединить контакт КТ3 (4 рис.9) выхода УПЧ 1 с контактом X10 (8 рис.2) панели «Вольтметр постоянного / переменного напряжения».
10. Соединить контакт КТ6 (9 рис.9) выхода УНЧ с контактом X15 «Вход» (15 рис.2) панели «Динамик».
11. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» и наблюдая за показаниями индикатора (11 рис.1) панели «Генератор НЧ», установить амплитуду модулирующего (НЧ) сигнала, равную 0 В.
Примечание: При сочетании поворота и одновременного нажатия регулятора (энкодера) изменяется шаг установки амплитуды.
12. Наблюдая за показаниями индикатора (4. рис.1) панели «Генератор ВЧ», установить регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» в положение, соответствующее 3 В.
13. Плавно поворачивая регулятор «Частота» (2 рис.1) панели «Генератор ВЧ», установить частоту, равную 455 кГц.

14. Изменяя частоту «Генератора ВЧ» в пределах 435 – 475 кГц, через каждые 1 кГц фиксировать показания «Вольтметра» (1 рис.2), показывающего значение сигнала на выходе УПЧ $U_{\text{ВЫХ}}$.
15. Экспериментальные значения занести в таблицу, для каждого значения рассчитать коэффициент передачи УПЧ как $K = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$.

Таблица 2

Амплитудно-частотная характеристика усилителя промежуточной частоты с керамическим фильтром ФСС 1

Частота, (кГц)									
Напряжение на входе УПЧ (по экрану СН1 осциллографа), $U_{\text{вх}}$ (В)									
Напряжение на выходе УПЧ (показания вольтметра), $U_{\text{вых}}$ (В)									
Коэффициент передачи УПЧ $K = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$									

16. Построить график зависимости коэффициента передачи УПЧ от частоты. Определить неравномерность и полосу пропускания ФСС1.

2.2. Исследование АЧХ резонансного каскада УПЧ 2

1. Соединить контакт КТ4 (5 рис.9) выхода УПЧ 2 с контактом Х10 входа вольтметра постоянного/переменного напряжения.
2. Установить переключатель S1 (6 рис.9) сменной панели в нижнее положение «2».
3. Изменяя частоту «Генератора ВЧ» в пределах 455 ÷ 475 кГц, аналогично изложенной выше методике, измерить амплитудно-частотную характеристику УПЧ 2. Результаты занести в таблицу

Таблица 3

Амплитудно-частотная характеристика УПЧ 2

Частота (кГц)									
Напряжение на входе УПЧ (по экрану осциллографа) $U_{\text{вх}}$ (В)									
Напряжение на выходе УПЧ (показания вольтметра) $U_{\text{вых}}$ (В)									
Коэффициент передачи УПЧ $K = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$									

4. Построить график зависимости коэффициента передачи УПЧ от частоты. Определить неравномерность и полосу пропускания ФСС 2.

2.3. Исследование нелинейных искажений, вносимых УПЧ

1. Соединить контакт первого канала осциллографа с контактом **КТ1** (2 рис.9) выхода УПЧ 1.
2. Соединить второй канал осциллографа с контактом **КТ3** (4 рис.9) выхода УПЧ 1.
3. Установить переключатель **S1** (6 рис.9) сменной панели в верхнее положение «1».
4. Плавно поворачивая регулятор «**Частота**» (2 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**», установить частоту **455 кГц**.
5. Плавно поворачивая регулятор «**Частота**» (10 рис.1) панели «**Генератор НЧ**», установить частоту модулирующего сигнала **0,6 кГц**.
6. Плавно поворачивая регулятор «**Амплитуда**» (9 рис.1) панели «**Генератор НЧ**» и наблюдая за экраном первого канала осциллографа, установить глубину амплитудной модуляции, равную **50%**.
7. Установить переключатель «**Громкость**» (8 рис.9) в среднее положение. Из громкоговорителя панели «**Динамик**» будет слышен звук.
8. Плавно поворачивая регулятор «**Амплитуда**» (1 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**», наблюдать за изменением сигнала на входе УПЧ 1 (первый канал осциллографа) и на выходе УПЧ 1 (второй канал осциллографа). Обратит внимание на характерные искажения в виде ограничения сигнала при больших уровнях амплитуды. На слух определить влияние нелинейных искажений, вносимых УПЧ на качество детектированного сигнала. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт.

2.4. Построение амплитудной характеристики УПЧ

1. Подключить вход второго канал осциллографа «СН2» к контакту КТЗ (4 рис.9).
2. Установить регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» в положение, соответствующее 3 В (показания индикатора «Генератор ВЧ»).
3. Установить регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» в положение, соответствующее 0 В; при этом сигнал «Генератора ВЧ» будет без амплитудной модуляции.
4. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ», наблюдать за изменением амплитуды на входе УПЧ 1 ($U_{вх}$ – экран первого канала осциллографа) и соответствующим ему изменением напряжения на выходе УПЧ1 ($U_{вых}$ – экран второго канала осциллографа). Полученные экспериментальные зависимости занести в таблицу:

Таблица 4

Амплитудная характеристика УПЧ 1

Амплитуда сигнала на входе УПЧ 1 (первый канал осциллографа) $U_{вх}$ (В)				
Амплитуда сигнала на выходе УПЧ 1 (первый канал осциллографа) $U_{вых}$ (В)				

5. На основании табличных экспериментальных данных построить графическую зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$.

Содержание отчёта

Домашнее задание (задание выдается преподавателем), структурная схема экспериментальной цепи, таблицы, графики и выводы по работе.

Контрольные вопросы:

- Каково назначение УПЧ в супергетеродинном приёмнике? По каким признакам классифицируются УПЧ?
- Почему именно в тракте УПЧ производится основное усиление радиосигнала?

- Какой вид частотной избирательности обеспечивает тракт УПЧ? Объясните принцип избирательности УПЧ.
- Дайте определение полосы пропускания и коэффициента прямоугольности АЧХ УПЧ. Что такое коэффициент прямоугольности АЧХ и как он определяется?
- В чём отличие избирательных цепей УРЧ и УПЧ?
- Какие избирательные цепи применяются в каскадах УПЧ и почему?
- Дайте определение полосового усилителя. На каких элементах строятся современные полосовые усилители?
- Каковы преимущества и недостатки УПЧ с одиночными контурами, парами взаимно расстроенных контуров и тройками контуров?
- Дайте определение фильтра сосредоточенной селекции. Какие элементы применяются в качестве ФСС? В чём их преимущества?

Лабораторная работа №3

«Исследование амплитудного детектора»

Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование амплитудного детектора».

Сменный блок содержит усилитель промежуточной частоты с нагрузкой в виде разделительного трансформатора, классического амплитудного детектора и детектора с удвоением напряжения, а также периферийные цепи, позволяющие исследовать детекторы в различных режимах работы.

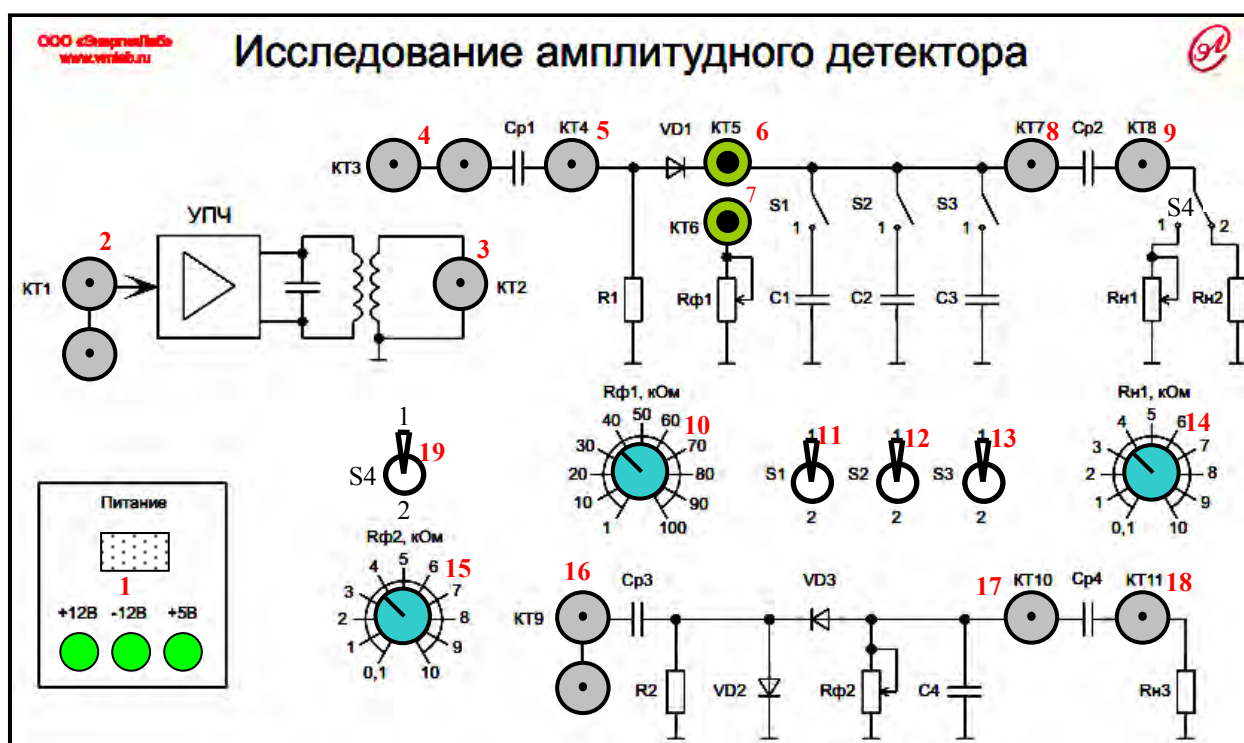


Рис.12. Вид передней панели сменного блока
«Исследование амплитудного детектора».

Здесь цифрами жирного шрифта обозначены:

1. Разъём «Питание» подключения шлейфа электропитания сменной панели.
- Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключу разъёма!**
2. Коаксиальный контакт **КТ1** входа УПЧ.
3. Коаксиальный контакт **КТ2** выхода УПЧ.

4. Коаксиальный контакт **КТ3** закрытого входа амплитудного детектора (через разделительный конденсатор C_{p1}).
5. Коаксиальный контакт **КТ4** открытого входа амплитудного детектора.
6. Контакт **КТ5** выхода амплитудного детектора.
7. Контакт **КТ6** переменного резистора эквивалента нагрузки амплитудного детектора.
8. Коаксиальный контакт **КТ7** прямого выхода амплитудного детектора.
9. Коаксиальный контакт **КТ8** закрытого выхода (через разделительный конденсатор C_{p2}) амплитудного детектора.
10. Регулятор переменного резистора $R_{\phi1}$ цепи фильтра амплитудного детектора.
11. Переключатель **S1** коммутации конденсатора номиналом **220 пФ** цепи фильтра амплитудного детектора.
12. Переключатель **S2** коммутации конденсатора номиналом **2,2 нФ** цепи фильтра амплитудного детектора.
13. Переключатель **S3** коммутации конденсатора номиналом **33 нФ** цепи фильтра амплитудного детектора.
14. Регулятор $R_{н1}$ установки сопротивления переменного резистора эквивалента нагрузки $R_{н1}$.
15. Регулятор $R_{\phi2}$ установки переменного сопротивления резистора цепи фильтра амплитудного детектора с удвоением напряжением.
16. Коаксиальный контакт **КТ9** входа амплитудного детектора с удвоением напряжения.
17. Коаксиальный контакт **КТ10** открытого выхода амплитудного детектора с удвоением напряжения.
18. Коаксиальный контакт **КТ11** закрытого выхода (через разделительный конденсатор C_{p4}) амплитудного детектора с удвоением.
19. Переключатель **S4** коммутации эквивалента нагрузки амплитудного детектора. В верхнем положении переключателя «1» к выходу детек-

тора подключён переменный резистор $R_{н1}$, в нижнем положении «2» – постоянный резистор $R_{н2}$.

Цель работы:

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

Краткие теоретические сведения

Детектором называется каскад РПрУ, в котором осуществляется преобразование (детектирование) входного модулированного радиосигнала в напряжение (или ток), меняющееся по закону модуляции. При дискретном методе кодирования для извлечения информации импульсное выходное напряжение детектора вначале декодируется, а затем подаётся на окончательный аппарат.

В зависимости от вида модуляции передаваемого сигнала в радиоприёмнике осуществляется **амплитудное, частотное** или **фазовое детектирование**. Соответственно этому существуют амплитудные, частотные и фазовые детекторы. Для детектирования импульсно-модулированных радио-

сигналов используются импульсные детекторы (видеодетекторы), представляющие собой разновидность амплитудных.

Амплитудные детекторы (АД) предназначены для преобразования радиосигнала, модулированного по амплитуде, в напряжение, изменяющееся по закону амплитудной модуляции, т.е. в напряжение, соответствующее передаваемому сообщению. Они используются не только в радиоприёмниках АМ-радиосигналов, но и в приёмниках с угловой модуляцией в качестве элементов частотных и фазовых детекторов. Кроме того, АД применяются в системах автоматической подстройки частоты гетеродина (АПЧГ) и в системах автоматической регулировки усиления (АРУ).

Амплитудные детекторы могут быть построены двумя способами:

- как нелинейные устройства;
- как параметрические устройства (устройства с переменными параметрами).

В обоих случаях в состав детектора входит нелинейный элемент (полупроводниковый диод или транзистор). Но в первом случае детектор должен рассматриваться в целом как нелинейное устройство, потому что проводимость входящего в него нелинейного элемента (НЭ) зависит от напряжения на нагрузке. Причём, напряжение на выходе детектора зависит только от величины амплитуды несущей на входе и не зависит от её фазы. Такое построение АД является наиболее простым, и поэтому амплитудные детекторы на НЭ нашли широкое применение в РПрУ.

Параметрический детектор при достаточно малом сигнале может рассматриваться как линейное устройство. В частности, такой вид детектирования применяется в преобразователе частоты, который используется в качестве детектора при равных частотах гетеродина и сигнала. Поэтому такой детектор называется синхронным, а радиоприёмник с таким детектором – **синхродинам**. При синхронном детектировании напряжение на выходе детектора зависит также и от фазы несущей. Поэтому требуется достаточно жёсткая синхронизация фазы изменения нелинейной проводимости и несущего

колебания. Диодные детекторы применяются наиболее часто в радиоприёмной аппаратуре. Диодный детектор, построенный по схеме рис.13, называют **последовательным**, поскольку диод VD и нагрузка R_H включены последовательно. Диодный АД, в котором диод и нагрузка включены параллельно, называют **параллельным**.

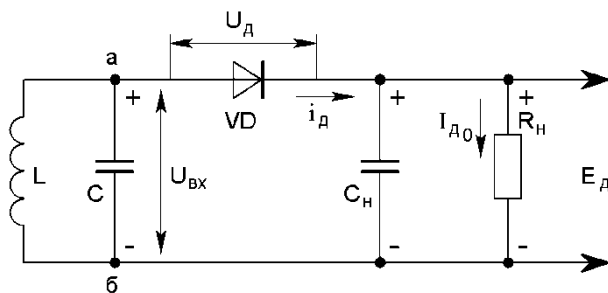


Рис.13. Упрощённая схема последовательного диодного АД

Из этой схемы АД видно, что сопротивление нагрузки R_H шунтируется конденсатором C_H . Назначение этого конденсатора объясняется следующими соображениями. Детектор при нагрузке R_H , не шунтированной ёмкостью, является безынерционным элементом по частоте несущей, а его коэффициент передачи мал. Пульсации выходного напряжения с частотой несущей велики. Для увеличения коэффициента передачи и уменьшения пульсаций нагрузку R_H шунтируют конденсатором большой ёмкости. Ёмкость шунтирующего конденсатора обычно выбирается больше ёмкости диода не менее чем в 10 раз.

Принцип действия последовательного АД показан на рис.14.

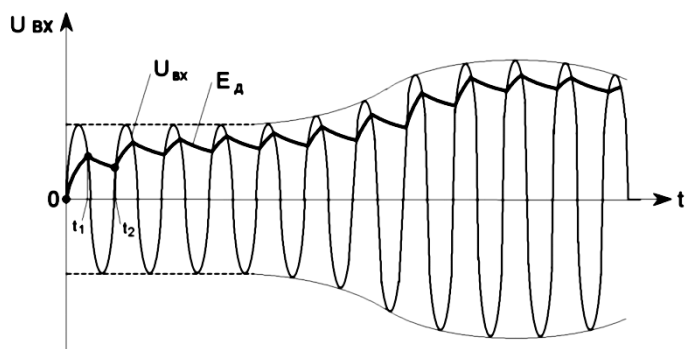


Рис.14. Пояснение принципа амплитудного детектирования

При поступлении на анод диода положительной полуволны $U_{вх}$ диод VD открывается, и конденсатор C_H начинает заряжаться по цепи:

$$+ \text{ (точка «а»)} \rightarrow VD \rightarrow R_H \rightarrow - \text{ (точка «б»)}.$$

Постоянная времени заряда $\tau_{зар}$ конденсатора определяется ёмкостью C_H и малым сопротивлением открытого диода. По мере заряда C_H выходное напряжение E_d растёт и стремится закрыть диод. Из рис.13 видно, что напряжение на диоде $U_d = U_{вх} - E_d$ и в момент времени $t = t_1$ (рис.14) $U_{вх}$ становится равным E_d , при этом $U_d = 0$. Начиная с момента времени t_1 ($U_{вх} < E_d$), диод закрывается, и конденсатор C_H начинает разряжаться через резистор R_H . Постоянная времени разряда конденсатора $\tau_{раз} = R_H C_H \gg \tau_{зар}$, так как обратное сопротивление диода $R_{обр} \gg R_H$. Поэтому разряд конденсатора C_H происходит значительно медленнее, чем его заряд. Разряд конденсатора C_H продолжается до момента времени $t = t_2$, при котором напряжение U_d становится равным нулю. Начиная с момента времени t_2 , диод снова открывается, и конденсатор C_H начинает заряжаться. В результате серии зарядов и разрядов на выходе АД создаётся протектированное напряжение E_d , имеющее пульсирующую составляющую с частотой несущей. Учитывая, что время $\tau_{раз}$ в практических схемах во много раз больше периода несущей $U_{вх}$, уровень пульсаций выходного напряжения E_d мал.

В последовательной схеме диодного АД источник сигнала, диод и нагрузка включены последовательно, а развязка высокочастотной и низкочастотной цепей обеспечивается при выполнении условия

$$\frac{1}{2\pi f_c C_H} \ll R_H \ll \frac{1}{2\pi F_E C_H}.$$

Схемы амплитудных детекторов

Последовательный диодный АД

На рис.15 представлена практическая схема последовательного диодного амплитудного детектора.

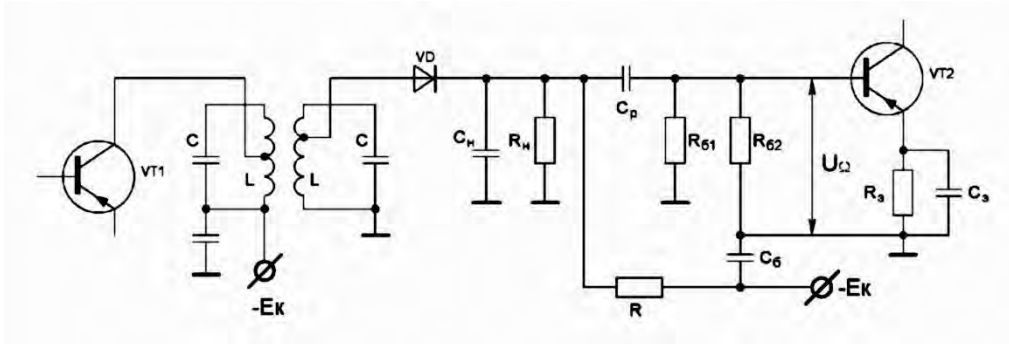


Рис.15. Принципиальная схема последовательного диодного АД

На вход детектора сигнал подаётся с выхода последнего каскада резонансного усилителя. Диод подключён к выходному контуру автотрансформаторной связью. Разделительный конденсатор C_P служит для предотвращения попадания постоянной составляющей U_0 , выделяющейся на резисторе R_H при выпрямлении несущей частоты в процессе детектирования, на вход каскада УНЧ (VT_2). Реактивное сопротивление этого конденсатора должно быть мало для составляющих самых низких частот спектра модулирующего сигнала.

Последовательная схема АД используется в тех случаях, когда нет опасности попадания на диод постоянного напряжения с контура LC . В этом случае детектор может быть подключён непосредственно к контуру. Такую схему АД называют **схемой с открытым входом**.

Параллельный диодный АД

В схеме рис.16 контур LC находится под напряжением источника питания коллектора транзистора VT_1 .

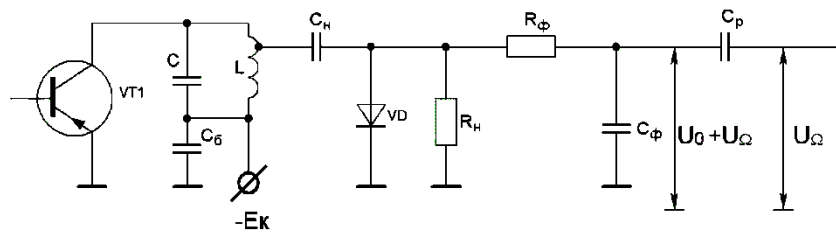


Рис.16. Принципиальная схема параллельного диодного АД

В этой схеме диод нельзя подключать непосредственно к контуру, т.е. использовать схему с открытым входом. Для развязки выходной цепи транзистора и диода по постоянному току установлен конденсатор C_n . Но для создания цепи постоянной составляющей тока диода приходится применять схему параллельного АД, в которой диод VD и резистор нагрузки R_n подключаются к источнику сигнала – контуру LC – параллельно.

В схеме параллельного детектора высокочастотное напряжение оказывается приложенным не только к диоду VD , но и к нагрузке R_n . В результате высокочастотное напряжение оказывается целиком на выходе. Шунтирование резистора нагрузки конденсатором, подобно тому, как это сделано в схеме последовательного АД, недопустимо, так как одновременно по высокой частоте будет замкнут и сам диод. Для ослабления напряжения высокой частоты на выходе параллельного АД устанавливается одно или несколько звеньев ФНЧ ($R_\phi C_\phi$). Однако при этом уменьшается и низкочастотное детектированное напряжение за счёт потери его на резисторе фильтра R_ϕ . Принцип работы параллельного детектора таков же, как и последовательно-

Транзисторные АД

Транзисторные АД подразделяются на коллекторные, базовые и эмиттерные (для БТ) или стоковые, истоковые и затворные (для ПТ). Для БТ чаще всего используются схемы с ОЭ, что позволяет получить помимо детектирования и наибольшее усиление сигнала. Поэтому на практике обычно используется **коллекторный детектор (КД)**, в котором детектирование происхо-

дит из-за нелинейности проходной характеристики $I_K = f(U_{бэ})$. Схема КД приведена на рис.17.

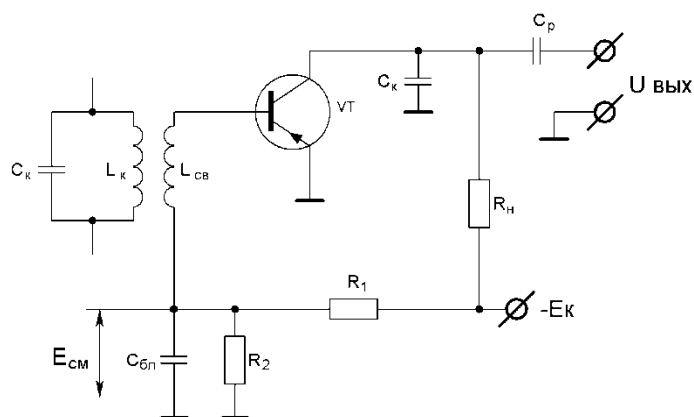


Рис.17. Схема коллекторного детектора

Делитель напряжения $R_1 R_2$ определяет смещение на базе транзистора, конденсатор $C_{бл}$ – блокировочный, $R_H C_H$ – нагрузка детектора.

Работа КД поясняется с помощью графиков рис.18.

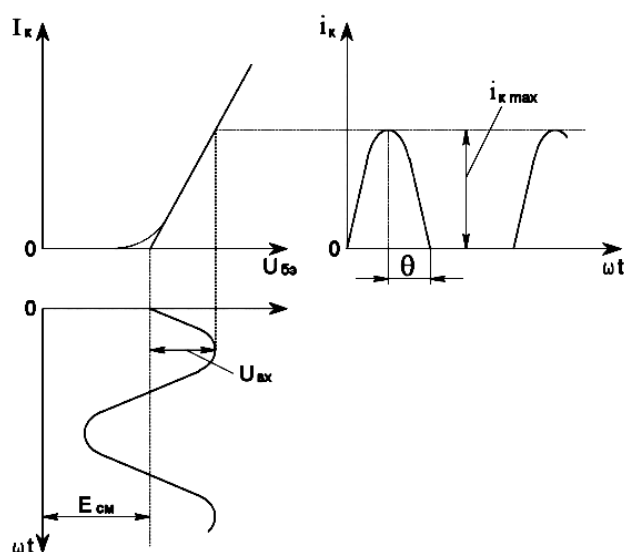


Рис.18. Графики, поясняющие работу коллекторного детектора

Пунктиром на этом графике показана реальная проходная характеристика $I_K = f(U_{бэ})$. Для упрощения используется её линейно-ломаная аппроксимация. Рабочая точка, которая обеспечивается подачей начального смещения $E_{см}$, выбирается на наиболее криволинейном участке проходной

характеристики. При этом детектирование происходит с углом отсечки $\theta \approx 90^\circ$.

АД на операционных усилителях

Максимальный уровень протектированного $E_{д max}$ сигнала не должен превышать значения, при котором перегружаются последетекторные каскады. Динамический диапазон детектора определяется соотношением $D = E_{д max} / E_{д min}$. Для его расширения при фиксированном значении $E_{д max}$ необходимо уменьшать $E_{д min}$. Этого можно достичь в АД, построенном по схеме рис.19 на операционном усилителе с отрицательной обратной связью (ООС) и коэффициентом усиления $K \gg 1$.

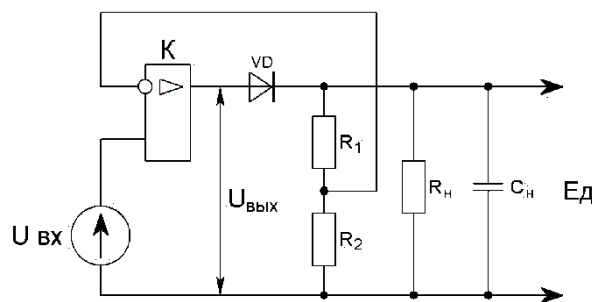


Рис.19. Схема амплитудного детектора на ОУ

Часть протектированного напряжения подаётся на инвертирующий вход. Расчёты показывают, что в таком детекторе $E_{д min}$ уменьшается примерно в K раз, что соответствует расширению динамического диапазона на $20lgK$ (дБ). Этот АД с ОУ позволяет работать на последующий каскад с малым входным сопротивлением при малых искажениях.

На рис.20 показан двухтактный детектор на ОУ.

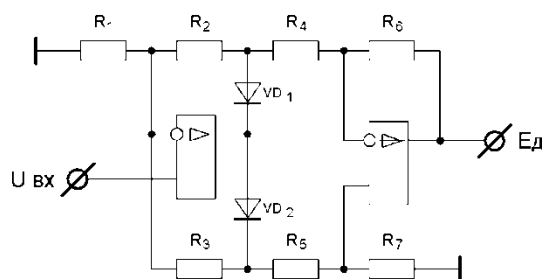


Рис.20. Схема двухтактного амплитудного детектора на ОУ

Отсутствие катушек индуктивности в этих схемах позволяет реализовать их в интегральном исполнении. В составе многих аналоговых серий выпускаются специализированные ИС детекторов, а также ИС, в которых детекторы входят как составной элемент (двухканальные двухполупериодные АД, детектор АМ-сигналов и детектор АРУ с УПТ и др.). Амплитудные детекторы входят в состав ряда многофункциональных ИС.

Пиковый амплитудный детектор

Пиковый детектор (ПД) предназначен для детектирования импульсов постоянного тока (видеоимпульсов). Напряжение на его выходе пропорционально пиковому напряжению видеоимпульсов. В простейшем случае пиковый детектор можно реализовать с помощью линейного ФНЧ (интегрирующей цепи), представленного на рис. 21:

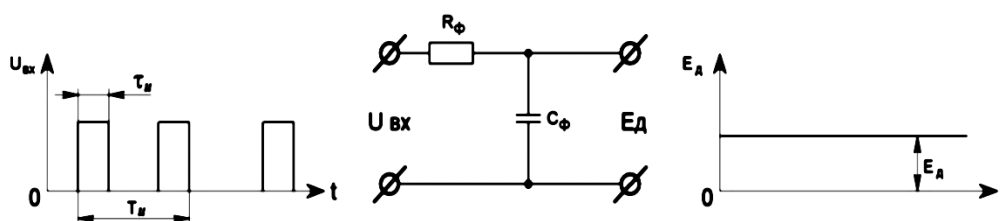


Рис.21. Детектирование видеоимпульсов с помощью ФНЧ

Напряжение на выходе фильтра $E_d = U_{\text{пик}} \frac{\tau_{\text{и}}}{T_{\text{и}}} = \frac{U_{\text{пик}}}{q}$,

где $q = T_{\text{и}} / \tau_{\text{и}}$ – скважность импульсной последовательности.

Коэффициент передачи детектора $K_d = E_d / U_{\text{пик}} = 1 / q$. При большой скважности коэффициент K_d мал, поэтому такой способ детектирования целесообразно применять при $q < 10$. Если скважность последовательности импульсов велика, то для увеличения K_d применяют пиковый диодный детектор, схема которого аналогична схеме диодного детектора АМ-колебаний. Учитывая, что обычно пиковый детектор подключают к видеоусилителю с резисторной нагрузкой, чаще всего используют параллельный диодный АД (рис.22).

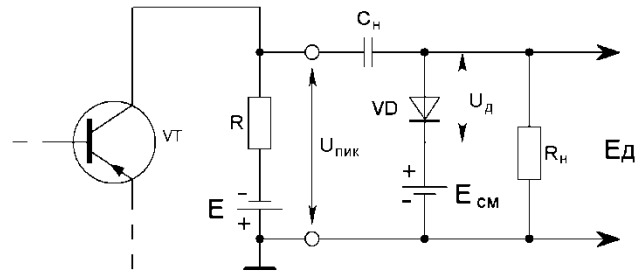


Рис.22. Пиковый детектор на выходе видеоусилителя

На вход ПД поступают импульсы $U_{вх}$ (рис.23), которые подаются на диод VD .

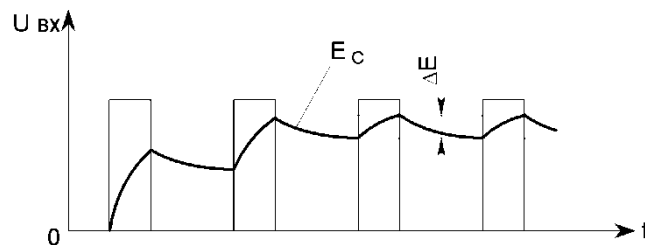


Рис.23. Процесс детектирования последовательности видеоимпульсов

Диод закрыт напряжением смещения $E_{см}$. Первый импульс открывает диод, и конденсатор C_n начинает через него заряжаться. По окончании импульса конденсатор C_n разряжается через резистор R_n . Благодаря большой постоянной времени цепи разряда напряжение на конденсаторе уменьшается за время паузы между импульсами незначительно. Процесс полностью устанавливается, когда за время заряда в конденсаторе накапливается такое же количество электричества, как и расходуется за время разряда, т.е. при $\Delta E = \Delta E_{зар} = \Delta E_{раз}$. Строго говоря, на рис.23 показано изменение не протектированного напряжения E_d , а напряжения на конденсаторе C_n . Однако при большой скважности видеоимпульсов

$$E_d \approx E_{C_n}$$

Порядок выполнения работы:

1. Провести инструктаж по технике безопасности;
2. Собрать экспериментальную схему;
3. Произвести измерения.

Используемые электрические схемы и порядок измерений

В лабораторной работе используются стационарные базовые блоки №1, №2 (рис.1 и рис.2) и сменный блок «Исследование амплитудного детектора» (рис.12).

3.1. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов

1. Установить сменный блок «Исследование амплитудного детектора» в нишу между базовыми блоками.
2. Собрать схему экспериментальной цепи согласно рис.24.

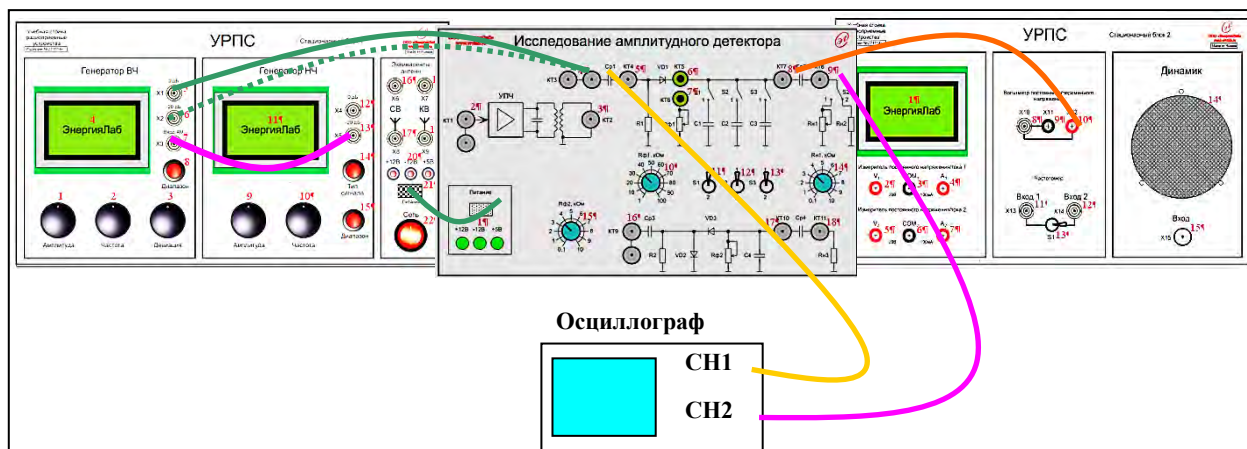


Рис. 24. Схема соединений сборки экспериментальной цепи исследования амплитудного детектора.

3. Соединить шлейфом разъем «Питание» (21 рис.1) с разъемом «Питание» (1 рис.12) сменного блока.
4. Соединить контакт X3 «Вход АМ» (7 рис.1) панели «Генератор ВЧ» с контактом X5 «-20 дБ» (13 рис.2) панели «Генератор НЧ».
5. Соединить контакт «0 дБ» (5 рис.1) выхода «Генератора ВЧ» с контактом КТ3 (4 рис.12) входа амплитудного детектора.

6. Соединить контакт **КТ7** (8 рис.12) открытого выхода амплитудного детектора с контактом **X10** (8 рис.2) панели «**Вольтметр постоянного / переменного напряжения**».
 7. Соединить контакт первого канала осциллографа с контактом **КТ3** (4 рис.12) входа амплитудного детектора.
 8. Соединить контакт второго канала осциллографа с контактом **КТ8** (9 рис.12) выхода амплитудного детектора.
 9. Установить переключатель нагрузки **S4** (19 рис.12) в нижнее положение «**2**»,
 10. Установить частоту генератора ВЧ, равную **455 кГц**.
 11. Регулятором «**Амплитуда**» (1 рис.1) панели генератор ВЧ установить амплитуду сигнала, равную **1В**.
- Примечание: При сочетании поворота и одновременного нажатия регулятора (энкодера) изменяется шаг установки амплитуды.***
12. Регулятором «**Амплитуда**» (9 рис.1) панели «**Генератор НЧ**» установить амплитуду сигнала равную **0 В**.
 13. Регулятором «**Частота**» (10 рис.1) панели «**Генератор НЧ**» установить частоту модулирующего сигнала, равную **1 кГц**.
 14. Соединить контакты **КТ5** (6 рис.12) и контакт **КТ6** (7 рис.12) амплитудного детектора.
 15. Установить в крайнее правое положение регулятор $R_{\phi 1}$ (10 рис.12).
 16. Установить переключатели **S1** и **S3** в нижнее положение, а переключатель **S2** – в верхнее.
 17. Наблюдать сигнал на входе амплитудного детектора по экрану первого канала осциллографа.
 18. Рассчитать коэффициент выпрямления в режиме большого сигнала как

$K_{ВВ}$:

$$K_{ВВ} = \frac{U_{=ВВКХ}}{U_{m \text{ вх}}},$$

где $U_{\text{вых}}$ – постоянное напряжение на выходе амплитудного детектора (показания вольтметра), а $U_{m \text{ вх}}$ – амплитуда сигнала на входе детектора (по экрану первого канала осциллографа). Занести значение $K_{\text{ВБ}}$ в отчёт.

19. Отсоединить кабель от контакта «0 дБ» (5 рис.1.1) и соединить контакт КТЗ (4 рис.12) с контактом «-20 дБ» (6 рис.1) панели «Генератор ВЧ».
20. Регулятором «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить амплитуду 0,7 В (что с учётом ослабления на – 20 дБ будет соответствовать 70 мВ).
21. По методике, описанной выше, измерить коэффициент выпрямления в режиме малого сигнала $K_{\text{ВМ}}$. Занести значение $K_{\text{ВМ}}$ в отчёт.

3.2. Измерение коэффициента передачи в режиме сильных сигналов

1. Отсоединить кабель от контакта «-20 дБ» (6 рис.1) и соединить контакт КТЗ (4 рис. 12) входа амплитудного детектора с контактом «0 дБ» (5рис.1) панели «Генератор ВЧ».
2. Регулятором «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить амплитуду сигнала, равную 1 В.
3. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» и наблюдая за экраном первого канала осциллографа, установить глубину амплитудной модуляции, равную 50%.
4. Наблюдать сигнал на входе (первый канал осциллографа) и выходе (второй канал осциллографа) амплитудного детектора. Занести осциллограммы в отчёт. Убедиться в малом уровне искажений сигнала при детектировании.
5. Рассчитать коэффициент передачи детектора как

$$K_{\text{д}} = \frac{U_{m \Omega}}{m U_{m \text{ вх}}}$$

где $U_{m \Omega}$ – амплитуда звукового сигнала на выходе амплитудного детектора, $U_{m \text{ вх}}$ – средняя амплитуда сигнала на входе детектора.

6. Занести значение $K_{\text{д}}$ в отчёт.

3.3. Оценка влияния нелинейности амплитудного детектора

1. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» и наблюдая сигнал первого канала осциллографа, установить глубину амплитудной модуляции равной $m = 90\%$. Обратит внимание на искажения сигнала на выходе Амплитудного детектора.
2. Осциллограммы занести в отчёт.
3. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) против часовой стрелки панели «Генератор ВЧ», снижать амплитуду АМ- сигнала. Обратит внимание на появление интенсивных нелинейных искажений сигнала на выходе амплитудного детектора при малой амплитуде входного сигнала.

3.4. Исследование искажений, вызванных чрезмерно большой постоянной времени нагрузки

1. Регулятором «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ», установить амплитуду сигнала, равную 1 В.
2. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» панели «Генератор НЧ» (9 рис.1), установить глубину амплитудной модуляции, равную 50%.
3. Последовательно устанавливая переключатели S1, S2 и S3 (11,12,13 рис.12) в верхнее и нижнее положение, подключать конденсаторы $C1 = 220\text{пФ}$, $C2 = 2,2\text{нФ}$, $C3 = 33\text{нФ}$ к нагрузке. Обратит внимание на возникновение искажений в виде «зубьев пилы».
4. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт.

3.5. Исследование нелинейных искажений, вызванных неравенством нагрузок детектора для постоянного и переменного тока

1. Установить переключатель S3 (13 рис.12) в верхнее положение, а переключатели S1 и S2 – в нижнее, при этом к нагрузке будет подключена емкость $C_3 = 33\text{нФ}$.

2. Установить переключатель нагрузки **S4** (19 рис.12) в верхнее положение «1», при этом в качестве нагрузки к амплитудному детектору будет подключен переменный резистор $R_{н1}$.
3. Плавно варьируя положение регулятора $R_{\phi1}$ (10 рис.12), определяющего сопротивление нагрузки детектора по постоянному току, и регулятор $R_{н1}$ (14 рис.12), определяющего сопротивление нагрузки по переменному току, наблюдать на экране второго канала осциллографа за сигналом на выходе амплитудного детектора. Обратит внимание на искажения, вызванные «отсечкой» диода амплитудного детектора, обусловленной несоответствием нагрузок для постоянного и переменного напряжения. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

3.6. Исследование формы импульсов тока, проходящих через диод амплитудного детектора.

1. Поворачивая регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ», установить амплитуду сигнала, равную 0 В, при этом сигнал генератора ВЧ будет немодулированным.
2. Поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ», установить амплитуду сигнала, равную 5 В.
3. Соединить контакт второго канала осциллографа с контактом **КТ7** (8 рис.12) выхода амплитудного детектора.
4. Установить переключатели **S1, S2, S3** в нижнее положение.
5. На экране второго канала осциллографа наблюдать импульсы тока в цепи диода (падение напряжения на резисторе $R_{\phi1}$).
6. Плавно поворачивая регулятор $R_{\phi1}$, наблюдать за изменением угла отсечки θ импульсов тока. Для каждой риски шкалы лимба регулятора $R_{\phi1}$, занести в таблицу:

Нагрузочная характеристика амплитудного детектора.

Амплитуда входного сигнала (по экрану первого канала осциллографа) $U_{вх}$, (В)				
Угол отсечки (по экрану второго канала осциллографа), θ°				
Сопротивление нагрузки (по шкале лимба регулятора) $R_{\phi 1}$, (кОм)				
Амплитуда выходного сигнала (по экрану второго канала осциллографа), $U_{вых}$				
Средний ток тока через диод $I_{ввх} = U_{ввх} / R_{\phi 1}$, мА				

3.7. Исследование амплитудной характеристики амплитудного детектора

1. Соединить контакт **КТ7** (8 рис.12) выхода амплитудного детектора с контактом **X10** (8 рис.2) входа вольтметра постоянного/переменного тока.
2. Установить переключатели **S1, S2, S3** в верхнее положение.
3. Установить регулятор **R_{н1}** (14 рис.12) в крайнее правое положение.
4. Установить регулятор **R_{φ1}** (10 рис.12) в положение, соответствующее **100 кОм** по лимбу шкалы.
5. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ», увеличивать амплитуду входного сигнала от **0 В** до **5 В**. На экране вольтметра постоянного / переменного напряжения фиксировать значение постоянного напряжения на выходе амплитудного детектора. Экспериментальные данные занести в таблицу. Провести аналогичные исследования для **R_φ = 50 кОм** и **10 кОм**.

Таблица 6

Амплитудная характеристика амплитудного детектора

Амплитуда сигнала на входе детектора (по экрану первого канала осциллографа), $U_{вх}$ (В)				
Постоянное напряжение на выходе детектора (показания вольтметра) при $R_{\phi} = 100$ кОм, $U_{ввых}$ (В)				
Постоянное напряжение на выходе детектора (показания вольтметра) при $R_{\phi} = 50$ кОм, $U_{ввых}$ (В)				
Постоянное напряжение на выходе детектора (показания вольтметра) при $R_{\phi} = 10$ кОм, $U_{ввых}$ (В)				

6. Экспериментальные данные представить в виде графических зависимостей $U_{ввых} = f(U_{вх})$

3.8. Исследование динамической характеристики детектора

1. Установить регулятор $R_{\phi 1}$ (10 рис.12) в положение, соответствующее 10 кОм по лимбу шкалы.
2. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ», установить амплитуду сигнала, равную 1 В.
3. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» и наблюдая за экраном первого канала осциллографа, установить глубину амплитудной модуляции, равную 50%.
4. Наблюдая за показаниями вольтметра, зафиксировать величину переменного напряжения сигнала на выходе амплитудного детектора. Результаты занести в таблицу.
5. Провести аналогичные исследования для глубины модуляции 65% и 90%.

Таблица 7

Оценка динамической характеристики детектора

Глубина амплитудной модуляции, m (%)	50	65	90
Средняя амплитуда сигнала на входе детектора (по экрану первого канала осциллографа), $U_{вх}$ (В)			
Напряжение сигнала на выходе детектора (показания вольтметра переменного напряжения), $U_{ввых}$ (В)			
Коэффициент передачи детектора $K = U_{ввых} / m U_{вх}$			

3.9. Исследование линейных искажений амплитудного детектора

1. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» и наблюдая за экраном (4 рис.1) панели «Генератор ВЧ», установить амплитуду сигнала, равную 1 В.
2. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» и наблюдая за экраном первого канала осциллографа, установить глубину амплитудной модуляции, равную 50 %.
3. Наблюдая за показаниями индикатора вольтметра переменного напряжения, плавно поворачивая регулятор «Частота» (10 рис.1) панели «Генератор НЧ», изменять частоту модулирующего сигнала от 1 кГц до 20 кГц. В таблицу занести частотную зависимость переменного напряжения на выходе амплитудного детектора от частоты модуляции.

Таблица 8

Частотная характеристика амплитудного детектора

Частота модулирующего сигнала (частота генератора НЧ) Ω , (кГц)				
Переменное напряжение на выходе детектора (показания вольтметра) $U_{\text{вых}}$, (В)				

4. Экспериментальные данные представить в виде графической зависимости $U_{\text{вых}} = f(\Omega)$.

3.10. Измерение коэффициента фильтрации амплитудного детектора

1. Регулятором «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» установить амплитуду модулирующего сигнала равной 0 В.
2. Регулятором «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить амплитуду несущей, равную 1 В.
3. Плавно поворачивая регулятор $R_{\phi 1}$ (10 рис.12), изменять $R_{\phi 1}$ от 10 кОм до 100 кОм. Для каждого положения риски шкалы регулятора по показаниям вольтметра переменного напряжения, фиксировать величину

«просачивающегося» переменного напряжения на выход амплитудного детектора.

Таблица 9

Зависимость коэффициента фильтрации амплитудного детектора от сопротивления нагрузки

Сопротивление нагрузки R_{Φ} , (кОм)				
Средняя амплитуда сигнала на входе детектора (по экрану первого канала осциллографа) $U_{вх}$, (В)				
Переменное напряжение на выходе детектора (показания вольтметра) $U_{ввых}$, (В)				
Коэффициент фильтрации $K = U_{вх}/U_{ввых}$				

3.11. Исследование детектора, работающего по схеме удвоения напряжения.

1. Соединить контакт «0 дБ» (5 рис.1) панели «Генератор ВЧ» с контактом КТ9 (16 рис.12).
2. Соединить контакт первого канала осциллографа с контактом КТ9 (16 рис.12).
3. Соединить контакт второго канала осциллографа с контактом КТ11 (18 рис.12).
4. По описанной выше методике, провести исследование амплитудного детектора с удвоением. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет. Сделать вывод об эффективности детектора с удвоением.

3.12. Исследование совместной работы амплитудного детектора с УПЧ

1. Соединить контакт «-20 дБ» (6 рис.1) панели «Генератор ВЧ» с контактом КТ1 (2 рис.12).
2. Соединить контакт КТ2 (3 рис.12) выхода УПЧ с контактом КТ3 (4 рис.12) входа амплитудного детектора.
3. Соединить первый канал осциллографа с контактом КТ3 (4 рис.12).
4. Соединить второй канал осциллографа с контактом КТ7 (8 рис.12).
5. Соединить контакт КТ8 (9 рис.12) с контактом Х10 (8 рис.2) входа вольтметра постоянного/переменного напряжения.

6. Регулятором «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить амплитуду сигнала, равную 0,1 В.
7. Наблюдая за экраном первого канала осциллографа, регулятором «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ», установить глубину амплитудной модуляции, равную 50%.
8. Плавно поворачивая регулятор «Частота» (2 рис.1) панели «Генератор ВЧ» в пределах 455 ± 50 кГц, фиксировать показания вольтметра переменного напряжения.

Таблица 10

Сквозная частотная характеристика УПЧ и амплитудного детектора

Частота генератора ВЧ f , (кГц)				
Переменное напряжение на выходе детектора (показания вольтметра) $U_{\text{вых}}$, (В)				

9. Построить графическую зависимость $U_{\text{вых}} = f(f)$.

3.13. Исследование динамической характеристики УПЧ с АД

1. Установить частоту генератора ВЧ, равную 455 кГц.
2. Регулятором «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить амплитуду сигнала, равную 0,1 В.
3. Плавно поворачивая регулятор «Частота» (10 рис.1) панели «Генератор НЧ» в пределах от 1 кГц до 20 кГц, фиксировать показания вольтметра переменного напряжения.

Таблица 11

Сквозная динамическая характеристика УПЧ и амплитудного детектора

Частота генератора НЧ, f_{Ω} (кГц)				
Переменное напряжение на выходе детектора (показания вольтметра), $U_{\text{вых}}$ (В)				

4. Построить графическую зависимость $U_{\text{вых}} = f(f_{\Omega})$.

Содержание отчёта

Домашнее задание (задание выдаётся преподавателем), структурная схема экспериментальной цепи, таблицы, графики и выводы по работе.

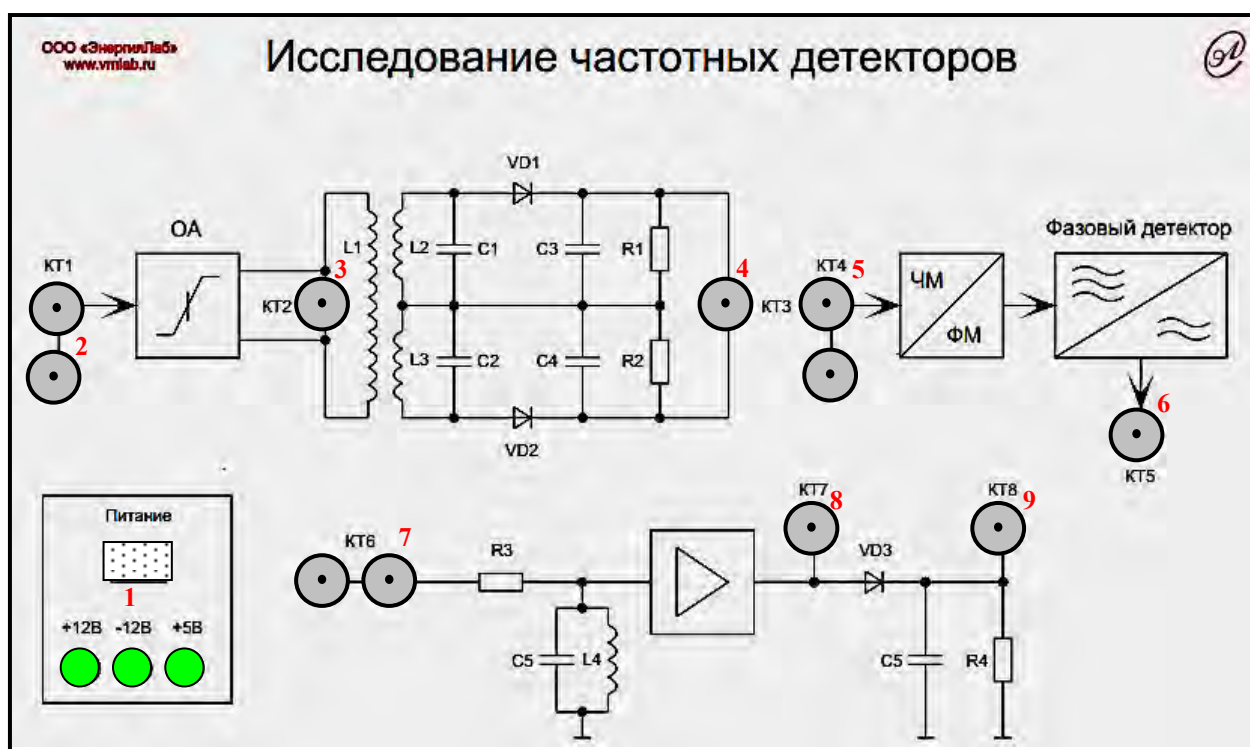
Контрольные вопросы:

- Дайте определение амплитудного детектора. Место и назначение детектора в схеме супергетеродинного приёмника.
- Начертите схему последовательного амплитудного детектора и объясните назначение элементов схемы.
- Начертите схему параллельного амплитудного детектора и объясните назначение элементов схемы.
- Поясните с помощью графиков принцип амплитудного детектирования.
- В каких случаях применяются схемы последовательного и параллельного детекторов?
- Начертите схему транзисторного АД и поясните назначение его элементов. Какими преимуществами перед диодными детекторами обладают транзисторные АД?
- Дайте определение пикового детектора и области его применения. Начертите схему пикового детектора, объясните его работу и поясните назначение элементов схемы.

Лабораторная работа №4 **«Исследование частотных детекторов»**

Описание конструкции передней панели сменного блока **«Исследование частотных детекторов»**

Конструкция сменного блока содержит функционально-законченные узлы частотного детектора на расстроенных контурах, частотно-фазовый детектор, а также частотно-амплитудный детектор.



*Рис.25. Вид передней панели сменного блока
«Исследование частотных детекторов»*

Здесь цифрами жирного шрифта обозначены:

1. Разъём подключения шлейфа и контрольные индикаторы электропитания сменной панели.

Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключу разъема

2. Коаксиальный контакт **КТ1** входа ограничителя амплитуды частотного детектора на расстроенных контурах.
3. Коаксиальный контакт **КТ2** выхода ограничителя амплитуды частотного детектора на расстроенных контурах.

4. Коаксиальный контакт **КТ3** выхода частотного детектора на расстроенных контурах.
5. Коаксиальные контакты **КТ4** входа частотно-фазового детектора.
6. Коаксиальный контакт **КТ5** выхода частотно-фазового детектора.
7. Коаксиальные контакты **КТ6** входа частотно-амплитудного детектора.
8. Коаксиальный контакт **КТ7** выхода частотно-избирательной части частотно-амплитудного детектора.
9. Коаксиальный контакт **КТ8** выхода частотно-модулированного детектора.

Цель работы – изучение принципов работы детекторов частотно-модулированного сигнала:

- Частотный детектор на расстроенных контурах.
- Частотный детектор на принципе преобразования частотно-модулированного сигнала в амплитудно-модулированный.
- Частотный детектор, основанный на преобразовании частотно-модулированного сигнала в фазово-модулированный с последующим детектированием фазовым детектором.
- Приобретение практических навыков измерения параметров частотных детекторов.

Краткие теоретические сведения

Существует целый класс радиоприёмных устройств, предназначенных для приёма и обработки **радиосигналов с угловой модуляцией**.

К угловой модуляции относятся частотная и фазовая модуляции радиосигналов. Известно, что частотная и фазовая модуляции связаны между собой: частотная модуляция приводит к появлению фазовой модуляции и наоборот. В соответствие с этим в качестве демодуляторов (детекторов) используются частотные и фазовые детекторы.

Частотным детектором (ЧД) называют каскад РПрУ, в котором осуществляется преобразование частотно-модулированного (ЧМ) радиосигнала в выходное напряжение с амплитудой, меняющейся по закону модуля-

ции. Необходимость в указанном преобразовании возникает потому, что при использовании частотной модуляции передаваемое сообщение заключается в изменении частоты радиосигнала при постоянстве его амплитуды.

Характер преобразования сигнала при частотном детектировании показан на рис.26.

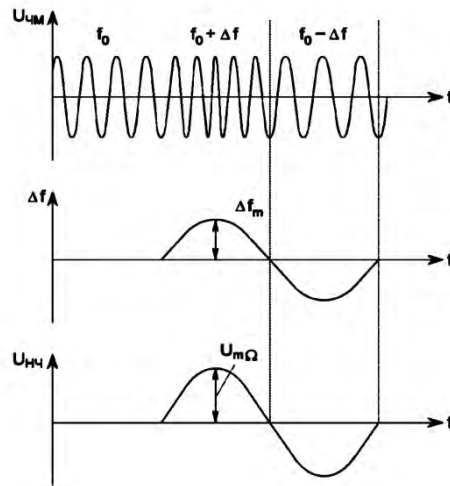


Рис.26. Преобразование радиосигнала при частотном детектировании:
а) напряжение на входе ЧД; б) изменение частоты входного сигнала; в) напряжение на выходе ЧД

На вход ЧД поступает радиосигнал $U_{чм}$ (рис.26, а), частота которого изменяется от $f_0 - \Delta f$ до $f_0 + \Delta f$ около некоторой средней частоты f_0 . При синусоидальном законе частотной модуляции отклонение частоты входного радиосигнала во времени представлено на рис.26, б. Амплитуду отклонения частоты Δf_m называют **девиацией частоты**. Напряжение на выходе частотного детектора $U_{нч}$ (рис.26, в) должно изменяться по тому же закону, что и отклонение частоты входного радиосигнала.

В зависимости от принципа действия различают следующие группы ЧД:

➤ **Детекторы с частотно-амплитудным преобразованием,**

в которых осуществляется преобразование колебаний с ЧМ в колебания с АМ с последующим амплитудным детектированием.

В этой группе выделяют ЧД с симметричной детекторной характеристикой, которые подразделяются на **частотные дискриминаторы**

(ЧДс) и дробные детекторы. В ЧДс отклонение несущей частоты от номинального значения преобразуется в постоянное напряжение, знак которого характеризует направление отклонения в сторону большей или меньшей величины частоты относительно среднего значения. По конструктивному исполнению различают ЧДс с расстроенными или настроенными контурами.

- **Детекторы с частотно-фазовым преобразованием**, в которых осуществляется преобразование ЧМ-колебаний в колебания с фазовой модуляцией (ФМ) с последующим фазовым детектированием.
- **Детекторы с частотно-импульсным преобразованием**, в которых осуществляется преобразование ЧМ-колебаний в последовательность прямоугольных импульсов, частота которых пропорциональна изменению частоты сигнала f_c относительно среднего значения частоты настройки контуров f_0 . Напряжение на выходе ЧД можно сформировать с помощью счётчика импульсов. Такие детекторы иногда называются **импульсно-счётными**.
- **Детекторы на базе фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ)**, которые строятся по структуре систем с ФАПЧ. Наиболее широкое распространение в РПрУ получили ЧДс с настроенными контурами и дробные ЧД. Эти детекторы выполняются по балансной схеме и имеют более линейные характеристики.

Принцип действия частотного детектора

На рис.27 показана структурная схема ЧД частотно-амплитудного типа.

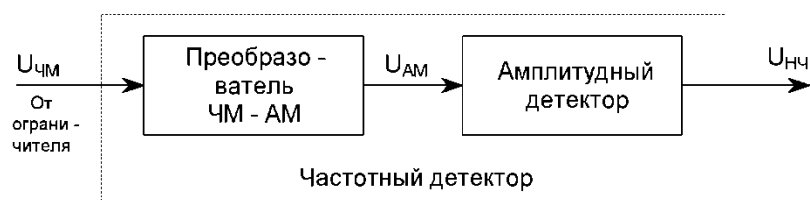


Рис.27. Структурная схема ЧД частотно-амплитудного типа

Схема состоит из двух элементов: преобразователя ЧМ- сигнала в сигнал с амплитудой, изменяющейся в соответствии с изменением частоты, и амплитудного детектора. Первый элемент является линейным устройством, поэтому используемое здесь и далее выражение «преобразователь АМ в ЧМ» не означает замену частотной модуляции на амплитудную. Название первого элемента этой структурной схемы означает, что в результате зависимости коэффициента передачи от частоты напряжение на его выходе изменяется по амплитуде. Причём, изменение амплитуды достаточно точно повторяет закон изменения частоты входного сигнала. Характер преобразования сигнала в схеме показан на рис.28.

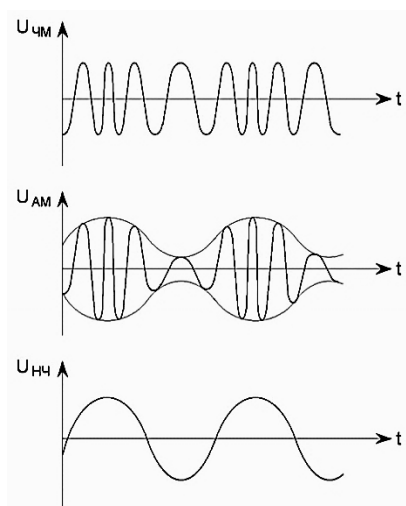


Рис.28. Преобразование ЧМ-сигнала в сигнал с АМ:
 $U_{\text{ЧМ}}$ – ЧМ-сигнал на входе преобразователя;
 $U_{\text{АМ}}$ – АМ-сигнал после преобразователя;
 $U_{\text{НЧ}}$ – сигнал на выходе ЧД

Надо иметь ввиду, что и после преобразования ЧМ-сигнала в сигнал с АМ изменение несущей частоты сохраняется. Но на дальнейшее преобразование высокочастотного сигнала в низкочастотный это изменение частоты не влияет.

Частотный детектор с одиночным контуром

Схема ЧД с одиночным контуром показана на рис.29. Схема внешне совпадает со схемой диодного амплитудного детектора.

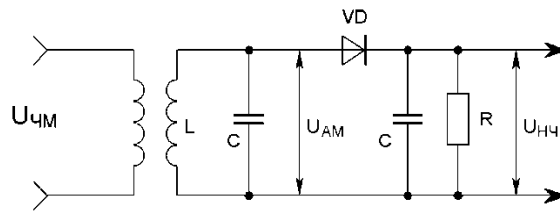


Рис.29. Схема ЧД с одиночным контуром

Отличие только в том, что контур LC расстроен относительно резонансной частоты радиосигнала f_p (в данном случае относительно промежуточной частоты $f_{пр}$) на величину Δf_0 (рис.30).

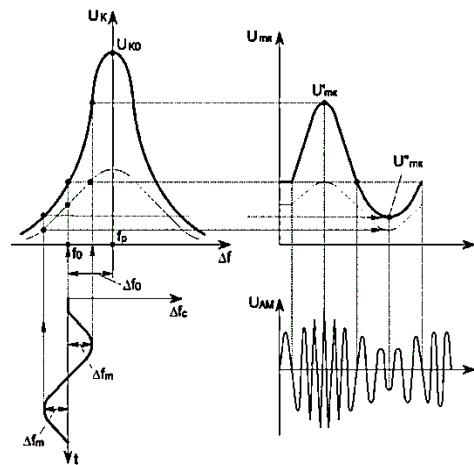


Рис.30. Процесс преобразования ЧМ-сигнала в сигнал с амплитудной модуляцией

Этот контур и используется в качестве преобразователя радиосигнала с ЧМ в напряжение с изменяющейся амплитудой. При отклонении частоты радиосигнала от f_0 на величину $\Delta f = \pm \Delta f_m$ напряжение U_k на контуре изменяется. С увеличением частоты сигнала до $f_c = f_0 + \Delta f_m$ напряжение на контуре возрастает до $U'_{мк}$. При уменьшении частоты сигнала до $f_c = f_0 - \Delta f_m$ напряжение на контуре уменьшается до $U''_{мк}$.

В результате на входе АД действует напряжение U_{AM} .

Мы рассмотрели случай $f_0 < f_p$, когда работа идёт на левой ветви АЧХ входного контура. При работе на правой ветви АЧХ, когда $f_0 > f_p$, знаки выходных напряжений будут противоположными.

Вследствие того, что скаты резонансной характеристики не являются прямолинейными, в процессе преобразования ЧМ-сигнала в сигнал с изменяющейся амплитудой возникают значительные несимметричные нелинейные искажения, что ясно видно на графиках рис. 30. Для уменьшения нелинейных искажений необходимо либо уменьшить девиацию, либо уменьшить добротность входного контура (пунктирная кривая рис.30). И то, и другое приводит к уменьшению напряжения на выходе ЧД. Из-за этого недостатка такой простейший ЧД в настоящее время практически не применяется. Однако находит применение ЧД, в котором в качестве расстроенного контура служит кварцевый резонатор. При этом используется небольшой участок очень крутого ската его резонансной характеристики.

Частотный детектор с парой расстроенных контуров (частотный дискриминатор)

Одновременное увеличение крутизны характеристики детектора и её линейности при большой девиации частоты радиосигнала достигается в дифференциальном ЧД с двумя взаимно расстроенными контурами (рис.31). Такой детектор называется **частотным дискриминатором (ЧДс)**.

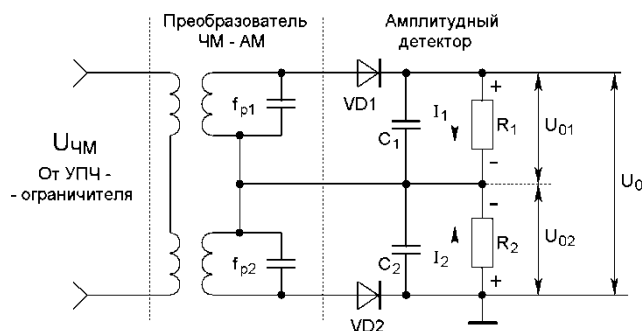


Рис. 31. Схема ЧД с двумя взаимно расстроенными контурами

ЧДс состоит из двух частотных детекторов, имеющих на входе контуры, симметрично расстроенные относительно средней частоты f_0 на некоторую величину $\pm \Delta f$. Контуры должны иметь одинаковые добротности и должны быть расстроены относительно средней частоты f_0 радиосигнала так, что

$$f_{P1} = f_0 + \Delta f \text{ и } f_{P2} = f_0 - \Delta f.$$

Токи I_1, I_2 диодов VD_1 и VD_2 через резисторы нагрузки R_1 и R_2 текут навстречу. Следовательно, результирующее напряжение на выходе детектора будет равно разности падения напряжений на R_1 и R_2 . Оба детектора должны быть одинаковы, т.е. $R_1 = R_2$ и $C_1 = C_2$.

В результате резонансные характеристики контуров располагаются относительно друг друга так, как показано на рис.32.

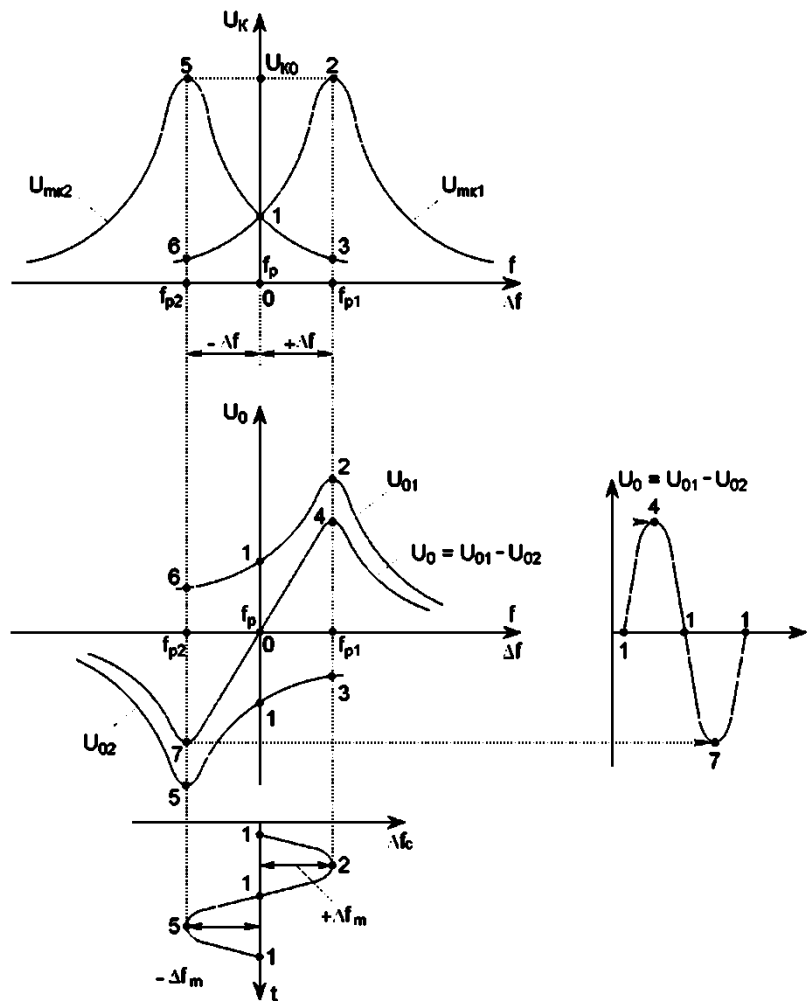


Рис. 32. Процесс преобразования ЧМ-сигнала в схеме рис.31

Амплитуды напряжений на каждом контуре при отклонении частоты радиосигнала изменяются по закону резонансной кривой. В тот момент, когда отклонение частоты сигнала Δf_c (рис.32, в) равно нулю, а частота его равна f_0 , амплитуды напряжений на контурах одинаковы и соответствуют точке 1 на рис.32, а, б. При этом токи через диоды также равны, и следова-

тельно, равны и напряжения $U_{01} = U_{02}$ на резисторах R_1 и R_2 . В результате напряжение на выходе детектора $U_0 = 0$.

Положительное отклонение частоты радиосигнала $+ \Delta f_c$ вызовет увеличение амплитуды напряжения на верхнем контуре. В то же время амплитуда напряжения на нижнем контуре уменьшится. Когда девиация частоты достигнет $\Delta f_c = \Delta f_m$ (рис.32, *в*), напряжение на верхнем контуре f_{P1} будет равно максимальному значению U_{K0} в точке **2** (рис.32, *а, б*), а напряжение в нижнем контуре – в точке **3**. Так как $U_{mK1} > U_{mK2}$, то $I_1 > I_2$, и следовательно, $U_{01} > U_{02}$; напряжение на выходе положительно относительно общей точки, а величина его будет соответствовать точке **4** на графике рис.32, *б*. Ордината точки **4** равна разности ординат точек **2** и **3** этого же графика.

Отрицательная девиация $- \Delta f_c$ приведёт к таким же изменениям напряжений. Но теперь U_{mK2} будет соответствовать точке **5** (рис.32, *а, б*), а U_{mK1} – точке **6**. Очевидно, что при этом $I_1 < I_2$, $U_{01} < U_{02}$, а U_0 будет отрицательно относительно общей точки и по величине соответствовать точке **7** на рис.32, *б*, ордината которой равна разности ординат точек **5** и **6**.

В результате изменения частоты радиосигнала от $+ \Delta f_m$ до $- \Delta f_m$ напряжение на выходе детектора U_0 будет изменяться по линии **4 – 0 – 7** графика рис.32, *б*, а его форма – в соответствии с диаграммой рис.32, *з*.

В отличие от схемы ЧД с одним контуром (рис.29), ЧДс имеет симметричную характеристику относительно средней частоты f_0 , поэтому в спектре выходного напряжения детектора отсутствуют чётные гармоники. Частотные детекторы, выходное напряжение которых равно нулю при $\Delta f = 0$, называют балансными.

Недостатками ЧДс на двух взаимно расстроенных контурах являются сложность настройки и сильная зависимость формы детекторной характеристики от расстройки контуров, вызванной дестабилизирующими факторами.

Несмотря на это, ЧДс используются в РПрУ, где допустимые нелинейные искажения не должны превышать долей процентов.

Дробный частотный детектор

Рассмотренные схемы ЧД требуют предварительного амплитудного ограничения радиосигнала. Это объясняется тем, что коэффициент передачи ЧД должен зависеть только от девиации частоты радиосигнала, но не от изменений его амплитуды. В то же время в реальных условиях передаваемый радиосигнал изменяется не только по частоте, но и по амплитуде, что вызывается различными причинами, в первую очередь, внешними помехами и внутренними шумами приёмника. Поэтому практически во всех схемах ЧД принимаются меры по амплитудному ограничению радиосигнала перед подачей его на преобразователь АМ-ЧМ. Ограничитель может быть выполнен в виде отдельного каскада или же для этого можно использовать последний каскад УПЧ, поставленный в режим ограничения.

Этого недостатка в значительной мере лишён **дробный частотный детектор (детектор отношений)**, схема которого приведена на рис.32.

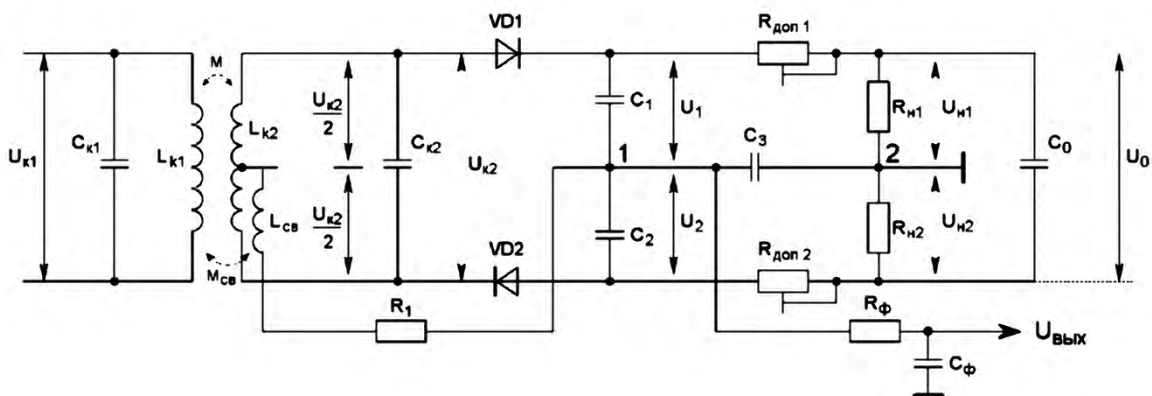


Рис.32. Схема дробного частотного детектора

В отличие от схемы ЧД, изображённой на рис.31, в схеме дробного детектора изменена полярность включения диода **VD2**. Таким образом, оба диода **VD1** и **VD2** оказываются включёнными последовательно, и через них протекает общий постоянный ток I_0 . На конденсаторах C_1 и C_2 выделяются напряжения U_1 и U_2 . Эти напряжения подводятся к конденсатору C_0 настолько большой ёмкости, что напряжение U_0 на нём не успевает реагировать на быстрые изменения амплитуды входного сигнала. Выбор постоянной време-

ни $\tau = (R_{н1} + R_{н2}) \cdot C_0 = 100 \dots 500$ мс гарантирует её превышение над периодом самой низкочастотной составляющей модулирующего сигнала. Следовательно, в процессе работы детектора отношений может изменяться только отношение напряжений U_1 / U_2 , но не их сумма $U_0 = U_1 + U_2$. Именно по этой причине такой ЧД называется дробным. Выбрав $R_{н1} = R_{н2} = R_n$, получаем

$$U_{н1} = U_{н2} = U_0 / 2.$$

Резисторы $R_{доп.1}$ и $R_{доп.2}$ выполняют функцию симметрирующих элементов и по сопротивлению, равному $200 \div 1000$ Ом, значительно меньше сопротивлений $R_{н1} = R_{н2} = R_n$. В результате симметрирования плеч с помощью этих резисторов уменьшаются нелинейные искажения выходного напряжения.

Результирующее напряжение снимается с конденсатора C_3 , подключённого между точками 1 и 2. Это напряжение изменяется пропорционально девиации частоты и очень слабо зависит от колебаний амплитуды входного сигнала, поскольку напряжение U_0 поддерживается постоянным.

Фазовые детекторы

Фазовым детектором называют каскад радиоприёмника, в котором входной фазомодулированный (ФМ) радиосигнал преобразуется в выходное напряжение (или ток), меняющееся по закону модуляции фазы. Для определения изменения фазы входного сигнала на фазовый детектор (ФД) подаётся дополнительный (опорный) сигнал с постоянной фазой.

При использовании фазовой модуляции передаваемое сообщение заключается в изменении фазы несущей частоты радиосигнала. Фазовый детектор преобразует напряжение высокой частоты, модулированное по фазе, в напряжение частоты модуляции, изменяющееся по закону модулирующей функции. Затем модулированный по амплитуде сигнал подаётся на амплитудный детектор. Структурная схема фазового детектора показана на рис.33.

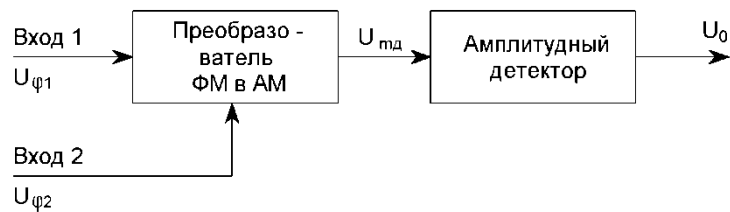


Рис.33. Структурная схема фазового детектора

Амплитуда сигнала на выходе ФД зависит от разности фаз слагаемых колебаний:

$$U_{\varphi 1} = U_{m1} \cos(\omega t + \varphi_1) \text{ и } U_{\varphi 2} = U_{m2} \cos(\omega t + \varphi_2).$$

Оба этих колебания подаются на преобразователь ФМ в АМ. Для этого преобразователь имеет два входа. Образование на выходе преобразователя модуляции результирующего колебания с амплитудой $U_{мд}$ иллюстрируется векторной диаграммой рис.34.

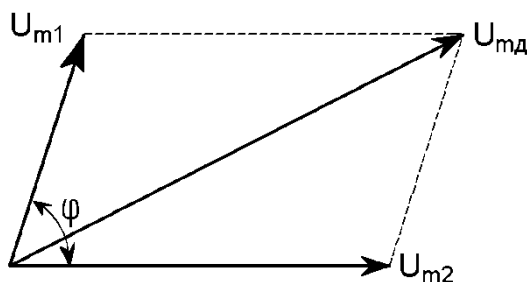


Рис.34. Принцип действия преобразователя ФМ-АМ

Разность фаз слагаемых векторов $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$. Модуль результирующего вектора

$$U_{мд} = \sqrt{U_{\varphi 1}^2 + U_{\varphi 2}^2 + 2U_{\varphi 1} U_{\varphi 2} \cos \varphi}$$

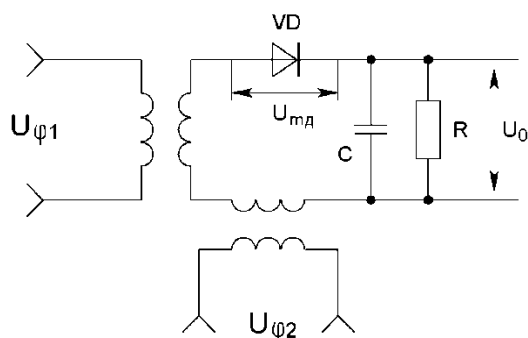
На выходе АД с коэффициентом передачи K_d получим напряжение

$$U_0 = K_d U_{мд},$$

которое зависит от разности фаз φ .

Последнее выражение представляет собой характеристику простейшего ФД, содержащего один нелинейный элемент (рис.35, а). На рис. 35, б представлена характеристика однотактного ФД.

a)



б)

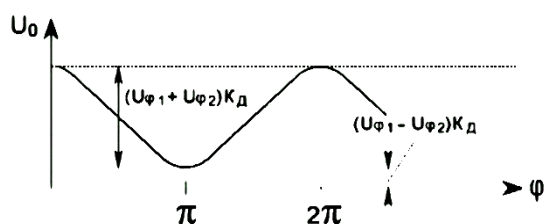


Рис.35. Схема однофазного ФД (а) и его характеристика (б)

Как видно, характеристика имеет малый линейный участок, прилегающий к точке $\varphi = (2n + 1)\pi / 2$. Кроме того, напряжение U_0 не меняет знака при изменениях фазы. Поэтому однофазная схема не может применяться в РПРУ с фазовой манипуляцией и в схемах фазовой автоподстройки частоты.

На практике широкое распространение получил двухфазный (балансный) ФД, схема которого представлена на рис.36.

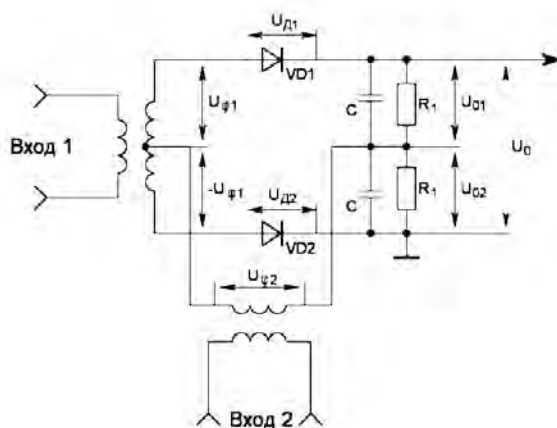


Рис.36. Схема балансного ФД

Он состоит из двух одноконтных фазовых детекторов с встречным включением нагрузок, поэтому выходное напряжение всегда равно разности выходных напряжений плеч:

$$U_0 = U_{01} - U_{02}.$$

Знак выходного напряжения зависит от того, на каком плече в данный момент напряжение больше. При $U_{01} > U_{02}$ знак U_0 положительный, при $U_{01} < U_{02}$ – отрицательный. Если $U_{01} = U_{02}$, то $U_0 = 0$.

В свою очередь, $U_{01} = K_d U_{d1}$; $U_{02} = K_d U_{d2}$. Отсюда следует

$$U_0 = K_d (U_{d1} - U_{d2}).$$

Для того чтобы определить U_{d1} и U_{d2} , воспользуемся векторной диаграммой рис.37.

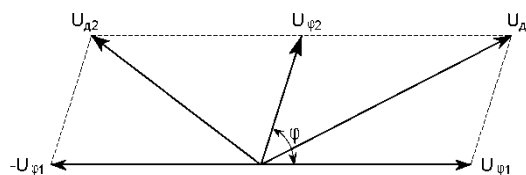


Рис.37. Векторная диаграмма преобразователя ФМ-АМ

На диодах действуют напряжения $U_{\phi 1}$ и $U_{\phi 2}$. Напряжения $U_{\phi 1}$ на обоих диодах равны, но противоположны по фазе. Опорное напряжение $U_{\phi 2}$ приложено к обоим диодам в одинаковой фазе. Из векторной диаграммы следует, что, если $\phi = \pi / 2$, то амплитуды напряжений U_{d1} и U_{d2} равны. При этом очевидно, что $U_{01} = U_{02}$. Поскольку они имеют противоположные знаки, выходное напряжение фазового детектора $U_0 = 0$. При отклонении разности фаз от $\pi / 2$ напряжения на выходе плеч не будут равны друг другу. Если $\phi > \pi / 2$, то $U_{d2} > U_{d1}$ и $U_0 < 0$. Когда же $\phi < \pi / 2$, возникает обратное соотношение $U_{d1} > U_{d2}$ и $U_0 > 0$.

Зависимость выходного напряжения от величины и знака разности фаз представлена на рис.38 в виде обобщённой характеристики:

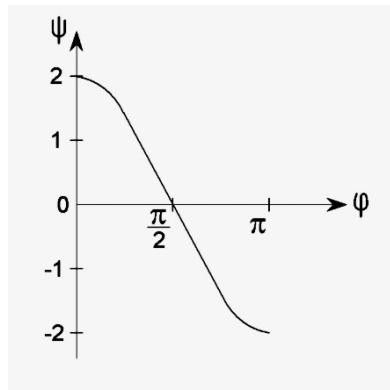


Рис.38. Обобщённая характеристика балансного ФД

Крутизна характеристики балансного ФД в два раза больше крутизны однотоктного ФД. Из рис.38 видно, что знак выходного напряжения меняется при изменении фазы около $\pi/2$. Это позволяет использовать балансный ФД в системах ФАПЧ.

Порядок выполнения работы:

1. Провести инструктаж по технике безопасности;
2. Собрать экспериментальную схему;
3. Произвести измерения.

Используемые электрические схемы и порядок измерений

В лабораторной работе используются стационарные базовые блоки №1 (рис. 1) и №2 (рис. 2) и сменный блок «Исследование частотных детекторов» (рис. 25).

4.1. Исследование амплитудной характеристики ограничителя амплитуды

1. Установить сменный блок «Исследование частотных детекторов» в нишу между базовыми блоками.
2. Собрать схему экспериментальной цепи согласно рис.39.

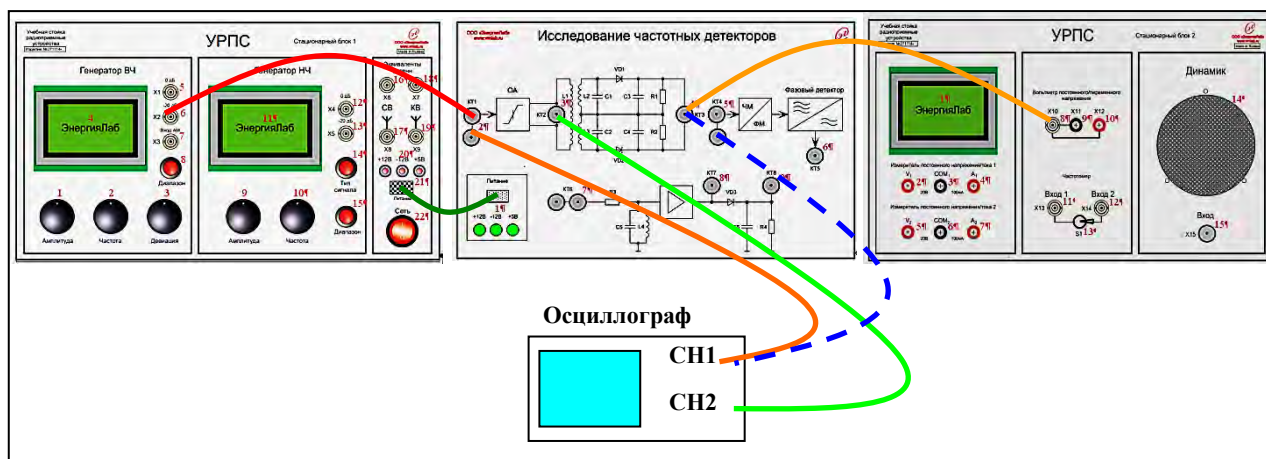


Рис.39. Схема соединений сборки экспериментальной цепи исследования частотного детектора с расстроенными контурами

3. Соединить шлейфом разъем «Питание» (21 рис.1) с разъемом «Питание» (1 рис.25) сменного блока.
4. Соединить коаксиальным кабелем контакт **КТ1** (2 рис.25) входа частотного детектора сменного блока с разъемом **X2 «-20 дБ»** (6 рис.1) генератора ВЧ.
5. Подключить к контакту входа амплитудного ограничителя **КТ1** (2 рис.25) вход первого канала осциллографа.
6. Подключить к контакту выхода амплитудного ограничителя **КТ2** (3 рис.25) вход второго канала осциллографа.
7. Соединить контакт выхода частотного детектора **КТ3** (4 рис.25) с контактом **X10** (8 рис.2) панели «**Вольтметр постоянного / переменного напряжения**».
8. Плавно поворачивая регулятор «**Девияция**» (3 рис.1) и наблюдая за показаниями индикатора (4 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**», установить минимальную величину девиации.
9. Плавно поворачивая регулятор «**Частота**» (2 рис.1) установить частоту генератора ВЧ, равную **140 кГц**.
10. Поворачивая регулятор «**Амплитуда**» (1 рис.1) и наблюдая за показаниями индикатора панели «**Генератор ВЧ**» (4 рис.1), установить минимальное напряжение амплитуды.

11. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1), наблюдать за экраном осциллографа. Измерить зависимость амплитуды сигнала на выходе ограничителя амплитуды (второй канал осциллографа) от амплитуды на входе (первый канал осциллографа).

12. Экспериментальные данные занести в таблицу.

Таблица 12

Амплитудная характеристика ограничителя амплитуды

Амплитуда сигнала на входе ОА $U_{вх}$ (В)					
Амплитуда сигнала на выходе ОА $U_{вых}$ (В)					

13. Построить графическую зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$

4.2. Исследование частотной характеристики ЧМ – детектора с расстроенными контурами

1. Плавно поворачивая регулятор «Частота» (2 рис.1) изменять частоту генератора ВЧ в пределах 140 ± 30 кГц, при этом наблюдать изменение величины постоянного напряжения сигнала на экране вольтметра постоянного/переменного напряжения. 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 выражена не чётко, то необходимо подстроить уровень сигнала с помощью регулятора «Амплитуда» (1 рис.1).

2. Зафиксировать изменение постоянного напряжения на выходе детектора от частоты входного сигнала. Результаты занести в таблицу.

Таблица 13

Характеристика частотного дискриминатора

Частота сигнала (кГц)									
Напряжение на выходе детектора (В)									

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

4.3. Исследование особенностей детектирования ЧМ- сигналов

1. Подключить вход осциллографа коаксиальным кабелем к разъёму **КТЗ** (4 рис.25) выхода частотного детектора.
2. Регулятором «**Частота**» (2 рис.1) установить частоту генератора ВЧ, равную **140 кГц**.
3. С помощью регулятора «**Девияция**» (3 рис.1) плавно изменять девиацию сигнала, наблюдая при этом за изменением формы сигнала на экране осциллографа.
4. Наблюдая за формой сигнала на экране осциллографа, с помощью регулятора «**Частота**» изменять частоту генератора ВЧ вверх, а затем вниз по диапазону в пределах **140 ± 30 кГц**.
5. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт. Сделать соответствующие выводы.
6. Подключить вход осциллографа коаксиальным кабелем к разъёму **КТ8** (9 рис.25) выхода частотного детектора.
7. Регулятором «**Частота**» установить частоту генератора ВЧ, равную **140 кГц**.
8. Плавно поворачивая регулятор «**Девияция**» (3 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**» и наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор «**Девияция**» в положение, соответствующее минимальным искажениям сигнала.
9. Наблюдая за формой сигнала на экране осциллографа, с помощью регулятора «**Частота**» (2 рис.1) изменять частоту генератора ВЧ вверх, а затем вниз по диапазону в пределах **140 ± 30 кГц**. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт. Сделать соответствующие выводы.

10. С помощью регулятора «**Девияция**» (3 рис.1) плавно изменять девиацию сигнала, при этом наблюдать за изменением формы сигнала на экране осциллографа. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт. Сделать соответствующие выводы.
11. Подключить к контакту входа частотного детектора **КТ4** (5 рис.25) вход первого канала осциллографа.
12. Подключить коаксиальным кабелем вход второго канала осциллографа к разъему **КТ5** (6 рис.25) выхода частотного детектора.
13. Регулятором «**Частота**» (2 рис.1) установить частоту генератора ВЧ, равную **140 кГц**.
14. Плавно поворачивая регулятор «**Девияция**» (3 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**» и наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор «**Девияция**» в положение, соответствующее минимальным искажениям сигнала.
15. Наблюдая за формой сигнала на экране осциллографа, с помощью регулятора «**Частота**» (2 рис.1) изменять частоту генератора ВЧ вверх, а затем вниз по диапазону.
16. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт. Сделать соответствующие выводы.
17. С помощью регулятора «**Девияция**» (3 рис.1) плавно изменять девиацию сигнала, при этом наблюдать за изменением формы сигнала на экране осциллографа.
18. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт. Сделать соответствующие выводы.

4.4. Исследование частотного детектора с преобразованием ЧМ в АМ и последующим детектированием

1. Установить сменный блок «**Исследование частотных детекторов**» в нишу между базовыми блоками.
2. Собрать схему экспериментальной цепи согласно рис.40.

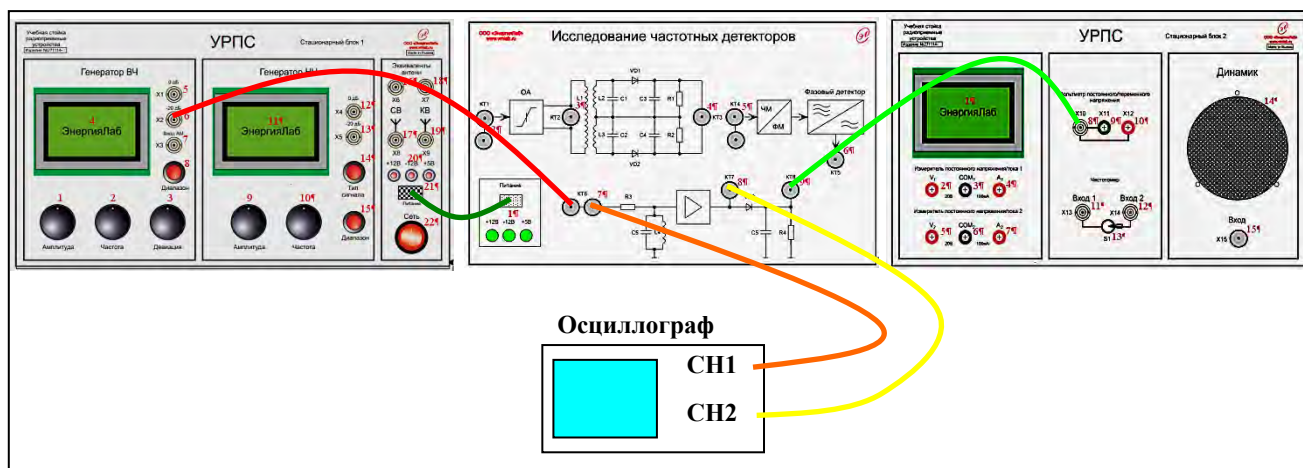


Рис. 40. Схема соединений сборки экспериментальной цепи исследования частотного детектора с ЧМ-АМ детектированием

3. Соединить шлейфом разъем «Питание» (21 рис.1) с разъемом «Питание» (1 рис.25) сменного блока.
4. Соединить коаксиальным кабелем контакт **КТ6** (7 рис.25) входа частотного детектора сменного блока с разъемом **X2 «-20 дБ»** (6 рис.1) генератора ВЧ.
5. Регулятором «Частота» (2 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить частоту генератора ВЧ, равную **140 кГц**.
6. Подключить к контакту входа частотного детектора **КТ6** (7 рис.25) вход первого канала осциллографа.
7. Подключить к контакту выхода частотного детектора **КТ7** (8 рис.25) вход второго канала осциллографа.
8. Соединить контакт выхода частотного детектора **КТ8** (9 рис.25) с контактом **X10** (8 рис.2) панели «Вольтметр постоянного / переменного напряжения».

4.5. Исследование частотной характеристики ЧМ-детектора

1. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» (рис.1) и наблюдая за индикатором вольтметра (1 рис. 2), установить величину постоянного напряжения, равную **5 В**.

2. Плавно поворачивая регулятор «Частота» (2 рис.1) изменять частоту генератора ВЧ в пределах 140 ± 30 кГц, при этом наблюдать изменение величины постоянного напряжения сигнала на экране вольтметра постоянного/переменного напряжения (1 рис.2).
3. Зафиксировать изменение постоянного напряжения на выходе детектора от частоты входного сигнала. Результаты занести в таблицу:

Таблица 13

Характеристика дискриминатора ЧМ-АМ детектора

Частота сигнала (кГц)									
Напряжение на выходе детектора (В)									

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

4.6. Исследование частотного детектора с преобразованием ЧМ в ФМ и последующим детектированием

В лабораторной работе используется базовый блок и сменный блок «Исследование частотных детекторов».

1. Установить сменный блок «Исследование частотных детекторов» в нишу между базовыми блоками.
2. Собрать схему экспериментальной цепи согласно рис.41.

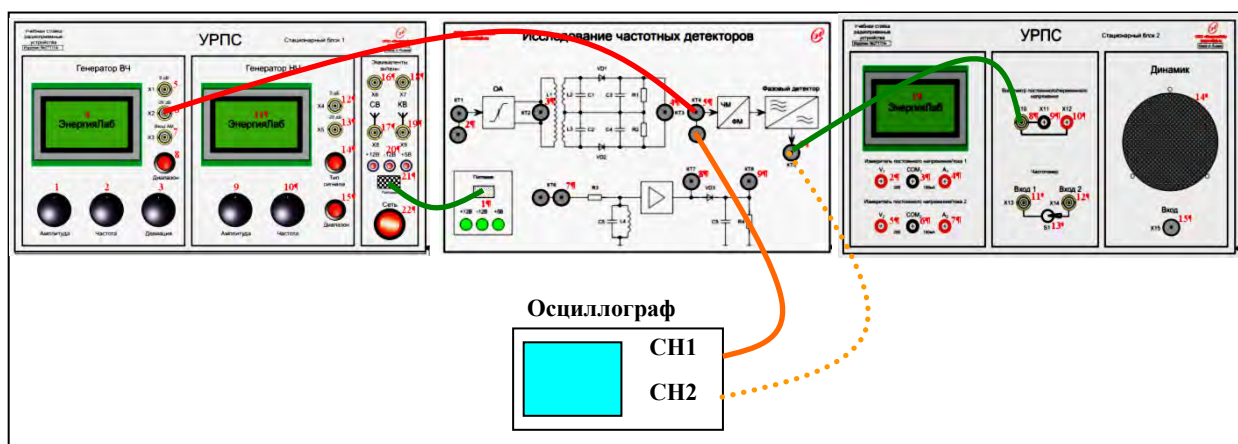


Рис. 41. Схема соединений сборки экспериментальной цепи исследования частотного детектора с ЧМ-ФМ детектированием

3. Шлейфом соединить разъём «Питание» (21 рис.1) с разъёмом «Питание» (1 рис.25) сменного блока.
4. Соединить коаксиальным кабелем контакт КТ4 (5 рис.25) входа частотного детектора сменного блока с разъёмом Х2 «-20 дБ» (6 рис.1) генератора ВЧ.
5. Регулятором «Частота» (2 рис.1) панели «Генератор ВЧ» установить частоту генератора ВЧ, равную 140 кГц.
6. Подключить к контакту входа частотного детектора КТ4 (5 рис.25) вход первого канала осциллографа.
7. Соединить контакт выхода частотного детектора КТ5 (6 рис.25) с контактом Х10 (8 рис.2) панели «Вольтметр постоянного / переменного напряжения».
8. Регулятором «Девияция» (3 рис.1) и наблюдая за показаниями индикатора панели «Генератор ВЧ» (4 рис.1), установить минимальную девиацию частоты сигнала.
9. Плавно поворачивая регулятор «Частота» (2 рис.1) изменять частоту генератора ВЧ в пределах 140 ± 30 кГц, при этом наблюдать изменение величины постоянного напряжения сигнала на экране вольтметра постоянного/переменного напряжения.
10. Зафиксировать изменение постоянного напряжения на выходе детектора от частоты входного сигнала. Результаты занесите в таблицу.

Таблица 14

Характеристика дискриминатора ЧМ-ФМ детектора

<i>Частота сигнала (кГц)</i>									
<i>Напряжение на выходе детектора (В)</i>									

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

Содержание отчёта:

Домашнее задание (задание выдается преподавателем), структурная схема экспериментальной цепи, графики и выводы по работе.

Контрольные вопросы:

- Дайте определение частотного детектора и покажите его место в структурной схеме супергетеродинного приёмника.
- В чём состоит различие супергетеродинных приёмников, предназначенных для приёма АМ- и ЧМ-сигналов?
- Почему в приёмнике ЧМ-сигналов необходимо устанавливать амплитудный ограничитель?
- Начертите структурную схему частотно-амплитудного детектора, поясните принцип его работы и назначение элементов.
- Начертите схему простейшего ЧД и объясните принцип его работы. Какие недостатки у этого ЧД?
- Начертите схему балансного ЧД (частотного дискриминатора) и объясните принцип его работы. Объясните назначение элементов схемы ЧДс.
- Начертите схему дробного ЧД. Объясните назначение элементов схемы. В чём преимущества дробного ЧД?
- Начертите структурную схему фазового детектора и поясните принцип его работы.
- Начертите схему балансного ФД и объясните принцип его работы. В чём преимущества балансного ФД перед одноконтурным?
- Объясните назначение опорного напряжения в фазовом детекторе.

Лабораторная работа №5 «Исследование системы автоматической регулировки усиления»

Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование системы АРУ»

Сменный блок содержит регулируемый усилитель, реализующей функции автоматической регулировки усиления сигнала, а также полосовой фильтр, имитирующий избирательные цепи УПЧ.

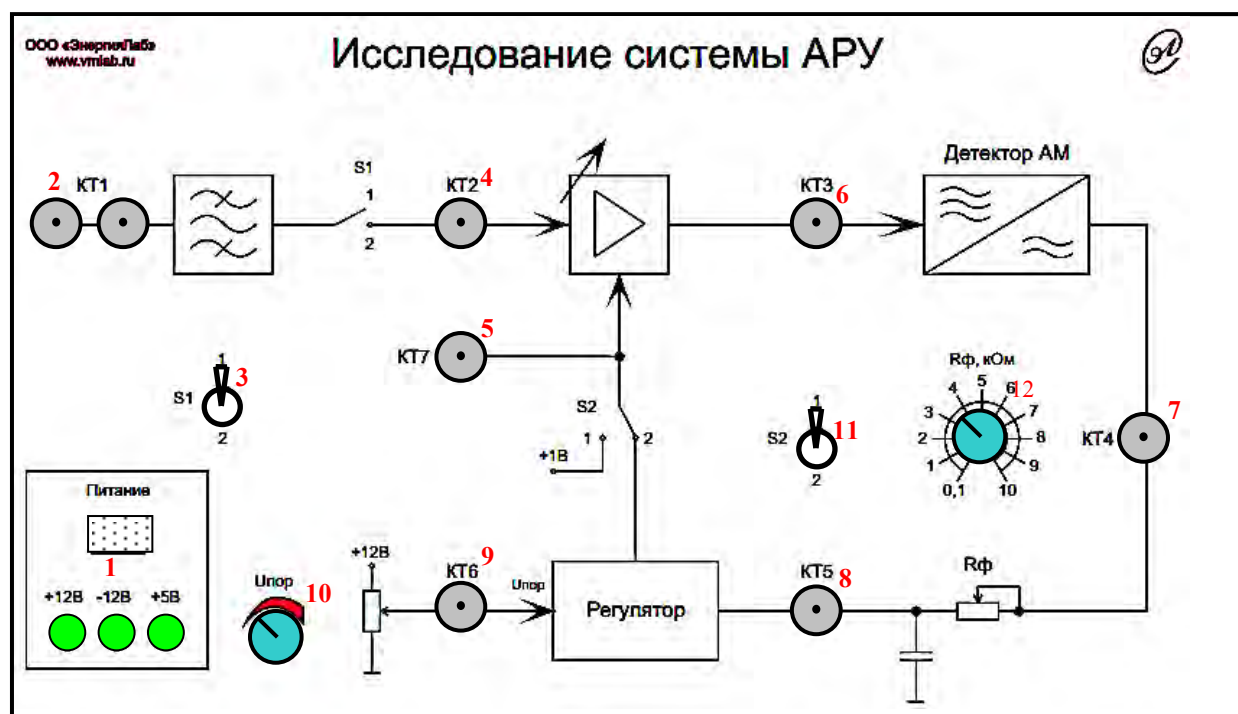


Рис. 42. Вид передней панели сменного блока «Исследование системы АРУ».

Здесь цифрами жирного шрифта обозначены:

1. Разъём подключения шлейфа электропитания сменной панели. **Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключа разъёма.**
2. Коаксиальный контакт **КТ1** входа полосового фильтра, имитирующего фильтр сосредоточенной селекции (ФСС) УПЧ.
3. Переключатель **S1** коммутации выхода ФСС к входу управляемого усилителя. В нижнем положении «2» переключателя ФСС подключён к управляемому усилителю, в верхнем положении «1» – отключён.

4. Коаксиальный контакт **КТ2** входа управляемого усилителя.
5. Коаксиальный контакт **КТ7** контроля сигнала управляющего напряжения усилителя.
6. Коаксиальный контакт **КТ3** выхода управляемого усилителя.
7. Коаксиальный контакт **КТ4** выхода амплитудного детектора.
8. Коаксиальный контакт **КТ5** выхода ФНЧ обратной связи системы АРУ.
9. Коаксиальный контакт **КТ6** контроля установки порогового напряжения регулятора системы АРУ.
10. Регулятор « $U_{\text{пор}}$ » установки порогового напряжения системы АРУ.
11. Переключатель **S2** коммутации обратной связи цепи АРУ. В верхнем положении переключателя «1» обратная связь разорвана, в нижнем положении «2» – замкнута.
12. Регулятор « R_{ϕ} » установки величины сопротивления резистора R_{ϕ} ФНЧ обратной связи цепи АРУ.

Цель работы – измерение основных параметров УПЧ с АРУ:

- Определение максимального коэффициента усиления тракта.
- Снятие регулировочной характеристики.
- Исследование амплитудных характеристик тракта АРУ.
- Исследование влияния постоянной времени фильтра системы АРУ на искажения АМ-сигнала.

Краткие теоретические сведения

Автоматическая регулировка усиления (АРУ) предназначена для поддержания постоянного напряжения на выходе УПЧ, необходимого для нормальной работы конечных устройств приёмника. Уровень сигнала на входе приёмника изменяется в широких пределах. Поэтому при максимальном напряжении на входе приёмника система АРУ должна обеспечить минимальный коэффициент усиления радиочастотного тракта, и наоборот. Таким образом, задача АРУ – изменять усиление радиочастотного тракта РЧУ в

зависимости от уровня входного сигнала. Простота схем АРУ позволяет применение их почти во всех радиоприёмных устройствах.

В системах радио- и телевидения изменение мощности принимаемых сигналов связано с обеспечением высококачественного приёма передач радиостанций, находящихся на разных расстояниях от места приёма. В соответствии с нормами, принятыми в Российской Федерации, изменение уровня сигнала на входе РПрУ бытового назначения (динамический диапазон сигнала) может составлять 60,46 и 30 дБ (т.е. уменьшаться в 1000, 200 или 30 раз от первоначального) для аппаратов соответственно высшей, первой и второй групп сложности. Изменение (уменьшение) напряжения на выходе бытовых РПрУ не должно превышать 10 дБ. Чтобы удовлетворить этим требованиям, усиление в ЛТП должно изменяться на 20 ÷ 50 дБ (в 10 ÷ 316) раз в зависимости от группы сложности аппаратов. Соблюдение этих норм позволяет предотвратить нелинейные искажения сигнала вследствие перегрузки каскадов и поддерживать оптимальный режим работы РПрУ.

Необходимо иметь в виду, что амплитуда сигнала в РПрУ в зависимости от условий распространения радиоволн может изменяться даже при его приёме от одной станции. Например, из-за замираний (федингов) уровень сигнала на входе РПрУ изменяется по случайному закону в широком диапазоне. В этом случае система АРУ должна устранять только замирания сигнала, но не должна реагировать на параметры модуляции.

В радиосвязи динамический диапазон сигнала может достигать 60 дБ, а в радиолокации – 100 дБ.

Классификация систем АРУ

В зависимости от принципа действия системы АРУ подразделяются на три основных типа: ***обратная, прямая и комбинированная.***

Обратная система АРУ

Структурная схема обратной системы АРУ показана на рис.43.

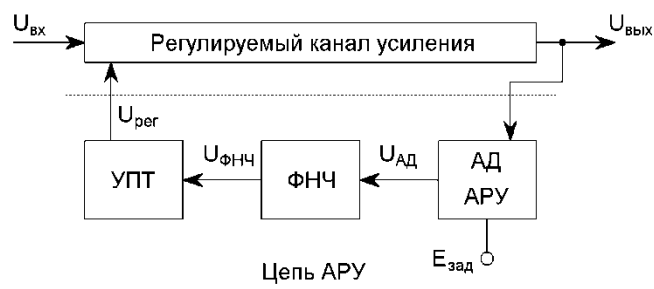


Рис.43. Структурная схема обратной системы АРУ

Эта схема является наиболее простой и эффективной. Она представляет собой замкнутую нелинейную цепь, содержащую усилительный канал РПрУ с регулируемым коэффициентом усиления и цепь регулирования. Напряжение $U_{\text{рег}}$ подаётся со стороны выхода в направлении входа канала. Как и всякая система автоматического регулирования, система АРУ представляет собой замкнутую цепь отрицательной обратной связи (ООС).

В состав регулируемого усилительного канала входят каскады с постоянным усилением и элементы межкаскадных связей с регулируемыми коэффициентами передачи. Цепь АРУ состоит из амплитудного детектора, фильтра низких частот и усилителя постоянного тока. С выхода одного из последних каскадов УПЧ сигнал поступает на АД АРУ, после детектирования проходит ФНЧ и поступает на УПТ. С выхода УПТ регулирующий сигнал $U_{\text{рег}}$, пропорциональный амплитуде сигнала на выходе регулируемого усилительного канала, подаётся на вход первых каскадов ЛТП. Назначение ФНЧ – отфильтровать составляющие частот модуляции и устранить обратную связь по промежуточной частоте в регулируемом усилителе. В цепь АРУ обычно включаются каскады УРЧ и первые каскады УПЧ.

Недостатком обратной системы АРУ является то, что она не позволяет получить идеальную характеристику регулирования, т.е. поддержание постоянного выходного напряжения в широком диапазоне изменения уровня входных колебаний. Причина этого заключается в том, что для получения управляющего напряжения используется приращение выходного регулируемого усилительного канала РПрУ.

Прямая система АРУ

Структурная схема прямой системы АРУ показана на рис.44.

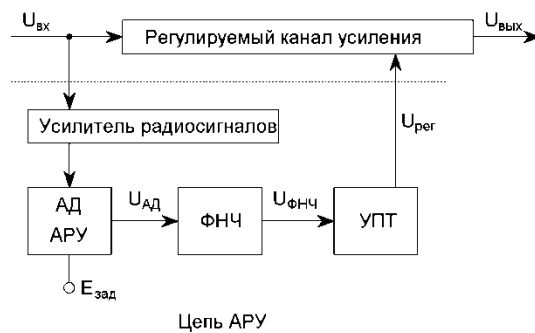


Рис.44. Структурная схема прямой системы АРУ

В этой схеме управляющее коэффициентом усиления напряжение $U_{\text{рег}}$ формируется из входного сигнала регулируемого канала с помощью цепи, включающей дополнительный усилитель с большим коэффициентом усиления, АД, ФНЧ и УПТ. При увеличении амплитуды входного сигнала напряжение на выходе детектора АРУ возрастает, при этом увеличивается $U_{\text{рег}}$, что вызывает уменьшение коэффициента усиления резонансных каскадов.

Достоинства прямой системы АРУ:

- постоянство амплитуды колебаний несущей частоты на выходе ЛТП в широком диапазоне изменений амплитуд входных сигналов;
- высокое быстродействие.

Недостатки прямой системы АРУ:

- необходимость включения в цепь АРУ дополнительного усилителя высокочастотных колебаний с большим коэффициентом усиления, который может перегружаться от входного сигнала;
- необходимость обеспечения высокой стабильности параметров дополнительного усилителя;
- подверженность влиянию дестабилизирующих факторов (изменение температуры, напряжение источника питания и др.).

- отсутствие цепи обратной связи, что приводит к значительным изменениям уровня выходного сигнала из-за нестабильности параметров основного и дополнительного усилителей.

Комбинированная система АРУ

Структурная схема комбинированной системы АРУ приведена на рис.45.

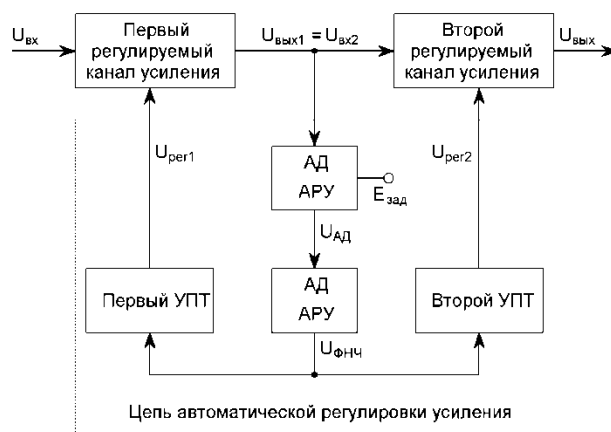


Рис.45. Структурная схема комбинированной системы АРУ

Эта схема представляет собой сочетание систем двух ранее рассмотренных типов АРУ. В комбинированной системе АРУ цепь регулировки прямого действия может охватывать как высокочастотную часть РПрУ, так и УНЧ.

В комбинированной системе АРУ рационально используются преимущества обеих систем, а именно, стабильность обратной АРУ и возможность получения идеальной характеристики регулирования в прямой АРУ. Структурная схема комбинированной АРУ имеет в своём составе два регулируемых канала. Основная регулировка усиления производится в первом регулируемом усилительном канале, который, как правило, включает в себя несколько регулируемых каскадов. Второй регулируемый усилительный канал (чаще всего это один усилительный каскад) компенсирует возрастание напряжения на выходе первого усилительного канала.

Различают системы АРУ с непрерывным и дискретным регулированием.

В системах АРУ с непрерывным регулированием изменение коэффициента усиления канала носит непрерывный характер.

В системах АРУ с дискретным регулированием (цифровые АРУ) коэффициент усиления каскада изменяется по ступенчатому закону, т.е. принимает определённые дискретные значения. Такие системы АРУ выполняются на логических элементах, поэтому они технологичны в производстве и обладают идентичностью характеристик.

В импульсных РПрУ применяют системы АРУ с высоким временным разрешением для регистрации слабого сигнала, который приходит через малый интервал времени после сильного сигнала или мощной помехи. Такая ситуация характерна для РПрУ РЛС, когда отражённые от местных предметов сигналы маскируют слабый эхо-сигнал от цели.

Разрешение импульсов длительностью $\tau_{\text{имп}}$ может быть обеспечено тремя видами АРУ. В системе **быстродействующей АРУ (БАРУ)** постоянная времени ФНЧ выбирается малой величины, чтобы удовлетворялось условие $\tau_{\text{фнч}} = (2 \div 10)\tau_{\text{имп}}$.

Система АРУ, в цепь которой введён каскад, открывающийся на период воздействия полезного сигнала, называется **системой АРУ с временной селективностью, или временной АРУ (ВАРУ)**. Такие системы АРУ также применяются в РПрУ РЛС.

В системе **программной АРУ (ПАРУ)** регулирующее напряжение изменяется по заранее заданной программе.

Порядок выполнения работы:

1. Провести инструктаж по технике безопасности;
2. Собрать экспериментальную схему;
3. Произвести измерения.

Используемые электрические схемы и порядок измерений

В лабораторной работе используются стационарные базовые блоки №1 и №2 (рис. 1.1 и рис. 1.2) и сменный блок «Исследование системы АРУ» (рис. 1.6).

5.1. Измерение максимального коэффициента усиления тракта

1. Установить сменный блок «Исследование системы АРУ» в нишу между базовыми блоками.
2. Собрать схему экспериментальной цепи согласно рис.46.

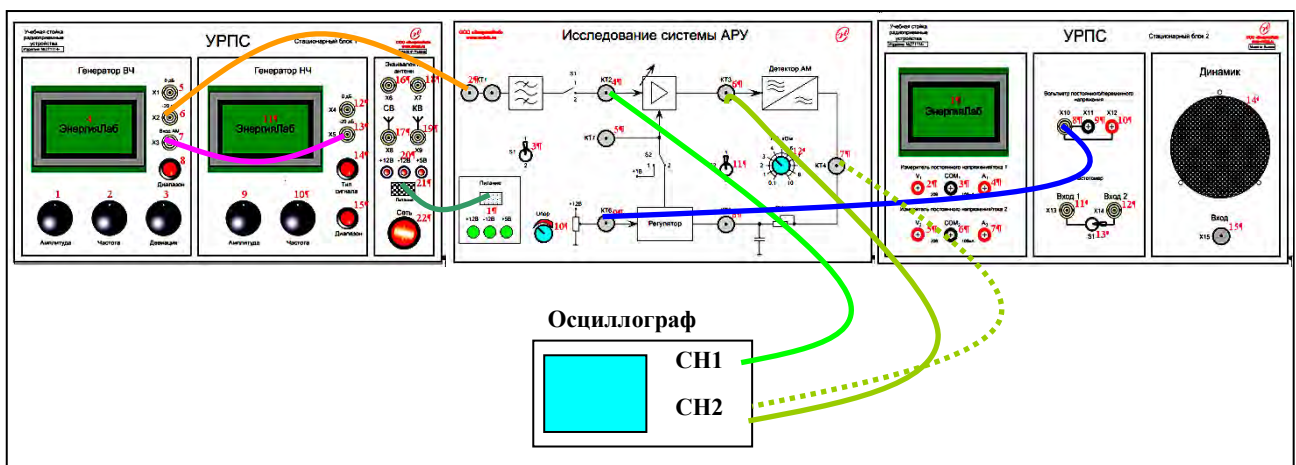


Рис.46. Схема соединений сборки экспериментальной цепи исследования системы АРУ

3. Соединить шлейфом разъем «Питание» (21 рис.1) с разъемом «Питание» (1 рис.42) сменного блока «Исследование системы АРУ».
4. Соединить контакт X3 «Вход АМ» (7 рис.1) панели «Генератор ВЧ» с контактом X5 «-20 дБ» (13 рис.1) панели «Генератор НЧ».
5. Соединить контакт первого канала осциллографа с контактом КТ2 (4 рис.42) входа УПЧ.
6. Соединить второй канал осциллографа с контактом КТ3 (6 рис.42) выхода УПЧ.
7. Соединить контакт КТ6 (9 рис.42) контрольной точки порогового напряжения АРУ с контактом X10 (8 рис.2) входа вольтметра постоянного/переменного напряжения.

8. Соединить контакт «**0 dB**» (5 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**» с контактом **КТ1** (2 рис.42) входа **ФСС 1** сменного блока.
9. Установить переключатель входа **S1** (3 рис.42) в нижнее положение «**2**» сменного блока.
10. Установить переключатель режима работы системы АРУ **S2** (11 рис.42) в нижнее положение «**2**», при этом будет включён режим регулировки уровня сигнала.
11. Установить в среднее положение регулятор опорного (порогового) напряжения регулятора системы АРУ $U_{\text{п}}$ (10 рис.42).
12. Установить в крайнее правое положение регулятор $R_{\text{ф}}$ (12 рис.42) полосы среза фильтра системы АРУ.
13. Регулятором «**Частота**» (2 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**» (рис.1) установить частоту генератора ВЧ, равную **455 кГц**.
14. Плавно поворачивая регулятор «**Амплитуда**» (1 рис.1.) панели «**Генератор ВЧ**», установить напряжение на входе УПЧ (наблюдая за сигналом первого канала осциллографа), равное $\approx 0,1\text{В}$.
15. Плавно поворачивая регулятор « $U_{\text{пор}}$ » (10 рис.42), на экране второго канала осциллографа, наблюдать сигнал на выходе УПЧ.
16. Установить регулятор « $U_{\text{пор}}$ » (10 рис.42) в положение, соответствующее максимальному усилению.
17. Рассчитать коэффициент усиления УПЧ и занести его в отчёт.

5.2. Измерение регулировочной характеристики УПЧ системы АРУ

1. Плавно поворачивая регулятор «**Амплитуда**» (1 рис.1) панели «**Генератор ВЧ**» и наблюдая за сигналом на входе УПЧ (первый канал осциллографа), установить амплитуду сигнала равную $\approx 0,1\text{ В}$.
2. Установить регулятор « $U_{\text{пор}}$ » (10 рис.42) в крайнее левое положение.
3. Плавно поворачивая регулятор « $U_{\text{пор}}$ » (10 рис.42) по часовой стрелке, наблюдать изменение амплитуды сигнала на выходе УПЧ (второй ка-

нал осциллографа) в зависимости от величины регулирующего напряжения $U_{пор}$ (показания вольтметра).

4. Экспериментальные данные занести в таблицу.

Таблица 15

Регулировочная амплитудная характеристика системы АРУ

Амплитуда сигнала на входе УПЧ (сигнал первого канала осциллографа), $U_{вх}$ (В)				
Амплитуда сигнала на выходе УПЧ (сигнал второго канала осциллографа), $U_{вых}$ (В)				
Коэффициент усиления УПЧ $K=U_{вых}/U_{вх}$				
Величина управляющего порогового напряжения (показания вольтметра), $U_{пор}$ (В)				

5. Экспериментальную зависимость представить в виде графика

$K = f(U_{пор})$. На графике определить границы линейного участка.

5.3. Исследование амплитудной характеристики УПЧ системы АРУ

1. Установить регулятор « $U_{пор}$ » (10 рис.42) в положение, соответствующее середине линейного участка регулировочной характеристики (см. предыдущий пункт настоящей работы).
2. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» (рис.1) и наблюдая за сигналом на входе УПЧ (первый канал осциллографа) и выходе УПЧ (второй канал осциллографа), занести в таблицу зависимость амплитуды сигнала на выходе УПЧ $U_{вых}$ от амплитуды на его входе: $U_{вых} = f(U_{вх})$.

Таблица 16

Амплитудная характеристика УПЧ системы АРУ

Амплитуда сигнала на входе УПЧ (сигнал первого канала осциллографа), $U_{вх}$ (В)				
Амплитуда сигнала на выходе УПЧ (сигнал второго канала осциллографа), $U_{вых}$ (В)				
Коэффициент усиления УПЧ $K=U_{вых}/U_{вх}$				

3. Экспериментальную зависимость представить в виде графика

$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$. На графике определить границы линейного участка. Обратить внимание на эффект сжатия динамического диапазона входного сигнала системой АРУ.

5.4. Исследование влияния постоянной времени АРУ на искажения АМ-сигнала

1. Соединить контакт второго канала осциллографа с контактом **КТ4** (7 рис.42) выхода амплитудного детектора.
2. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (1 рис.1) панели «Генератор ВЧ» (рис.1) и наблюдая за сигналом на входе УПЧ (первый канал осциллографа), установить амплитуду сигнала, равную $\approx 0,1$ В.
3. Плавно поворачивая регулятор «Частота» (10 рис.1) панели «Генератор НЧ» (рис.1), установить частоту модулирующего сигнала **1 кГц**.
4. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (9 рис.1) панели «Генератор НЧ» (рис.1) и наблюдая за экраном первого канала осциллографа, установить глубину амплитудной модуляции, равную **20%**.
5. Установить в крайнее левое положение регулятор « R_{ϕ} » (12 рис.42) величины сопротивления фильтра системы АРУ.
6. Наблюдать сигнал на выходе амплитудного детектора на экране второго канала осциллографа.
7. Плавно поворачивая регулятор « R_{ϕ} » (12 рис.42), наблюдать за изменением формы сигнала на выходе детектора АМ. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчёт. Обратить внимание на искажения детектируемого сигнала при малой постоянной времени ФНЧ системы АРУ.
8. Сделать необходимые выводы и занести их в отчёт.

Содержание отчёта

Домашнее задание (задание выдаётся преподавателем), структурная схема экспериментальной цепи, таблицы, графики и выводы по работе.

Контрольные вопросы:

- Для чего служит система АРУ в приёмнике? Какие типы АРУ применяются в РПРУ?
- Начертите структурную схему обратной АРУ и объясните принцип её работы.
- Начертите структурную схему прямой АРУ и объясните принцип её работы.
- Начертите структурную схему комбинированной АРУ и объясните принцип её работы.
- Почему автоматической регулировке усиления подвергаются первые каскады тракта усиления приёмника?

Приложения

Приложение 1

Оформление титульного листа лабораторной работы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И.А. Бунина

КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Лабораторная работа № 5
по курсу «Радиоприёмные устройства»

Исследование системы автоматической регулировки усиления

Выполнил:

Студент 3-го курса

гр. Фр - 31

Шилов М.И.

Принял:

Ст. преподаватель

Исакович Э.И.

Елец – 201 ____

Построение амплитудно-частотных характеристик

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) является одним из основных параметров усилителя. Усилители разделяют по диапазону усиливаемых частот. Усилители низкой частоты предназначены для усиления электрических сигналов в полосе частот от **30 Гц** до **20 кГц**. Усилители высокой частоты предназначены для усиления сигналов радиочастот от **100 кГц** и выше. Усилители, работающие в диапазоне сверхвысоких частот, часто выделяют в особую группу – усилители СВЧ. Усилители постоянного тока усиливают сигналы в полосе частот от **0 Гц** до некоторой заданной рабочей частоты. При этом они обеспечивают усиление как постоянной, так и переменных составляющих сигнала.

Известно, что коэффициент усиления усилителя при изменении частоты усиливаемого сигнала изменяется как по модулю, так и по фазе. Таким образом, отдельные гармонические составляющие сложного электрического сигнала, подаваемого на вход усилителя, усиливаются неодинаково и сдвигаются на различное время относительно входного сигнала. Обе эти причины приводят к изменению формы выходного сигнала.

Изменения формы сигнала на выходе усилителя, вызываемые неодинаковым усилением различных частотных составляющих входного сигнала, называют **частотными искажениями**; изменения формы сигнала, вызываемые сдвигом начальной фазы частотных составляющих, вносимым усилителем, называют **фазовыми искажениями**. Как частотные, так и фазовые искажения определяются величинами линейных элементов схемы усилителя, т.е. элементами, подчиняющимися закону Ома. Поэтому их называют **линейными искажениями**.

Оценку вносимых усилителем частотных искажений производят по его амплитудно-частотной характеристике (АЧХ), представляющей собой зави-

симось модуля коэффициента усиления K от частоты при постоянной амплитуде сигнала на входе усилителя.

Математически эта зависимость выражается следующей формулой:

$$K = F(f) \text{ при } U_{\text{вх}} = \text{Const},$$

где: f – частота сигнала на входе усилителя;

$U_{\text{вх}}$ – напряжение сигнала на входе усилителя.

В этом выражении K – коэффициент усиления – отношение выходного напряжения усилителя к напряжению на его входе:

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Иногда понятие «**коэффициент усиления**» заменяют более общим понятием «**коэффициент передачи**». Это объясняется тем, что усилитель в общем смысле является четырёхполосником, коэффициент усиления которого может быть не только больше, но и меньше единицы. Как правило, в последнем случае четырёхполосник не содержит в своём составе активного (усилительного) элемента.

Для количественной оценки АЧХ служит понятие полосы пропускания. **Полосой пропускания** называют область частот, в пределах которой коэффициент усиления по мощности усилителя уменьшается не более чем на 3 дБ, что соответствует уменьшению коэффициента усиления по напряжению в $1/\sqrt{2} = 0,707$ раз. Ширину полосы пропускания измеряют в единицах циклической частоты $f \left[\frac{1}{c} \right]$ (Гц) или в единицах круговой частоты $\omega \left[\frac{\text{рад}}{c} \right]$.

Как правило, АЧХ усилителя в определённой полосе частот представляет собой прямую линию, но иногда можно наблюдать подъём или спад (т.е. неравномерность) в какой-либо области частот. Неравномерность АЧХ характеризует степень её отклонения от прямой, параллельной оси частот. Неравномерность АЧХ выражается в децибелах (дБ).

Примерный вид амплитудно-частотной характеристики приведён на рис. 1.

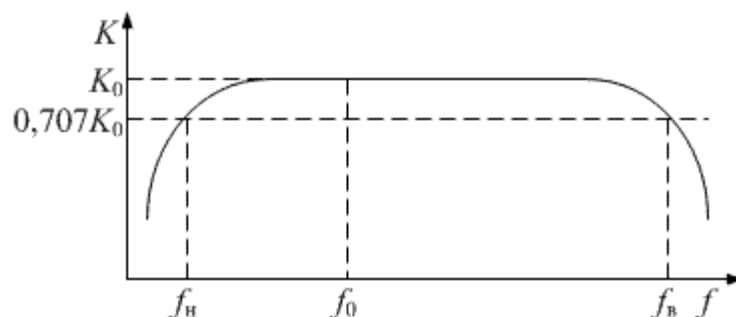


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика

Амплитудно-частотная характеристика устройства определяется относительно его центральной частоты. Для усилителей звуковой частоты в качестве центральной частоты принята частота $f_0 = 1000$ Гц.

Типичная амплитудно-частотная характеристика по напряжению вещательного РПрУ показана на рис. 2.

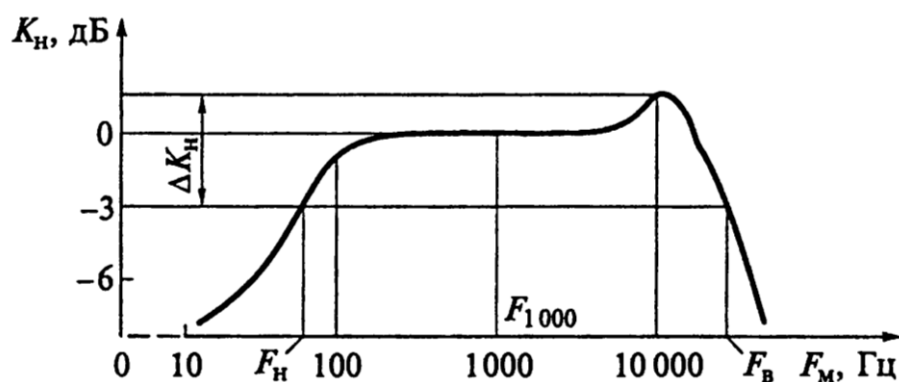


Рис.2. Амплитудно-частотная характеристика по напряжению вещательного РПрУ

Амплитудно-частотная характеристика позволяет оценить неравномерность коэффициента усиления в зависимости от частоты.

По характеристике рис.2 при заданной неравномерности ΔK_n определяют эффективный диапазон $F_n \div F_b$ принимаемых частот модуляции.

Количественная оценка частотных искажений определяется **коэффициентами частотных искажений**, равными отношению коэффициента усиления на частоте F_{1000} к коэффициентам усиления на границах диапазона частот F_n и F_b , т. е.

$$M_n = \frac{K(F_{1000})}{K(F_n)} \quad \text{и} \quad M_b = \frac{K(F_{1000})}{K(F_b)}$$

Требования к полосе пропускания различных устройств определяются их назначением. Например, для телефонной связи достаточной считается полоса около **3 кГц (300 ... 3400 Гц)**, для высококачественного воспроизведения музыкальных произведений – не менее **30 ... 16000 Гц**, а для телевизионного вещания – шириной до 8 МГц.

При анализе четырёхполосников удобнее пользоваться не обычной, а **нормированной** АЧХ, у которой по оси ординат откладывается отношение модуля коэффициента передачи $K(f)$ на любой заданной частоте к максимальному коэффициенту передачи $K_{max}(f)$. Для построения нормированной АЧХ заполняется следующая таблица:

Частота F (Гц)	$U_{\text{ВЫХ}} (В)$	$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$	$\frac{K}{K_{max}}$

Для проведения исследования АЧХ задаётся (или определяется) амплитуда входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$, которая должна поддерживаться постоянной при любой частоте сигнала. При этом амплитуда входного сигнала должна удовлетворять условию

$$U_{max} > U_{\text{ВХ}} > U_{min},$$

где U_{min} – минимальная амплитуда сигнала, соответствующая чувствительности усилителя; U_{max} – максимальная амплитуда сигнала, не вызывающая перегрузки усилителя;

При анализе данных таблицы необходимо определить границы частот входных сигналов, при которых коэффициент передачи $K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$ будет примерно одинаковым. Этот диапазон относится к области средних частот АЧХ ($F_{\text{ср}}$).

Ясно, что в этой области частот отношение $\frac{K}{K_{max}}$ будет примерно равным **1**, а за пределами этой области может быть $\frac{K}{K_{max}} < 1$ или $\frac{K}{K_{max}} > 1$.

По данным значений таблицы $\frac{K}{K_{max}}$ строится нормированная амплитудно-частотная характеристика.

Операция нормирования даёт возможность сравнивать различные усилители (четырёхполосники) по ширине полосы пропускания и неравномерности АЧХ в этой полосе частот.

При построении АЧХ узкополосных (например, резонансных) усилителей значения частот по оси абсцисс обычно откладываются в линейном (равномерном) масштабе. Однако построение АЧХ широкополосных усилителей в линейном масштабе очень сложно, а иногда практически невозможно. В этом случае горизонтальную ось частот целесообразно выполнять в логарифмическом масштабе. Для этого полезно помнить следующее:

1. Логарифмом данного числа по данному основанию называется показатель степени, в которую нужно возвести данное основание, чтобы получить данное число;
2. В качестве основания для логарифмирования можно выбирать любое число, но в радиотехнике используются два числа: **10** (и тогда логарифм называется **десятичным**) или $e \approx 2,718 \dots$ (и тогда логарифм называется **натуральным**).
3. При логарифмировании операция умножения чисел заменяется операцией сложения, а операция деления – операцией вычитания.
4. Значения десятичных логарифмов в пределах от 1 до 10:

Число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Логарифм числа	0	0,3010	0,4771	0,6020	0,6990	0,7781	0,8451	0,9031	0,9542	1,000

Далее определяется верхняя граница частоты АЧХ (например, 10^4 Гц). Если построение АЧХ производится на масштабном-координатном листе бумаги («миллиметровке»), то по горизонтали этот лист разделяют на 4 отрезка одинаковой длины. Начало первого отрезка обозначается цифрой «1 Гц», второго – «10 Гц», третьего – «100 Гц», четвёртого – «1000 Гц» и т.д. Деление отрезка производится в соответствии с приведенной выше таблицей ло-

гарифмов. На участке (1 – 10) Гц частоты будут «расставлены» следующим образом:

1 Гц $lg1 = 0$ – начало отсчёта шкалы;
2 Гц $lg2 = 0,3010$ длины отрезка;
3 Гц $lg3 = 0,4770$ длины отрезка;
4 Гц $lg4 = 0,6020$ длины отрезка;
и т.д.
9 Гц $lg9 = 0,9542$ длины отрезка;
10 Гц $lg10 = 1,0000$ (полная длина отрезка).

На втором отрезке «10 – 100 Гц» пропорции сохраняются, только на горизонтальной оси отмечаются частоты 20 Гц, 30 Гц, 40 Гц и т.д. На третьем отрезке – 200 Гц, 300 Гц, 400 Гц и т.д. Таким образом, в логарифмическом масштабе будут проградуированы все отрезки по горизонтальной оси.

Если необходимо построить АЧХ для широкополосного усилителя с полосой частот в несколько МГц, то достаточно выбрать другой масштаб отрезков (например, $1 - 10^3$ Гц, $10^3 - 10^6$ Гц, $10^6 - 10^9$ Гц и т.д.).

Если требуется построить логарифмическую шкалу также и по оси ординат, то принцип её построения остаётся прежним.

В этом случае АЧХ называется «логарифмической АЧХ» (ЛАЧХ).

Список литературы

1. Нефёдов, В. И., Сигов, А. С. Основы радиоэлектроники и связи: учебное пособие для вузов / Нефёдов Виктор Иванович, Сигов Александр Сергеевич. – М.: Высшая школа, 2009. – 735 с.
2. Головин, О.В. Радиоприёмные устройства / О.В. Головин. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2002.
3. Румянцев, К.Е. Радиоприёмные устройства: учебник для студ. сред. проф. образования / К.Е. Румянцев. – М.: Академия, 2006. – 336 с.
4. Зайцев, А. А., Исакович Э.И. и др. Электронные средства информационных систем. – Ч.2. Радиоприёмные устройства / Зайцев Андрей Анатольевич, и др. – Елец, 2008. – 182 с.

Учебное издание

И.Н. Зайцева, Э.И. Исакович,

Н.А. Фортунова

РАДИОПРИЁМНЫЕ УСТРОЙСТВА

Учебное пособие

по выполнению лабораторных работ

Техническое исполнение – В. М. Гришин

Лицензия на издательскую деятельность

ИД № 06146. Дата выдачи 26.10.01.

Формат 60 x 84 /16. Гарнитура Times. Печать трафаретная.

Печ.л. 6,5 Уч.-изд.л. 6,1

Тираж 500 экз. (1-й завод 1-50 экз.). Заказ 188

Отпечатано с готового оригинал-макета на участке оперативной полиграфии
Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»

399770, г. Елец, ул. Коммунаров, 28,1