

Министерство образования и науки Российской Федерации

Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

**И.А. БЕЛОУС  
Ю.А. ЛЕВАШОВ**

**УСТРОЙСТВА ПРИЁМА  
И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ**

Учебное пособие

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2013

УДК 621.394.62

ББК 32.842

Б 43

**Белоус, И.А., Левашов, Ю.А.**

**Б 43 УСТРОЙСТВА ПРИЁМА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ [Текст] : учебное пособие. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС, 2013. – 104 с.**

ISBN 978-5-9736-0204-8

Пособие содержит основной теоретический материал, приведены методики изучения функциональных узлов радиоприёмного устройства по дисциплине «Устройства приема и преобразования сигналов». К каждой методике даются краткие теоретические сведения, справочный материал по основным параметрам исследуемых устройств, схемы подключения приборов и инструкции по измерению параметров. Большое внимание уделяется анализу результатов измерений и сравнению их с ожидаемыми величинами.

Для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 210400.62 «Радиотехника» и 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» на базе ФГОС ВПО.

УДК 621.394.62

ББК 32.842

© Издательство Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, 2013

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	5
ПРЕДИСЛОВИЕ .....	8
Глава 1. ПОСТРОЕНИЕ РАДИОПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВ .....	9
1.1. Основы теории радиоприёма.....	9
1.2. Классификация радиоприёмных устройств .....	12
1.3. Структура построения радиоприёмных устройств.....	13
Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВ .....	22
2.1. Диапазон рабочих частот.....	23
2.2. Проверка диапазонов принимаемых частот и изучение характеристик органов настройки приемника на несущую частоту сигнала.....	26
2.2.1. Описание лабораторного стенда.....	26
2.2.2. Измерение диапазона принимаемых частот .....	27
2.2.3. Измерение погрешности градуировки шкалы.....	28
2.2.4. Измерение лёгкости настройки .....	28
2.2.5. Измерение лёгкости считывания со шкалы.....	29
2.2.6. Измерение люфта органов настройки.....	30
2.3. Чувствительность .....	31
2.4. Исследование характеристик чувствительности приёмников .....	35
2.4.1. Измерение чувствительности по напряжению со входа внешней антенны в диапазонах ДВ, СВ, КВ .....	36
2.5. Избирательность .....	38
2.6. Исследование характеристик избирательности приёмников по тракту приёма АМ сигналов.....	41
2.6.1. Описание лабораторного стенда.....	41
2.6.2. Снятие характеристик избирательности по соседнему каналу односигнальным методом.....	41
2.6.3. Снятие характеристик избирательности по зеркальному и дополнительным каналам приёма односигнальным методом .....	43
2.7. Изучение характеристик избирательности приёмников по каналу приёма ЧМ сигналов.....	45

2.7.1. Описание лабораторного стенда.....	47
2.7.2. Снятие характеристик избирательности по соседнему каналу.....	48
2.7.3. Снятие характеристик по дополнительным каналам приёма.....	49
2.8. Измерение уровня блокирования и перекрёстных помех по каналу приёма АМ сигналов.....	50
2.8.1. Описание лабораторного стенда.....	52
2.8.2. Измерение уровня блокирования.....	53
2.8.3. Измерение частоты, уровня и полосы воздействия перекрёстной помехи.....	54
2.9. Частотные характеристики.....	56
2.10. Измерение и анализ частотных характеристик приёмников.....	58
2.10.1. Описание лабораторного стенда.....	60
2.10.2. Измерение частотных характеристик со входа усилителя низкой частоты.....	61
2.10.3. Измерение частотных характеристик с антенного входа.....	61
<b>Глава 3. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ.....</b>	<b>64</b>
3.1. Назначение, классификация и характеристики амплитудных детекторов.....	64
3.2. Детектирование АМ сигналов нелинейной цепью.....	66
3.3. Детекторы АМ сигналов.....	67
3.4.1. Описание лабораторного стенда.....	70
3.4.2. Изучение последовательного амплитудного детектора.....	74
3.4.4. Изучение синхронного детектора.....	83
3.5. Изучение детекторов АМ сигналов в пакете NI Multisim.....	88
3.5.1. Описание программного пакета NI Multisim.....	88
3.5.2. Изучение диодных детекторов АМ сигналов.....	90
3.5.3. Изучение синхронного детектора АМ сигналов.....	97
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>103</b>

## **СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

АД – амплитудный детектор;  
АМ – амплитудная модуляция;  
АПЧ – автоматическая подстройка частоты;  
АРУ – автоматическая регулировка усиления;  
АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;  
АХ – амплитудная характеристика;  
ВАХ – вольт-амперная характеристика;  
ВЦ – входная цепь;  
ВЧ – высокая частота;  
Г – гетеродин;  
ГВЧ – гипервысокая частота;  
ГОСТ – государственный отраслевой стандарт;  
ГКРЧ – государственный комитет по радиочастотам;  
ГТИ – генератор тактовых импульсов;  
ГТП – главный тракт приёма;  
Д – детектор;  
ДВ – длинная волна;  
ДД – динамический диапазон;  
ДМВ – дециметровая волна;  
ДММВ – децимиллиметровая волна;  
ИКМ – импульсно-кодовая модуляция;  
ИМС – интегральная микросхема;  
КВ – короткая волна;  
КВЧ – крайне-высокая частота;  
КПД – коэффициент полезного действия;  
КПЕ – конденсатор переменной ёмкости;  
ЛТП – линейный тракт приёма;  
ММВ – миллиметровая волна;  
МОП – металл-окисел-полупроводник;  
МП – микропроцессор;  
МПЭФ – монолитный пьезоэлектрический фильтр;  
МШУ – малoshумящий усилитель;  
НЧ – низкая частота;  
НЭ – нелинейный элемент;  
ОБ – общая база;  
ОБП – одна боковая полоса;

ОВЧ – очень высокая частота;  
ОГ – опорный генератор;  
ОИ – общий исток;  
ОК – общий коллектор;  
ОНЧ – очень низкая частота;  
ООС – отрицательная обратная связь;  
ОС – обратная связь;  
ОСП – отношение сигнал-помеха;  
ОСШ – отношение сигнал-шум;  
ОУ – операционный усилитель;  
ОЭ – общий эмиттер;  
ПАВ – поверхностная акустическая волна;  
ПДУ – пульт дистанционного управления;  
ПКФ – пьезокерамический фильтр;  
ПОС – положительная обратная связь;  
ПФ – полосовой фильтр;  
РЛС – радиолокационная станция;  
РПрУ – радиоприёмное устройство;  
РЭА – радиоэлектронная аппаратура;  
СВ – средняя волна;  
СВЧ – сверхвысокая частота;  
СДВ – сверхдлинная волна;  
См – смеситель;  
СМВ – сантиметровая волна;  
СЦ – согласующая цепь;  
СЧ – синтезатор частоты;  
УВЧ – ультравысокая частота;  
УЗВ – усилитель звуковой частоты;  
УКВ – ультракороткая волна;  
УПТ – усилитель постоянного тока;  
УПЧ – усилитель промежуточной частоты;  
УРЧ – усилитель радиочастоты;  
УУ – узкополосный усилитель;  
УУПЧ – узкополосный усилитель промежуточной частоты;  
УЧ – умножитель частоты;  
УЧМ – усилитель частот модуляции;  
ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты;  
ФВЧ – фильтр верхних частот;  
ФД – фазовый детектор;  
ФМ – фазовая модуляция;  
ФНЧ – фильтр нижних частот;  
ФОЧ – формирователь опорных частот;  
ФЧХ – фазово-частотная характеристика;

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;  
ЦАПЧ – цифровая автоматическая подстройка частоты;  
ЧАПЧ – частотная автоматическая подстройка частоты;  
ЧИС – частотно-избирательная система;  
ЧД – частотный детектор;  
ЧДс – частотный дискриминатор;  
ЧМ – частотная модуляция;  
ШИМ – широтно-импульсная модуляция;  
ШУ – широкополосный усилитель;  
ЭМФ – электромеханический фильтр.

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

В соответствии с принятым в 2009 г. ФГОС ВПО третьего поколения по направлению подготовки бакалавров 210400.62 «Радиотехника» и 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и переходом к компетентному формированию структур учебных дисциплин возникает необходимость обеспечения учебного процесса соответствующими учебно-методическими материалами.

Предлагаемое учебное пособие обеспечивает формирование: знаний основ структуры и схемотехники устройств приёма и преобразования сигналов; умений учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности; владений навыками практической работы с лабораторными макетами.

Основное внимание в учебном пособии уделено описанию методик изучения характеристик, измерения основных параметров радиоприёмных устройств, анализу результатов измерений и сравнению их с ожидаемыми величинами.

Материалы учебного пособия могут быть использованы для проведения практических занятий в интерактивной форме, предусматривающей дискуссии и анализ конкретных ситуаций для оптимизации характеристик радиоприёмных устройств.

Для закрепления и самооценки самостоятельного изучения дисциплины в соответствующих разделах приведены контрольные вопросы.

В связи с тем, что аппаратные методы исследования радиоприёмных устройств и их функциональных узлов требуют больших затрат времени и средств, предлагаются методики исследования с использованием современного программного пакета компьютерного моделирования и проектирования NI Multisim.

# Глава 1. ПОСТРОЕНИЕ РАДИОПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВ

## 1.1. Основы теории радиоприёма

В теории радиоприёма часто пользуются основными понятиями: информация, сообщение и сигнал и т.д.

*Информация* происходит от лат. *informatio*, что в переводе обозначает сведение, разъяснение, ознакомление – сведения о событиях или предметах, являющихся объектом для преобразования, передачи, хранения или непосредственного использования.

*Сообщение* – это форма представления информации для её передачи, хранения или непосредственного использования.

*Сигнал* – изменяющаяся физическая величина, однозначно отображающая сообщение. Полезный сигнал несёт информацию, подлежащую приёму и обработке.

*Приём* – это выделение полезных сигналов из множества принятых и преобразование их в сообщение.

*Радиоприёмное устройство* – это совокупность электрических цепей, функциональных узлов и блоков, предназначенных для выделения полезных сигналов из множества принятых и преобразования в вид, обеспечивающий использование содержащейся в них информации.

*Характеристика* – это информация об объекте, однозначно отличающая его от других объектов и определяющая его функциональные возможности.

*Параметр* – величина, характеризующая свойство или состояния радиоприёмного устройства.

*Показатель* – количественный параметр, характеризующий радиоприёмное устройство.

*Несущая частота* – частота гармонических колебаний, подвергаемых модуляции сигналом в целях передачи информации.

*Модулирующий сигнал* – сигнал, вызывающий изменение определённого параметра или параметров несущего колебания.

*Модуляция* – процесс преобразования первичного сигнала, заключающийся в изменении одного или нескольких параметров несущего колебания по закону изменения первичного сигнала (т.е. в наделении несущего колебания признаками первичного сигнала).

В общем случае *модуляция* есть управление информационным параметром сигнала в соответствии с передаваемым сообщением.

Если информационный сигнал (сообщение) обозначить  $I(t)$ , несущий сигнал, параметр которого изменяется в соответствии с сообщением, обозначить  $N(t)$ . При модуляции выполняется преобразование этих двух сигналов в один модулированный сигнал  $S(t)$  в соответствии с уравнением:

$$S(t) = M\{N(t)I(t)\}, \quad (1.1)$$

где  $M\{\dots\}$  – оператор, определяемый видом модуляции.

В зависимости от вида функциональной формы и числа параметров несущего сигнала  $N(t)$  и информационного сигнала  $I(t)$  варьируются свойства различных методов модуляции, а именно, вид и ширина спектра сигнала  $S(t)$ , устойчивость к воздействию помех и т.д.

Если информационный параметр сигнала-переносчика изменяется непрерывно, то методы модуляции являются *непрерывными* (распространены, например, методы амплитудной, фазовой и частотной непрерывной модуляции гармонического несущего сигнала).

В качестве несущего сигнала часто используют периодическую последовательность импульсов, тогда модуляцию называют *импульсной* (например, при изменении амплитуды или частоты импульсов по закону информационного сигнала  $I(t)$  имеет место амплитудно-импульсная или частотно-импульсная модуляция соответственно).

Информационный параметр может принимать счётное число значений, при этом модуляцию называют *дискретной*. К дискретным видам модуляции относятся, например, амплитудная, частотная и фазовая *манипуляции*. Если значения параметра закодированы и передаются в цифровой форме, то соответствующие виды модуляции носят название *цифровой* модуляции. Наиболее распространенным видом цифровой модуляции является импульсно-кодовая модуляция, когда значения сигнала в дискретных точках кодируют в цифровой форме.

**Амплитудная модуляция.** Несущее колебание с модулированной по закону первичного сигнала амплитудой равно:

$$u_c(t) = U_c(t) \cos(\omega_c t + \varphi), \quad (1.2)$$

где  $\varphi$  – начальная фаза несущего сигнала.

При этом должны соблюдаться условия:

– модулирующая функция  $U_c(t)$  изменяется во времени медленнее по сравнению с величиной  $\cos(\omega_c t)$ ;

– ширина частотных составляющих спектра сигнала, обусловленная огибающей высокочастотного колебания  $U_c(t)$ , во много раз меньше несущей частоты  $f_c = \omega_c / (2\pi)$ .

При непрерывных сообщениях, для упрощения испытаний на соответствие техническим требованиям принимают гармонический закон модулирующего сигнала:

$$U_c = U_{mc} [1 + m_{AM} \cos(\Omega_M t + \Phi)], \quad (1.3)$$

где  $U_{mc}$  – амплитуда немодулированного высокочастотного колебания;  
 $F_M = \Omega_M / (2\pi)$  – частота модулирующего сигнала,  $\Phi$  – начальная фаза модулирующего сигнала;

$m_{AM}$  – коэффициент амплитудной модуляции – отношение разности между максимальным  $u_{cmax}$  и минимальным  $u_{cmin}$  значениями амплитуд модулированного сигнала  $u_c$  к сумме этих значений:

$$m_{AM} = \frac{u_{cmax} - u_{cmin}}{u_{cmax} + u_{cmin}} \quad (1.4)$$

В случае гармонического закона АМ, описываемом (1.3), выражение (1.2) запишется в виде при  $\varphi=0$  и  $\Phi=0$ :

$$u_c(t) = U_{mc} \cos(\omega_c t) + \frac{m_{AM} U_{mc}}{2} \cos[(\omega_c - \Omega_M)t] + \frac{m_{AM} U_{mc}}{2} \cos[(\omega_c + \Omega_M)t]. \quad (1.5)$$

**Частотная модуляция.** Принятая модель с ЧМ записывается в виде:

$$u_c(t) = U_{mc} \cos \left[ \int_0^t \omega_c(x) dx \right] = U_{mc} \cos \left[ \omega_{c0} t + \int_0^t s_M(x) dx \right]. \quad (1.6)$$

Амплитуда высокочастотного колебания  $U_{mc}$  постоянна. Значения  $\omega_c(t)$  и  $\omega_{c0}$  соответствуют мгновенной и средней круговым частотам. Мгновенное отклонение частоты  $\omega_{mc} s_M(t)$  определяется девиацией круговой частоты  $\omega_c$  (максимальным значением отклонения частоты) и моделью сообщения  $s_M(t)$ .

Для анализа характера искажений сигнала ЧМ при его прохождении через функциональные узлы и исследования соответствия характеристик РПРУ техническим условиям пользуются гармонической моделью радиосигнала  $s_M(t) = \cos(\Omega_M t)$ . Тогда выражение (1.6) запишется в виде:

$$u_c(t) = U_{mc} \cos[\omega_{c0} t + \psi_{mc} \sin(\Omega_M t)]. \quad (1.7)$$

Частота  $\omega_c(t) = \omega_{c0} + \omega_{mc} \cos(\Omega_M t)$  содержит медленно меняющийся параметр  $\omega_{mc} \cos(\Omega_M t)$ , в котором и заключена информация о моделирующей функции  $s_M(t) = \cos(\Omega_M t)$ . Частота модуляции  $F_M = \Omega_M / (2\pi)$  обычно много меньше средней частоты радиосигнала  $f_{c0} = \omega_{c0} / (2\pi)$ .

Индекс ЧМ определяет максимальное отклонение фазы  $\psi_{mc} = \omega_{mc} / \Omega_M = f_{mc} / F_M$ .

**Фазовая модуляция.** Радиосигнал с ФМ можно представить в виде:

$$u_c(t) = U_m c \cos[\omega_{ct} + \Phi_c(t)]. \quad (1.8)$$

В данном радиосигнале амплитуда высокочастотного колебания  $U_{mc}$  постоянна, а фаза содержит медленно меняющийся по сравнению с  $u_c(t) = U_{mc} \cos(\omega_c t)$  параметр  $\Phi_c(t)$ , в котором заключена информация. Мгновенное значение фазы  $\Phi_c(t) = \Phi_{mc} s_M(t)$  определяется модулирующей функцией и значением девиации фазы.

В качестве радиосигнала с ФМ часто применяют закон  $\Phi_c(t) = \Phi_{mc} \sin(\Omega_M t)$ .

**Манипуляция** является частным случаем модуляции, при которой модулируемый параметр (амплитуда, фаза или частота гармонического колебания) изменяется скачком в соответствии с дискретной модулирующей функцией.

## 1.2. Классификация радиоприёмных устройств

Радиоприёмные устройства можно классифицировать по ряду признаков, определяющих их основные технические характеристики.

1. По назначению РПрУ делятся: профессиональные (связные, разведывательные, радиолокационные, радионавигационные и др.); вещательные.

2. По виду принимаемого сигнала: непрерывные (аналоговые) сигналы; импульсные (дискретные) сигналы; универсальные.

3. По схеме построения ЛТП (рис. 1.1).

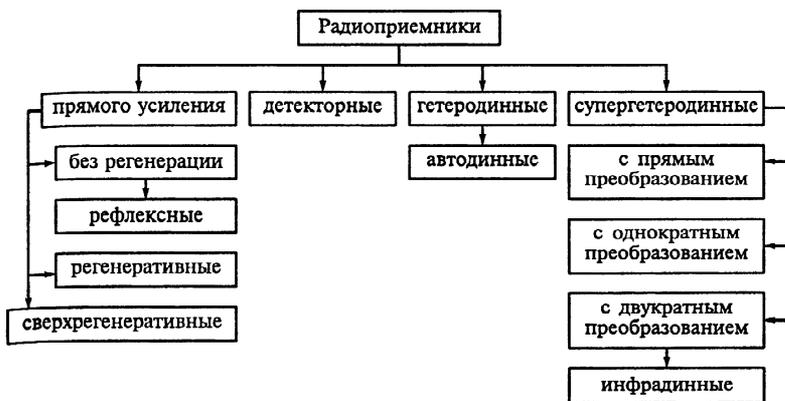


Рис. 1.1. Классификация РПрУ по способу построения линейного тракта приёма

4. По виду модуляции принимаемого сигнала: АМ, ЧМ, ФМ, ОБП и импульсно-модулированные сигналы.

5. По роду работы: радиотелефонные, радиотелеграфные, фототелеграфные и др.

6. По способу перестройки: плавная; дискретная; комбинированная.

7. По месту установки: стационарные; возимые; переносные и носимые.

8. По системе питания: сетевые; аккумуляторные или (и) батарейные; универсальные.

9. По диапазону (диапазнам) принимаемых частот (табл. 1.1).

Таблица 1.1

### Характеристика сигналов по диапазону принимаемых частот

Диапазон, Гц	Приёмники волн	Наименование полосы
$(3...30)\times 10^3$	Мириаметровые (СДВ)	ОНЧ
$(3...30)\times 10^4$	Километровые (ДВ)	НЧ
$(3...30)\times 10^5$	Гектометровые (СВ)	СЧ
$(3...30)\times 10^6$	Декаметровые (КВ)	ВЧ
$(3...30)\times 10^7$	Метровые (МВ)	ОВЧ
$(3...30)\times 10^8$	Дециметровые (ДМВ)	УВЧ
$(3...30)\times 10^9$	Сантиметровые (СМВ)	СВЧ
$(3...30)\times 10^{10}$	Миллиметровые (ММВ)	КВЧ
$(3...30)\times 10^{11}$	Децимиллиметровые (ДММВ)	ГВЧ

### 1.3. Структура построения радиоприёмных устройств

Основные функции радиоприёмного устройства вытекают из условий приёма сигналов:

- наличие помех;
- малая мощность входного сигнала;
- приём передаваемого сообщения в преобразованном виде, в частности, в форме модуляции несущих колебаний.

Радиоприёмное устройство выполняет следующие функции:

- выделение информационного сигнала из всего спектра принимаемых колебаний;

- усиление полезного сигнала;
- преобразование радиосигнала в ток (напряжение), изменяющийся по закону модуляции несущих колебаний, позволяющее воспроизвести информационное сообщение, которым модулировано несущее колебание на передающей стороне;
- преобразование принятого полезного сигнала в форму, удобную для восприятия сообщения.

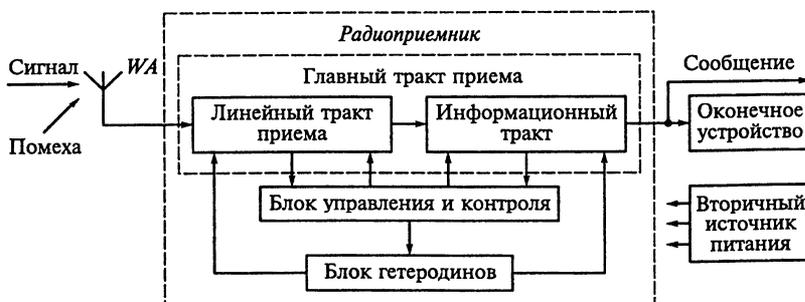


Рис. 1.2. Обобщённая структурная схема РПрУ

Обобщённая схема РПрУ включает антенное устройство WA, линейный тракт приёма ЛТП, информационный тракт, блок управления и контроля, блок гетеродинов, оконечное устройство и вторичный блок питания.

Антенное устройство обеспечивает *пространственную и поляризационную избирательность*, принимает энергию электромагнитных волн, преобразует её в электрический ток радиочастоты и передаёт на вход РПрУ. *Пространственная избирательность* – способность антенной системы принимать электромагнитную волну, приходящую из определённого направления. *Поляризационная избирательность* – способность антенной системы принимать электромагнитные волны с определённым видом поляризации: линейной, круговой, эллиптической и др.

В реальных системах на вход ЛТП поступает совокупность полезного и мешающих сигналов. Мешающими сигналами являются излучения посторонних радиостанций, излучения техногенного характера (индустриальные помехи) и излучения естественного происхождения (атмосферные и космические помехи). Мешающие сигналы, накладываемые на полезный сигнал, называют *аддитивными помехами*. Изменения уровня и параметров полезного сигнала вследствие особенностей среды распространения электромагнитных волн называют *замиранием* или *мультипликативными помехами*. В общем случае к *помехам* относят электромагнитные колебания различного происхождения, мешающие приёму полезного сигнала и точному воспроизведению сообщений.

ЛТП осуществляет первичную обработку поступившего на вход сигнала, выполняя следующие функции:

- выделение полезного сигнала из спектра принятого сигнала (фильтрация);

- усиление полезного сигнала (возможно, и преобразование частоты) до уровня, необходимого для нормального функционирования последующих трактов;

- обработка принятого сигнала с целью уменьшения влияния помех.

*Информационный тракт* выполняет детектирование, последетекторную обработку сигнала (фильтрацию, усиление, декодирование и др.). Информационный тракт и линейный тракт приёма образуют главный тракт приёма, который включает функциональные узлы для фильтрации, усиления, преобразования, детектирования и последетекторной обработки.

*Блок гетеродинов* включает один или несколько гетеродинов или СЧ, который обеспечивает работу преобразователя частоты.

*Блок управления и контроля* осуществляет: автоматическое регулирование усиления (АРУ) главного тракта, полосы пропускания главного тракта, настройку и автоматическую подстройку частоты гетеродинов, работу по заранее заданному алгоритму – включение и отключение, поиск и запоминание параметров настройки на радиосигнал, адаптацию к помеховой обстановке в точке приёма, управление антенным устройством и др.

*В оконечном устройстве* происходит преобразование выделенного полезного сигнала в форму, удобную для восприятия сообщения.

*Вторичный источник питания* осуществляет преобразование, при необходимости, параметров электрического тока до значений, необходимых для работы всех трактов РПрУ.

**Радиоприёмные устройства прямого усиления.** Структурная схема РПрУ прямого усиления приведена на рис. 1.3 и включает входное устройство – ВхУ, усилитель радиочастоты – УРЧ, детектор и усилитель низкой частоты – УНЧ. Входное устройство представляет собой частотно-селективную электрическую цепь, которая служит для предварительной фильтрации сигнала, принятого антенной, от помех. УРЧ может быть апериодическим или резонансным. В первом случае УРЧ обеспечивает усиление радиосигнала до уровня, необходимого для нормальной работы детектора. Во втором, кроме усиления, УРЧ производит дополнительную фильтрацию сигнала его от помех, что повышает избирательные свойства РПрУ. Частотно-селективные электрические цепи ВхУ и УРЧ могут перестраиваться в пределах необходимого диапазона рабочих частот. Усиленный сигнал с выхода УРЧ поступает на детектор, который производит выделение сообщения в соответствии с принятым законом модуляции. УНЧ производит усиление сигнала принятого сообщения до уровня, необходимого для нормальной работы оконечного устройства – ОУ.

*Основные достоинства:*

- высокая стабильность частоты настройки;
- высокая электромагнитная совместимость, из-за отсутствия в схеме генераторов.

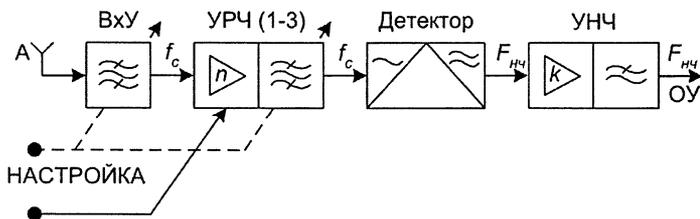


Рис. 1.3. Структурная схема РПрУ прямого усиления

*Недостатками являются:*

- недостаточная высокая избирательность, связанная с конструктивной сложностью реализации многоконтурных перестраиваемых резонансных цепей во ВхУ и УРЧ;
- неравномерность избирательности при перестройке РПрУ в диапазоне частот, связанная с изменением полосы пропускания резонансных контуров при их перестройке.

**Детекторные радиоприёмные устройства.** Частным случаем РПрУ прямого усиления является детекторный РПрУ (рис. 1.4). Входное устройство – ВхУ в виде резонансной системы или фильтра обеспечивает частотную избирательность РПрУ, настройка на частоту принимаемого сигнала осуществляется перестройкой или переключением ВхУ. Детектор осуществляет демодуляцию принятого сигнала с принятым законом модуляции. Роль оконечного устройства обычно играет громкоговоритель или телефон, который преобразует электрический сигнал в акустические колебания. Принципиальным является отсутствие усиления радиосигнала до детектора, ведущее к упрощению РПрУ. В настоящее время РПрУ прямого детектирования применяются только в миллиметровом, децимиллиметровом и оптическом диапазонах волн.

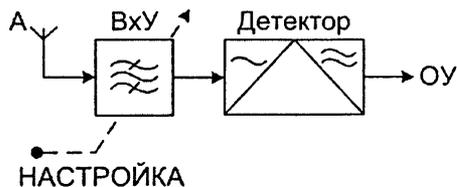


Рис. 1.4. Структурная схема детекторного РПрУ

*Основные достоинства:*

- простота конструкции;
- высокая электромагнитная совместимость.

*Недостатками являются:*

- крайне низкая чувствительность и избирательность.

**Регенеративные РПрУ прямого усиления.** В одном из каскадов РПрУ такого типа (рис. 1.5) присутствует положительная обратная связь, введение которой позволяет увеличить чувствительность РПрУ.

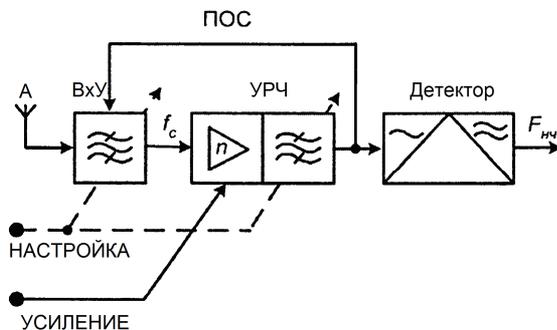


Рис. 1.5. Структурная схема регенеративного РПрУ прямого усиления

*Основные достоинства:*

- достаточно высокая чувствительность.

*Недостатками являются:*

- значительное искажение полезного сигнала;
- способность к самовозбуждению;
- низкая избирательность;
- низкая электромагнитная совместимость.

**Суперрегенеративные (сверхрегенеративные) РПрУ прямого усиления.** В данном типе РПрУ (рис. 1.6) используется обратная связь, периодически изменяемая с некоторой частотой схемой управления – СхУ и становящейся в части периода отрицательной.

*Основные достоинства:*

- лёгкость и стабильность настройки;
- отсутствие побочных каналов приёма;
- высокая стабильность;
- высокая чувствительность.

*Недостатками являются:*

- искажение полезного сигнала;
- зависимость чувствительности и избирательности от частоты;
- низкая чувствительность;
- низкая электромагнитная совместимость.

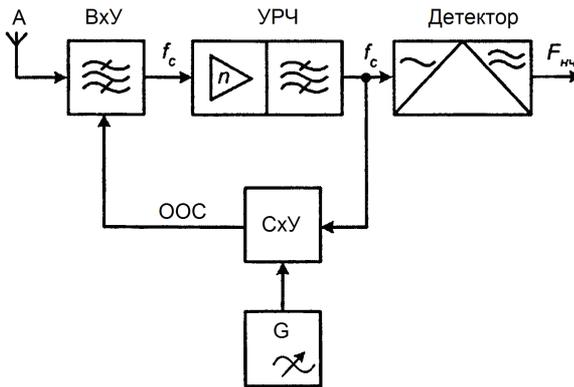


Рис. 1.6. Структурная схема суперрегенеративного РПрУ прямого усиления

**Супергетеродинные РПрУ.** РПрУ, в котором происходит перенос частотного спектра принятого сигнала в определённую постоянную частотную область (область промежуточных частот), не изменяющуюся при перестройке РПрУ по рабочему диапазону. Структурная схема супергетеродинного РПрУ представлена на рис. 1.7. Схема содержит следующие тракты: принимаемой (радиочастоты), промежуточной и низкой частот.

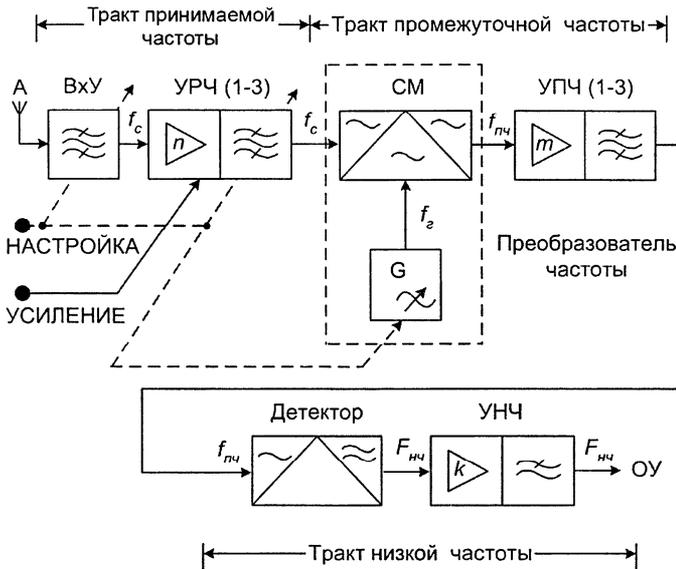


Рис. 1.7. Структурная схема супергетеродинного РПрУ

Тракт принимаемой частоты состоит из входного устройства – ВхУ и одного (нескольких) усилителей радиочастоты.

ВхУ, УРЧ, УПЧ, детектор и УНЧ выполняют те же функции, что и в РПрУ прямого усиления.

Преобразователь частоты содержит смеситель, построенный на нелинейном элементе, и генератор частоты  $f_{\Gamma}$  (гетеродина). На вход смесителя преобразователя частоты поступает сигнал с частотой  $f_c$  и гармоническое колебание от гетеродина с частотой  $f_{\Gamma}$ . На выходе преобразователя частоты частотный спектр будет содержать ряд гармоник с частотами:

$$f = n \times f_c + m \times f_{\Gamma}, \quad (1.9)$$

где  $n$  и  $m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$  – целые положительные и отрицательные числа.

Усилитель промежуточной частоты выделяет и усиливает некоторую полосу частот с главной частотой  $f_{пч}$ . Для образования промежуточной частоты – ПЧ используется преобразование вида  $f_{пч} = f_c - f_{\Gamma}$  или  $f_{пч} = f_{\Gamma} - f_c$ . Если  $f_{\Gamma} > f_c$ , то говорят о верхней настройке гетеродина, если  $f_{\Gamma} < f_c$  – нижней.

Чтобы промежуточная частота оставалась постоянной при перестройке приёмника, необходимо, чтобы резонансная частота преселектора и частота гетеродина изменялись сопряжено, отличаясь друг от друга на значение промежуточной частоты. Обеспечение постоянства разности  $f_0$  и  $f_{\Gamma}$  в диапазоне рабочих частот называется сопряжением настройки.

*Основные достоинства:*

– высокая и постоянная избирательность по соседнему каналу в рабочем диапазоне частот, так как в тракте промежуточной частоты на постоянной промежуточной частоте возможно применение сложных избирательных систем (фильтров сосредоточенной селекции, кварцевых, электромеханических фильтров);

– высокая и равномерная чувствительность РПрУ в рабочем диапазоне частот, так как основное усиление полезного сигнала осуществляется в тракте промежуточной частоты;

– небольшие нелинейные искажения при детектировании, так как обеспечивается достаточное усиление и для работы в линейном режиме.

*Недостатками являются:*

– нестабильность настройки вследствие наличия гетеродина;

– необходимость дополнительных мер по обеспечению электромагнитной совместимости;

– сложность сопряжённой перестройки каскадов преселектора и гетеродина;

– наличие побочных и зеркального каналов приёма.

**РПрУ прямого преобразования.** В данном типе РПрУ частота гетеродина принимается равной частоте принимаемого сигнала, поэтому промежуточная частота отсутствует и тем самым обеспечивается прямое преобразование в низкую частоту без предварительного переноса на промежуточную.

Структурная схема РПрУ прямого преобразования представлена на рис. 1.8 и состоит из преселектора, перемножителя, устройства управления – УУ, фазового детектора – ФД, фильтров нижних частот – ФНЧ1, ФНЧ2, фазовращателя, гетеродина и управляющего элемента – УЭ. Основным узлом РПрУ является перемножитель двух высокочастотных колебаний – синхронный детектор. При перемножении напряжений сигнала  $u_c(t) = U_{mc} \cos(\omega_c t + \Phi_c)$  и гетеродина  $u_r(t) = \cos(\omega_c t + \Phi_r)$  на выходе перемножителя формируется частотная компонента  $KU_{mc}U_{mr} \cos(2\omega_c t + \Phi_c - \Phi_r)$  с частотой  $2f_c$  и постоянная составляющая  $KU_{mc}U_{mr} \cos(\Phi_c - \Phi_r)$ . Если на выход перемножителя подключить ФНЧ, то на его выходе будет присутствовать компонента  $u_{пр}(t) = KU_{mc}U_{mr} \cos(\Phi_c - \Phi_r) = U_{mпр} \cos \Phi_{пр}$ .



Рис. 1.8. Структурная схема РПрУ прямого преобразования

Приведённые выше соотношения показывают, что при изменении амплитуды, частоты и фазы сигнала закон этого изменения будет сохраняться в процессе преобразования.

*Основные достоинства:*

- малые нелинейные искажения благодаря детектированию в режиме сильных сигналов, который обеспечивается за счёт большой амплитуды гетеродина;
- высокая избирательность, достигаемая с помощью неперестраиваемого ФНЧ высокого порядка (ФНЧ2);

– фазовая избирательность, обусловленная пропорциональностью напряжения  $\cos(\Phi_c - \Phi_r)$ .

*Недостатками являются:*

– подверженность действию помех и наводок.

Указанные преимущества могут быть реализованы при условии синхронизации колебаний гетеродина и сигнала с точностью до фазы, что осуществляется системой ФАПЧ.

**Инфраничные РПрУ.** Данный тип РПрУ, структурная схема которого представлена на рис. 1.9, характеризуется применением схемы двойным преобразованием частоты переносом спектра сигнала, первым преобразователем, вверх. Поскольку первая промежуточная частота намного выше верхней частоты принимаемых радиосигналов  $f_{пр1} \gg f_{с,макс}$ , то частоты зеркального и прямого каналов приёма лежат существенно выше полосы принимаемых частот и могут легко подавлены неперестраиваемым широкополосным ФНЧ в преселекторе. Для подавления низкочастотных помех в преселекторе обычно устанавливают и ФВЧ.

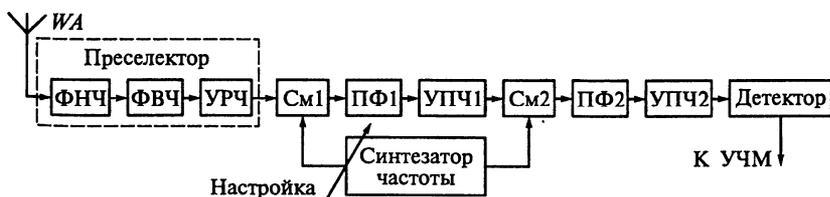


Рис. 1.9. Структурная схема инфраничного РПрУ

Избирательность по соседнему каналу в значительной мере обеспечивается блоками второго преобразования частоты вниз (См2 и ПФ2).

*Основные достоинства:*

– эффективное подавление зеркального и прямого каналов приёма;  
– высокий коэффициент перекрытия диапазонов.

*Недостатками являются:*

– высокие требования к линейности УРЧ и стабильности частот высокочастотного гетеродина, что требует применения синтезаторов частот.

**Гетеродинные РПрУ** предназначены для приёма радиотелеграфных сигналов методом биений, которые возникают вследствие сложения принимаемых колебаний частотой  $f_c$  и близких к ним по частоте гетеродина  $f_r[1]$ . После детектирования биений выделяется тон звуковой частоты  $F = f_c - f_r$ , который и воспроизводит переданные телеграфные сигналы.

**Автодинные РПрУ** являются частным случаем гетеродинных РПрУ, в которых гетеродин совмещён с регенеративным УРЧ.

## Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВ

Существует целый ряд характеристик, позволяющих объективно оценить технические параметры РПрУ. Различают три группы характеристик:

- 1) электрические;
- 2) конструктивно-эксплуатационные;
- 3) производственно-экономические.

Основные электрические характеристики РПрУ следующие:

1. *Диапазон рабочих частот* – область частот настройки РПрУ, в пределах которой обеспечивается приём радиосигналов.

2. *Эффективность регулировок*.

3. *Чувствительность* – мера способности РПрУ обеспечивать приём слабых сигналов.

4. *Избирательность* – способность РПрУ отличать полезный сигнал от помехи по заданным признакам, свойственным радиосигналу.

5. *Искажения* – изменение формы выходного сигнала, по сравнению с формой входного сигнала, вызывающее изменение качества воспроизведения передаваемого сообщения.

6. *Динамический диапазон* – пределы изменения уровня входных сигналов, при которых обеспечивается уверенный приём сообщения.

7. *Помехоустойчивость* – способность РПрУ функционировать в условиях воздействия на него определённой совокупности помех.

8. *Электромагнитная совместимость* – способность РПрУ одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

9. *Выходная мощность* – мощность, отдаваемая радиоприёмным устройством оконечному устройству.

К конструктивно-эксплуатационным характеристикам относятся:

- 1) *масса*;
- 2) *габариты*;
- 3) *режим питания*;
- 4) *удобство эксплуатации*;
- 5) *надёжность*;
- 6) *ремонтпригодность*;

7) *стабильность характеристик.*

К производственно-экономическим характеристикам относятся:

- 1) *стоимость;*
- 2) *степень интеграции узлов;*
- 3) *степень унификации;*
- 4) *серийность;*
- 5) *вид технологического процесса;*
- 6) *сроки разработки.*

## **2.1. Диапазон рабочих частот**

*Диапазоном рабочих частот* РПрУ называется область возможных частот настройки РПрУ, в пределах которой обеспечивается приём радиосигналов. Ширина рабочего диапазона РПрУ оценивается крайними частотами настройки  $f_{\text{мин}}$  и  $f_{\text{макс}}$ , а также *коэффициентом перекрытия диапазона*  $k_{\text{пер}} = f_{\text{макс}}/f_{\text{мин}}$ .

Очевидно, что диапазоны частот радиовещательных приёмников не должны быть уже диапазонов, определенных ГКРЧ РФ. Согласно ГОСТ 5651-88 «Устройства радиоприёмные бытовые. Общие технические условия», радиоприёмные устройства должны обеспечивать прием сигналов радиовещательных станций в следующих (одном или нескольких) диапазонах частот (волн):

ДВ – 148,0 – 285,0 кГц (2027,0 – 1050,0 м)

СВ – 525,0 – 1607,0 кГц (571,4 – 186,7 м)

КВ – 3,95 – 12,10 МГц (75,9 – 24,8 м)

УКВ 1 – 65,8 – 74,0 МГц (4,56 – 4,06 м)

УКВ 2 – 100,0 – 108,0 МГц (3,00 – 2,78 м)

УКВ 1 – 65,8 – 73,0 МГц (4,56 – 4,11 м)

Диапазон СВ может быть разбит на два поддиапазона. Диапазон КВ может быть разбит на ряд поддиапазонов, охватывающих отдельные частотные участки. При этом допускается отсутствие некоторых поддиапазонов с сужением общего диапазона КВ.

Состав и границы диапазонов и поддиапазонов конкретных радиоприёмных устройств следует смотреть в технических условиях, паспортах и инструкциях по ремонту.

Обычно диапазоны частот делают несколько шире установленных, чтобы скомпенсировать уход настройки под воздействием дестабилизирующих факторов (температура, влажность, старение и т.п.). Однако чрезмерно расширять диапазон непрактично, так как это приводит к его уплотнению, т.е. к затруднениям при настройке.

Границы диапазонов частот определяют в крайних положениях частот настройки.

При массовом производстве РПрУ неизбежно некоторое расхождение между истинной частотой настройки и показаниями по шкале. Мера расхождений, называемая *погрешностью градуировки* шкалы, зависит от конструкции РПрУ, тщательности настройки и рисунка шкалы. Наибольшую точность обеспечивает применение системы СОЧ (цифрового отсчета частоты) при использовании в качестве гетеродина синтезатора частоты.

Погрешность градуировки шкалы определяется сравнением истинной частоты настройки РПрУ с показаниями по шкале или другому индикатору. Вполне достаточным является значение, равное половине полосы пропускания, т.е. 4-5 кГц в диапазонах ДВ, СВ и КВ и 50-70 кГц в диапазоне УКВ.

Существуют следующие способы настройки РПрУ на принимаемый сигнал:

- 1) по минимуму коэффициента гармоник выходного напряжения;
- 2) по максимальному напряжению на выходе;
- 3) по индикатору настройки;
- 4) на середину полосы пропускания всего тракта;
- 5) по минимуму шумов.

Кроме того, в диапазоне УКВ применяются специфические способы настройки:

- 1) на нулевую точку S-кривой;
- 2) по максимальному напряжению на электролитическом конденсаторе дробного детектора;
- 3) на середину полосы пропускания высокочастотного тракта.

Как показали эксперименты, больше всего действиям радиослушателей при настройке на станцию соответствует следующий способ, являющийся основным.

На выход приёмника подается сигнал заданной величины с максимальной глубиной модуляции и частотой модулирующего напряжения 1000 Гц. Изменяя частоту настройки или ГСС, находят середину полосы, ограниченную частотами, на которых коэффициент гармоник вырастает до заданного значения, например 1,5 или 10 %.

Стандарты допускают настраивать приемник любым способом, но одним и тем же при измерении всех параметров в данном диапазоне волн, т.к. некоторые параметры в значительной степени зависят от положения ручки настройки. В спорных случаях применяется основной способ.

При контроле параметров отремонтированных РПрУ согласно РСТ РФ 171-81 используется способ настройки РПрУ по максимальному напряжению на выходе.

Погрешность различных способов настройки на сигнал определяется измерением частот настройки, соответствующих этим способам по сравнению с основным способом настройки.

Индикатор настройки только тогда может эффективно выполнять свои функции, когда во всем возможном диапазоне входных уровней изменение частоты настройки в пределах границ полосы пропускания РПрУ будет вызывать изменение положения указателя индикатора настройки.

В современных радиовещательных приёмниках применяются различные индикаторы настройки: оптические, стрелочные на микроамперметрах, индикаторные лампочки, светодиоды, экраны и т.д. В простейшем случае индикатор настройки включается в цепь питания регулируемого каскада. Однако такой способ включения не обеспечивает заданных требований при средних и больших уровнях сигнала. Лучшие результаты даёт индикатор настройки, регулирующий на протектированное напряжение, развиваемое на отдельном узкополосном контуре. Следует подчеркнуть, что индикатор должен, прежде всего, реагировать не на изменение уровня сигнала, а на изменение его частоты.

Измерение диапазона действия индикатора заключается в определении минимального и максимального входных уровней, при которых небольшие изменения частоты сигнала вызывают изменения положения указателя индикатора настройки.

МЭК 315-1 рекомендует определить ряд характеристик, оценивающих свойства системы настройки. К этим характеристикам относятся: лёгкость настройки, лёгкость считывания показателей со шкалы и люфт механизма настройки. Под лёгкостью настройки радиоприемника понимается перемещение точки на окружности ручки при определенном изменении частоты. В некоторых, особенно малогабаритных приёмниках конструкция системы такова, что малейшее изменение положения ручки настройки вызывает изменение частоты настройки, соответствующее нескольким станциям. Очень малое изменение частоты настройки при повороте ручки настройки тоже невыгодно, поскольку в таком приёмнике перестройка с нижней частоты диапазона до верхней будет занимать слишком много времени. Нормой настройки в диапазонах ДВ, СВ и КВ может быть выбрано значение не меньше 0,2 мм/кГц. При измерении влияние люфта необходимо исключить.

Легкость считывания показаний со шкалы определяется длиной шкалы, соответствующей заданному изменению частоты.

Величина легкости считывания показаний со шкалы показывает, позволяет ли стрелочно-шкальное устройство приемника различать частоты двух близких по частоте станций. В диапазонах сигналов с АМ перемещение стрелки не менее чем на 1 мм можно считать достаточ-

ным, если частота изменяется на 10 кГц. Чем длиннее шкала, тем лучше будет лёгкость считывания со шкалы.

Наличие люфта органов настройки приводит к тому, что одна и та же частота настройки соответствует двум положениям ручки настройки или двум положениям стрелки на шкале. Величина люфта измеряется в миллиметрах.

## 2.2. Проверка диапазонов принимаемых частот и изучение характеристик органов настройки приемника на несущую частоту сигнала

### 2.2.1. Описание лабораторного стенда

**Цель работы:** изучение аппаратуры и методов измерения диапазона принимаемых частот, погрешностей градуировки шкалы, диапазона действия индикатора настройки, лёгкости настройки и лёгкости считывания показаний со шкалы, люфта органов настройки.

Для проведения лабораторной работы необходимы следующие измерительные приборы и вспомогательные устройства:

1. Генератор сигналов измерительный высокочастотный с амплитудной модуляцией (ГСС-АМ), с диапазоном частот  $0,1 \pm 50,0$  МГц, например, Г4-102.
2. Эквивалент антенны для измерения параметров приемников (кроме автомобильных) внешней антенной в диапазонах ДВ, СВ, КВ.
3. Вольтметр электронный переменного тока (ВЭ), например ВЗ-38.
4. Частотомер электронно-счетный (ЧЭС), например ЧЗ-34.
5. Эквивалент нагрузки (может быть встроен в исследуемое радио-приемное устройство).

Схема подключения приборов для проведения лабораторной работы приведена на рис. 2.1.

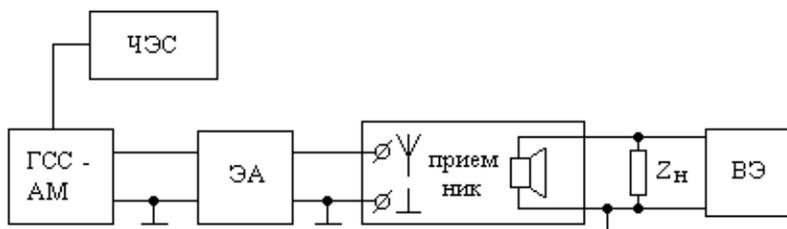


Рис. 2.1. Схема подключения приборов

### 2.2.2. Измерение диапазона принимаемых частот

Подключить измерительные приборы и вспомогательные устройства к исследуемому приемнику по схеме (рис. 2.1).

#### Условия измерения:

Частота модуляции сигнала – 1000 Гц (переключатель модуляции Г4-102 в положении «Внутр.»).

Глубина модуляции (коэффициент модуляции) АМ,  $m_{AM} \% - 30 (0,3)$ .

Напряжение несущей частоты входного сигнала –

$$U_{вх} = 2U_{ном},$$

где  $U_{ном}$  – напряжение входного сигнала, соответствующее номинальной (паспортной) чувствительности.

Регулятор ширины полосы – в положение УП (узкая полоса).

АПЧ – выключена.

Регулятор тембра – в среднем положении.

Регулятор громкости – в положении, соответствующем максимальной выходной мощности. После первой настройки ГСС-АМ на приёмник, уменьшая усиление, регулятор громкости установить в положение, соответствующее нормальной выходной.

**Проведение измерений.** Указатель частоты настройки приёмника поочередно устанавливать в крайнее положение шкалы каждого диапазона и поддиапазона частот. Изменяя частоту ГСС-АМ, настроить генератор на приёмник по максимуму напряжения на выходе (на акустической системе или на эквиваленте нагрузки). Частота настройки генератора, определённая частотомером, будет соответствовать частоте границ диапазона. При настройке генератора на приёмник выключением АМ или прослушиванием тока 1000 Гц убедиться, что приёмник настроен на генератор, а не на внешнюю помеху.

Результаты измерения внести в таблицу, аналогичную табл. 2.1.

Таблица 2.1

Диапазон принимаемых волн

Модель РПрУ	Диапазон, поддиапазон	Граничные частоты, МГц		Граничные длины волн, м	
		номинальные	реальные	номинальные	реальные
	ДВ СВ КВ/1 КВ/2 КВ/3				

### 2.2.3. Измерение погрешности градуировки шкалы

Схема подключения приборов и условия измерения те же, что и в п. 2.2.1.

Частоты измерения (в начале, середине и конце каждого диапазона) выбрать так, чтобы положение указателя настройки приемника совпало с градуировочной риской на шкале.

**Проведение измерений.** Частотомером измерить частоту генератора, совпадающую с частотой настройки приемника. Результатом измерения является разность между значением частоты генератора и показанием на шкале приёмника.

Результаты измерения занести в таблицу, аналогичную табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Погрешность градуировки шкалы**

Модель	Диапазон, поддиапазон	Частота по шкале, кГц	Частота генераторов, кГц	Погрешность, кГц
	ДВ			
	СВ			
	КВ 1			
	КВ 2			

### 2.2.4. Измерение лёгкости настройки

Схема подключения приборов и условия измерения те же, что и в п. 2.2.1.

**Проведение измерений.** Настроить РПрУ на одну из частот генератора согласно табл. 2.3. Отметить положение какой-либо точки на ручке настройки приёмника. Затем повернуть ручку настройки приёмника так, чтобы отмеченная точка переместилась на 10 мм, и подстроить генератор на новую частоту приёмника, отмечая её в табл. 2.3. Измере-

ния повторить, поворачивая ручку приёмника на 10 мм относительно первоначального положения в другую сторону.

Результатом измерения является отношение 20 мм к разнице частот двух крайних настроек, выраженное в миллиметрах на килогерц.

Таблица 2.3

**Лёгкость настройки**

Частота настройки первоначальная, кГц	Частота настройки, соответствующая повороту ручки направо на 10 мм, кГц	Частота настройки, соответствующая повороту ручки налево на 10 мм, кГц	Лёгкость настройки, мм/кГц
1000,0			
7100,0			

**2.2.5. Измерение лёгкости считывания со шкалы**

Схема подключения приборов и условия измерения те же, что и в п. 2.2.1.

**Проведение измерений.** Настроить РПрУ точно на частоты, указанные в табл. 2.4. Измерить лёгкость считывания со шкалы, замечая положение стрелки на шкале приёмника. Затем перемещать её в обе стороны от первоначального положения на 10 мм. В обоих случаях определить точное значение частоты входного сигнала, соответствующее настройке приёмника.

Результаты измерения занести в табл. 2.4. Результатом измерения будет отношение величины 20 мм к разнице частот между двумя настройками в миллиметрах на килогерц.

Таблица 2.4

**Лёгкость считывания со шкалы**

Частота настройки первоначальная, кГц	Частота настройки, соответствующая перемещению стрелки по шкале на 10 мм вправо, кГц	Частота настройки, соответствующая перемещению стрелки по шкале на 10 мм влево, кГц	Лёгкость считывания со шкалы, мм/кГц
1000,0			
7100,0			

## 2.2.6. Измерение люфта органов настройки

Схема подключения приборов и условия измерения те же, что и в п. 2.2.1.

**Проведение измерений.** Настроить РПрУ точно на частоты, указанные в табл. 2.5. Отметить положение какой-либо точки на ручке настройки приемника. Затем очень медленно поворачивать ручку настройки в таких пределах, чтобы частота настройки оставалась постоянной (напряжение на выходе не уменьшается).

Измерение повторить, поворачивая ручку настройки в другую сторону.

Результатом измерения является значение полного перемещения ручки настройки в указанных пределах, выраженное в миллиметрах.

Таблица 2.5

**Люфт органов настройки**

Частота настройки первоначальная, кГц	Люфт органов настройки, мм
1000,0	
7100,0	

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен включать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схему подключения приборов и вспомогательных устройств к испытываемому приёмнику,
- 4) таблицы 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 с результатами измерений,
- 5) краткие выводы о проделанной работе (соответствие реальных характеристик паспортным и качественную /субъективную/ оценку системы настройки исследуемого приёмника).

### Контрольные вопросы

1. Какие каскады РПрУ требуют регулировки, если диапазон принимаемых частот не соответствует заданному в ТУ?
2. Что понимается под диапазоном рабочих частот РПрУ?
3. Как определяется коэффициент перекрытия диапазона?
4. Какой метод настройки на частоту принимаемого сигнала больше всего соответствует действиям радиослушателя при настройке на станции?
5. Что такое диапазон действия индикатора настройки?

6. Чем отличается лёгкость настройки от лёгкости считывания показаний со шкалы? В каких единицах они измеряются?

7. Что такое люфт органов настройки и в каких единицах он измеряется?

### 2.3. Чувствительность

*Чувствительность* – это мера способности РПрУ принимать слабые сигналы и воспроизводить сообщение с приемлемым качеством. Различают чувствительность радиоприемника по напряжённости электромагнитного поля сигнала и величине ЭДС или мощности сигнала на входе приёмника. Связь между этими характеристиками может быть определена по формуле:

$$U_a = E \cdot h_{\text{д}}, \quad (2.1)$$

где  $U_a$  – ЭДС сигнала, наведенная в приемной антенне, В;

$E$  – напряженность поля сигнала, В/м;

$h_{\text{д}}$  – действующая высота приёмной антенны, м.

Количественно чувствительность определяется минимальным уровнем нормально модулированного сигнала в антенне или напряжённостью поля этого сигнала, обеспечивающего при некоторых условиях заданную выходную мощность.

При малом коэффициенте усиления РПрУ связь между чувствительностью РПрУ при приёме АМ сигналов, выходным напряжением и коэффициентом усиления может быть представлена в следующем виде:

$$U_{a0} = U_{\text{вых н}} / K_0 \cdot m_{\text{н}}, \quad (2.2)$$

где  $K_0$  – коэффициент усиления приёмника на частоте настройки;

$U_{a0}$  – чувствительность (ЭДС сигнала в приемной антенне, обеспечивающая нормальную выходную мощность при точной настройке приёмника на частоту сигнала);

$U_{\text{вых н}}$  – выходное напряжение, соответствующее нормальной выходной мощности;

$m_{\text{н}} = 0,3$  – нормальный коэффициент модуляции.

Из приведённого соотношения следует, что чувствительность РПрУ улучшается с увеличением  $K_0$ , так как РПрУ обеспечивает заданное нормальное напряжение при меньшей ЭДС в антенне. Чувствительность РПрУ в этих условиях ограничена усилением. Таким образом, *чувствительность РПрУ, ограниченная усилением*, определяется минимальным уровнем радиосигнала на его входе, необходимым для получения заданного уровня сигнала на его выходе.

В современных РПрУ, как правило, имеется избыточное усиление, поэтому нормальное напряжение на выходе может появиться за счёт

шума антенны и шума элементов РПрУ – усилительных приборов, колебательных контуров и резисторов. В этом случае чувствительность ограничивается шумами, так как при увеличении усиления приёмника будет увеличиваться как выходное напряжение полезного сигнала, так и шумовое.

Для удовлетворительного приёма радиосигнала необходимо, чтобы его напряжение на выходе в определенное число раз превышало напряжение шумов, т.е. чтобы отношение сигнал/шум на выходе радиоприёмника было не меньше некоторой заданной величины

$$\gamma_{\text{пр}} \geq \frac{U_{\text{вых с}}}{U_{\text{вых ш}}}, \quad (2.3)$$

где  $U_{\text{вых с}}$  – напряжение сигнала на выходе приемника;

$U_{\text{вых ш}}$  – напряжение шума на выходе приемника.

Таким образом, чувствительность РПрУ, ограниченная шумами, – это чувствительность РПрУ, определяемая минимальным уровнем радиосигнала на его входе при заданном отношении уровней полезного сигнала и шума и заданном уровне полезного сигнала на выходе РПрУ.

В тракте АМ радиовещательных приёмников требуемое отношение сигнал/шум должно быть не менее 20 дБ (10 раз), в тракте ЧМ при приеме в монорежиме не менее 26 дБ (20 раз), в тракте ЧМ в стереорежиме не менее 50 дБ. В общем случае требуемое отношение сигнал/шум указывается в нормативно-технической документации (НТД) на радиоприемное устройство.

Часто используется термин «пороговая чувствительность». Это чувствительность радиоприёмника, определяемая минимальным уровнем радиосигнала на его входе при равных уровнях полезного сигнала и шума на выходе радиоприёмника.

Методика измерения реальной чувствительности совпадает с методикой измерения чувствительности, ограниченной шумами, согласно действующему «ГОСТ 5651-89. Аппаратура радиоприёмная бытовая. Общие технические условия».

Для определения чувствительности, ограниченной шумами, необходимо установить, как влияет коэффициент усиления приемника на уровень шумов на выходе.

Представим шумы приёмного устройства в виде двух источников: шума антенны –  $U_{\text{ш а}}$  и шума приёмника –  $U_{\text{ш пр}}$  (рис. 2.1).

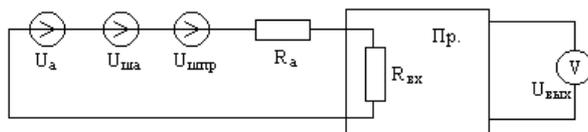


Рис. 2.2. Шумовая эквивалентная схема приёмного устройства

ЭДС шума реальной антенны можно рассчитать по формуле Найквиста:

$$U_{\text{ша}}^2 = 4kT_a R_a \Delta f_{\text{эф}}, \quad (2.4)$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/град – постоянная Больцмана;

$T_a$  – шумовая температура антенны;

$R_a$  – сопротивление излучения антенны;

$\Delta f_{\text{эф}} = 1,1 \Delta f_{0,707}$  – эффективная (шумовая) полоса пропускания тракта приёмника.

Шумы РПрУ, перечисленные к его входу, можно представить в виде источника ЭДС  $U_{\text{ш пр}}$ . Эту ЭДС также можно рассчитать по формуле Найквиста как возникшую в эквиваленте антенны  $R_a$ :

$$U_{\text{ш пр}}^2 = 4kT_{\text{пр}} R_a \Delta f_{\text{эф}}, \quad (2.5)$$

где  $T_{\text{пр}}$  – шумовая температура приемника.

Квадрат суммарной ЭДС шума:

$$U_{\text{ш } \Sigma}^2 = U_{\text{ш пр}}^2 + U_{\text{ша}}^2 = 4kT(T_a + T_{\text{пр}})R_a \Delta f_{\text{эф}}. \quad (2.6)$$

При заданном коэффициенте усиления приемника  $K_0$  шумовое напряжение на выходе РПрУ:

$$U_{\text{ш вых}} = K_0 U_{\text{ш } \Sigma}. \quad (2.7)$$

При амплитудной модуляции выходное напряжение сигнала:

$$U_{\text{с вых}} = K_0 m_n U_{\text{а0}}. \quad (2.8)$$

При заданном отношении сигнал/шум на выходе в эквиваленте антенны необходимо обеспечить превышение сигнала над шумами:

$$U_{\text{а0}} \geq \gamma_{\text{пр}} U_{\text{ш } \Sigma} = \gamma_{\text{пр}} \sqrt{U_{\text{ша}}^2 + U_{\text{ш пр}}^2}. \quad (2.9)$$

При амплитудной модуляции:

$$U_{\text{а0}} \geq \gamma_{\text{пр}} U_{\text{ш } \Sigma} / m_n = \gamma_{\text{пр}} \sqrt{U_{\text{ша}}^2 + U_{\text{ш пр}}^2} / m_n. \quad (2.10)$$

Таким образом, чувствительность РПрУ, ограниченная шумами, определяется требуемым отношением сигнал/шум  $\gamma_{\text{пр}}$  и суммарной ЭДС шума антенны и РПрУ.

Удобной характеристикой РПрУ, позволяющей определить его совершенство с точки зрения приближения чувствительности к идеальной, т.е. ограниченной помехами внешнего происхождения, является коэффициент шума.

*Коэффициентом шума* называют отношение уровня шума, измеренного на входе детектора или выходе линейной части РПрУ при тем-

пературе источника сигнала 293 К, к мощности шума, которая была бы на соответствующем выходе, если бы источник сигнала был единственным источником шума:

$$K_{ш} = P_{ш\Sigma} / P_{ша} = U_{ш\Sigma}^2 / U_{ша}^2 . \quad (2.11)$$

С учётом (2.6) при  $T_a = T_0$ , где  $T_0 = 293$  К,  $K_{ш} = 1 + T_{пр} / T_0$ .

Величина  $T_{пр} / T_0$  называется относительной шумовой температурой РПрУ, т.е. *относительная шумовая температура РПрУ* – это величина, равная коэффициенту шума, уменьшенному на единицу.

Идеальное приёмное устройство должно иметь коэффициент шума, равный единице. Реальное приёмное устройство имеет коэффициент шума больше единицы и тем больше, чем больше шумовая температура приёмника. Если известен или рассчитан общий коэффициент шума, то шумовую температуру приёмника можно определить по следующей формуле:

$$T_p = T_0 (K_{ш} - 1) . \quad (2.12)$$

Общий коэффициент шума приёмного устройства зависит от параметров его отдельных звеньев. Рассмотрим обобщенную схему приёмного тракта, состоящего из n структурных элементов (рис. 2.3).

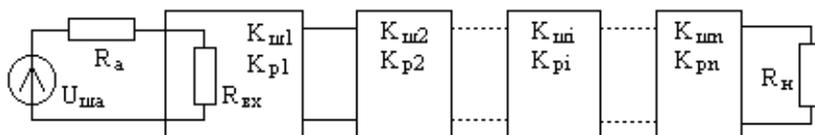


Рис. 2.3. Обобщенная структурная схема приёмного тракта

Предположим, что каждый из этих элементов имеет известный коэффициент усиления мощности  $K_{pi}$  и коэффициент шума  $K_{ши}$ . Мощность шума генератора сигнала на выходе устройства:

$$P_{швх} = P_{швх} K_{п1} K_{п2} \dots K_{пn} = P_{швх} K_{по} , \quad (2.13)$$

где  $K_{по} = \prod_{i=1}^n K_{pi}$  – общий коэффициент усиления мощности;

$P_{швх}$  – мощность шума, поступающая на вход первого каскада.

Мощность шума, поступающая на вход первого каскада:

$$P_{швх} = P_{шmax} q_{вх} , \quad (2.14)$$

где  $P_{шmax} = U_{ша}^2 / 4R_a = kT_0 \Delta f_{эф}$  – максимальная мощность шума, отдаваемая генератором;

$q_{вх} = 4R_{вх} R_a (R_{вх} + R_a)^{-2}$  – коэффициент согласования входа РПрУ с генератором сигнала – антенной.

Таким образом,

$$P_{шг} = P_{ш} q_{вх} K_{po} . \quad (2.15)$$

Собственную мощность шума каждого из блоков, перечисленную ко входу блока, можно определить, пользуясь соотношением:

$$P_{ши} = K_{ши} P_{швxi} . \quad (2.16)$$

Учитывая, что

$$P_{ши} = P_{швxi} + P_{шсобi} ,$$

собственная мощность шума, пересчитанная ко входу блока,

$$P_{шсобi} = (K_{ши} - 1) P_{швxi} . \quad (2.17)$$

Для любого элемента структурной схемы (рис. 2.2):

$$P_{швxi} = P_{шmax} q_i , \quad (2.18)$$

где  $q_i$  – коэффициент согласования последующего каскада с предыдущим. Мощность шума на выходе определяется формулой:

$$P_{швыxi} = q_i P_{шmax} \frac{K_{po}}{K_{p1} K_{p2} \dots K_{p(i-1)}} . \quad (2.19)$$

Общая шумовая мощность на выходе:

$$P_{ш\Sigma} = P_{шmax} q_{вх} K_{po} + P_{шmax} q_{вх} K_{po} (K_{ш} - 1) + \dots . \quad (2.20)$$

Разделив (2.20) на (2.15), получим

$$K_{ш} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2} - 1}{K_{p1}} \cdot \frac{q_2}{q_{вх}} + \frac{K_{ш3} - 1}{K_{p1} K_{p2}} \cdot \frac{q_3}{q_{вх}} + L . \quad (2.21)$$

На основании (2.21) можно сделать следующие выводы:

1. При больших коэффициентах усиления мощности первых каскадов общий коэффициент шума практически не зависит от коэффициентов.

2. При большом коэффициенте усиления мощности первого звена минимальный общий коэффициент шума обеспечивается при минимальном коэффициенте шума первого звена.

## 2.4. Исследование характеристик чувствительности приёмников

**Цель работы:** изучение аппаратуры, условий и методов измерения чувствительности радиовещательных приёмников. Определение взаимосвязей между параметрами функциональных узлов приемника и характеристиками чувствительности.

### 2.4.1. Измерение чувствительности по напряжению со входа внешней антенны в диапазонах ДВ, СВ, КВ

Подключить измерительные приборы к исследуемому приёмнику согласно схеме (рис. 2.4).

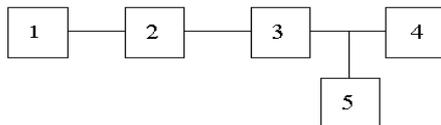


Рис. 2.4. Схема подключения приборов для измерения чувствительности по напряжению со входа для внешней антенны:

- 1 – генератор сигналов измерительный высокочастотный с амплитудной модуляцией; 2 – эквивалент антенны; 3 – радиоприёмник;
- 4 – эквивалент нагрузки; 5 – вольтметр электронный переменного тока

Чувствительность радиовещательных приемников измерять на частотах, указанных в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Частоты, рекомендованные для измерения**

Диапазон	ДВ	СВ	КВ			
			49 м	41 м	31 м	25 м
Частоты, МГц	0,160 0,200 0,250	0,560 1,000 1,400	6,10	7,2	9,6	11,8

Измерения производить в следующей последовательности:

- регулятор громкости установить в положение максимального усиления;
- регуляторы тембра установить в положения, обеспечивающие получение наиболее равномерной частотной характеристики;
- регулятор ширины полосы пропускания (при его наличии) в положение ШП (широкая полоса);
- подать на вход РПрУ через эквивалент антенны сигнал, модулированный частотой 1000 Гц, с глубиной модуляции 30% и уровнем, равным номинальной (паспортной) чувствительности РПрУ в данном диапазоне;
- настроить РПрУ на частоту подаваемого сигнала по максимальному напряжению на низкочастотном выходе РПрУ;

– аттенуатором генератора установить уровень выходного напряжения РПрУ, равный  $U_{\text{вых ст}}$  (если иное не указано в НТД на РПрУ). Величину этого напряжения определить по формуле:

$$U_{\text{вых ст}} = \sqrt{P_{\text{вых ст}} R_{\text{н}}}, \quad (2.22)$$

где  $P_{\text{вых ст}}$  – стандартная выходная мощность;

$R_{\text{н}}$  – модуль полного электрического сопротивления нагрузки (акустической системы);

$P_{\text{вых ст}} = 0,05$  Вт для приемников с  $P_{\text{ном}} > 150$  мВт;

$P_{\text{вых ст}} = 0,005$  Вт для приемников с  $P_{\text{ном}} \leq 150$  мВт.

Значение высокочастотного сигнала, передаваемого на вход РПрУ (показание аттенуатора генератора), соответствует в данном случае чувствительности РПрУ, ограниченной усилением. Результат измерения занести в табл. 2.7.

Для измерения чувствительности, ограниченной шумами, выключить модуляцию высокочастотного сигнала.

Если при этом уровень шума (напряжения на низкочастотном выходе радиоприемника) не менее чем на 20 дБ (в 10 раз) меньше напряжения модуляции, то измерение на данной частоте высокочастотного сигнала можно считать законченным. Чувствительность, ограниченная шумами, равна в данном случае чувствительности, ограниченной усилением. Результат измерения занести в табл. 2.7.

Таблица 2.7

### Результаты измерения чувствительности радиовещательных приёмников

Модель приёмника	$U_{\text{вых ст}}$	Диапазон	Частота	Номинальная (паспортная) чувствительность, ограниченная шумами	Чувствительность, ограниченная усилением	Чувствительность, ограниченная шумами

Если при выключенной модуляции высокочастотного сигнала отношение сигнал/шум менее 20 дБ, то регулятором громкости устанавливают на низкочастотном выходе радиоприемника уровень шума на 20 дБ меньше  $U_{\text{вых ст}}$ . Затем включают модуляцию полезного сигнала и аттенуатором генератора устанавливают уровень выходного напряжения радиоприемника, равный  $U_{\text{вых ст}}$ . Повторяя эти операции, изменением уровня входного сигнала и регулятором громкости добиваются одно-

временного выполнения двух условий: уровень выходного напряжения сигнала должен соответствовать требуемому значению; отношение сигнал/шум должно быть равно заданному. Значение высокочастотного сигнала, подаваемого на вход радиоприёмника (показание аттенюатора генератора), соответствует в данном случае чувствительности приемника, ограниченной шумами. Результат измерения занести в табл. 2.7.

Измерить чувствительность, ограниченную усилением и ограниченную шумами, на частотах, приведённых в табл. 2.1 для моделей приёмников, указанных преподавателем.

### **Содержание отчёта**

Отчёт по лабораторной работе выполняется и представляется к защите каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схему подключения приборов для снятия характеристик чувствительности,
- 4) табл. 2.2 с результатами измерений,
- 5) графики зависимости чувствительности от частоты сигнала в СВ и КВ диапазонах,
- 6) краткие выводы о проделанной работе (соответствуют ли измеренные значения чувствительности паспортным).

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое чувствительность РПрУ?
2. В каких единицах оценивается чувствительность РПрУ при работе на внутреннюю магнитную антенну?
3. Что такое чувствительность, ограниченная усилением?
4. Что такое чувствительность, ограниченная шумами?
5. Что такое коэффициент шума РПрУ?
6. Какие параметры модуляции сигнала приняты при измерении чувствительности?
7. Что такое шумовая температура РПрУ?
8. Какими каскадами приёмника определяется его чувствительность?
9. Что такое генератор стандартного электромагнитного поля и в каких случаях требуется его применение?

## **2.5. Избирательность**

*Избирательность* (селективность) РПрУ – это параметр или совокупность параметров, характеризующих способность РПрУ выделять полезный сигнал из суммы всех сигналов и помех, наводимых в прием-

ной антенне, т.е. ослаблять сигналы с частотой, отличной от частоты наводки приемника.

Параметры избирательности можно разделить на три группы:

- 1) параметры, обусловленные неидеальностью селективных цепей в тракте промежуточной частоты;
- 2) параметры, обусловленные взаимодействием сильных помех между собой или с принимаемым сигналом;
- 3) параметры, обусловленные супергетеродинным способом приёма.

К первой группе относятся такие параметры, как избирательность по соседнему каналу, крутизна скатов резонансной кривой и полоса пропускаемых частот.

В первом приближении эти параметры оцениваются по кривой селективности. Она представляет собой зависимость ЭДС сигнала в антенне  $E_a$ , необходимой для создания на выходе приёмника стандартной (испытательной) мощности, от расстройки  $\Delta f$  между несущей частотой сигнала  $f_c$  и частотой настройки приёмника  $f_0$ :

$$\Delta f = f_c - f_0. \quad (2.23)$$

Для обеспечения сравнительной оценки избирательности по оси абсцисс обычно откладывают отношение  $E_a / E_{a0} = \sigma$ , называемое ослаблением. Эта величина показывает, во сколько раз ослабляется сигнал с частотой, отличной от частоты настройки приемника по отношению к сигналу, частота которого равна частоте настройки приемника  $f_0$ . Частотное ослабление задается в логарифмических единицах-децибелах ( $\sigma \text{ дБ} = 20 \lg E_a / E_{a0}$ ). Поскольку в данном случае избирательность оценивается по одному сигналу, то её принято называть односигнальной,

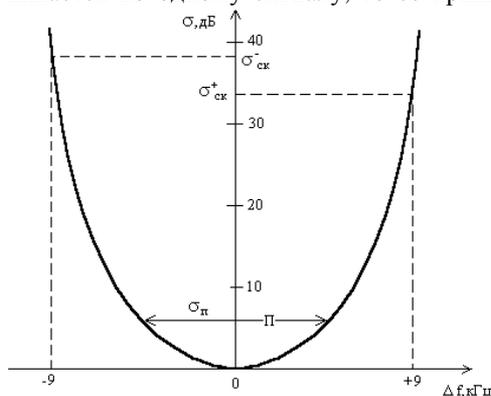


Рис. 2.5. Кривая односигнальной избирательности

а метод её измерения – односигнальным методом. Примерный вид кривой односигнальной избирательности изображён на рис. 2.5.

Ширину кривой избирательности на уровне  $\sigma_n$  условились называть *полосой пропускания* РПрУ П.

Величину  $\sigma_n$  определяют частотные искажения модулирующей функции (звуковой про-

граммы) на верхних частотах модуляции, а полоса пропускания П – диапазон воспроизводимых звуковых частот:

$$\Pi) 2F_{\text{МВ}} , \quad (2.24)$$

где  $F_{\text{МВ}}$  – верхняя, воспроизводимая на выходе РПрУ звуковая частота.

В диапазонах ДВ и СВ несущие частоты радиовещательных станций распределены с шагом 9 кГц, а в диапазоне КВ-5 кГц. Селективность по соседнему каналу поэтому измеряют в диапазонах ДВ, СВ при расстройках  $\pm 9$  кГц в диапазоне КВ  $\pm 5$  кГц. Дополнительно проводят измерения в диапазонах ДВ и СВ при расстройках  $\pm 18$  кГц.

Реальный РПрУ является нелинейной системой и для учёта совместного действия сигнала и помех к нему неприменим принцип суперпозиции, т.е. действие помехи зависит от уровня полезного сигнала. Слушателю важно хорошее подавление помехи от соседней станции не в отсутствие полезного сигнала, а тогда, когда соседняя станция мешает приёму полезного сигнала. Для оценки избирательности РПрУ в реальных условиях вводится понятие двухсигнальной избирательности. Она учитывает одновременное действие полезного и мешающего сигналов, имеющих различные частоты.

*Зеркальный канал* является частным случаем дополнительных каналов приёма, существование которых вызвано супергетеродинным принципом приема. Частоты дополнительных каналов приема можно определить из следующего уравнения:

$$f_{\text{доп}} = m/n \cdot f_{\Gamma} \pm 1/n \cdot f_{\text{пр}} , \quad (2.25)$$

где  $f_{\Gamma}$  – частота гетеродина;

$f_{\text{пр}}$  – промежуточная частота;

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$ ;

$n = \pm 1, 2, 3, \dots$

Наибольшие помехи проникают по дополнительным каналам при  $m = n = 1$  (зеркальная помеха). При  $f_{\Gamma}$  больше частоты настройки приемника  $f_0$ :

$$f_{\text{зк}} = f_{\Gamma} + f_{\text{пр}} . \quad (2.26)$$

Учитывая, что

$$f_{\Gamma} = f_0 + f_{\text{пр}} ,$$

$$f_{\text{зк}} = f_0 + 2f_{\text{пр}} . \quad (2.27)$$

При  $m = n = -2$

$$f_{\text{доп}} = f_{\Gamma} - 1/2f_{\text{пр}} ; \quad (2.28)$$

$$f_{\text{доп}} = f_{\Gamma} + 1/2f_{\text{пр}} . \quad (2.29)$$

Частоты этих каналов находятся близко от частоты полезного сигнала и их ослабление определяется резонансными свойствами избирательных цепей до преобразователя частоты.

Если частота входного сигнала равна промежуточной частоте ( $m = 0, n = 1$ ), то преобразователь частоты будет работать в режиме усиления, ослабление помехи с частотой  $f_{\text{доп}} = f_{\text{пр}}$  также будет определяться избирательностью входных цепей и УВЧ.

## 2.6. Исследование характеристик избирательности приёмников по тракту приема АМ сигналов

**Цель работы:** изучение аппаратуры и методов измерения избирательности радиовещательных приемников по каналу приема АМ сигнала.

### 2.6.1. Описание лабораторного стенда

Структурная схема включения приборов при измерении избирательности приведена на рис. 2.6.

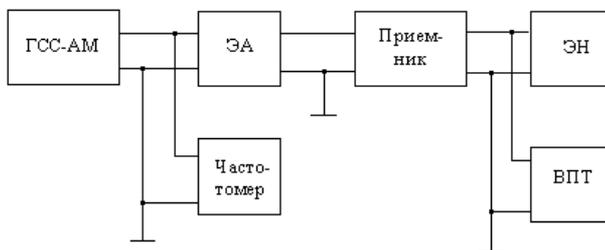


Рис. 2.6. Схема подключения приборов для измерения односигнальной избирательности тракта АМ сигналов: ГСС-АМ – генератор сигналов синусоидальных с амплитудной модуляцией; ЭА – эквивалент антенны; ЭН – эквивалент нагрузки; ВПТ – вольтметр переменного тока

### 2.6.2. Снятие характеристик избирательности по соседнему каналу односигнальным методом

**Порядок измерений.** Подключить приборы к исследуемому приемнику в соответствии со схемой (рис. 2.6). Подать на вход исследуемого приемника сигнал амплитудой, соответствующей паспортной чувствительности приёмника. Частота сигналов  $f_0 = 160$  кГц и  $270$  кГц, глубина модуляции (коэффициент модуляции)  $m_{\text{АМ}} = 30\%$  (0,3), частота модуляции  $F_m = 1000$  Гц.

Регулятор громкости приёмника вывести в положение максимального усиления. Регулятор полосы пропускания – в положение «УП». Регуляторы тембра – в среднее положение.

Ручкой настройки приёмника по максимуму выходного напряжения на милливольтметре настроиться на частоту генератора. Регулятором громкости приёмника установить на выходе напряжение  $U_{ст} = 0,45В$ , что соответствует стандартной (испытательной) мощности приёмника  $P_{ст} = 50мВт$ .

$$U_{ст} = \sqrt{P_{ст} \cdot R_n}, \quad (2.30)$$

где  $R_n = 40м$  – сопротивление эквивалента нагрузки (громкоговорителя).

Не изменяя частоты настройки приемника  $f_0$ , расстраивать генератор согласно табл. 2.8. Величину выходного напряжения генератора (т.е. напряжение сигнала) увеличивать при этом до получения на выходе приемника  $U_{ст}$  на каждом шаге расстройки. Результаты измерений занести в табл. 2.8. По формулам п. 2.5 определить затухание  $\sigma$  (дБ).

Таблица 2.8

**Параметры избирательности по соседнему каналу**

Модель	$f_c$ ,	142	151	154	156	158	160	162	164	166	178
	кГц	252	261	264	266	268	270	272	274	279	288
	$\Delta f$ ,	-18	-9	-6	-4	-2	0	4	6	9	18
	кГц										
	$U_{вх}^*$						200				
	мкВ						200				
	$\sigma^*$						1				
	дБ						1				
	$\sigma^*$						0				
	дБ						0				
	$U_{вх}^*$						350				
	раз						350				
	$\sigma^*$						1				
	раз						1				
	$\sigma^*$						0				
	дБ						0				

\* – числитель для  $f_0 = 160$  кГц, знаменатель для  $f_0 = 270$  кГц. Соответствует чувствительности приёмника.

Не изменяя частоты настройки приёмника, установить уровень сигнала с ГСС-АМ на 3 дБ (в 1,4 раза) больше паспортной чувствительности. Расстраивать ГСС-АМ в обе стороны от точной настройки приемника до тех пор, пока напряжение на его выходе не будет равно  $U_{ст}$ .

Разность частот ГСС-АМ при увеличении и уменьшении его частот будет шириной полосы пропускания на уровне 3 дБ:

$$\Pi = f'_{0,707} - f_{0,707}, \quad (2.31)$$

где  $f'_{0,707}$  – верхнее значение частоты ГСС-АМ;

$f_{0,707}$  – нижнее значение частоты ГСС-АМ.

Определить по формуле 2.30 ширину полосы пропускания исследуемых приёмников на частотах 160 кГц и 270 кГц.

### 2.6.3. Снятие характеристик избирательности по зеркальному и дополнительным каналам приёма односигнальным методом

**Порядок измерений.** Не изменяя частоты настройки приёмника, перестроить ГСС-АМ на частоту помехи, согласно табл. 2.9.

Таблица 2.9

#### Параметры избирательности, обусловленные супергетеродинным способом приёма

Параметры для определения избирательности		Модель № 1				Модель № 2			
		Дополнит. каналы приёма				Дополнит. каналы приёма			
		$f_0 + \frac{1}{2} f_{пр}$	$f_{пр}$	$f_0 + \frac{3}{2} f_{пр}$	$f_0 + 2f_{пр}$	$f_0 + \frac{1}{2} f_{пр}$	$f_{пр}$	$f_0 + \frac{3}{2} f_{пр}$	$f_0 + 2f_{пр}$
Частота, кГц	для $f_{01}$ ,								
	для $f_{02}$ ,								
	для $f_{03}$ ,								
$U_{вх}$ , мкВ	для $f_{01}$ ,								
	для $f_{02}$ ,								
	для $f_{03}$ ,								
$\sigma$ , дБ	для $f_{01}$ ,								
	для $f_{02}$ ,								
	для $f_{03}$ ,								

$f_0$  – задаётся преподавателем

Уровень сигнала с ГСС-АМ увеличивать до максимально возможного значения (0,5 В). Если при этом милливольтметр не зафиксирует наличия сигнала на выходе приёмника или он мал, то медленно подстраивать ГСС-АМ в области меньших и больших частот до получения максимального напряжения на милливольтметре.

После настройки на каждый дополнительный канал приёма изменять уровень входного сигнала до получения на выходе приёмника напряжения, соответствующего стандартной выходной мощности, отмечая при этом частоту и уровень входного сигнала (выходное напряжение с ГСС-АМ) соответствующего дополнительного канала приёма.

Результаты измерений занести в табл. 2.9. По формулам п. 2.2 определить  $\sigma$  (дБ).

### **Содержание отчёта**

Отчет по лабораторной работе выполняется и представляется к защите каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схемы подключения приборов (рис. 2.9),
- 4) таблицы 2.8, 2.9 с результатами измерений,
- 5) данные о полосе пропускания исследуемых приемников на уровне 3 дБ на двух несущих частотах (160 кГц и 270 кГц), определенной по формуле (2.31),
- 6) графики зависимости  $\sigma$  (дБ) =  $f(\Delta f)$ , построенные по данным табл. 2.9 (аналогичные рис. 2.5),
- 7) краткие выводы о проделанной работе (совпадение результатов измерений с паспортными данными приёмника).

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое избирательность радиоприёмника?
2. В чем заключается отличие односигнальной избирательности от двухсигнальной?
3. Дайте определение термину «полоса пропускания» и объясните методику ее измерения.
4. Какими каскадами приёмника определяется ослабление помехи по соседнему каналу? По зеркальному? Помехи с частотой, равной промежуточной?
5. Объясните возможные причины отклонения характеристик избирательности приемника от номинальных (паспортных).
6. Объясните причины изменения характеристик избирательности при изменении частоты настройки приёмника.

## 2.7. Изучение характеристик избирательности приёмников по каналу приёма ЧМ сигналов

**Цель работы:** изучение аппаратуры и методов измерения избирательности бытовой радиовещательной аппаратуры по каналу приёма ЧМ сигналов.

К параметрам, обусловленным неидеальностью избирательных цепей в тракте промежуточной частоты, относят такие параметры, как избирательность по соседнему каналу, крутизна скатов резонансной кривой и полоса пропускания по высокой частоте.

Для системы вещания в диапазоне УКВ, принятой в Российской Федерации, частота ближайшего соседнего канала отстоит от частоты полезного сигнала на 120 кГц, при этом оба эти сигнала имеют одну и ту же синфазную модуляцию. Ближайший соседний канал с другой модуляцией отстоит от частоты полезного сигнала на 180 кГц.

При измерениях односигнальным методом избирательность РПрУ можно оценить по кривой избирательности. Она представляет собой зависимость ЭДС сигнала в антенне  $E_a$ , необходимой для создания на выходе РПрУ стандартной (измерительной) мощности, от расстройки  $\Delta f$  между несущей частотой сигнала  $f_c$  и частотой настройки приёмника  $f_0$ , т.е.

$$\Delta f = f_c - f_0 . \quad (2.32)$$

Для обеспечения сравнительной оценки избирательности по оси ординат обычно откладывают отношение:

$$d = E_a / E_{a0} , \quad (2.33)$$

называемое ослаблением. Эта величина показывает, во сколько раз ослабляется полезный сигнал (или помеха по отношению к полезному сигналу) при данной расстройке. Удобнее ослабление задавать в логарифмических единицах – децибелах:

$$d \text{ (дБ)} = 20 \lg E_a / E_{a0} . \quad (2.34)$$

Примерный вид кривой односигнальной избирательности изображён на рис. 2.7.

Ширину кривой избирательности на уровне  $d = 1,41$  (3 дБ) условно называют *полосой пропускания* приёмника.

Для неискаженного приёма ЧМ сигнала теоретически требуется бесконечно широкая полоса пропускания. Но если ограничить спектр допустимым уровнем искажения принимаемого сигнала, учитывая только те его составляющие, минимальная амплитуда которых превы-

шает 1% от немодулированной несущей, то ширину спектра можно определить формулой

$$\Pi = 2F_b(1 + \beta_{\max} + \sqrt{\beta_{\max}}), \quad (2.35)$$

где  $F_b$  – верхняя, воспроизводимая на выходе приёмника, звуковая частота;

$\beta_{\max}$  – максимальное значение индекса модуляции.

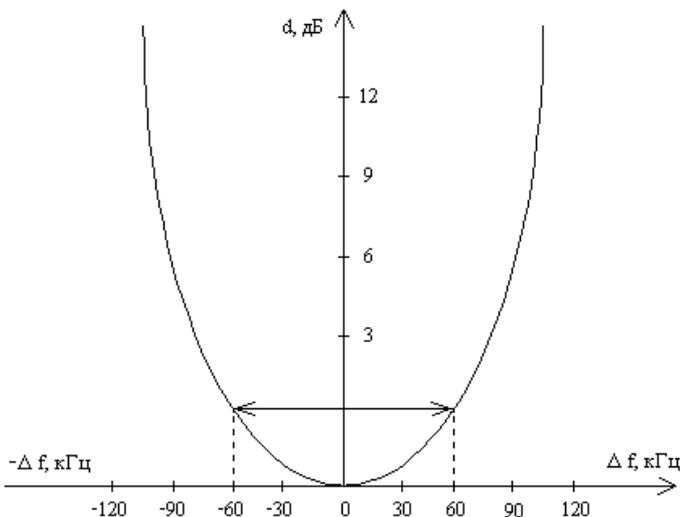


Рис. 2.7. Кривая односигнальной избирательности

Зеркальный канал является частным случаем дополнительных каналов приёма, существование которых вызвано супергетеродинным принципом приёма. Частоты дополнительных каналов приёма можно определить из следующего уравнения:

$$f_{\text{доп}} = \frac{m}{n} f_{\Gamma} \pm \frac{1}{n} f_{\text{пр}}, \quad (2.36)$$

где  $f_{\Gamma}$  – частота гетеродина;

$f_{\text{пр}}$  – промежуточная частота;

$m = \pm 0, 1, 2, \dots$ ;  $n = \pm 1, 2, 3, \dots$

Наибольшие помехи проникают по дополнительным каналам при  $m = n = 1$  (зеркальная помеха). При большей частоте настройки приёмника

$$f_{\text{зн}} = f_{\Gamma} + f_{\text{пр}}. \quad (2.37)$$

Учитывая, что

$$f_{\Gamma} = f_c + f_{np},$$

$$f_{3n} = f_0 + 2f_{np}. \quad (2.38)$$

При  $m = n = -2$

$$f_{доп} = f_{\Gamma} - 1/2f_{np}, \quad (2.39)$$

$$f_{доп} = f_0 + 1/2f_{np}. \quad (2.40)$$

Частоты этих каналов находятся близко от частоты полезного сигнала и их ослабление определяется резонансными свойствами избирательных цепей до преобразователя частоты.

### 2.7.1. Описание лабораторного стенда

Структурная схема включения приборов для измерения избирательности приведена на рис. 2.8. Вольтметр постоянного тока подключается параллельно электролитическому конденсатору дробного детектора.

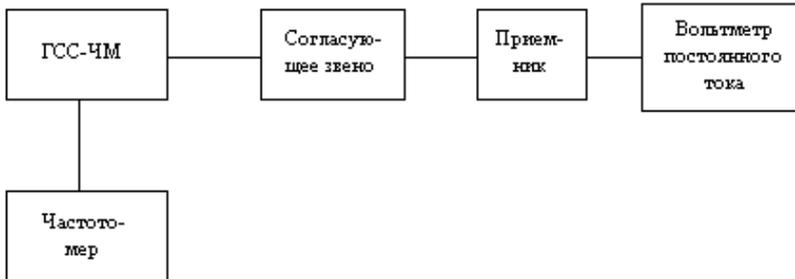


Рис. 2.8. Схема подключения приборов для измерения характеристик избирательности по тракту приёма ЧМ сигнала

**Подготовка к выполнению работы.** Получить у преподавателя инструкции по эксплуатации (технические описания) измерительных приборов, исследуемые приемники и соединительные провода.

Изучить методику работы с приборами и подключить приборы к приёмнику согласно рис. 2.8.

## 2.7.2. Снятие характеристик избирательности по соседнему каналу

**Порядок измерений.** Подать на вход приемника от ГСС-ЧМ модулированный сигнал амплитудой 1 мВ, частотой 67 МГц (система автоматической подстройки частоты должна быть **выключена**).

Настроить РПрУ на частоту сигнала генератора по максимуму напряжения на электролитическом конденсаторе дробного детектора.

Используя аттенуаторы выходного напряжения ГСС-ЧМ установить на электролитическом конденсаторе дробного детектора при минимальном уровне входного сигнала напряжение с отношением сигнал/шум не менее 10 раз. Значение выходного напряжения ГСС-ЧМ, соответствующее в данном случае входному сигналу приемника ( $E_{a0}$ ) при нулевой расстройке ( $f_c = f_0$ ;  $\Delta f = f_c - f_0 = 0$ ;  $d = 1$  (0 дБ)), занести в табл. 2.10.

Таблица 2.10

### Параметры односигнальной избирательности

Модель приёмника	d, раз	d, дБ	$f_c$ , МГц	$\Delta f$ , МГц	$E_a$ , мкВ
	200	46	67	0	
	100	40			
	20	26			
	10	20			
	2	6			
	1,4	3			
	1	0			
	1,4	3			
	2	6			
	10	20			
	20	26			
	100	40			
	200	46			

Увеличить сигнал с ГСС-ЧМ на 3 дБ (в 1,4 раза). Медленно увеличивая частоту сигнала, получить на вольтметре постоянного тока напряжение, соответствующее нулевой расстройке. Значения выходного напряжения ГСС-ЧМ ( $E_a$  приёмника) и расстройки  $\Delta f = f_c - f_0$  занести в табл. 2.10.

Медленно уменьшая частоту сигнала, получить на вольтметре постоянного тока напряжение, соответствующее нулевой расстройке. Значения выходного напряжения ГСС-ЧМ ( $E_a$  приёмника) и расстройки  $\Delta f = f_c - f_0$  занести в табл. 2.10.

Увеличивая сигнал с ГСС-ЧМ согласно табл. 2.10 по сравнению с сигналом при нулевой расстройке, аналогично предыдущему случаю определить соответствующие положительные и отрицательные расстройки частоты сигнала от частоты настройки приемника.

По данным табл. 2.10, определить крутизну скатов кривой избирательности. Усредненная крутизна скатов выражается в децибелах на килогерц и определяется по формулам:

$$S_n = 20/(f_{n2} - f_{n1}) \quad \text{и} \quad S_b = 20/(f_{b2} - f_{b1}), \quad (2.41; 2.42)$$

где  $f_{n1}$ ,  $f_{n2}$ ,  $f_{b1}$ ,  $f_{b2}$  – частоты, соответствующие расстройке генератора относительно приёмника, при которых напряжение на последнем каскаде УПЧ-ЧМ на 6 дБ для  $f_{n1}$  и  $f_{b1}$  и на 26 дБ для  $f_{n2}$  и  $f_{b2}$  меньше, чем при точной настройке ( $f_{n1}$  и  $f_{n2}$  – частоты меньше частоты настройки приёмника,  $f_{b1}$  и  $f_{b2}$  – частоты больше частоты настройки приёмника).

### 2.7.3. Снятие характеристик по дополнительным каналам приёма

**Порядок измерений.** Перестроить ГСС-ЧМ на частоту дополнительного канала приема согласно табл. 2.11.

Увеличивать уровень сигнала с ГСС-ЧМ до тех пор, пока вольтметр постоянного тока не зафиксирует наличие сигнала помехи на электролитическом конденсаторе дробного детектора. Медленно перестроить ГСС-ЧМ в области меньших и больших частот ( $\pm 200$  кГц) до получения максимального напряжения.

Если помеха не регистрируется, то в табл. 2.11 в соответствующей графе ставить прочерк.

Таблица 2.11

#### Параметры избирательности, обусловленные супергетеродинным способом приёма

Канал приёма помехи	Частота помех, МГц	$E_a$ , мкВ	d, раз	d, дБ
$f_{np}$				
$f_o + 2f_{np}$				
$f_o + 1/2f_{np}$				

Изменяя сигнал с ГСС-ЧМ, установить уровень сигнала с выхода УПЧ-ЧМ по вольтметру постоянного тока, соответствующий нулевой расстройке. Результаты измерений занести в табл. 2.11.

Величины  $d$  и  $d$  (дБ) определить по формулам (2.33) и (2.34).

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе выполняется каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схемы подключения приборов (рис. 2.8),
- 4) таблицы 2.10 и 2.11 с результатами измерений,
- 5) значения крутизны скатов кривой избирательности  $S_n$  и  $S_b$ , определённые по формулам (2.41, 2.42),
- 6) кривые избирательности приёмников по данным табл. 2.10.

### Контрольные вопросы

1. Опишите методику снятия кривой односигнальной избирательности по каналу приёма ЧМ-сигнала.
2. Как с помощью кривой избирательности можно определить полосу пропускания приёмника и крутизну скатов?
3. Почему при измерении характеристик избирательности приёмников ЧМ-сигналов измерительный прибор подключается не параллельно акустической системе или ее эквиваленту, а к выходу последнего каскада УПЧ?
4. Опишите методику определения избирательности по дополнительным каналам приёма.

## 2.8. Измерение уровня блокирования и перекрёстных помех по каналу приёма АМ сигналов

**Цель работы:** изучение аппаратуры и методов измерения параметров избирательности, обусловленных взаимодействием сильных помех между собой или с принимаемым сигналом.

К параметрам, обусловленным взаимодействием сильных помех между собой или с принимаемым сигналом, относят такие параметры, как коэффициент блокирования, величина перекрёстных искажений и степень интерференции между несколькими сигналами, в результате которой возникает новый сигнал, воспринимаемый РПУ.

Если сильный мешающий сигнал не модулирован, то его влияние сказывается на изменении коэффициента усиления, что приводит к ухудшению реальной чувствительности. Этот эффект оценивается коэффициентом блокирования.

Коэффициент блокирования определяется нелинейностью первых каскадов РПрУ, избирательностью РПрУ по соседнему каналу и построением цепей АРУ. При недостаточной избирательности или в случаях, когда детектор АРУ расположен до основных цепей селекции УПЧ, немодулированная помеха будет влиять на чувствительность не за счет нелинейности первых каскадов, а за счет действия АРУ.

Если сильный мешающий сигнал модулирован, то коэффициент усиления каскада может изменяться в соответствии с законом модуляции мешающего сигнала и, следовательно, полезный сигнал оказывается дополнительно модулированным. В этом случае говорят о *перекрестных искажениях*. Перекрестные искажения особенно заметны тогда, когда частота помехи находится в полосе пропускания избирательных цепей, стоящих до нелинейного элемента.

В последнее время появляются РПрУ с электронной коммутацией, в которых перед первым транзистором нет избирательных цепей. В таком РПрУ частоты помех, вызывающих перекрестные искажения и блокирование, могут далеко отстоять от частоты настройки, а значит, и количество помех, суммарно вызывающих эти явления, будет велико. Таким образом, для оценки РПрУ важен не только уровень перекрестной помехи, но и полоса частот, в которой это явление проявляется.

В транзисторных радиоприёмных устройствах перекрестные искажения в основном определяются нелинейностью базовой цепи транзисторов. Выбирая режим транзистора, глубину обратной связи или значения элементов компенсирующих цепей, можно свести перекрестные искажения до минимума. Однако в массовых моделях приходится учитывать и ряд других факторов, например: требование температурной стабильности, разброс параметров транзисторов, необходимость обеспечения малого коэффициента шума, малого потребления энергии, неточность настройки. Поэтому на практике, как правило, не достигаются теоретически возможные величины перекрестных искажений. Причины перекрестных искажений могут стать и варикапы, включенные в контуры входных цепей.

Перекрестные искажения пропорциональны квадрату напряжения помехи и не зависят от амплитуды полезного сигнала, если уровень полезного сигнала не превышает порога линейной работы усилительных элементов и АРУ не охватывает первых каскадов РПрУ. Однако это не всегда выполняется, поэтому более правильно измерять перекрестные искажения при слабом полезном сигнале.

Радиоприёмное устройство, тракт которого начинается с аperiodического или слабоизбирательного УВЧ, может иметь худшие перекрестные искажения, чем РПрУ без УВЧ, так как в первом случае перекрестные искажения могут возникать как в УВЧ, так и в преобразователе.

Следует заметить, что в преобразователе влияние сильной помехи, как правило, слабее, чем в УВЧ, если амплитуда помехи на входе преобразователя меньше амплитуды гетеродина и в спектре напряжения гетеродина нет составляющих вблизи от основной частоты гетеродина.

В диодных преобразователях частоты перекрестные искажения меньше, поскольку напряжение помехи, приложенное к каждому диоду, в этих схемах меньше, чем в схемах с одним нелинейным элементом, а амплитуда гетеродина может быть значительно больше.

Неоднозначным является вопрос о расстройке помехи, при которой следует измерять перекрестные искажения. Если уменьшать расстройку помехи, то помеха начнет проходить на выход не за счёт перекрёстных искажений, а за счёт неидеальной избирательности по соседнему каналу. Если при измерениях перекрестных искажений находить расстройку, где эти искажения одновременно максимальны и проявляются в явном виде (исчезают или, по крайней мере, существенно уменьшаются при снятии несущей полезного сигнала), то у различных приемников эти расстройки будут различны из-за зависимости от избирательности, что не позволит сравнить приемники различных моделей по перекрестным искажениям.

Таким образом, если во всех случаях применять одну и ту же расстройку, например  $\pm 18$  кГц, то в некоторых случаях измеряться будут не перекрестные искажения, а двухсигнальная избирательность. При значительном увеличении расстройки, например до  $+\frac{1}{2}f_{np}$ , можно выйти на помеху, обусловленную супергетеродинным способом приёма.

Поэтому, согласно ГОСТ 9783-89, измеряются переходные искажения с указанием расстройки, соответствующей их максимальному проявлению, а также полоса частот, в которой проявляется действие перекрестной помехи.

### 2.8.1. Описание лабораторного стенда

Для выполнения работы необходимы следующие приборы и устройства:

- 1) два высокочастотных генератора стандартных сигналов с АМ, (ГСС-АМ-1 и ГСС-АМ-2);
- 2) электронный частотомер (ЭЧ);
- 3) вольтметр переменного тока (ВПТ);
- 4) эквивалент антенны для подключения двух ГСС-АМ (ЭА);
- 5) испытуемое РПРУ.

Схема подключения приборов для выполнения лабораторной работы приведена на рис. 2.9.

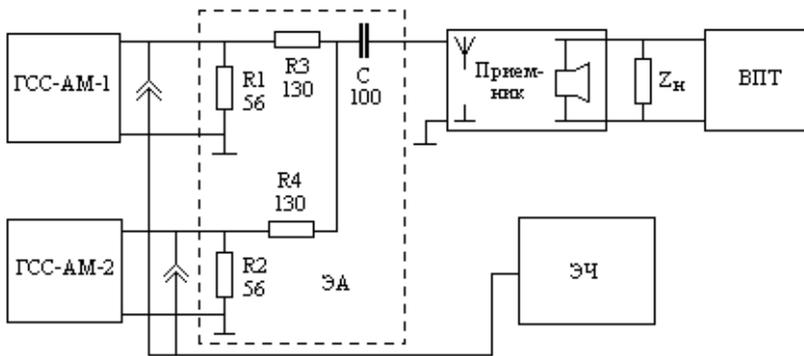


Рис. 2.9. Схема подключения приборов

Характеристики измерительных приборов должны соответствовать ГОСТ 9783-89.

## 2.8.2. Измерение уровня блокирования

### Порядок измерений:

1. Подключить приборы к исследуемому приёмнику согласно схеме (рис. 2.9).

2. Подать на вход приёмника полезный модулированный сигнал от ГСС-АМ-1 (ГСС-АМ-2 в это время должен быть выключен). Напряжение сигнала должно соответствовать реальной чувствительности приёмника (300 мкВ), модуляция внутренняя – 1000 Гц, уровень модуляции – 30%. Частоту сигнала, согласно табл. 2.12, установить равной 250 кГц.

3. Настроить РПрУ на частоту ГСС-АМ-1 по максимуму напряжения на выходе и регулятором громкости установить на выходе приёмника напряжение, соответствующее стандартной выходной мощности (0,45 В).

4. Включить ГСС-АМ-2 и подать от него на вход РПрУ немодулированную помеху, напряжением, соответствующим реальной чувствительности (300 мкВ). Частоты помехи устанавливать согласно табл. 2.12 для расстроек  $+9, \pm 18$  кГц.

5. Увеличивать уровень мешающего сигнала до тех пор, пока напряжение на выходе, достигнутое при подаче полезного сигнала, не уменьшится на 3 дБ (до 0,3 В). Результатом измерения является уровень мешающего немодулированного сигнала  $U_3$  с ГСС-АМ-2.

6. Повторить пункты 2–5 для  $f_0 = 560, 1400$  кГц согласно табл. 2.12.

## Уровень блокирования

Диапазон	$f_0$ , кГц	$\pm \Delta f$ , кГц	$f_{мс}$ , кГц	$U_3$ , мВ
ДВ	250	+9	259	
		-9	241	
		+18	268	
		-18	232	
СВ	560	+9	569	
		-9	551	
		+18	578	
		-18	542	
	1400	+9	1409	
		-9	1391	
		+18	1418	
		-18	1382	

### 2.8.3. Измерение частоты, уровня и полосы воздействия перекрёстной помехи

#### Порядок измерений:

1. Отключить ГСС-АМ-2 от входа РПрУ (от двухсигнального эквивалента антенны).

2. Подать на вход РПрУ от ГСС-АМ-1 модулированный сигнал частотой 250 кГц, напряжение сигнала установить равным удвоенному значению реальной чувствительности РПрУ (600 мкВ). Подстроить РПрУ на частоту ГСС-АМ-1 по максимуму напряжения на выходе и регулятором громкости установить на выходе РПрУ напряжение, соответствующее стандартной выходной мощности (0,45 В). Выключить модуляцию полезного сигнала.

3. Установить частоту мешающего сигнала (помехи) от ГСС-АМ-2 268 кГц ( $+\Delta f$ ), напряжение  $3 \cdot 10^5$  мкВ, внутренняя модуляция частотой 1000 Гц, уровень модуляции 30% и подключить ГСС-АМ-2 ко входу приемника (через двухсигнальный эквивалент антенны).

4. Медленно увеличивая частоту мешающего сигнала от ГСС-АМ-2, по максимуму напряжения на выходе РПрУ, найти частоту наибольшего воздействия мешающего сигнала (перекрестной помехи). Значение частоты наибольшего воздействия перекрестной помехи ( $f_{пер пом}$ ) занести в табл. 2.13.

5. Изменяя уровень напряжения мешающего сигнала с ГСС-АМ-2, установить на выходе приёмника напряжение на 20 дБ (в 10 раз) меньше напряжения, соответствующего стандартной выходной мощности. Величину напряжения с ГСС-АМ-2 (уровень перекрёстной помехи) занести в табл. 2.13.

Таблица 2.13

**Уровни перекрестной помехи**

Диапазон	$f_0$ , кГц	$\pm \Delta f$	$f_{\text{пер пом}}$ , кГц	$U_{\text{пер пом}}$ , мВ	$f'_{\text{пер пом}}$ , кГц	$f''_{\text{пер пом}}$ , кГц	$\Delta f_{\text{пер пом}}$ , кГц
ДВ	250	+ $\Delta f$					
		- $\Delta f$					
СВ	560	+ $\Delta f$					
		- $\Delta f$					
	1400	+ $\Delta f$					
		- $\Delta f$					

6. Медленно изменяя частоту ГСС-АМ-2 в обе стороны относительно  $f_{\text{пер пом}}$  до тех пор, пока напряжение на выходе РПрУ не уменьшится на 6 дБ (в 2 раза), определить нижнюю ( $f'_{\text{пер пом}}$ ) и верхнюю ( $f''_{\text{пер пом}}$ ) границы полосы воздействия перекрестной помехи. Результаты измерения занести в табл. 2.13.

Ширину полосы воздействия перекрестной помехи определить по формуле

$$\Delta f_{\text{пер пом}} = f''_{\text{пер пом}} - f'_{\text{пер пом}} \tag{2.43}$$

Значение  $\Delta f_{\text{пер пом}}$  занести в табл. 2.13.

7. Установить частоту мешающего сигнала от ГСС-АМ-2 232 кГц (- $\Delta f$ ), остальные параметры мешающего сигнала (перекрестной помехи) те же, что и в пункте 4. Медленно изменяя частоту мешающего сигнала, отыскать частоту наибольшего воздействия перекрестной помехи для отрицательной расстройки ГСС-АМ-2.

8. Повторить пункты 5, 6 настоящего раздела.

9. Определить частоту наибольшего воздействия, уровень и полосу воздействия перекрестной помехи для частот настройки приёмника  $f_0 = 560$  и  $1400$  кГц по методике пунктов 1–8 настоящего раздела. Результаты измерений занести в табл. 2.13.

## Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схему подключения приборов для измерения уровня блокирования и характеристик перекрестной помехи,
- 4) таблицы 2.12 и 2.13 с результатами измерений,
- 5) краткие выводы о проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. На какие три группы можно разделить параметры избирательности радиовещательных приёмников?
2. Как проявляется влияние мешающего немодулированного сигнала на работу радиоприёмника?
3. Какими способами можно увеличить уровень блокирования РПрУ?
4. Как проявляется действие модулированной помехи, частота которой не совпадает с основными и дополнительными каналами РПрУ?
5. Какими параметрами оценивается влияние перекрестной помехи на работу РПрУ?
6. Как можно уменьшить величину перекрестных искажений в радиовещательных приёмниках?

## 2.9. Частотные характеристики

Частотная характеристика со входа усилителя низкой частоты определяется свойствами как акустической системы, так и усилителя низкой частоты. Обычно диапазон частот усилителя низкой частоты шире диапазона частот громкоговорителя. В некоторых случаях, особенно в малогабаритных радиоприёмниках, частотная характеристика усилителя имеет подъёмы или спады, специально создаваемые для компенсации неравномерности частотной характеристики громкоговорителей.

Рассмотрим, какие элементы схемы транзисторного усилителя низкой частоты определяют его частотную характеристику. В реостатном транзисторном каскаде завал частотной характеристики в области верхних частот определяется значениями ёмкости база-эмиттер и коллекторной ёмкостью. Для расширения характеристики в области верхних частот либо уменьшают сопротивление на входе и выходе реостатного каскада, либо выбирают более высокочастотный транзистор, имеющий меньшие величины указанных ёмкостей. В области нижних частот определяющими являются величины разделительных и блокировочных конденсаторов. Чем они больше, тем шире частотная характеристика в области нижних частот.

В трансформаторном каскаде завал частотной характеристики в области верхних частот определяется индуктивностью рассеяния. Для уменьшения последней применяют секционирование обмоток или вы-

бирают магнитный материал с более высокой магнитной проницаемостью. В области низких частот ход частотной характеристики определяет значение индуктивности первичной обмотки трансформатора. Для расширения частотной характеристики необходимо увеличить индуктивность трансформатора, что связано с увеличением размеров и массы. Частично по этой причине, но, главное, в связи с широким использованием полупроводниковых ИС в подавляющем большинстве бытовой радиоаппаратуры применяются бестрансформаторные усилители.

Частотная характеристика в таких усилителях оказывается часто излишне широкой. Диапазон усиливаемых частот простирается иногда до 100 кГц и более, что приводит к нежелательным последствиям. Отрицательный эффект проявляется тогда, когда усиливаемый звуковой сигнал подвергается ограничению и образующиеся в этом случае гармоники усиливаются, излучаются и воспринимаются входными цепями приёмника, создавая эффект генерации. Иногда такой усилитель усиливает и излучает остаточное напряжение промежуточной частоты или гетеродина тракта АМ сигналов, или поднесущей частоты (пилат-тона) стереотракта. В этом случае либо наступает генерация, либо появляются нелинейные искажения, вызываемые интерференцией гармоник звуковой и поднесущей частот. Чем мощнее усилитель, тем больше опасность генерации при работе с приёмником при близком их расположении. Для борьбы с этим эффектом вводятся нормы на подавление надтональных составляющих на выходе детектора; стремятся оптимально распределить усиление в тракте, исключая возможность глубокого ограничения; предпринимают меры для уменьшения длины излучающих проводов. Так, в некоторых моделях высококачественных мощных усилителей низкой частоты применены специальные охлаждающие трубки, позволяющие пространственно разредить выходные транзисторы и их радиаторы, что уменьшает длину проводов в выходном каскаде.

В последнее время всё большее распространение получают частотные корректоры. Их задача – скомпенсировать дефекты прослушиваемой программы, громкоговорителя или помещения, где происходит прослушивание. К таким частотным корректорам, прежде всего, относятся регуляторы тембра, создающие плавные подъёмы и спады частотной характеристики.

В последнее время в схему усилителя низкой частоты иногда вводится коррекция в виде так называемого «presence-фильтра» (фильтра присутствия). Специальная цепочка осуществляет подъём частотной характеристики в области средних частот (от 1000 до 3000 Гц) на 4–6 дБ. В высококачественном приёмнике такой подъём усиливает впечатление присутствия и является дополнительной окраской звучания.

Ещё одной целью введения специальных коррекций частотной характеристики является введение в схему фильтров низкой и высокой частот, создающих резкий спад частотной характеристики. При этом обеспечивается эффективное подавление составляющих фона и шумов в

той части диапазона, где отсутствуют составляющие полезного сигнала. Оптимальной нагрузкой спада является величина 12 дБ на октаву. Фильтры такого рода могут быть переключаемыми, что позволяет выбрать ширину диапазона воспроизводимых частот в соответствии с качеством воспроизводимой программы.

Применяются и многополосные (до 5 полос) регуляторы, позволяющие сформировать желаемую частотную характеристику, создавая подъёмы или спады в любой части диапазона звуковых карт.

Для комплектования высококачественных звуковых систем частотные корректоры (в основном многополосные) выпускаются в виде самостоятельных, называемых эквалайзерами.

Основным измерением частотной характеристики является измерение при нормальном положении регуляторов тембра, при котором проверяется диапазон воспроизводимых частот либо неравномерность частотной характеристики. Все изменения частотной характеристики должны изменяться от нормального положения. Это требование исключает возможность выполнения норм по частотной характеристике при крайних положениях регуляторов тембра, не оставляя запасов на регулировку для потребителя.

Требования к нормальному положению регуляторов тембра должны устанавливаться до начала всех испытаний, исходя из характеристик громкоговорителя.

При измерениях частотных характеристик со входов корректирующих усилителей или с применением эквивалентов, специально искажающих частотную характеристику, например, эквивалента пьезокерамического звукоснимателя, требуемая частотная характеристика должна быть задана в соответствующем виде, отличном от линейного.

## **2.10. Измерение и анализ частотных характеристик приёмников**

**Цель работы:** изучение методики и аппаратуры для измерения частотных характеристик радиоприёмных устройств со входа усилителя низкой частоты и с антенного входа радиоприёмника, определение зависимостей между частотными характеристиками отдельных каскадов и кривой верности.

Частотную характеристику приёмника по всему тракту называют *кривой верности*, или *верностью воспроизведения*. Кривая верности в диапазоне УКВ является основным параметром, определяющим уровень линейных искажений современного высококачественного приёмника, поскольку именно диапазон УКВ обеспечивает высокое качество приёма музыкальных передач. Обычно ширина диапазона воспроизводимых частот в диапазоне УКВ в области высоких частот определяется необходимостью давления составляющих пилот-тона или поднесущей час-

тоты. Практически дополнительные линейные искажения закона модуляции могут возникнуть только в частотном детекторе. Появляются они тогда, когда с увеличением звуковой частоты изменяются фазовые сдвиги между напряжениями на обмотках фазовращающего трансформатора, т.е. происходит его рассимметрирование. Завал верхних частот может объясняться и неправильным выбором элементов фильтров детекторной цепи. Принципиально линейные искажения могут создавать системы АПЧ, бесшумной настройки и подавления боковых настроек. В области низких частот кривая верности в диапазоне УКВ определяется в основном трактом УНЧ. В стереорежиме дополнительные линейные искажения могут создавать стереодекодер. Диапазон воспроизводимых частот в диапазоне УКВ современных радиовещательных приёмников колеблется от 150–700 Гц в 3-м классе до 40–15000 Гц в высшем классе.

Завал верхних частот кривой верности в диапазонах приёма сигналов с амплитудной модуляцией определяется целиком полосой пропускания трактов УВЧ – УПЧ приёмника. Известно, что верхняя граничная частота полосы пропускания в этом случае приблизительно равна половине полосы пропускания приёмника по высокой частоте. Поэтому диапазон воспроизводимых частот является компромиссным параметром по отношению к селективности по соседнему каналу. Если в диапазонах СВ и КВ полоса пропускания определяется только трактом УПЧ, то в диапазоне ДВ полоса пропускания может быть уже из-за влияния входных цепей.

Дополнительно линейные искажения могут возникнуть из-за неравномерности частотной характеристики в полосе пропускания УПЧ. Эти искажения чаще всего возникают при применении пьезо-керамических фильтров. В технических условиях на фильтры обычно оговаривается неравномерность частотной характеристики. Эта неравномерность должна быть не более 4 дБ.

Некоторое расширение диапазона воспроизводимых частот ощущается, если незначительно расстроить приёмник. В этом случае одна из боковых полос большей своей частью попадает в полосу пропускания приёмника. Тем не менее, существенного улучшения качества звучания таким способом добиться нельзя, так как при расстройке приёмника увеличивается уровень нелинейных искажений.

В транзисторных приёмниках степень линейных искажений может увеличиваться с ростом необходимого постоянства значений напряжений на зажимах транзисторов. Увеличение напряжений приводит к изменению параметров транзисторов и, следовательно, к расстройке контуров.

С другой стороны, при слабых входных сигналах также могут увеличиваться линейные искажения. Возникают они тогда, когда усилитель промежуточной частоты находится в режиме подвозбуждения. При увеличении сигнала подвозбуждение обычно исчезает.

Частотные характеристики по тракту сигналов с АМ желательно снимать во всех положениях регуляторов полосы: узкая полоса, широкая полоса и местный приём.

Если в положениях узкая полоса и широкая полоса верхние частоты кривой верности ограничиваются требованиями селективности и составляют 3–5 кГц, то в положении местный приём желательно обеспечить воспроизведение частот до 10 кГц, поскольку многие передатчики в диапазонах с АМ излучают эти частоты.

Большое влияние на степень линейных искажений оказывает построение системы АРУ. Её постоянная времени выбирается как компромисс между необходимостью быстро реагировать на изменения входного сигнала и недопустимостью демодуляции низкочастотных составляющих закона модуляции. Поэтому система АРУ иногда является «виновником» спада низких частот.

Необходимо отметить, что в диапазонах ДВ и СВ особое значение приобретает частотная характеристика по электрическому напряжению. Эта характеристика очень легко определяется и в то же время несёт информацию о качестве настройки контуров в приёмнике. Поэтому величину неравномерности частотной характеристики по электрическому напряжению в диапазонах ДВ и СВ целесообразно включать в перечень параметров, контролируемых у 100% приёмников. При этом достаточно измерить граничную частоту пропускания на уровне 6 или 3 дБ.

### 2.10.1. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд содержит:

1. Исследуемое РПрУ.
2. Генератор ВЧ с АМ (ГЧ-102).
3. Генератор НЧ (ГЗ-102 или аналогичный).
4. Эквивалент антенны (встроен в РПрУ).
5. Эквивалент нагрузки (встроен в РПрУ).
6. Вольтметр переменного тока (ВЗ-38).

Кроме того, радиола имеет дополнительные типовые гнёзда для подключения ВЗ-38 к эквиваленту нагрузки и для подключения генератора НЧ ко входу УНЧ РПрУ (звукоснимателю параллельны типовые гнёзда).

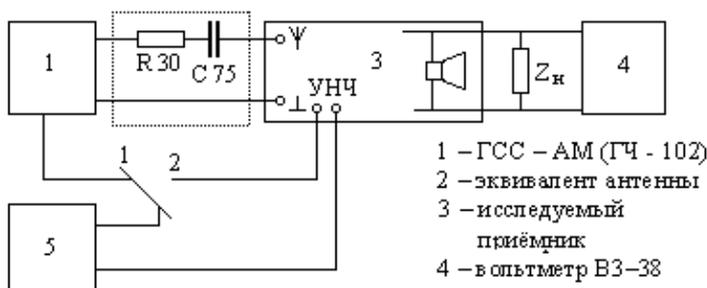


Рис. 2.10. Схема подключения приборов

## 2.10.2. Измерение частотных характеристик со входа усилителя низкой частоты

Порядок измерений:

1. Собрать стенд по схеме рис. 2.10, выход генератора НЧ (5) в положении 2 (на вход УНЧ).

2. Установить регулятор громкости радиолы в положение, соответствующее максимальному усилению, регулятор тембра – в среднее положение.

3. Подать на вход УНЧ РПрУ сигнал частотой 1000 Гц, величина сигнала должна соответствовать паспортной чувствительности УНЧ (250 мВ).

Регулятором громкости установить напряжение на нагрузке, соответствующее нормальной выходной мощности:

$$P_{\text{норм}} = 0,1 \cdot P_{\text{норм}} = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ В}; \quad (2.44)$$

$$U_{\text{норм}} = \sqrt{P_{\text{норм}} \cdot Z} = 1,3 \text{ В}. \quad (2.45)$$

Определить диапазон воспроизводимых частот. Для этого изменить частоту сигнала с Г3–102 до тех пор, пока напряжение на выходе не выйдет за пределы установленных норм (0,9 В). Частоты  $F_v$  и  $F_{\text{ц}}$ , соответствующие выходному напряжению 0,9 В, определяют границы диапазона воспроизводимых частот.

4. Снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) УНЧ для установленного выше положения регуляторов тембра для крайних левых положений и для крайних правых положений. Результаты измерений занести в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Данные для построения АЧХ УНЧ

Положение регулировок тембра	Выходное напряжение ( $U_{\text{вых}}$ , В) при частоте сигнала ( $F$ , кГц)									
	0,05	0,1	0,2	0,4	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0
«среднее»										
«левое»										
«правое»										

## 2.10.3. Измерение частотных характеристик с антенного входа

Порядок измерений:

1. Переключить выход генератора НЧ со входа УНЧ радиолы на вход внешней модуляции генератора ГЧ-102.

2. Регулятор громкости радиолы установить в положение максимального усиления, регулятор тембров – в среднем положении, диапазон ДВ.

3. Подать на антенный вход приёмника сигнал ГСС-АМ частотой 150 кГц, амплитудой, соответствующей паспортной реальной чувствительности. Частота модуляции сигнала – 1000 Гц, глубина модуляции сигнала – 30% (не забыть выставить индикатор глубины модуляции на риск «К», регулируя выход генератора НЧ).

4. Ручкой настройки радиолы настроить приёмник на частоту генератора (150 кГц или 2000 м) по максимуму напряжения на эквиваленте нагрузки (максимальному отклонению стрелки вольтметра ВЗ-38).

5. Регулятором громкости установить напряжение на нагрузке, соответствующее нормальной выходной мощности (0,63 В).

6. Изменяя частоту модуляции ГСС-АМ (т.е. изменяя частоту генератора НЧ), снять АЧХ приёмника по всему тракту. При измерении на забывать регулировкой выхода генератора НЧ поддерживать индикатор глубины модуляции ГЧ-102 на риске «К». Результаты измерений занести в табл. 2.15.

Таблица 2.15

**Данные для построения кривой верности**

Частота настройки приёмника, $f_0$ , кГц	Выходное напряжение ( $U_{\text{вых}}$ , В) при частоте модуляции ( $F_{\text{мод}}$ , кГц)									
	0,05	0,1	0,2	0,4	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0
150										
280										
560										
1500										

7. Установить на ГСС-АМ (ГЧ-102) частоту сигнала 280 кГц, 1000 кГц и повторить п. 3, 4, 5, 6.

**Содержание отчёта**

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схемы подключения приборов для снятия частотных характеристик приёмно-усилительной аппаратуры,

4) диапазон воспроизводимых частот УНЧ (верхнее  $F_{\text{в}}$ , нижнее  $F_{\text{н}}$  значение частоты генератора НЧ соответствуют спаду АЧХ на 3 дБ,  $U_{\text{вых}} = 0,9 \text{ В}$ ),

5) таблицы 2.14 и 2.15 с результатами измерений,

6) графики зависимости выходного напряжения от частоты сигнала на входе УНЧ и от частоты модулирующего НЧ колебания, построенные в логарифмическом масштабе:

$$U_{\text{вых}} = f(4 \cdot \lg F); \quad (2.46)$$

$$U_{\text{вых}} = f(4 \cdot \lg F_{\text{мод}}), \quad (2.47)$$

где  $\lg F$  ( $\lg F_{\text{мод}}$ ) множится на 4 и откладывается в мм по оси абсцисс. Все кривые должны быть расположены в одной системе координат (на одном рисунке),

7) краткие выводы о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое частотные искажения?
2. Что такое нелинейные искажения?
3. Что такое кривая верности?
4. Чем определяется частотная характеристика со входа УНЧ?
5. Какими каскадами приёмника АМ-сигнала определяется завал АХЧ приёмника с антенного входа в области верхних частот?
6. Из-за чего возникают дополнительные линейные искажения?
7. Какие параметры приёмника АМ-сигнала ухудшаются, если увеличить верхнюю воспроизводимую частоту на выходе УНЧ?

## Глава 3. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

### 3.1. Назначение, классификация и характеристики амплитудных детекторов

Детекторы предназначены для создания напряжения, изменяющегося в соответствии с законом модуляции одного из параметров входного сигнала. Детекторы классифицируют по характеру входного сигнала и виду параметра, который подвергается модуляции, по способу выполнения и т.д.

Амплитудный детектор – устройство, на выходе которого создаётся напряжение в соответствии с законом модуляции амплитуды входного гармонического сигнала.

Амплитудное детектирование может быть осуществлено путём использования параметрической цепи с периодически изменяющимися параметрами – синхронное детектирование, когерентный приём или с помощью нелинейной цепи – некогерентный приём, который проще, поэтому амплитудные детекторы с нелинейным элементом нашли широкое применение.

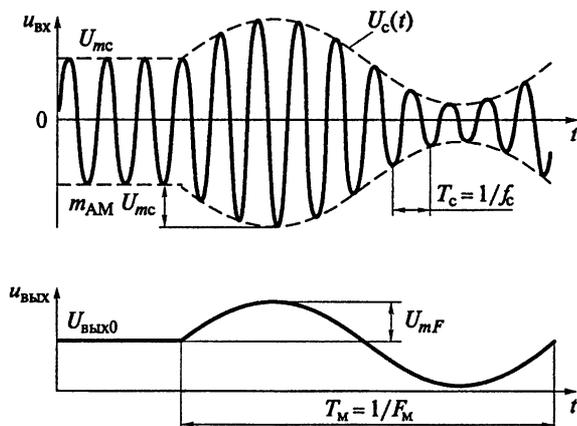


Рис. 3.1. Преобразование сигнала при амплитудном детектировании

Если на вход АД подаётся высокочастотное модулированное напряжение (рис. 3.1), то  $u_{\text{вх}}(t) = u_c(t) = U_c(t) \cos(\omega_c t + \Phi_c)$ . На выходе идеального АД должна быть выделена огибающая высокочастотного напряжения  $U_c(t)$ .

Качество АД характеризуется следующими параметрами:

– детекторной характеристикой, которая представляет собой зависимость постоянного выходного напряжения от немодулированного входного сигнала  $U_{\text{мс}}$  (рис. 3.2). Для детектирования без искажений детекторная характеристика должна быть линейной. Крутизна детекторной характеристики определяется как производная:  $S_d = \frac{dU_{\text{вых0}}}{dU_{\text{мс}}}$

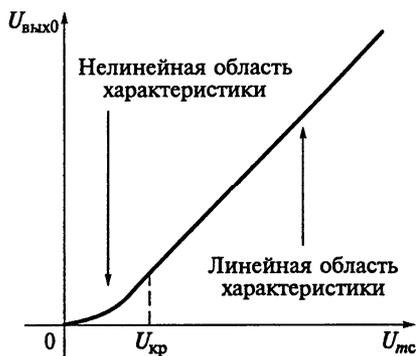


Рис. 3.2. Детекторная характеристика амплитудного детектора

Крутизна детекторной характеристики является безразмерной величиной и по аналогии с показателями любого усилительного узла характеризует передаточные свойства детектора:

– коэффициентом передачи для немодулированного сигнала:

$$K_{\text{АМ0}} = \frac{U_{\text{вых0}}}{U_{\text{мс}}}; \quad (3.1)$$

– коэффициентом передачи:

$$K_{\text{АД}} = \frac{U_{\text{мF}}}{m_{\text{АМ}} U_{\text{мс}}}, \quad (3.2)$$

где  $m_{\text{АМ}}$  – коэффициент модуляции АМ-сигнала;

$U_{\text{мF}}$  – амплитуда выходного напряжения на частоте модуляции  $F_{\text{М}}$ ;

$m_{\text{АМ}} U_{\text{мс}}$  – амплитуда огибающей АМ-сигнала;

– минимальными и максимальными уровнями детектируемых сигналов;

– линейными (частотными) искажениями, оцениваемыми по кривой верности;

– нелинейными искажениями, которые при гармонической модуляции характеризуются коэффициентом нелинейных искажений:

$$k_r = \frac{\sqrt{U_{m2F}^2 + U_{m3F}^2}}{U_{mF}}, \quad (3.3)$$

где  $U_{m2F}$  и  $U_{m3F}$  – амплитуды выходного напряжения с частотами  $2F_M$  и  $3F_M$ .

– коэффициентом фильтрации, характеризующим степень развязки нагрузки АД по частоте входного сигнала:

$$k_{\text{фАД}} = \frac{U_{\text{твх}}(f_c)}{U_{\text{твх}}(f_c)} = \frac{U_{\text{твх}}(f_c)}{U_{\text{мс}}}; \quad (3.4)$$

– входным сопротивлением:

$$R_{\text{вхАД}} = \frac{U_{\text{мс}}}{I_{m1}}, \quad (3.5)$$

где  $I_{m1}$  – амплитуда тока первой гармоники сигнала с частотой  $f_c$ .

– выходным сопротивлением, характеризующим взаимодействие АД с последующими каскадами.

### 3.2. Детектирование АМ сигналов нелинейной цепью

В общем случае детектирование АМ-сигналов представляет собой процесс выпрямления радиочастотных колебаний и сглаживания пульсаций. В качестве основных элементов детекторов часто применяют высокочастотные диоды и транзисторы. Для всех детекторов характерен резкий изгиб на вольтамперной характеристике в области нулевых анодных напряжений.

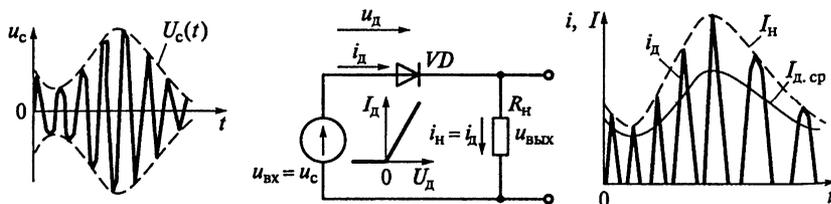


Рис. 3.3. Амплитудное детектирование нелинейной цепью

Если на вход детектора, состоящего из идеального диода, рабочая точка которого находится на нижнем изгибе его ВАХ  $I_D = \varphi(U_D)$ , подведен высокочастотный сигнал  $u_c(t) = U_c \cos(\omega_c t + \Phi_c)$ , то ток диода будет представлять собой импульсы, поступающие в нагрузку  $R_H$  во время положительных полуволн входного напряжения. Величина отдельных импульсов тока  $i_H$  на нагрузке будет прямо пропорциональна амплитудам соответствующих импульсов, поэтому огибающая выходных импульсов  $I_H(t)$  по своей форме повторяет огибающую высокочастотного модулированного напряжения  $U_c(t)$ . Среднее значение тока диода за каждый период высокочастотного колебания прямо пропорционально амплитудам соответствующих положительных полуволн высокочастотного напряжения  $u_{вх}(t) = u_c(t)$ , подводимого к диоду. Амплитуда высокочастотного модулирующего напряжения  $u_c(t)$  меняется по закону модулирующего напряжения  $U_c(t)$ , поэтому и усреднённое значение тока диода  $I_D(t) = I_H(t)$  будет меняться по закону модулирующего напряжения.

Рабочую точку на ВАХ АД следует выбирать так, чтобы изменения амплитуды входного напряжения захватывали нелинейную область. В противном случае среднее значение тока будет оставаться постоянным и не зависеть от закона модуляции. Из-за применения в качестве рабочей, нелинейной области ВАХ такие амплитудные детекторы относят к нелинейным цепям РПРУ.

### 3.3. Детекторы АМ сигналов

Детектор при нагрузке  $R_H$  (рис. 3.4а), который не шунтирован ёмкостью, безынерционен по частоте  $f_c$ , а его коэффициент передачи  $K_{АД}$  мал. Пульсации выходного напряжения  $u_{ввых}$  с основной частотой будут велики. Для увеличения коэффициента передачи и уменьшения пульсаций в нагрузке  $R_H$  детектора необходимо шунтировать её ёмкостью  $C_H$ .

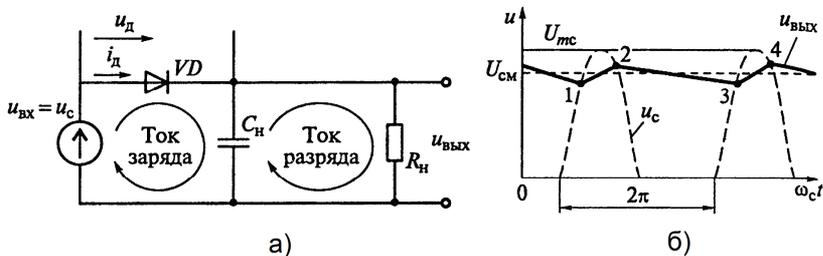


Рис. 3.4. Схема последовательного амплитудного детектора (а) и эпоры его напряжений на выходе (б)

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

$$\frac{1}{2\pi f_c C_H} \ll R_H \ll \frac{1}{2\pi F_B C_H}. \quad (3.6)$$

Установившееся выходное напряжение на конденсаторе накапливающего заряд имеет два цикла (рис. 3.4б). В первом цикле происходит быстрая подзарядка конденсатора  $C_H$  (участки 1-2 и 3-4) через сопротивление открытого диода  $R_{д.пр.}$ . Второй цикл предусматривает разряд конденсатора  $C_H$  через нагрузку  $R_H$  (участок 2-3). Точки смены циклов асимметричны относительно максимумов входного напряжения, поскольку напряжение в начале подзарядки меньше, чем в конце. Чем сильнее неравенство  $2\pi f_c C_H R_H \gg 1$ , тем меньше разряд ёмкости и пульсации выпрямленного напряжения. Точки смены циклов соответствуют изменению знака напряжения на диоде, равному сумме приложенного напряжения  $u_{вых}(t)$ .

Работа диодного амплитудного детектора в линейном режиме характеризуется тем, что амплитуда входного сигнала не должна быть меньше некоторого критического значения  $U_{кр}$ , которое ограничивает снизу диапазон амплитудных перепадов на входе (рис. 3.2). Если модуляция осуществляется гармонической функцией с частотой  $F_M$ , то для обеспечения линейного режима необходимо выполнение неравенства  $U_{мс}(1-m_{AM}) \geq U_{кр}$ .

Если пренебречь изменением средней крутизны характеристики диода, то для упрощения анализа обычно используется ВАХ идеального диода, аппроксимированная линейно-ломанной функцией. Диаграммы токов и напряжений идеального диода в установившемся режиме представлены на рис. 3.5.

Линейный режим работы диодного АД устанавливается при достаточно больших амплитудах входного сигнала в случае, когда диод работает с отсечкой тока. В установившемся режиме работы вследствие усредняющего действия нагрузки на ней создаётся постоянное напряжение  $U_{см}$ , которое обратной полярностью приложено к диоду, и смещает рабочую точку в запирающую сторону. При изменении амплитуды напряжения входного воздействия напряжения автосмещения  $U_{см}$  будет пропорционально этому изменению.

Детекторная характеристика (рис. 3.2) делится некоторым значением  $U_{кр}$  на линейную и нелинейную части. Работа демодулятора нарушается, если  $U_{мс} < U_{кр}$ . Величина  $U_{кр}$  определяется контактной разностью потенциалов диодной структуры и равна 300 мВ для германия и 1,2 В для арсенида галлия.

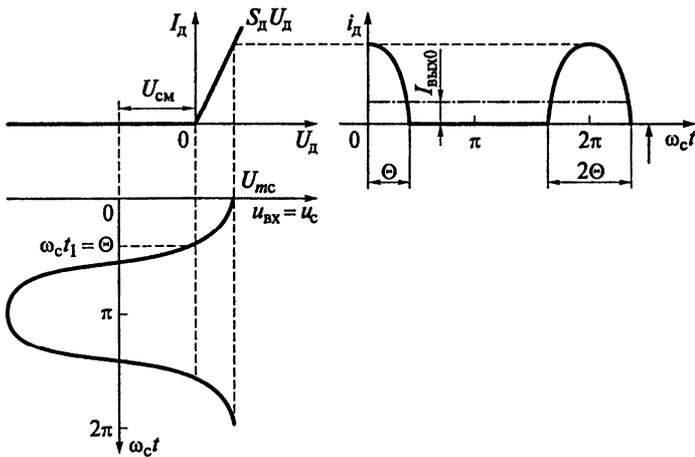


Рис. 3.5. Диаграммы токов и напряжений диода с линейно-ломанной ВАХ [1]

Основные требования к нагрузке АД, работающего в линейном режиме:

1. Сопротивление нагрузки амплитудного детектора для развязки высокочастотных и низкочастотных цепей должно удовлетворять условию (3.6).

2. Максимизация коэффициента передачи за счёт уменьшения угла отсечки обеспечивается при выполнении условия  $S_d R_H \geq 50$ .

3. Линейный режим работы обеспечивается минимальной допустимой амплитудой несущего колебания АМ-сигнала  $U_{mc} \geq U_{кр} / (1 - m_{AMmax})$ , где  $m_{AMmax}$  – максимальное значение коэффициента модуляции АМ-сигнала.

4. Минимизация нелинейных искажений за счёт нагрузки детектора достигается при выполнении условия:

$$R_H \leq \frac{1}{2\pi F_B C_H} \frac{\sqrt{m_{AMmax}^2}}{m_{AMmax}} \quad (3.7)$$

5. Реальная нагрузка АД ограничивается неравенством:

$$R_H \leq \frac{1,5}{2\pi F_B C_H} \quad (3.8)$$

### 3.4.1. Описание лабораторного стенда

Универсальный лабораторный стенд «Сигнал-USB» предназначен для проведения лабораторного практикума (рис. 3.6). Лабораторный стенд содержит две платы: нижнюю, с блоком питания и вспомогательными усилителями и аттенуаторами, и верхнюю, на которой смонтированы исследуемые устройства: универсальный транзисторный усилитель, сумматор и операционный усилитель, нелинейные звенья, фильтр нижних частот Баттерворта и вспомогательный источник постоянного напряжения.



Рис. 3.6. Внешний вид универсального лабораторного стенда «Сигнал-USB»

На верхней панели расположены:

- наборное поле, на котором с помощью сменных деталей собирается исследуемая электронная схема;
- кнопки «Вкл» и «Выкл», с помощью которых включается и выключается напряжение питания всех узлов, расположенных на верхней панели стенда;
- гнезда для вывода напряжений  $+5\text{ В}$ ,  $\pm 15\text{ В}$  для питания исследуемых устройств;
- гнезда «Ген», к которым подводится сформированный программой сигнал; максимальная амплитуда сигнала составляет  $- 10\text{ В}$ ; выходное сопротивление источника сигнала  $- 5\text{ Ом}$ ;

- гнезда «Изм 1» и «Изм 2», с которых измеряемый сигнал подается на вход аналого-цифрового преобразователя и далее – в компьютер; входное сопротивление – около 2 МОм;
- гнезда для подключения исследуемых узлов;
- кнопки для коммутации и управления исследуемыми устройствами;
- индикаторные светодиоды;
- кнопки для управления величиной постоянного напряжения и индикатор (цифровой вольтметр) этого напряжения;
- гнезда Г1 и Г2, соединённые с коаксиальными разъемами на задней стенке стенда, предназначенными для подключения внешних приборов.

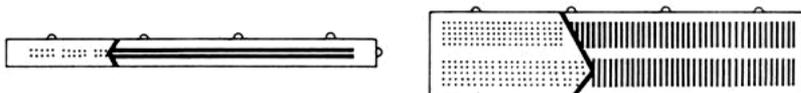


Рис. 3.7. Схема соединения гнезд на наборном поле

**Наборное поле.** На стенде применено наборное поле фирмы *Wisher Enterprise Co*, контакты которого рассчитаны более чем на 10 000 коммутаций. Наборное поле содержит около 800 гнезд, которые соединены друг с другом в средних рядах группами по 5 штук вертикально; в верхних и нижних рядах гнезда соединены горизонтально, рис. 3.7. Гнезда не соединены ни с какими другими элементами стенда. В гнезда вставляют сменные детали и соединительные проводники для подведения и снятия сигнала. Диаметр вставляемых в гнезда проводников должен лежать в пределах от 0,3 до 0,8 мм. Шаг наборного поля составляет 2,54 мм, что позволяет собирать электронные схемы с использованием микросхем.

**Универсальный транзисторный усилитель.** Упрощенная схема усилителя представлена на верхней панели стенда. С помощью кнопок можно подключать к коллекторной цепи в качестве нагрузки резистор; колебательный контур с резонансной частотой 100 кГц; колебательный контур, зашунтированный резистором  $R_{ш}$ ; произвольную нагрузку  $Z_n$ . Индикация подключенной нагрузки осуществляется с помощью светодиодов. Напряжение с выхода усилителя поступает на гнездо  $U_2$ . В усилителе предусмотрена возможность регистрации и измерения коллекторного тока посредством снятия сигнала с резистора  $R = 20$  Ом и последующего его усиления. Напряжение питания усилителя – 10 В. Тип транзистора и режим его работы подобраны таким образом, чтобы можно было исследовать как линейный, так и нелинейный режимы работы усилителя. Коэффициент усиления усилителя в зависимости от величины напряжения смещения составляет от 30 до 150, полоса пропускания – от 3 до 4 кГц. Рекомендуемый режим работы при снятии АЧХ:

напряжение смещения 0,7 – 0,8 В, амплитуда входного сигнала – 20 мВ. В режиме нелинейного резонансного усиления амплитуда входного напряжения не должна превышать 0,5 В.

**Сумматор.** На верхней панели изображена условная схема узла. Суммируемые сигналы подаются на гнезда  $U_1$  и  $U_2$ . Например, на один из входов сумматора может подаваться исследуемый сигнал, а на другой вход – постоянное напряжение смещения; сумма этих напряжений с выхода сумматора  $U_3$  может подаваться на вход  $U_1$  транзисторного усилителя.

**Нелинейный элемент.** Нелинейный элемент представляет собой нелинейный безынерционный четырехполосник с проходными характеристиками двух видов: типа «однополупериодный выпрямитель» и типа «двухполупериодный выпрямитель». Коммутация характеристик осуществляется с помощью кнопок. Рекомендуемая величина напряжения, подводимого к нелинейному элементу, – от 0,5 до 10 В.

**Фильтр нижних частот.** На стенде смонтирован фильтр нижних частот Баттерворта 6-го порядка с частотой среза 2 кГц. Ослабление на частоте 4 кГц – не хуже 30 дБ. Фильтр собран на операционных усилителях с напряжением питания  $\pm 15$  В, которое включается кнопкой «Вкл» на правой верхней части лицевой панели. Коэффициент передачи фильтра на низких частотах равен 1, максимальное напряжение сигнала на входе фильтра – 5 В.

**Источник ЭДС.** Источник ЭДС используется для подачи постоянного напряжения смещения на исследуемое устройство. Величина напряжения регулируется с помощью кнопки и может изменяться от –10 В до +10 В с изменяющимся шагом 0,1 В или 0,01 В при снятии напряжения с гнезда «1:1». При снятии с гнезда «1:5» значения напряжения в 5 раз меньше. Выходное сопротивление источника ЭДС на гнезде «1:1» – 2 кОм, на гнезде «1:5» – 500 Ом.

**Вспомогательные элементы и гнезда на верхней панели стенда.** Исследуемый сигнал формируется стендом под управлением от компьютера. Через вспомогательный усилитель и мощный повторитель, выходное сопротивление которого равно 5 Ом, он подается на гнезда «Ген». С этих гнезд сигнал с помощью внешних соединительных проводов подается на исследуемое устройство.

Гнезда «Изм 1» и «Изм 2» соединены с высокоомными входами усилителей, с которых исследуемый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь и далее – в компьютер. Входное сопротивление усилителя – около 2 МОм, максимальное напряжение сигнала –  $\pm 10$  В.

Гнезда «+5 В», «-15 В», «+15 В», служат для питания исследуемых устройств, собираемых на наборном поле. Все встроенные узлы стенда питаются от внутреннего источника питания, индикация наличия питания осуществляется светодиодами «+5 В», «-15 В», «+15 В».

Гнёзда «Г1» и «Г2» соединены с коаксиальными разъемами, расположенными на задней стенке стенда и предназначены для подключения внешних радиоизмерительных приборов.

**Формирование радиотехнических сигналов.** Программное обеспечение комплекса позволяет формировать радиотехнические сигналы несколькими способами:

- выбор сигналов с помощью меню, которое включает в себя сумму гармонических сигналов с произвольными частотами, амплитудами и фазами (до 5 гармоник), модулированные сигналы, видеоимпульсы различной формы;

- формирование импульсов по узловым точкам, координаты которых задаются численно. Таким методом формируются видеоимпульсы прямоугольной, треугольной, трапециевидной и любой другой формы, описываемой отрезками прямых линий, а также радиоимпульсы с произвольной частотой заполнения и огибающей из отрезков прямых линий;

- формирование псевдослучайных сигналов осуществляется с помощью меню. Можно формировать «белый» шум с шириной спектра 2 МГц и заданным законом распределения (нормальным, равномерным, релеевским и райсовским) и нормальный случайный процесс с произвольной корреляционной функцией.

**Измерение характеристик сигналов.** Программное обеспечение позволяет осуществлять следующие действия:

- получение осциллограмм с возможностью измерения напряжений и временных интервалов с помощью маркеров;

- получение спектрограмм с возможностью определения амплитуд и частот гармоник;

- для случайных процессов – наблюдение реализаций, измерение плотностей вероятности, интегральных законов распределения, корреляционных функций и энергетических спектров.

*Измерение характеристик радиотехнических цепей и устройств:*

- снятие амплитудно-частотных, фазо-частотных, импульсных и переходных характеристик линейных цепей;

- снятие вольтамперных характеристик нелинейных элементов;

- снятие колебательных, модуляционных и детекторных характеристик нелинейных устройств.

*Сопоставление экспериментальных результатов с расчётными данными:*

- одновременное наблюдение осциллограмм сигналов на входе и выходе цепи как экспериментальных, так и расчётных (режим четырёхлучевого осциллографа);

- возможность измерения параметров исследуемой цепи двумя способами: как по характерным точкам, так и по всему массиву экспериментальных точек.

### 3.4.2. Изучение последовательного амплитудного детектора

**Цель работы:** изучение последовательного амплитудного детектора и измерение его основных параметров.

#### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с устройством и порядком работы лабораторного стенда «СИГНАЛ USB».

2. Собрать схему последовательного детектора на лабораторном стенде «СИГНАЛ USB» в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3.8. **Вход** схемы подключить к гнезду «Ген» стенда; **Выход 1** к гнезду «Изм 1», **Выход 2** к гнезду «Изм 2».

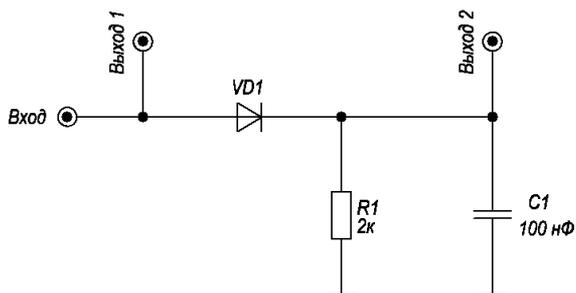


Рис. 3.8. Электрическая принципиальная схема последовательного детектора АМ колебаний. VD1 – Д219А

3. Подключить лабораторный стенд к питающей сети и персональному компьютеру.

4. Запустить программу **FOX**. Запустить Син. Генератор (главное меню / Источники), осциллограф и спектроанализатор (главное меню / Измерители).

5. Установить следующие параметры генератора сигналов:

частота несущей гармоники  $f = 10$  кГц,

частота модуляции  $F = 0$  кГц,

коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0$ .

6. Включить спектроанализатор. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц.

7. Изменяя амплитуду несущей гармоники  $U_{мс}$ , в соответствии с данными табл. 3.1 измерить значение постоянной составляющей  $U_{вых0}$  на выходе амплитудного детектора. Результаты занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

$U_{\text{мс}}, \text{В}$	$U_{\text{вых0}}, \text{В}$
0,1	
0,2	
0,3	
0,5	
0,6	
0,8	
1,0	
1,2	
1,4	
1,7	
2,0	
2,5	
2,7	
3,1	
3,6	
4,1	
4,5	
5,5	

8. По данным табл. 3.1 построить детекторную характеристику АД, которая представляет собой зависимость постоянного (выпрямленного) выходного напряжения  $U_{\text{вых0}}$  от амплитуды немодулированного входного сигнала  $U_{\text{мс}}$  (см. для примера рис. 3.2).

9. Выделить линейный участок на построенной детекторной характеристике (см. для примера рис. 3.2) и определить крутизну детекторной характеристики диодного АД:

$$S_{\text{д}} = \frac{\Delta U_{\text{вых0}}}{\Delta U_{\text{мс}}} \quad (3.9)$$

и угол отсечки [1]:

$$\theta = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{S_{\text{д}} R I}} \quad (3.10)$$

10. Установить следующие параметры генератора сигналов (рис. 3.9):

частота несущей гармоники  $f = 10$  кГц,  
амплитуда несущей гармоники  $U_c = 1$  В,  
частота модуляции  $F = 1$  кГц,  
коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0,3$ .

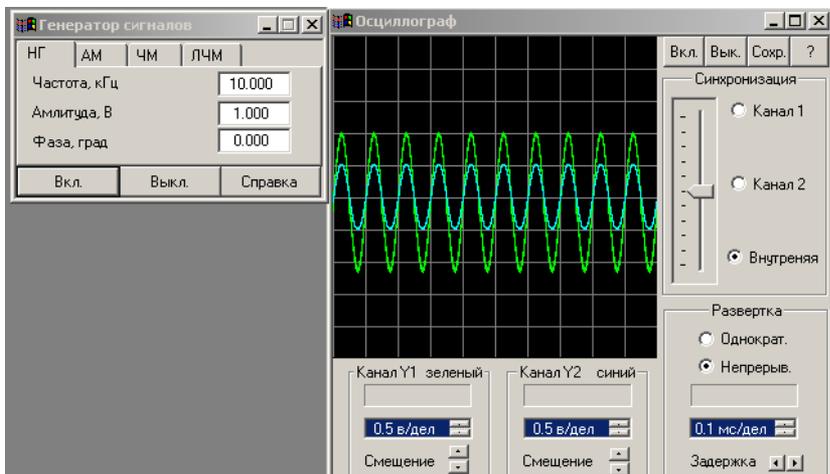


Рис. 3.9а. Настройка генератора сигналов

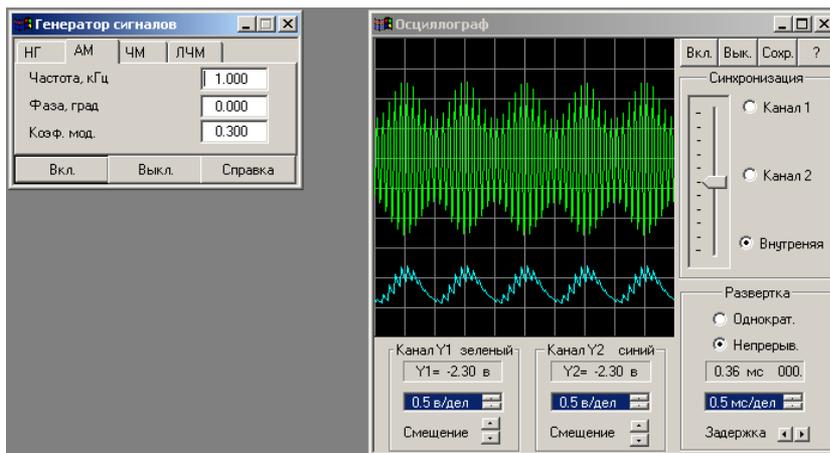


Рис. 3.9б. Настройка генератора сигналов

11. Включить осциллограф и настроить удобные параметры чувствительности и развёртки. На рабочем поле осциллографа должно наблюдаться изображение АМ модулированного и гармонического колебаний, на входе «Изм. 1» (зелёный цвет луча) и «Изм. 2» (голубой цвет луча) соответственно рис. 3.9 а, б.

12. Включить спектроанализатор. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц. Изменяя  $U_c$ , в соответствии с данными табл. 3.2, измерить амплитуды гармоник: на модулирующей частоте  $F$  (1 кГц) –  $U_{mF}$ ; второй гармоники (2 кГц) частоты  $F$  –  $U_{m2F}$ ; третьей гармоники (3 кГц) частоты  $F$  –  $U_{m3F}$ . Результат занести в табл. 3.2.

13. Рассчитать по данным табл. 3.2 коэффициенты гармоник  $k_r$ , передачи  $K_d$  диодного АД по формулам 3.11 и 3.12, результаты занести в табл. 3.2.

$$k_r = \frac{\sqrt{U_{m2F}^2 + U_{m3F}^2}}{U_{mF}} \quad (3.11)$$

$$K_{d\text{АД}} = \frac{U_{mF}}{m_{\text{АМ}} U_c} \quad (3.12)$$

Таблица 3.2

$U_c$ , В	$U_{mF}$ , В	$U_{m2F}$ , В	$U_{m3F}$ , В	$k_r$ , %	$K_d$
0,3					
0,5					
0,6					
1,0					
1,2					
1,4					
1,7					
2,5					
2,7					
3,1					
3,6					
4,1					
4,5					
5,5					

14. Изменяя коэффициент модуляции  $m_{AM}$  от 0,1 до 1 с шагом 0,05, при  $f = 10$  кГц,  $U_c = 1$ В,  $F = 1$  кГц, измерить амплитуды гармоник  $U_{mF}$ ,  $U_{m2F}$ ,  $U_{m3F}$ . Рассчитать коэффициент гармоник  $k_f$  по формуле 3.11. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

M	0,1	0,15	0,2	...	...	...	....	0,95	1
$U_F, В$									
$U_{2F}, В$									
$U_{3F}, В$									
$k_f, \%$									

15. По данным табл. 3.2 построить графики зависимости  $U_{mF}(U_c)$ .

16. По данным табл. 3.3 построить график зависимости коэффициента гармоник  $k_f$  от коэффициента модуляции  $m_{AM}$ .

17. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 25 кГц. Изменяя значение ёмкости  $C1 = 22$  нФ, 33 нФ, 47 нФ, 100 нФ, измерить величину гармоники  $U_{mвых}$  частотой  $f$  (10 кГц) на выходе АД, рассчитать коэффициенты передачи (3.12) и фильтрации несущей (3.13) АД. Результаты занести в табл. 3.4.

$$k_{фАД} = \frac{U_{твых}}{U_{мс}}. \tag{3.13}$$

Таблица 3.4

C1	22 нФ	33 нФ	47 нФ	100 нФ
$U_c, В$	1	1	1	1
$U_{mвых}, В$				
$K_d$				
$k_{фАД}$				

18. По данным табл. 3.4 построить графики зависимостей коэффициента передачи  $K_d$  и фильтрации  $k_{фАД}$  диодного АД от ёмкости конденсатора C1.

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,

- 3) схема диодного амплитудного детектора,
- 4) таблицы 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4,
- 5) графики зависимостей  $U_{\text{вых0}}(U_{\text{мс}})$ ,  $U_{\text{мф}}(U_c)$  и  $k_r(m_{\text{AM}})$ ,
- 6) рассчитанные значения  $S_d$  и  $\theta$ ,
- 7) графики зависимостей  $K_d$  и  $k_{\phi_{\text{AD}}}$  от ёмкости конденсатора  $C1$ ,
- 8) анализ полученных экспериментальных данных и выводы по проделанной работе.

### 3.4.3. Изучение амплитудного детектора с удвоением напряжения

**Цель работы:** изучение амплитудного детектора с удвоением напряжения и измерение его основных параметров.

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомиться с устройством и порядком работы лабораторного стенда «СИГНАЛ USB».
2. Собрать схему последовательного детектора на лабораторном стенде «СИГНАЛ USB» в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3.8. **Вход** схемы подключить к гнезду «Ген» стенда; **Выход 1** к гнезду «Изм 1», **Выход 2** к гнезду «Изм 2».

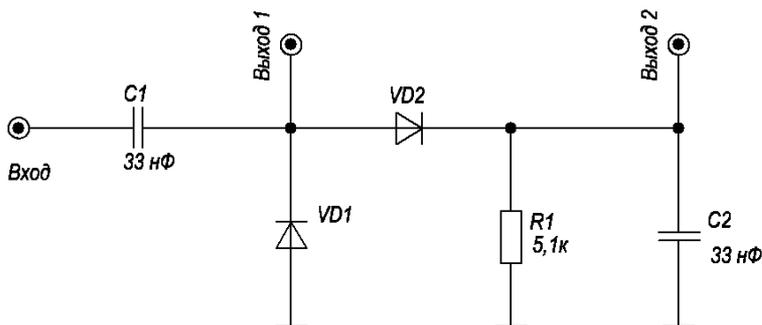


Рис. 3.10. Электрическая принципиальная схема детектора АМ колебаний с удвоением напряжения. VD1, VD2 – Д219А

3. Подключить лабораторный стенд к питающей сети и персональному компьютеру.
4. Запустить программу **FOX**. Запустить Син. Генератор (главное меню / Источники), осциллограф и спектроанализатор (главное меню / Измерители).

5. Установить следующие параметры генератора сигналов:  
 частота несущей гармоники  $f = 10$  кГц,  
 частота модуляции  $F = 0$  кГц,  
 коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0$ .

6. Включить спектроанализатор. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц.

7. Изменяя амплитуду несущего колебания  $U_{мс}$ , в соответствии с данными табл. 3.5, измерить значение постоянной составляющей  $U_{вых0}$  на выходе амплитудного детектора. Результаты занести в табл. 3.5.

Таблица 3.5

$U_{мс}, В$	$U_{вых0}, В$
0,1	
0,2	
0,3	
0,5	
0,6	
0,8	
1,0	
1,2	
1,4	
1,6	
2,0	
2,4	
2,7	
3,1	
3,6	
4,1	
4,5	
5,5	

8. По данным табл. 3.5 построить детекторную характеристику АД, которая представляет собой зависимость постоянного (выпрямленного) выходного напряжения  $U_{вых0}$  от амплитуды немодулированного входного сигнала  $U_{мс}$  (см. для примера рис. 3.2).

9. Выделить линейный участок на построенной детекторной характеристике (см. для примера рис. 3.2) и определить крутизну детекторной характеристики диодного АД по формуле (3.9) и угол отсечки [1] по (3.10).

10. Установить следующие параметры генератора сигналов (рис. 3.9):

- частота несущей гармоники  $f = 10$  кГц,
- амплитуда несущей гармоники  $U_c = 1$  В,
- частота модуляции  $F = 1$  кГц,
- коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0,3$ .

11. Включить осциллограф и настроить удобные параметры чувствительности и развёртки. На рабочем поле осциллографа должно наблюдаться изображение АМ модулированного и гармонического колебаний, на входе «Изм. 1» (зелёный цвет луча) и «Изм. 2» (голубой цвет луча) соответственно.

12. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц.

13. Изменяя  $U_c$  в соответствии с данными табл. 3.6, измерить амплитуды гармоник: на модулирующей частоте  $F$  (1 кГц) –  $U_{mF}$ ; второй гармоники (2 кГц) частоты  $F$  –  $U_{m2F}$ ; третьей гармоники (3 кГц) частоты  $F$  –  $U_{m3F}$ . Результат занести в табл. 3.6.

14. Рассчитать по данным табл. 3.6 коэффициенты гармоник  $k_r$ , передачи  $K_d$  диодного АД по формулам 3.11 и 3.12, результаты занести в табл. 3.6.

Таблица 3.6

$U_c, В$	$U_{mF}, В$	$U_{m2F}, В$	$U_{m3F}, В$	$k_r, \%$	$K_d$
0,3					
0,5					
0,6					
1,0					
1,2					
1,4					
1,7					
2,5					
2,7					
3,1					
3,6					
4,1					
4,5					
5,5					

15. Изменяя коэффициент модуляции  $m_{AM}$  от 0,1 до 1 с шагом 0,05, при  $f = 10$  кГц,  $U_c = 1$  В,  $F = 1$  кГц, измерить амплитуды гармоник  $U_{mF}$ ,  $U_{m2F}$ ,  $U_{m3F}$ . Рассчитать коэффициент гармоник  $k_r$  по формуле 3.11. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.7.

Таблица 3.7

M	0,1	0,15	0,2	...	...	...	....	0,95	1
$U_F, В$									
$U_{2F}, В$									
$U_{3F}, В$									
$k_r, \%$									

16. По данным табл. 3.6 построить графики зависимости  $U_{mF}(U_c)$ .

17. По данным табл. 3.7 построить график зависимости коэффициента гармоник  $k_r$  от коэффициента модуляции  $m_{AM}$ .

18. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 25 кГц. Изменяя значение ёмкости  $C2 = 22 \text{ нФ}, 33 \text{ нФ}, 47 \text{ нФ}, 100 \text{ нФ}$ , измерить величину гармоники  $U_{mвых}$  частотой  $f$  (10 кГц) на выходе АД, рассчитать коэффициенты передачи (3.12) и фильтрации несущей (3.13) АД. Результаты занести в табл. 3.8.

Таблица 3.8

C2	22 нФ	33 нФ	47 нФ	100 нФ
$U_c, В$	1	1	1	1
$U_{mвых}, В$				
$K_d$				
$k_{ФАД}$				

19. По данным табл. 3.8 построить графики зависимостей коэффициента передачи  $K_d$  и фильтрации  $k_{ФАД}$  диодного АД от ёмкости конденсатора  $C2$ .

Таблица 3.9

F, Гц	$U_{mF}, мВ$
50	
100	
250	
500	
1000	
2000	

20. Снять амплитудно-частотную характеристику АД (рис. 3.10) в соответствии с параметрами, указанными в табл. 3.9, при коэффициенте модуляции  $m_{AM} = 0,3$  и амплитуде АМ сигнала  $U_c = 1 В$ .

21. По данным табл. 3.9 построить зависимость амплитуды основной гармоники  $U_{мГ}$  от частоты модулирующего колебания  $F$ .

### Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схему диодного амплитудного детектора,
- 4) таблицы 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 и 3.9,
- 5) графики зависимостей  $U_{вых0}(U_{мс})$ ,  $U_{мГ}(U_c)$  и  $k_r(m_{AM})$ ,
- 6) рассчитанные значения  $S_d$  и  $\theta$ ,
- 7) графики зависимостей  $K_d$  и  $k_{ФАД}$  от ёмкости конденсатора  $C2$ ,
- 8) график зависимости амплитуды основной гармоники  $U_{мГ}$  от частоты модулирующего колебания  $F$ ,
- 9) анализ полученных экспериментальных данных и выводы по проделанной работе.

### 3.4.4. Изучение синхронного детектора

В синхронных (параметрических) детекторах под действием опорного колебания меняется во времени некоторый параметр цепи. Частота опорного генератора должна быть равной частоте несущего колебания на входе детектора. Ток на выходе нелинейного элемента при воздействии на него колебаний опорного генератора  $u_{оп}(t)=U_{топ}\cos(\omega_{оп}t+\Phi_{оп})$  и напряжения сигнала  $u_c(t)=U_c\cos(\omega_c t+\Phi_c)$  может быть представлен в виде  $i_g(t)=g(t)u_c(t)$ . Проводимость  $g(t)$  представляет собой периодическую функцию при  $U_{ноп}\gg U_{мс}$  и может быть выражена двумя первыми слагаемыми из ряда Фурье в виде  $g(t)=g_0+2g_1\cos(\omega_{оп}t+\Phi_{оп})$ , где  $g_1$  - половина амплитуды крутизны нелинейно элемента на первой гармонике опорного генератора. Тогда с учётом начальной фазы колебаний гетеродина ток через короткозамкнутый по выходу нелинейный элемент:

$$\begin{aligned} i_g(t) &= [g_0 + 2g_1 \cos(\omega_{оп}t + \Phi_{оп})] U_c(t) \cos(\omega_c t + \Phi_c) = \\ &= g_0 U_c(t) \cos(\omega_c t + \Phi_c) + g_1 U_c(t) \cos[(\omega_{оп} - \omega_c)t + (\Phi_{оп} - \Phi_c)] \end{aligned} \quad (3.14)$$

В случае, когда  $\omega_{оп} = \omega_c$ , ток на выходе ФНЧ описывается выражением  $i_g(t) = g_1 U_c(t) \cos(\Phi_{оп} - \Phi_c)$ . Синхронный АД реализуется только при условии когерентности опорного и сигнального колебаний. Ток и напряжение на выходе амплитудного детектора  $i_g(t) = g_1 U_c(t)$  будет определяться двумя слагаемыми:

$$\begin{aligned} i_g(t) &= g_1 U_{мс} + g_1 U_{мс} m_{AM} \cos(2\pi F_M t), \\ u_{вых}(t) &= g_1 U_{мс} R_H + g_1 U_{мс} m_{AM} R_H \cos(2\pi F_M t) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Коэффициент передачи синхронного детектора при коэффициенте модуляции  $m_{AM} > 0$  равен отношению амплитуды входного напряжения к амплитуде огибающей входного сигнала

$$K_{\text{АД}} = \frac{U_{m.F}}{m_{AM} U_{mc}} = \frac{g_1 R_H m_{AM} U_{mc}}{m_{AM} U_{mc}} = g_1 R_H \quad (3.16)$$

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомиться с устройством и порядком работы лабораторного стенда «СИГНАЛ USB».
2. Собрать макет синхронного детектора в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3.11.

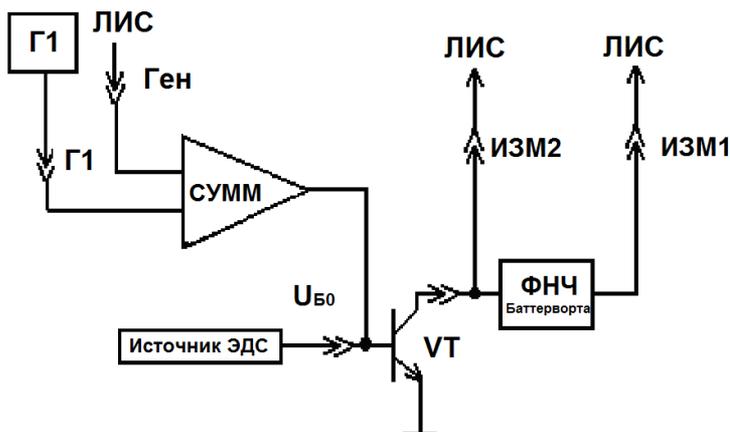


Рис. 3.11. Схема соединений на стенде «СИГНАЛ USB» для исследования синхронного детектирования

3. Запустить Син. Генератор (главное меню / Источники) сигналов в пакете FOX и установить следующие параметры:  
 частота несущей гармоники  $f_c = 60$  кГц,  
 амплитуда несущей гармоники  $U_c = 200$  мВ,  
 частота модуляции  $F = 2$  кГц,  
 коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0,5$ .
4. Установить на опорном генераторе Г1 следующие параметры сигнала:  
 частота опорного сигнала  $f_{Г} = 60$  кГц,  
 амплитуда опорного сигнала  $U_{Г} = 100$  мВ.
5. С помощью источника ЭДС установить смещение на базе транзистора  $U_{Б0} = 0,5$  В.

6. Включить мультиметр (главное меню / Измерители) в лабораторной измерительной системе FOX.

7. Изменяя фазу сигнала генератора системы FOX от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , найти такое её значение  $\Phi_0$ , при котором наблюдается максимум амплитуды напряжения на выходе ФНЧ  $U_{\text{вых макс}}$ . Убедиться в наличии эффекта синхронного детектирования, включая и выключая генератор лабораторной измерительной системы (ЛИС) FOX.

8. Снять зависимость в соответствии с данными табл. 3.10, выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  от разности фаз  $\Phi$  между несущим колебанием и опорным сигналом. Рассчитать отношение  $U_{\text{вых}} / U_{\text{вых макс}}$ . Полученные скорректированные экспериментальные (с учётом первоначальной разности фаз  $\Phi_0$ ) и расчётные данные занести в табл. 3.10.

9. Используя данные табл. 3.10, построить график зависимости  $U_{\text{вых}}/U_{\text{вых макс}}$  от  $\Phi = \Phi - \Phi_0$ .

Таблица 3.10

$\Phi, ^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
$U_{\text{вых}}, \text{В}$												
$U_{\text{вых}}/U_{\text{вых макс}}$												
$\Phi, ^\circ$	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
$U_{\text{вых}}, \text{В}$												
$U_{\text{вых}}/U_{\text{вых макс}}$												

10. Синхронизировать опорный генератор с генератором лабораторной измерительной системы FOX выставив фазу, при которой  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых макс}}$ . Снять и занести в отчёт осциллограммы и спектрограммы:

- входного сигнала,
- выходного сигнала с гнезда ИЗМ 2,
- выходного сигнала с гнезда ИЗМ 1.

Таблица 3.11

$U_c, \text{мВ}$	$U_{\text{мF}}, \text{мВ}$	$U_{\text{м2F}}, \text{мВ}$	$U_{\text{м3F}}, \text{мВ}$	$k_r, \%$
1	2	3	4	5
$U_1 = 50 \text{ мВ}$				
10				
25				
50				

Окончание табл. 3.11

1	2	3	4	5
100				
150				
200				
250				
300				
350				
400				
500				
U <sub>Г</sub> =100 мВ				
10				
*				
*				
500				
U <sub>Г</sub> =200 мВ				
10				
*				
*				
500				
U <sub>Г</sub> =300 мВ				
10				
*				
*				
500				
U <sub>Г</sub> =400 мВ				
10				
*				
*				
500				
U <sub>Г</sub> =500 мВ				
10				
*				
*				
500				

11. Установить следующие параметры генератора сигналов ЛИС FOX:  
частота несущей гармоники  $f_c = 60$  кГц,  
амплитуда несущей гармоники  $U_c = 10$  мВ,  
частота модуляции  $F = 1$  кГц,  
коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0,3$ ,  
фаза – установить такое значение фазы, при котором наблюдается максимум амплитуды напряжения на выходе ФНЧ  $U_{вых макс}$ . Для измерения напряжения  $U_{вых}$  на выходе ФНЧ использовать мультиметр (главное меню / Измерители) ЛИС FOX.

12. Установить следующие параметры генератора опорного сигнала Г1:  
частота опорного сигнала  $f_{Г} = 60$  кГц,  
амплитуда сигнала  $U_{Г} = 50$  мВ.

13. Запустить спектроанализатор (главное меню / Измерители) и установить рабочую полосу от 0 до 5 кГц. Изменяя  $U_c$  в соответствии с данными табл. 3.11, измерить амплитуды гармоник: на модулирующей частоте  $F$  (1 кГц) –  $U_{мF}$ ; второй гармоники (2 кГц) частоты  $F$  –  $U_{м2F}$ ; третьей гармоники (3 кГц) частоты  $F$  –  $U_{м3F}$ . Результат занести в табл. 3.11.

14. По данным табл. 3.11 рассчитать коэффициент гармоник по формуле 3.11, результат занести в табл. 3.11.

15. Повторить пункты 12 и 13 для  $U_{Г} = 100, 200, 300, 400$  и  $500$  мВ. Результаты измерений занести в табл. 3.11.

16. Используя данные табл. 3.11, построить семейство графиков зависимости  $U_{мF}(U_c)$  при различных значениях амплитуды опорного сигнала  $U_{Г}$ .

17. Используя данные табл. 3.11, построить семейство графиков зависимости  $k_r(U_c)$  при различных значениях амплитуды опорного сигнала  $U_{Г}$ .

## Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схема соединений на стенде «СИГНАЛ USB» для исследования синхронного детектирования,
- 4) таблицы 3.10 и 3.11,
- 5) графики зависимостей по пунктам 9, 15 и 16,
- 6) анализ полученных экспериментальных данных и выводы по проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют амплитудные детекторы?
2. По каким признакам классифицируются амплитудные детекторы и каковы их параметры?
3. Каковы принципы работы и схемы амплитудных детекторов? В чем их достоинства и недостатки?

4. Перечислите особенности синхронных детекторов.
5. Как определить коэффициент передачи амплитудного детектора на полупроводниковом диоде?
6. Какие искажения возникают при детектировании нелинейной цепи? Какие меры следует предпринимать для уменьшения искажений сигналов?
7. Опишите методику измерения детекторной характеристики амплитудного детектора?
8. Какова методика измерения коэффициента передачи детектора?
9. Что определяет коэффициент фильтрации амплитудного детектора?

### 3.5. Изучение детекторов АМ сигналов в пакете NI Multisim

#### 3.5.1. Описание программного пакета NI Multisim

Разработка любого радиоэлектронного устройства включает физическое или математическое моделирование. Физическое моделирование связано с большими материальными затратами, так как требует изготовление макетов и их трудоемкое исследование и иногда просто невозможно из-за сложности радиоэлектронного устройства. В этом случае прибегают к математическому моделированию с использованием средств и методов вычислительной техники.

NI Multisim – это программный пакет (рис. 3.12), позволяющий моделировать электронные схемы и разводить печатные платы. Главная особенность NI Multisim – простой и наглядный интерфейс, мощные средства графического анализа результатов моделирования, наличие виртуальных измерительных приборов, копирующих реальные аналоги. Библиотека элементов содержит более 2000 SPICE-моделей компонентов National Semiconductor, Analog Devices, Phillips, NXP и других производителей. Присутствуют электромеханические модели, импульсные источники питания, преобразователи мощности.

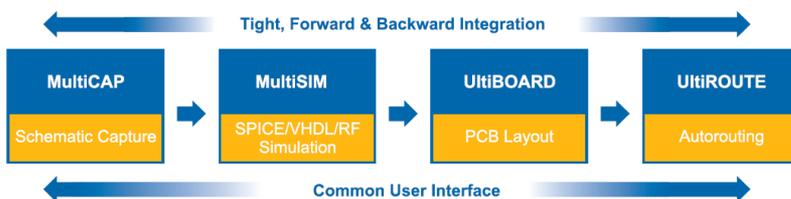


Рис. 3.12. Взаимосвязь программного обеспечения в NI Multisim

Multicap – средство создания и описания электрических схем. Программа включает безрежимное редактирование, имеет удобные средства

взаимодействий с другими программными продуктами и обширную базу данных.

Multisim – интерактивный эмулятор схем, осуществляющий моделирование и анализ аналоговых и цифровых электрических цепей.

UltiBOARD – программное средство для размещения электрорадиоэлементов и разводки электрических соединений между компонентами.

UltiRoute – программное средство для автоматического размещения и соединения большого количества компонентов на печатной плате.

## Спектроанализатор

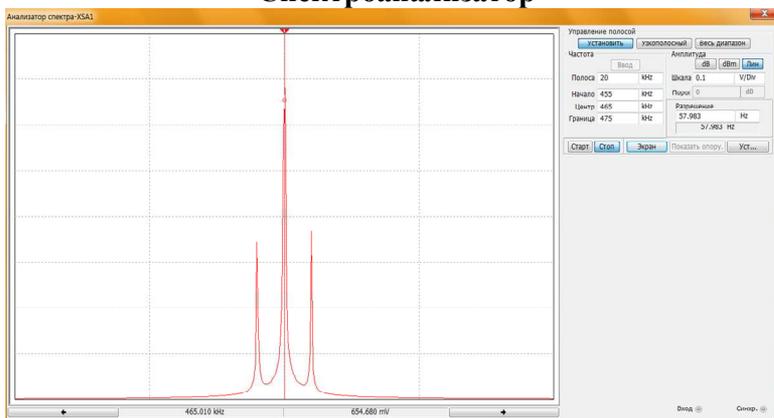


Рис. 3.13. Внешний вид спектроанализатора, на примере анализа частотного спектра однотонального АМ колебания с двумя боковыми.  
 $f = 465 \text{ кГц}$ ,  $F=1 \text{ кГц}$

### А. Управление частотой

Режим «**Узкополосный**» – спектральный анализ сигнала с максимальным разрешением.

Режим «**Весь диапазон**» – спектральный анализ сигнала в пределах полосы частот, реализуемой программным пакетом.

Режим «**Установить**» – ручная установка границ спектрального анализа.

### Б. Частота

полоса – полоса анализируемого спектра,

начало – начальная частота анализа,

центр – частота, отображаемая в центре рабочего окна,

граница – конечная частота анализа.

### В. Амплитуда

установка единиц отображения амплитуды и цены деления.

### Г. Разрешение

установка минимального шага анализа. Отображение достигнутого шага анализа при моделировании.

### Д. Общие настройки и управление

старт – запуск процесса спектрального анализа сигнала,

стоп – остановка процесса спектрального анализа сигнала,

уст... – установки (рекомендуется установить число точек FFT – 32768). FFT – Быстрое преобразование Фурье.

## 3.5.2. Изучение диодных детекторов АМ сигналов

**Цель работы:** изучение амплитудных детекторов АМ-сигналов и измерение их основных параметров.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить литературу.
2. Собрать схему в соответствии с рис. 3.14. VD1 – 1N4148, 1N4151, BA317, 1N914.
3. Установить следующие параметры генератора АМ-сигналов (V1):

частота несущей гармоники  $f = 465$  кГц,

амплитуда несущей гармоники  $U_c = 1$  В,

частота модуляции  $F = 1$  кГц,

коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0,3$ .

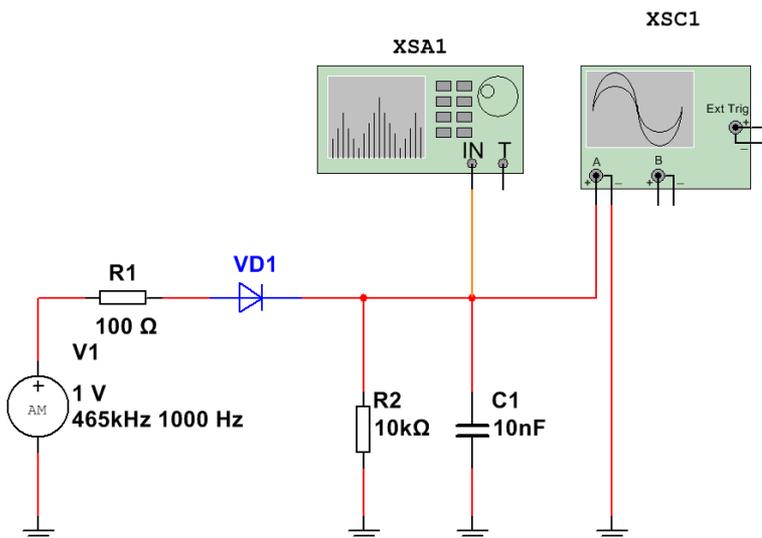


Рис. 3.14. Схема последовательного диодного детектора АМ-сигналов

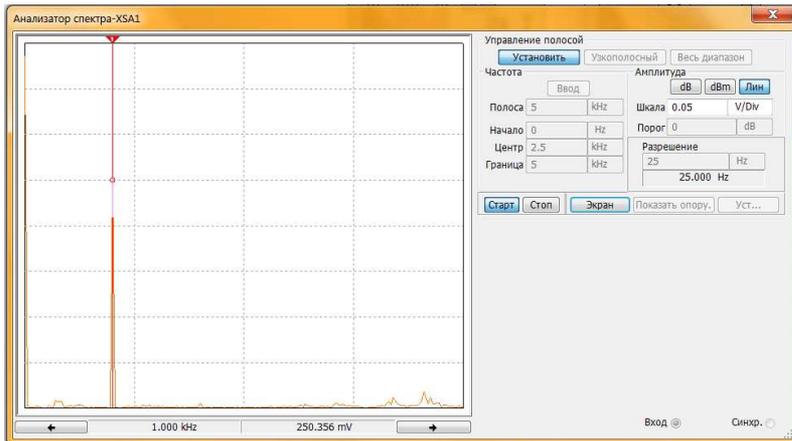


Рис. 3.15. Вид окна и органов настройки спектроанализатора.  
 Окно анализатора: вид частотного спектра сигнала на выходе  
 последовательного диодного детектора (рис. 3.14),  $f = 465$  кГц,  $U_c = 1$  В,  
 $F = 1$  кГц,  $m_{AM} = 0,3$

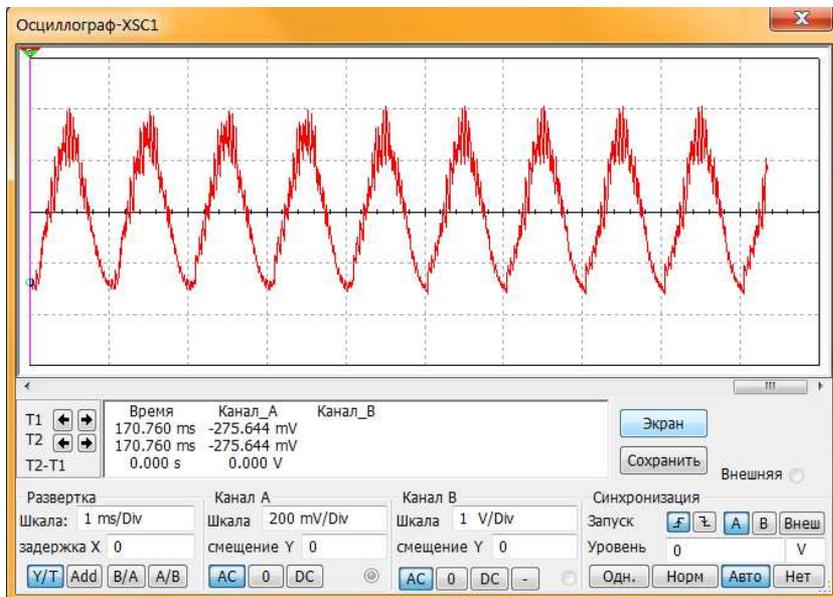


Рис. 3.16. Вид окна и органов настройки осциллографа. Окно  
 осциллографа: вид сигнала на выходе последовательного диодного  
 детектора (рис. 3.14),  $f = 465$  кГц,  $U_c = 1$  В,  $F = 1$  кГц,  $m_{AM} = 0,3$

Запустить спектроанализатор (главное меню / Измерители) и осциллограф ((главное меню / Измерители). Выбрать количество точек анализа FFT точек = 32768 (вызов настроек – кнопка **Уст...**). Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц, центр – 2,5 кГц, разрешение 25 Гц.

4. Запустить анализ схемы. На рисунках 3.14 и 3.15 соответственно приведены показания и вид органов настройки спектроанализатора и осциллографа.

5. Установить следующие параметры генератора АМ-сигналов:

частота несущей гармоники  $f = 465$  кГц,

частота модуляции  $F = 0$  кГц,

коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0$ .

6. Включить спектроанализатор. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц, центр – 2,5 кГц, разрешение 25 Гц (рис. 3.15).

7. Изменяя амплитуду несущего колебания  $U_{nc}$  в соответствии с данными табл. 3.12, измерить значение постоянной составляющей  $U_{вых0}$  на выходе амплитудного детектора. Результаты занести в табл. 3.12.

*Таблица 3.12*

$U_{nc}, В$	$U_{вых0}, В$
0,1	
0,2	
0,3	
0,5	
0,6	
0,8	
1,0	
1,2	
1,4	
1,6	
1,8	
2,0	
2,4	
2,7	
3,1	
3,6	
4,1	
4,5	
5,5	

8. По данным табл. 3.12 построить детекторную характеристику АД, которая представляет собой зависимость постоянного (выпрямленного) выходного напряжения  $U_{\text{вых0}}$  от амплитуды немодулированного входного сигнала  $U_{\text{мс}}$  (см. для примера рис. 3.2).

9. Выделить линейный участок на построенной детекторной характеристике (см. для примера рис. 3.2) и определить крутизну детекторной характеристики диодного АД по формуле (3.9) и угол отсечки [1] по (3.10).

10. Установить следующие параметры генератора АМ-сигналов:

частота несущей гармоники  $f = 465$  кГц,

амплитуда несущей гармоники  $U_c = 1$ В,

частота модуляции  $F = 1$  кГц,

коэффициент модуляции  $m_{\text{АМ}} = 0,3$ .

11. Включить спектроанализатор. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц, центр – 2,5 кГц, разрешение 25 Гц (см. рис. 3.15).

12. Изменяя  $U_c$  в соответствии с данными табл. 3.13, измерить амплитуды гармоник: на модулирующей частоте  $F$  (1 кГц) –  $U_{\text{мF}}$ ; второй гармоники (2 кГц) частоты  $F - U_{\text{м2F}}$ ; третьей гармоники (3 кГц) частоты  $F - U_{\text{м3F}}$ . Результат занести в табл. 3.13.

13. Рассчитать по данным табл. 3.13 коэффициенты гармоник  $k_r$ , передачи  $K_d$  диодного АД по формулам 3.11 и 3.12, результаты занести в табл. 3.13.

Таблица 3.13

$U_c, \text{ В}$	$U_{\text{мF}}, \text{ В}$	$U_{\text{м2F}}, \text{ В}$	$U_{\text{м3F}}, \text{ В}$	$k_r, \%$	$K_d$
0,3					
0,5					
0,6					
1,0					
1,2					
1,4					
1,7					
2,0					
2,5					
2,7					
3,1					
3,6					
4,1					
4,5					
5,5					

14. Изменяя коэффициент модуляции  $m_{AM}$  от 0,1 до 1 с шагом 0,05, при  $f = 465$  кГц,  $U_c = 1$  В,  $F = 1$  кГц, измерить амплитуды гармоник  $U_{mF}$ ,  $U_{m2F}$ ,  $U_{m3F}$ . Рассчитать коэффициент гармоник  $k_r$  по формуле 3.11. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.14.

Таблица 3.14

M	0,1	0,15	0,2	...	...	...	....	0,95	1
$U_F$ , В									
$U_{2F}$ , В									
$U_{3F}$ , В									
$k_r$ , %									

15. По данным табл. 3.13 построить графики зависимости  $U_{mF}(U_c)$ .

16. По данным табл. 3.14 построить график зависимости коэффициента гармоник  $k_r$  от коэффициента модуляции  $m_{AM}$ .

17. Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 25 кГц. Изменяя значение ёмкости  $C1 = 4,7$  нФ,  $6,8$  нФ,  $10$  нФ,  $22$  нФ, измерить величину гармоники  $U_{mвых}$  частотой  $f$  ( $465$  кГц) на выходе АД, рассчитать коэффициенты передачи (3.12) и фильтрации несущей (3.13) АД. Результаты занести в табл. 3.15.

Таблица 3.15

$C1$	4,7 нФ	6,8 нФ	10 нФ	22 нФ
$U_c$ , В	1	1	1	1
$U_{mвых}$ , В				
$K_d$				
$k_{ФАД}$				

18. По данным табл. 3.15 построить графики зависимостей коэффициента передачи  $K_d$  и фильтрации  $k_{ФАД}$  диодного АД от ёмкости конденсатора  $C1$ .

19. Снять амплитудно-частотную характеристику АД в соответствии с параметрами, указанными в табл. 3.16, при коэффициенте модуляции  $m_{AM} = 0,3$  и амплитуде несущей гармоники  $U_c = 1$  В.

20. По данным табл. 3.16 построить зависимость амплитуды основной гармоники  $U_{mF}$  от частоты модулирующего колебания  $F$ .

Таблица 3.16

F, Гц	$U_{mF}$ , мВ
50	
100	
250	
500	
1000	
2000	
3000	
4000	
5000	
7000	
9000	

21. Изучить работу и измерить основные параметры диодного детектора АМ-сигналов с удвоением напряжения, для этого собрать схему, изображённую на рис. 3.17.

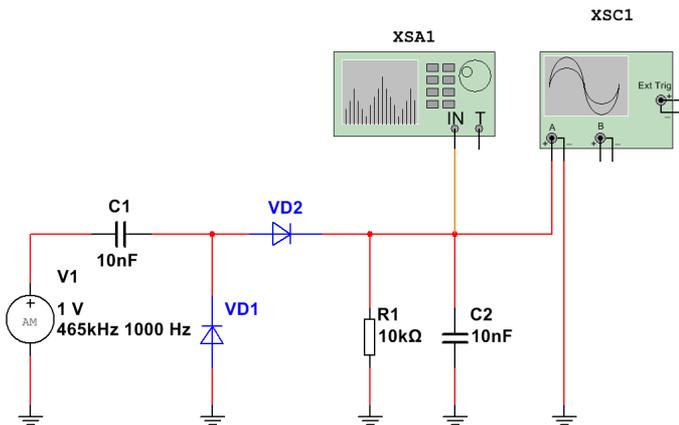


Рис. 3.17. Схема диодного детектора АМ-сигналов с удвоением напряжения

22. Повторить пункты 1–3.

23. Запустить анализ схемы. На рис. 3.18 и 3.19 соответственно приведены показания и вид органов настройки спектроанализатора и осциллографа.

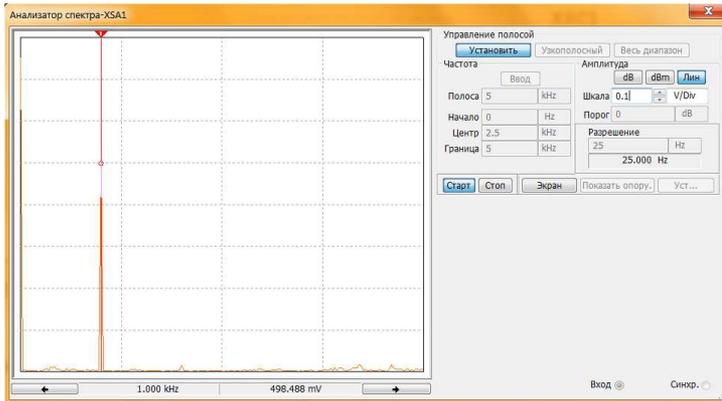


Рис. 3.18. Вид окна и органов настройки спектроанализатора. Окно анализатора: вид частотного спектра сигнала на выходе диодного детектора АМ-сигналов с удвоением напряжения (рис. 3.17),  $f = 465$  кГц,  $U_c = 1$  В,  $F = 1$  кГц,  $m_{AM} = 0,3$

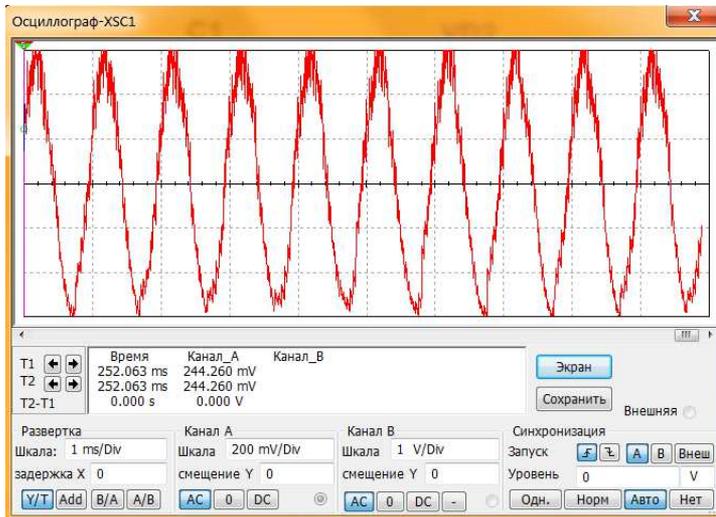


Рис. 3.19. Вид окна и органов настройки осциллографа. Окно осциллографа: вид сигнала на выходе диодного детектора АМ-сигналов с удвоением напряжения (рис. 3.17),  $f = 465$  кГц,  $U_c = 1$  В,  $F = 1$  кГц,  $m_{AM} = 0,3$

24. Выполнить пункты 5–20 для схемы, изображённой на рис. 3.17. VD1, VD2 –1N4148, 1N4151, BA317. 1N914. В пунктах 17 и 18 принять

$C1 = 33 \text{ нФ}$ ,  $C2$  изменять в соответствии со значениями, приведёнными в табл. 3.15.

25. Выполнить отдельные отчёты по изучению последовательного диодного детектора АМ-сигналов и диодного детектора АМ-сигналов с удвоением напряжения.

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схема диодного амплитудного детектора,
- 4) таблицы 3.12 – 3.16,
- 5) графики зависимостей  $U_{\text{вых0}}(U_{\text{мс}})$ ,  $U_{\text{мф}}(U_c)$  и  $k_r(m_{\text{АМ}})$ ,
- 6) рассчитанные значения  $S_d$  и  $\theta$ ,
- 7) графики зависимостей  $K_d$  и  $k_{\text{Ф.АД}}$  от ёмкости конденсатора  $C1$ ,
- 8) график зависимости амплитуды основной гармоники  $U_{\text{мф}}$  от частоты модулирующего колебания  $F$ ,
- 9) анализ полученных экспериментальных данных и выводы по проделанной работе.

### 3.5.3. Изучение синхронного детектора АМ сигналов

Амплитудные детекторы могут быть построены на аналоговых перемножителях совместно с ФНЧ (рис. 3.20).

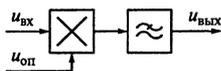


Рис. 3.20. Структурная схема амплитудного синхронного детектора на перемножителе

Если на один из входов перемножителя подаётся напряжение сигнала  $u_c(t) = U_c(t)\cos(\omega_c t + \Phi_c)$ , на другой – опорное напряжение  $u_c(t) = U_{\text{оп}}\cos(\omega_{\text{оп}} t + \Phi_{\text{оп}})$ , то на выходе перемножителя с коэффициентом передачи  $K$  для синхронного режима  $\Phi = \Phi_c = \Phi_{\text{оп}}$ :

$$u_1(t) = K u_c(t) u_{\text{оп}}(t) = 0,5 K U_c(t) U_{\text{моп}} [1 + \cos(2\omega_c t + 2\Phi)]. \quad (3.17)$$

На выходе ФНЧ с коэффициентом передачи  $K_{\text{ФНЧ}}$ :

$$u_{\text{вых}}(t) = 0,5 K K_{\text{ФНЧ}} U_c(t) U_{\text{моп}}. \quad (3.18)$$

При наличии фазового сдвига  $\psi = |\Phi_c - \Phi_{\text{оп}}| \neq 0$  между несущим колебанием и опорным сигналом амплитуда колебания на выходе синхронного детектора будет равна:

$$u_{\text{вых}}(t) = 0,5 K K_{\text{ФНЧ}} U_c [1 + m_{\text{АМ}} \cos \Omega t] U_{\text{моп}} \cos \psi. \quad (3.19)$$

Из выражения следует, что максимальное значение  $u_{\text{вых}}(t)$  достигается при величине фазового сдвига  $\psi = 2k\pi$ , где  $k$  – целое число 1, 2, 3 ...

К основным преимуществам синхронного детектора относятся:

- малые нелинейные искажения  $u_{\text{вых}}(t)$ , вследствие работы при достаточно больших напряжениях опорного колебания в режиме детектирования «сильных» сигналов;

- возможность подключения в качестве нагрузки ФНЧ с полосой прозрачности, величина которой не зависит от значений максимальной частоты  $F_{\text{max}}$  модулирующего колебания;

- высокое входное и низкое выходное сопротивление, что обеспечивает хорошее согласование с соседними каскадами устройств обработки сигналов.

**Цель работы:** изучение синхронного детектора АМ-сигналов на аналоговом перемножителе и измерение его основных параметров.

**Порядок выполнения работы:**

1. Изучить литературу.
2. Собрать схему в соответствии с рис. 3.21.

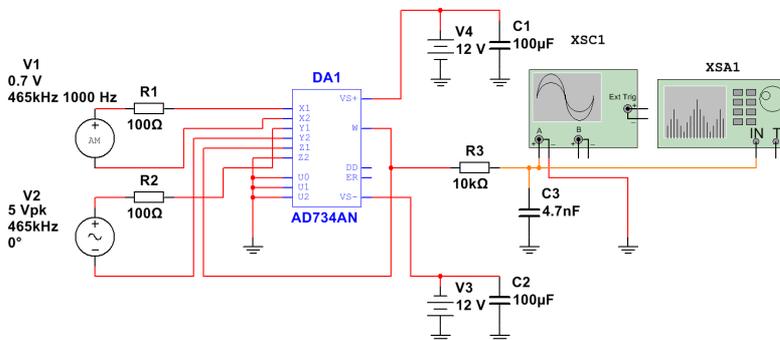


Рис. 3.21. Схема синхронного детектора АМ-сигналов на перемножителе AD734AN

3. Установить следующие параметры:

*генератора АМ-сигналов (V1)*

частота несущей гармоники  $f_c = 465$  кГц,

амплитуда несущей гармоники  $U_c = 0,7$  В,

частота модуляции  $F = 1$  кГц,

коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0,8$ ;

*опорного генератора (V2)*

напряжение  $U_{\Gamma} = 5$  В,

частота  $f_{\Gamma} = 465$  кГц,

фаза  $\varphi = 0^\circ$ .

Запустить спектроанализатор (главное меню / Измерители) и осциллограф ((главное меню / Измерители). Выбрать количество точек анализа FFT точек = 32768 (вызов настроек – кнопка Уст...). Установить на спектроанализаторе рабочую полосу от 0 до 5 кГц, центр – 2,5 кГц, разрешение 25 Гц (рис. 3.22).

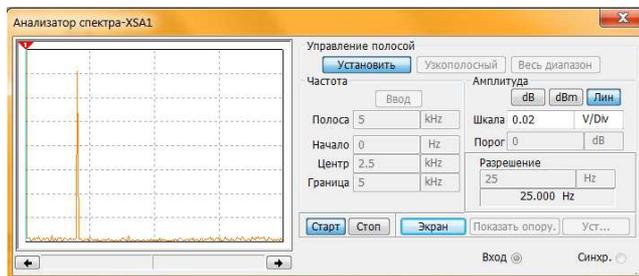


Рис. 3.22. Вид окна и органов настройки спектроанализатора. Окно анализатора: вид частотного спектра сигнала на выходе синхронного детектора АМ-сигналов на перемножителе (рис. 3.21),  $f = 465$  кГц,  $U_c = 0,7$  В,  $F = 1$  кГц,  $m_{AM} = 0,8$

4. Запустить анализ схемы. На рис. 3.22 и рис. 3.23, соответственно, приведены показания и вид органов настройки спектроанализатора и осциллографа.

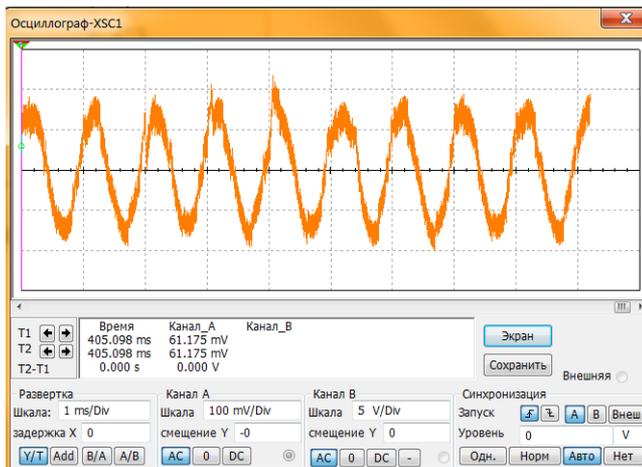


Рис. 3.23. Вид окна и органов настройки осциллографа. Окно осциллографа: вид сигнала на выходе синхронного детектора АМ-сигналов на перемножителе (рис. 3.21),  $f = 465$  кГц,  $U_c = 0,7$  В,  $F = 1$  кГц,  $m_{AM} = 0,8$

5. Изменяя фазу сигнала опорного генератора в соответствии с данными табл. 3.17, снять зависимость уровня первой гармоники ( $F=1$  кГц)  $U_{mF}$  от фазы  $\varphi$  опорного сигнала.

6. Используя данные табл. 3.17, построить график зависимости  $U_{mF}$  от  $\varphi$ .

Таблица 3.17

$\varphi^\circ$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
$U_{mF}, B$												
$\varphi^\circ$	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
$U_{mF}, B$												

7. Установить следующие параметры:

*генератора АМ сигналов (V1)*

частота несущей гармоники  $f_c = 465$  кГц,

амплитуда несущей гармоники  $U_c = 0,1$  В,

частота модуляции  $F = 1$  кГц,

коэффициент модуляции  $m_{AM} = 0,3$ ;

*опорного генератора (V2)*

напряжение  $U_\Gamma = 1$  В,

частота  $f_\Gamma = 465$  кГц,

фаза  $\varphi = 0^\circ$ .

Таблица 3.18

$U_c, B$	$U_{mF}, MB$	$U_{m2F}, MB$	$U_{m3F}, MB$	$k_r, \%$
1	2	3	4	5
$U_\Gamma = 1 B$				
0,1				
0,25				
0,5				
0,75				
2				
2,5				
3				
3,5				
4				

1	2	3	4	5
$U_{\Gamma} = 2 \text{ В}$				
0,1				
*				
*				
4				
$U_{\Gamma} = 3 \text{ В}$				
0,1				
*				
*				
4				
$U_{\Gamma} = 4 \text{ В}$				
0,1				
*				
*				
4				
$U_{\Gamma} = 5 \text{ В}$				
0,1				
*				
*				
4				

8. Изменяя  $U_c$ , в соответствии с данными табл. 3.18, измерить амплитуды гармоник: на модулирующей частоте  $F$  (1 кГц) –  $U_{mF}$ ; второй гармоники (2 кГц) частоты  $F$  –  $U_{m2F}$ ; третьей гармоники (3 кГц) частоты  $F$  –  $U_{m3F}$ . Результат занести в табл. 3.18.

9. По данным табл. 3.18 рассчитать коэффициент гармоник по формуле (3.11), результат занести в табл. 3.18.

10. Повторить пункты 8 и 9 для  $U_{\Gamma} = 2, 3, 4, \text{ и } 5 \text{ В}$ . Результаты измерений занести в табл. 3.18.

11. Используя данные табл. 3.18, построить семейство графиков зависимости  $U_{mF}(U_c)$  при различных значениях амплитуды опорного сигнала  $U_{\Gamma}$ .

12. Используя данные табл. 3.18, построить семейство графиков зависимости  $k_r(U_c)$  при различных значениях амплитуды опорного сигнала  $U_r$ .

13. Изменяя коэффициент модуляции  $m_{AM}$  от 0,1 до 1 с шагом 0,05, при  $f = 465$  кГц,  $U_c = 1$  В,  $F = 1$  кГц,  $U_r = 3$  В,  $f_r = 465$  кГц, измерить амплитуды гармоник  $U_{mF}$ ,  $U_{m2F}$ ,  $U_{m3F}$ . Рассчитать коэффициент гармоник  $k_r$  по формуле 3.11. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.19.

14. По данным табл. 3.19 построить график зависимости коэффициента гармоник  $k_r$  от коэффициента модуляции  $m_{AM}$ .

Таблица 3.19

M	0,1	0,15	0,2	...	...	...	....	0,95	1
$U_r, В$									
$U_{2F}, В$									
$U_{3F}, В$									
$k_r, \%$									

### Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист,
- 2) цель работы,
- 3) схема синхронного детектора АМ-сигналов на перемножителе AD734AN,
- 4) таблицы 3.18 и 3.19,
- 5) графики зависимостей по пунктам 11, 12 и 14,
- 6) анализ полученных экспериментальных данных и выводы по проделанной работе.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Введение в Multisim. Трёхчасовой курс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ni.com/russia>

Головин, О.В. Радиоприёмные устройства / О.В. Головин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 384 с.: ил.

Загидуллин, Р.Ш. Multisim, LabVIEW и Signal Express: практика автоматизированного проектирования электронных устройств / Р.Ш. Загидуллин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 368 с.

Колосовский, Е.А. Устройства приёма и обработки сигналов: учеб. пособие для вузов / Е.А. Колосовский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 456 с.: ил.

Королев, А.Л. Компьютерное моделирование / А.Л. Королев. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2010. – 232 с.

Марк Е. Хернтер. Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств / Марк Е. Хернтер. – М.: ДМК-Пресс, 2006. – 492 с.

Марченко, А.Л. Основы преобразования информационных сигналов / А.Л. Марченко, Е.А. Марченко. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 290 с.

Палшков, В.В. Радиоприёмные устройства: учеб. пособие / В.В. Палшков. – М.: Радио и связь, 1984. – 392 с.: ил.

Побережский, Е.С. Цифровые радиоприёмные устройства / Е.С. Побережский. – М.: Радио и связь, 1987. – 184 с.: ил.

Радиоежегодник-2013 // Схемотехническое моделирование. – 2013. Вып. 23. – С. 141.

Румянцев, К.Е. Приём и обработка сигналов: сб. задач и упражнений / К.Е. Румянцев. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.

Румянцев, К.Е. Радиоприёмные устройства: учебник / К.Е. Румянцев. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 336 с.

Серебряков, А.С. Электротехника и электроника: электронный практикум на Electronics Workbench и Multisim / А.С. Серебряков. – М.: Высш. шк., 2009. – 336 с.

Фомин, Н.Н. Радиоприёмные устройства / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин и др.; под редакцией Н.Н. Фомина. – 3-е издание, стереотип. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 520 с.: ил.

Шестеркин, А.Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10 / А.Н. Шестеркин. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 360 с.

Учебное издание

**Белоус Игорь Александрович**  
**Левашов Юрий Александрович**

**УСТРОЙСТВА ПРИЁМА  
И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ**

Учебное пособие

Редактор Л.И. Александрова  
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Подписано в печать 06.11.13. Формат 60×84/16.  
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,8.  
Уч.-изд. л. 7,5. Тираж 100 экз. Заказ

---

Издательство Владивостокского государственного университета  
экономики и сервиса  
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41  
Отпечатано во множительном участке ВГУЭС  
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41