

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для  
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Б1.В.ДВ.10.02\_ Основы приема, обработки и передачи сигналов

**Направление подготовки (специальность)** 09.03.01 Информатика и  
вычислительная техника

**Профиль образовательной программы** “Автоматизированные системы обработки  
информации и управления”

**Форма обучения:** очная

## **СОДЕРЖАНИЕ**

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Организация самостоятельной работы .....</b>                             | <b>3</b>  |
| <b>2. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов.....</b> | <b>4</b>  |
| <b>3. Методические рекомендации по подготовке к занятиям .....</b>             | <b>20</b> |

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## 1.1. Организационно-методические данные дисциплины

| № п.п. | Наименование темы                                                  | Общий объем часов по видам самостоятельной работы<br>(из табл. 5.1 РПД) |                             |                                             |                                               |                                   |
|--------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|
|        |                                                                    | подготовка<br>курсового<br>проекта<br>(работы)                          | подготовка<br>реферата/эссе | индивидуальные<br>домашние<br>задания (ИДЗ) | самостоятельное<br>изучение<br>вопросов (СИВ) | подготовка<br>к занятиям<br>(ПкЗ) |
| 1      | 2                                                                  | 3                                                                       | 4                           | 5                                           | 6                                             | 7                                 |
| 1      | Структуры устройств приёма и обработки радиосигналов               |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 3                                 |
| 2      | Основные технические характеристики и их взаимосвязь               |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 4                                 |
| 3      | Шумовые свойства устройства приёма обработки сигналов              |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 3                                 |
| 4      | Входные цепи и устройства                                          |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 4                                 |
| 5      | Высококачественные усилители устройств приёма и обработки сигналов |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 3                                 |
| 6      | Преобразователи частоты и параметрические усилители                |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 4                                 |
| 7      | Детекторы радиосигналов                                            |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 3                                 |
| 8      | Регулировки в устройствах приёма и обработки сигналов              |                                                                         |                             |                                             | 4                                             | 4                                 |

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ**

### **2.1 Каково назначение устройства приема и обработки сигналов?**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

Радиоприемным устройством называется совокупность элементов, предназначенных для улавливания, преобразования и использования энергии электромагнитных волн с целью извлечения из них полезной информации.

Радиоприемное устройство является составной частью радиотехнической системы. В свою очередь, радиосистемой называется любая система, в которой радиосредства выполняют основную или одну из основных функций.

Может быть дано и такое определение радиосистемы.

Радиосистемой называется совокупность технических средств, предназначенных для выполнения определенного круга задач, в которой при обмене информации между отдельными частями системы используются радиосигналы, способные переносить информационные процессы.

При системотехническом проектировании радиосистем широко пользуются процедурой декомпозиции (процедура расщепления несущественных связей и фиксация существенных). Возможный вариант декомпозиции показан на рис. 1.1.

Радиосистемы можно представить состоящими из радиоканалов – совокупностью радиоустройств, которые в рамках отдельной радиосистемы обеспечивают выполнение определенной задачи при передаче или извлечении информации, переносимой радиосигналами. В состав радиоканала обязательно входит

физическая среда, в которой распространяются радиосигналы.

Радиоустройство выполняет определенную задачу по формированию или обработке радиосигналов, например, преобразование радиосигнала в сообщение (радиоприемное устройство). Радиоустройство состоит из различных функциональных звеньев: части радиоустройства, которая выполняет заданную функцию по формированию или преобразованию электромагнитных

полей, радиосигналов или информационных процессов.

В свою очередь, функциональные звенья радиоустройств состоят из схемных элементов, которые можно подразделить на активные и пассивные.

В настоящее время широкое применение находят радиотехнические комплексы, состоящие из нескольких систем, в которых для обработки информации и управления используют мощные компьютеры. К ним относятся системы спутниковой и космической связи, системы контроля и управления воздушным движением, ракетные космические комплексы и т.д.

По своему информационному назначению радиосистемы делят на следующие основные классы:

- системы передачи информации (радиосвязь, радиотелеметрия);
- системы извлечения информации (радиолокация, радионавигация, радиоастрономия, радиоразведка);
- системы разрушения информации (создание помех радиоустройствам передачи или извлечения информации);
- комбинированные информационные системы (комбинация радио-электронных систем извлечения и передачи информации);
- системы управления (в них информация используется для управления какими-либо процессами или аппаратами).

## **2.2 Зачем диапазон рабочих частот устройств приема разбивается на поддиапазоны?**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

Рабочая частота приемника должна совпадать с рабочей частотой радиосигнала передатчика данной радиолинии. Приемник, имеющий одну рабочую частоту, называется приемником с фиксированной настройкой. Приемники, имеющие возможность принимать сигналы нескольких передатчиков, последовательно перестраиваясь с одной рабочей частоты на другую, относятся к классу диапазонных, для которых вводится показатель - диапазон рабочих частот. Структурная схема приемника с многокварцевой стабилизацией частоты первого гетеродина.

Диапазон рабочих частот приемника разбивается на поддиапазоны по принципу равных частотных интервалов ( $\Delta f_{\text{на const}}$ ), а затем на первой ступени преобразования приводится к одному и тому же участку, в пределах которого изменяется первая промежуточная частота. Возможен вариант построения приемника, у которого меняется номинал первой промежуточной частоты при смене поддиапазонов.

Диапазон рабочих частот приемника / мин - / макс.

Поэтому при разбивке диапазона рабочих частот приемника на поддиапазоны решение находится как компромисс, учитывающий электрические, конструктивные, эксплуатационные и производственные требования к данному типу приемника.

Так как выбранная промежуточная частота в И раз меньше минимальной рабочей частоты приемника, то его резонансная кривая практически будет определяться только контурами, настроенными на промежуточную частоту.

Номинальное значение промежуточной частоты не должно выбираться в пределах диапазона рабочих частот приемника. Оно должно быть отнесено возможно дальше от границ этого диапазона с целью обеспечения необходимого подавления помехи по.

Необходимость двух преобразований частоты может диктоваться избранным способом разбивки диапазона рабочих частот приемника на поддиапазоны. Это имеет место, в частности, при разбивке на три и более поддиапазона способом однодиапазонного гетеродина.

Кроме того, если промежуточная частота будет лежать в диапазоне рабочих частот приемника, то при приеме станций с частотами, близкими к промежуточной, все каскады высокочастотной части приемника будут настроены на одну частоту, что может привести к самовозбуждению приемника из-за слишком большого числа каскадов, работающих на одной частоте.

Диапазон рабочих частот усилителя высокой частоты должен полностью совпадать с диапазоном рабочих частот приемника, а следовательно, и входной цепи. Поэтому выбор элементов контура усилителя выполняется так же, как и для входной цепи.

При работе в режиме ненастроенной антенны в зависимости от расположения диапазона рабочих частот приемника по отношению к резонансной частоте антенны собственно антенна представляется в виде источника с комплексными параметрами. На частотах, отличающихся от резонансной, сопротивление антенны становится комплексным, ее согласование с фидером нарушается и мощность, отдаваемая фидеру со стороны антенны, убывает.

### 2.3 Дайте классификацию основных типов радиопомех звеньев САУ

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

Типы звеньев систем автоматического управления и регулирования различаются в зависимости от вида их передаточных функций (или дифференциальных уравнений), определяющих их динамические свойства и характеристики.

Типовые динамические звенья характеризуются дифференциальными уравнениями, порядок которых не выше второго.

В зависимости от вида дифференциальных уравнений в теории автоматического управления различают следующие основные типовые звенья:

- безынерционное (пропорциональное или усилительное);
- инерционное первого порядка (или апериодическое);
- инерционное второго порядка;
- интегрирующее;
- дифференцирующее;
- реальное дифференцирующее;
- колебательное;
- звено запаздывания.

Основные типы звеньев делятся на три группы:

- позиционные;
- дифференцирующие;
- и интегрирующие.

**Позиционными звеньями** называются такие, в передаточной функции которых

$$W(p)=k \cdot =.$$

многочлены  $B_m(p)$  и  $A_n(p)$  имеют свободные члены равные 1, т.е. эти звенья обладают статической характеристикой  $y_{уст}=k \cdot x_{уст}$  (при  $p=0$   $W(p)=k=$ ), определяющей их состояние равновесия - свойство позиционности.

У **дифференцирующих звеньев** в выражении передаточной функции отсутствует свободный член числителя, т. е. для однократно дифференцирующего звена будет  $b_0=0$ :

$$W(p)= = \cdot k \cdot p,$$

где  $B_{m-1}(p)$  имеет свободный член, равный 1, а  $k=$  – коэффициент усиления.

Передаточные функции **интегрирующих звеньев** имеют соответственно вид:

$$W(p)= = \cdot =.,$$

где  $A_{n-1}(p)$  имеет свободный член, равный 1.

Для двукратно интегрирующего звена  $a_0=a_1=0$

$$W(p)= = \cdot =.,$$

Знание характеристик типовых звеньев необходимо для расчетов систем управления.

### Идеальное усилительное (безынерционное) звено.

Уравнение и передаточная функция звена:

$$y(t)=k \cdot x(t), W(p)=k.$$

Примерами безынерционного звена являются редуктор, делитель напряжения, датчики угла, безынерционный усилитель и др. (рис.9).

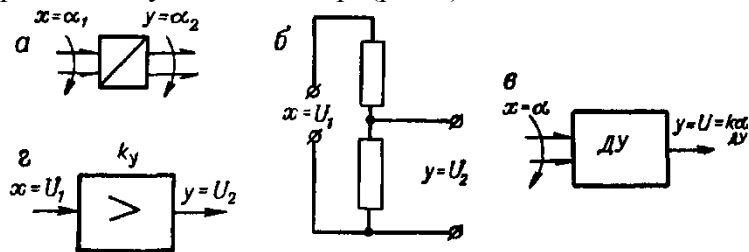


Рис. Примеры безынерционных звеньев.

В действительности безынерционных звеньев нет. Обычно в САУ идеальными считают звенья, инерционность которых значительно меньше инерционности других звеньев. Чаще всего это различные датчики и предварительные усилители. Инерционное запаздывание многих измерительных элементов автоматических систем (датчиков угла рассогласования, фотоэлектрических датчиков, магнитоэлектрических датчиков) мало, поэтому их считают безынерционными звеньями.

Амплитудная и фазовая частотные характеристики (рис.10):  $A(\omega)=k$ ;  $\psi(\omega)=0$ .

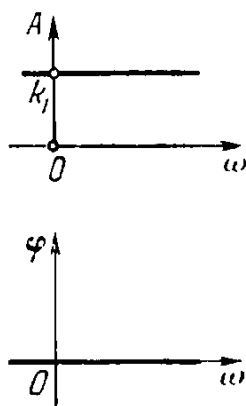


Рис.. Частотные характеристики безынерционного звена

Переходная функция звена:  $h(t)=k, t>0$ .

### 2.2. Инерционное (апериодическое) звено.

Уравнение и передаточная функция звена:

$$(Tp+1)Y(p)=kX(p); W(p)=,$$

где  $T$ — постоянная времени;  $k$ — коэффициент передачи звена.

Примерами инерционных (апериодических) звеньев являются двигатели постоянного тока, если  $x(t)$  — напряжение питания, а  $y(t)$  — угловая скорость вала  $\omega(t)$ ; двухфазные асинхронные двигатели; усилители при учете инерционного запаздывания; массивное тело, если входной величиной считать количество поступающего в единицу времени тепла  $Q$ , а выходной — температуру в какой-либо точке внутри тела и др.);  $L$ - $R$  цепочка (рис.11).

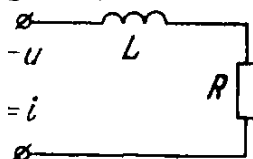


Рис.. Пример инерционного звена.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика:  $W(j\omega)=$  (рис.12).

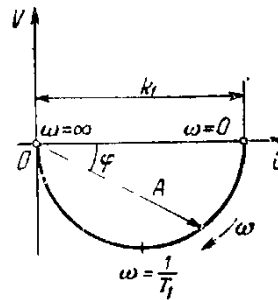


Рис.. АФЧХ инерционного звена.

Из  $W(j\omega)$  находим:  $A(\omega)=$ ,  $\psi(\omega)=-\arctg\omega T$ .

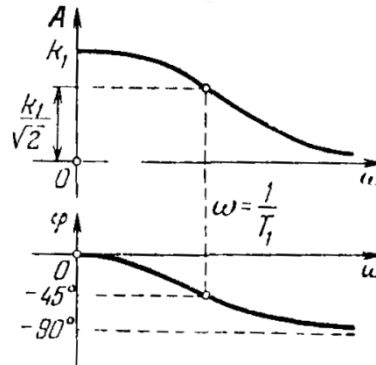


Рис.. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики инерционного звена

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика имеет вид:

$$L(\omega)=20\lg=20\lg k-20\lg.$$

Эта характеристика имеет асимптоты:

а) при  $\omega \rightarrow 0$   $L(\omega) \rightarrow 20\lg k$ ;

б) при  $\omega \rightarrow \infty$   $L(\omega) \rightarrow 20\lg k - 20\lg \omega T$ .

Последняя асимптота будет наклонной прямой с наклоном -20 дБ/дек, а первая – горизонтальная прямая. Пересекаются асимптоты в точке  $\omega_c=$ . Сама ЛАЧХ близка к этим асимптотам.

На логарифмической сетке по оси частот откладывается сопрягающая частоте  $\omega_c=$  (рис.14). Для частот меньших, чем сопрягающая, т. е. при  $\omega < \omega_c$ , можно пренебречь вторым слагаемым под корнем, тогда левее сопрягающей частоты можно заменить  $L(\omega)$  приближенным выражением

$$L(\omega) \approx 20\lg k.$$

Этому выражению соответствует горизонтальная прямая. Для частот больших сопрягающей  $\omega > \omega_c$  в выражении для  $L(\omega)$  можно пренебречь 1 под корнем. Тогда  $L(\omega) = 20\lg k - 20\lg(\omega T)$ . Второе слагаемое представляет собой прямую линию, идущую под наклоном -20 дБ/дек. Ломаная линия и называется асимптотической ЛАЧХ. Наибольшее отклонение точной ЛАЧХ от асимптотической приблизительно равно 3 дБ на частоте сопряжения, т. к.:

$$\Delta L() = 20\lg k - 20\lg = 20\lg k - 3,03 \text{ (дБ)}.$$



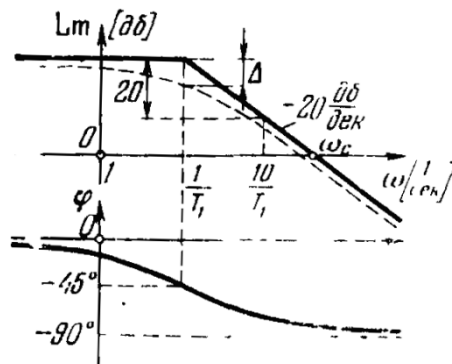


Рис.. ЛАЧХ инерционного звена.

Переходная функция, согласно решению уравнения звена, при  $x(t)=1(t)$  и нулевых начальных условиях имеет вид (рис.15):

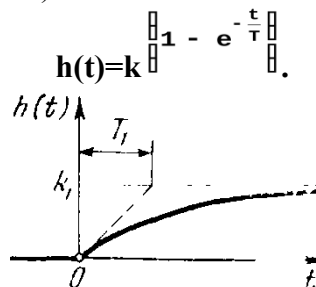


Рис.- Переходная функция инерционного звена.

Постоянная времени  $T$  определяет наклон касательной в начале кривой (рис.15). Следовательно, величина  $T$  характеризует степень инерционности звена, т.е. длительности переходного процесса. Теоретически такой переходный процесс длится бесконечно долго. Практически для этого звена под временем переходного процесса понимают промежуток времени  $t_n$  по истечении которого выполняется неравенство:

$$1-h(t_n)\Delta \leq,$$

где  $\Delta$  - наперед заданное положительное число (обычно  $\Delta=0,01 \div 0,05$ ).

При подаче на вход звена постоянного сигнала  $x_0$  по окончании переходного процесса координата  $y(t)$  жестко связана с входной:

$$y_{уст}=y(\infty)=kx_0.$$

## 2.4 Каково назначение входной цепи УП

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

Входная цепь приемника — цепь, посредством которой связывают антенну или антенно-фидерную систему со входом первого каскада приемника. Первым каскадом может быть усилитель высокой частоты, преобразователь частоты или детектор. Расположение входной цепи между выходом антенны или антенно-фидерной системы и входом первого каскада обусловило ее название (рис. 3.3.8).

Основные функции входной цепи заключаются:

- а) в предварительном выделении принимаемого полезного сигнала из всей совокупности сигналов, возникающих в антенной цепи;
- б) в передаче энергии полезного сигнала ко входу первого каскада с наименьшими потерями и искажениями.

В общем случае входная цепь - некоторый пассивный четырехполюсник, включающий в себя резонансную систему и элементы связи. В зависимости от диапазона частот резонансная система выполняется на сосредоточенных или распределенных элементах и состоит из одного или нескольких колебательных контуров или резонаторов. Элементы связи обеспечивают связь антенной цепи с

контуром или резонатором, а при нескольких резонансных элементах также связь между ними и первым каскадом приемника. К основным характеристикам входной цепи относятся: *коэффициент передачи напряжения (или мощности), постоянство резонансного коэффициента передачи по диапазону, диапазон рабочих частот, избирательность и полоса пропускания, величина связи антенны с входной цепью.*

**Коэффициентом передачи** входной цепи по напряжению  $K$  называют отношение напряжения сигнала  $U_c$  на входе первого

каскада к величине э. д. с.  $E$  генератора, эквивалентного антенной или антенно-фидерной системе:

$$K = U_c / E \quad (3.3.3)$$

При неизменной настройке входной цепи величина  $K(f)$  изменяется с частотой приходящих сигналов, достигая максимума  $K_0$  на резонансной частоте  $f_0$ .

Зависимость  $K(f)$  называют амплитудно-частотной (резонансной) характеристикой, а зависимость  $\varphi(f)$  - фазо-частотной (фазовой) характеристикой.

**Частотная избирательность** входной цепи определяется формой резонансной кривой. В супергетеродинных приемниках наиболее важна избирательность по двум дополнительным каналам приема-симметричному (или зеркальному) каналу и каналу прямого прохождения на промежуточной частоте. Для ослабления влияния сигнала на частоте  $f_1$  во входную цепь иногда вводят специальные фильтры (режекторный, фильтр-«пробку»). По форме резонансной кривой можно как определить избирательность входной цепи, так и оценить частотные искажения полезного сигнала. Достаточной характеристикой избирательных свойств часто может служить полоса пропускания  $\Pi$ , обычно определяемая по уровню 0,707. Неравномерность усиления составляющих спектра сигнала в пределах полосы пропускания не превышает трех децибел.

**Величина связи** с входной цепью определяется только параметрами входной цепи. В настоящее время в технике радиоприема применяются различные антенны от простейших проволочных вертикальных до параболических отражателей и других сложных антенн.

Согласно общей теории антенн можно рассматривать входные цепи применительно к двум характерным случаям: сопротивление антенны (антенно-фидерной системы) имеет активный характер; сопротивление антенны имеет реактивный характер. В случае реактивного характера сопротивления антенны во входную цепь вносится некоторое реактивное сопротивление, за счет которого изменяется резонансная частота последней; вносимое активное сопротивление приводит к ухудшению избирательности входной цепи. Величина вносимых сопротивлений может изменяться в больших пределах, поскольку приемник часто эксплуатируется с разными антеннами, параметры которых заранее не известны. Поэтому для уменьшения влияния параметров ненастроенных антенн на входную цепь выбирают достаточно слабую связь между ними. При активном сопротивлении антенны условия работы входной цепи другие. В этом случае во входную цепь не вносится расстройка и величину связи, между входной цепью и настроенной антенной, сопротивление которой задается однозначно, выбирают из условия получения наибольшей мощности сигнала на входе первого каскада. Связь, при которой обеспечивается это условие, называется оптимальной.

## 2.5 Какими параметрами характеризуются усилители радиосигналов

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

**Классификация, основные параметры и характеристики усилителей**  
**Классификация усилителей**

- по роду усилительных элементов:
  - о ламповые,
  - о транзисторные;
- по характеру усиливаемых сигналов:
  - усилители аналоговых сигналов,
  - усилители импульсных сигналов;
- по роду усиливаемой величины:
  - о усилители напряжения,
  - о тока,
  - о мощности;
- по числу каскадов:
  - о одно,
  - о двух,
  - о многокаскадные;
- по диапазону частот усиливаемых сигналов:
  - § усилители постоянного тока,
  - § усилители переменного тока:
    - усилители низкой частоты (звуковой,  $f < 30$  кГц),
    - усилители высокой частоты ( $30 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$ ),
    - усилители сверхвысокой частоты ( $f > 300 \text{ МГц}$ );
  - § широкополосные усилители,
  - § избирательные усилители.

Усилители низкой частоты (УНЧ) служат для усиления непрерывных периодических сигналов в диапазоне низких частот (от десятков герц до десятков килогерц). Особенностью УНЧ является то, что отношение верхней усиливаемой частоты к нижней велико и имеет значение от нескольких сотен до нескольких тысяч.

Усилители постоянного тока (УПТ) предназначены для усиления медленно меняющихся напряжений и токов в диапазоне частот от нуля до некоторой наибольшей частоты.

Широкополосные усилители усиливают сигналы в единицы и десятки мегагерц.

Избирательные усилители, характеризующие небольшими значениями отношения верхней и нижней частот. . Как правило, это усилители высокой частоты (УВЧ).

Импульсные, или широкополосные, усилители работают в диапазоне от нескольких килогерц до нескольких десятков мегагерц и используются в устройствах импульсной связи, радиолокации и телевидения.

### Основные параметры усилителей.

Основным количественным параметром усилителя является **коэффициент усиления**. В зависимости от функционального назначения усилителя различают коэффициенты усиления по напряжению  $K_u$ , току  $K_i$  или мощности  $K_p$ :

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}, \quad K_i = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}, \quad K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$$

где  $U_{\text{вх}}, I_{\text{вх}}$  - амплитудные значения переменных составляющих соответственно напряжения и тока на входе;

$U_{\text{вых}}, I_{\text{вых}}$  амплитудные значения переменных составляющих соответственно напряжения и тока на выходе;

$P_{\text{вх}}, P_{\text{вых}}$  — мощности сигналов соответственно на входе и выходе.

Коэффициенты усиления часто выражают в логарифмических единицах — децибелах:

$$K_u (\text{дБ}) = 20 \lg K_u; K_i (\text{дБ}) = 20 \lg K_i; K_p (\text{дБ}) = 10 \lg K_p.$$

Усилитель может состоять из одного или нескольких каскадов. Для многокаскадных усилителей его коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления отдельных его каскадов:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_n.$$

Если коэффициенты усиления каскадов выражены в децибелах, то общий коэффициент усиления равен сумме коэффициентов усиления отдельных каскадов:

Обычно в усилителе содержатся реактивные элементы, в том числе и «паразитные», а используемые усилительные элементы обладают инерционностью. В силу этого коэффициент усиления является комплексной величиной:

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma} e^{-j\varphi}$$

$$K_{\Sigma} = \frac{U_{\Sigma}}{U_{\Sigma}}$$

где  $K_{\Sigma}$  — модуль коэффициента усиления;

$\varphi$  — сдвиг фаз между входным и выходным напряжениями.

Помимо коэффициента усиления важным количественным показателем является **коэффициент полезного действия**

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma}}$$

где  $P_{\Sigma}$  — мощность, потребляемая усилителем от источника питания.

К количественным показателям усилителя относятся также **входное  $R_{\Sigma}$  и выходное  $R_{\Sigma}$  сопротивления** усилителя:

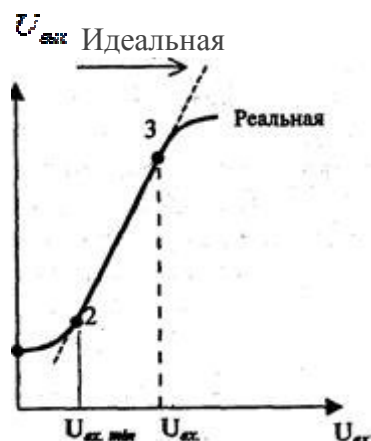
$$R_{\Sigma} = \frac{U_{\Sigma}}{I_{\Sigma}}, \quad R_{\Sigma} = \frac{|\Delta U_{\Sigma}|}{|\Delta I_{\Sigma}|}$$

где  $U_{\Sigma}$  и  $I_{\Sigma}$  — амплитудные значения напряжения и тока на входе усилителя;

$\Delta U_{\Sigma}$ ,  $\Delta I_{\Sigma}$  приращения амплитудных значений напряжения и тока на выходе усилителя, вызванные изменением сопротивления нагрузки.

### Основные характеристики усилителей.

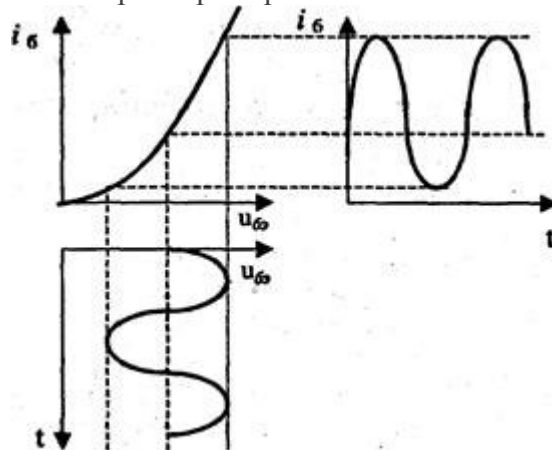
**Амплитудная характеристика** — это зависимость амплитуды выходного напряжения (тока) от амплитуды входного напряжения (тока).



Точка 1 соответствует напряжению шумов, измеряемому при  $U_{\text{ш}} = 0$ , точка 2 - минимальному входному напряжению, при котором на выходе усилителя можно различать сигнал на фоне шумов. Участок 2—3 — это рабочий участок, на котором сохраняется пропорциональность между входным и выходным напряжениями усилителя. После точки 3 наблюдаются нелинейные искажения входного сигнала.

Степень нелинейных искажений оценивается коэффициентом нелинейных искажений (или коэффициентом гармоник):

Рассмотрим пример возникновения нелинейных искажений.



При подаче на базу транзистора относительно эмиттера напряжения синусоидальной формы  $u_{\text{б}}$  в силу нелинейности входной характеристики транзистора  $i_{\text{б}} = f(u_{\text{б}})$  входной ток транзистора  $i_{\text{б}}$  (а следовательно, и выходной — ток коллектора) отличен от синусоиды, т. е. в нем появляется ряд высших гармоник. Из приведенного примера видно, что нелинейные искажения зависят от амплитуды входного сигнала и положения рабочей точки транзистора и не связаны с частотой входного сигнала, т. е. для уменьшения искажения формы выходного сигнала входной должен быть низкоуровневым. Поэтому в многокаскадных усилителях нелинейные искажения в основном появляются в оконечных каскадах, на вход которых поступают сигналы с большой амплитудой.

**Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазо-частотная характеристика (ФЧХ) усилителя** — это зависимость модуля коэффициента усиления от частоты, а ФЧХ — это зависимость угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями от частоты. Типовая АЧХ приведена на рис.

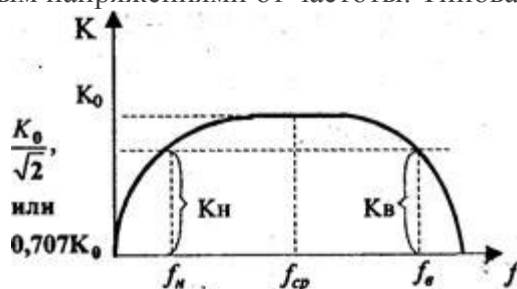


Рис. 2.4

Частоты  $f_{\text{н}}$  и  $f_{\text{в}}$  называются нижней и верхней граничными частотами, а их разность ( $f_{\text{в}} - f_{\text{н}}$ ) — **полосой пропускания усилителя**.

При усилении гармонического сигнала достаточно малой амплитуды искажения формы усиленного сигнала не возникает. При усилении сложного входного сигнала, содержащего ряд гармоник, эти гармоники усиливаются усилителем неодинаково, так как реактивные сопротивления схемы по-разному зависят от частоты,

и в результате это приводит к искажению формы усиленного сигнала. Такие искажения называются частотными и характеризуются коэффициентом частотных искажений:

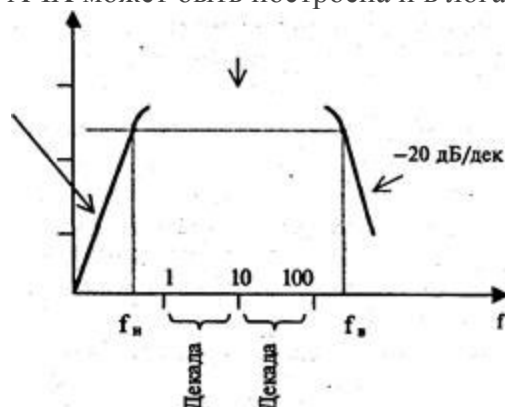
$$M = \frac{K_0}{K_f},$$

где  $K_f$  - модуль коэффициента усиления усилителя на заданной частоте.

$$M_n = \frac{K_0}{K_n} \quad \text{и} \quad M_v = \frac{K_0}{K_v}$$

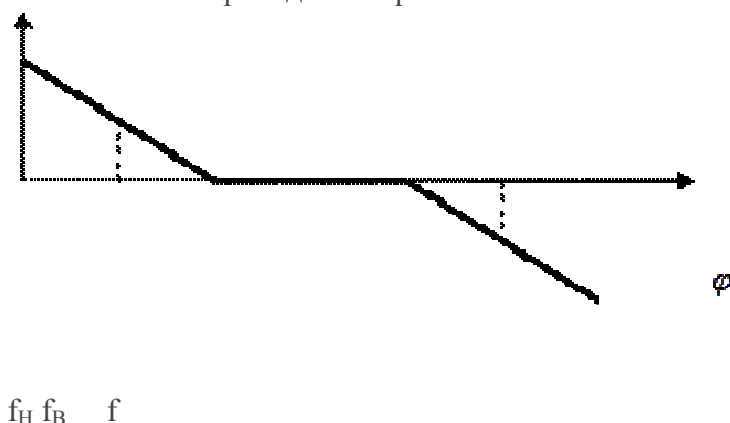
Коэффициенты частотных искажений соответственно коэффициентами искажений на нижней и верхней граничных частотах.

АЧХ может быть построена и в логарифмическом масштабе.



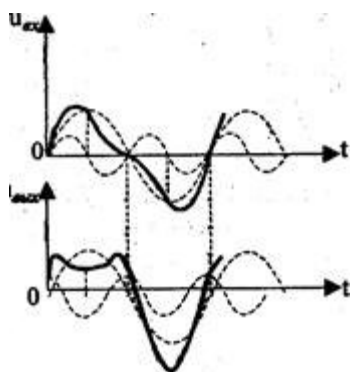
В этом случае она называется ЛАЧХ, коэффициент усиления усилителя выражают в децибелах, а по оси абсцисс откладывают частоты через декаду (интервал частот между  $10f$  и  $f$ ). Обычно в качестве точек отсчета выбирают частоты, соответствующие  $f = 10^n$ . Кривые ЛАЧХ имеют в каждой частотной области определенный наклон. Его измеряют в децибелах на декаду.

Типовая ФЧХ приведена на рис.



Она также может быть построена в логарифмическом масштабе. В области средних частот дополнительные фазовые искажения минимальны. ФЧХ позволяет оценить фазовые искажения, возникающие в усилителях по тем же причинам, что и частотные.

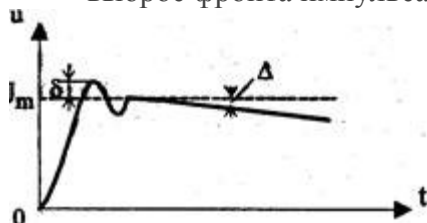
Пример возникновения фазовых искажений приведен на рис., где показано усиление входного сигнала, состоящего из двух гармоник (пунктир), которые при усилении претерпевают фазовые сдвиги.



**Переходная характеристика усилителя** — это зависимость выходного сигнала (тока, напряжения) от времени при скачкообразном входном воздействии (рис. ).

Частотная, фазовая и переходная характеристики усилителя однозначно связаны друг с другом. Области верхних частот соответствует переходная характеристика в области малых времен, области нижних частот — переходная характеристика в области больших времен.

$\delta$  — выброс фронта импульса  $\Delta$  — спад вершины импульса



## 2.6 Какими параметрами характеризуется преобразователь частоты

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

**Преобразователь частоты** — электрическая цепь, осуществляющая преобразование частоты<sup>[1]</sup> и включающая гетеродин, смеситель и полосовой фильтр (в отдельных случаях полосовой фильтр может отсутствовать)

Преобразователем частоты, в состав которого входят три функциональные группы (смеситель, гетеродин, фильтр), иногда ошибочно называют смеситель

Преобразователь частоты применяется в радиоприемниках, построенных по супергетеродинной схеме, в устройствах генерирования и формирования сигнала (в радиопередатчиках, синтезаторах частот), различных радиоизмерительных приборах (селективных вольтметрах, анализаторах спектра, модулометрах и девиометрах, установках для измерения ослаблений).

Например, в супергетеродинном радиоприемнике с фиксированным значением промежуточной частоты перенос полосы радиочастот сигнала вниз (реже — вверх) позволяет применять непереключаемый сложный фильтр основной селекции с высокой прямоугольностью частотной характеристики для подавления помех по соседнему каналу (то есть качественно улучшить частотную избирательность по сравнению с радиоприемником прямого усиления), а также использовать усилитель промежуточной частоты, более эффективный по сравнению с диапазонным усилителем радиочастоты. Перестройка частот такого радиоприемника осуществляется изменением частоты входящего в состав преобразователя частоты гетеродина.

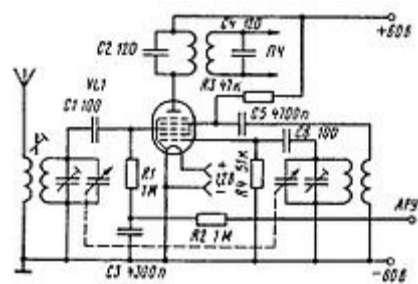


Схема однолампового преобразователя частоты на советском гептоде 1А1П

Функционально преобразователь частоты включает в себя три составные части — гетеродин, смеситель и выходной полосовой фильтр. Гетеродин представляет собой генератор сигнала синусоидальной формы, (настраиваемый либо с фиксированной частотой). Смеситель — основная часть преобразователя, нелинейное электронное устройство, в котором происходит образование нужного спектра. Принцип действия смесителя состоит в том, в результате нелинейных процессов образуются комбинационные гармоники, частоты которых равны разностям или суммам частот гармоник входных сигналов, либо частот, кратных частотам исходных гармоник. Амплитуды полученных комбинационных гармоник пропорциональны амплитудам исходных; таким образом, каждый из наборов комбинационных гармоник (разностных, суммарных, разностных и суммарных кратным) эквивалентен спектру входного сигнала, сдвинутому по частоте. Полосовой фильтр предназначен для селекции нужного набора гармоник, обычно выполнен по стандартной схеме полосового фильтра на LC-элементах.

Конструктивно преобразователь частоты может быть выполнен в виде единого устройства, в том числе на интегральной микросхеме с дополнительными элементами, в виде двух блоков (блок гетеродина и блок смесителя с фильтром) либо, в некоторых случаях, в разнесённом виде. Например, в установках для измерения ослаблений смеситель и фильтр представляют собой обособленные устройства, а в качестве гетеродина используется сторонний измерительный генератор, не входящий в комплект установки.

- По частотным свойствам возможны два варианта преобразователей
  - С перестраиваемым гетеродином и фиксированным значением несущей выходного сигнала — наиболее распространённый вариант, используемый в радиоприёмных и измерительных устройствах. Частотными параметрами в этом случае являются: диапазон перестройки гетеродина (и следовательно диапазон входных сигналов) и значение несущей выходного сигнала (ПЧ)
  - С фиксированным гетеродином — используется в специальных случаях, в качестве частотных параметров при этом будут: допустимые значения частоты входного сигнала и значение величины переноса спектра
- Внутренние параметры преобразователя зависят от типа нелинейного элемента в смесителе
  - Крутизна преобразования — отношение амплитуды выходного тока (при закороченном выходе) к амплитуде напряжения входного сигнала
  - Внутренний коэффициент усиления — отношение амплитуды напряжения ПЧ к амплитуде напряжения входного сигнала
  - Коэффициент шума преобразователя



## 2.7 Какие требования предъявляются к детекторам радиосигналов

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

**Детектор, демодулятор** (фр. *demodulateur*) — электронный узел устройств, отделяющий полезный (модулирующий) сигнал от **несущей составляющей**

Детектор радиоприёмного устройства, или демодулятор, восстанавливает информацию из радиосигнала, заложенную в него **модулятором**. Например, приём радио-или телепередач возможен за счёт демодуляции высокочастотного сигнала, поступившего на **антенну** устройства.

Демодулятор, в случае **амплитудной модуляции** (АМ), в простейшем случае может быть **диодом** или другим **нелинейным элементом**.

При **частотной модуляции** (ЧМ) применяется специальный каскад.

Важной функцией демодулятора **цифрового сигнала** является восстановление **тактовой частоты** передаваемого потока символов.

Демодуляторы, способные принимать сигналы, **модулированные** любыми способами (включая сложные сигналы типа КАМ256 или **OFDM**, применяющиеся при радиопередаче цифровой информации), называются векторными.

В простейшем случае детектор **амплитудно-модулированного** сигнала устроен аналогично **выпрямителю**. Принцип работы основан на предположении, что частота несущей значительно выше частоты модулирующего сигнала, а **коэффициент модуляции** меньше единицы. В этом случае сигнал на входе устройства выпрямляется и фильтруется с помощью **ФНЧ с частотой среза** большей, чем максимальная частота модулирующего сигнала.

### Простейший диодный АМ детектор

Демодулятор амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала в простейшем случае представляет собой однополупериодный выпрямитель на одном **диоде** с выходным **фильтром** из **конденсатора** и **резистора**. Соотношение номиналов резистора и конденсатора выбирается так, чтобы оптимально сглаживать полупериоды **несущей** высокой **частоты**. При превышении амплитуды полупериодов несущей выше напряжения на конденсаторе диод открывается, и конденсатор заряжается; при уменьшении амплитуды полупериодов несущей ниже напряжения на конденсаторе диод закрывается, и конденсатор разряжается; тем самым огибающая восстанавливает модулирующий (низкочастотный) сигнал.

При демодуляции сигнала звуковых частот (20-20 000 **Гц**) как правило, применяется **кремниевый** или **германиевый диод** и конденсатор ёмкостью порядка 10-47 **нФ**.

Рассмотренная схема диодного АМ детектора получила название *детектор с открытым входом*. Вход назван *открытым* потому, что постоянная составляющая амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала (при её наличии) беспрепятственно проходит на нагрузку детектора.

Если же поменять местами диод и конденсатор, получится *детектор с закрытым входом* или *параллельный детектор*, не пропускающий постоянную составляющую на нагрузку. По такой схеме строятся **детекторные головки** (ВЧ-пробники) для измерения переменного напряжения радиочастотного диапазона с помощью **вольтметра** постоянного тока.

## 2.8 В чем преимущество сенсорного управления в РПУ

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

Контактное управление в последнее время стало широко использоваться в различных радиоэлектронных конструкциях. Такой тип управления имеет много преимуществ, одно из них — отсутствие подвижных элементов (кнопок, пружин, штоков, рычажков), все это обеспечивает длительную работу устройства. Сенсорные переключатели можно встретить в телевизорах, микроволновых печах, электромузыкальных инструментах. Различают два способа контактного воздействия: емкостное и резистивное. В первом случае срабатывание контактного устройства происходит за счет касания металлической пластины (сенсора) человеком, тело которого как известно обладает определенной довольно большой емкостью (рис. 21.1). Во втором случае срабатывание сенсора, состоящего из двух металлических пластин, происходит в результате их замыкания пальцем, кожный покров которого имеет некоторое сопротивление (рис. 21.2).

### Описание схемы

Рассмотрим более подробно работу резистивного сенсора. Простейшая схема с использованием такого управления, может быть построена на основе однотранзисторного каскада без термостабилизации, в котором резистор, отвечающий за напряжение смещения на базу транзистора, заменен сенсором (рис. 21.3). В данном случае сенсор состоит из двух пластин, одна — присоединена к базе транзистора, а вторая — к источнику питания. В состоянии покоя, когда не касаются сенсора, через транзистор ток практически не течет, а напряжение на коллекторе равно напряжению питания.

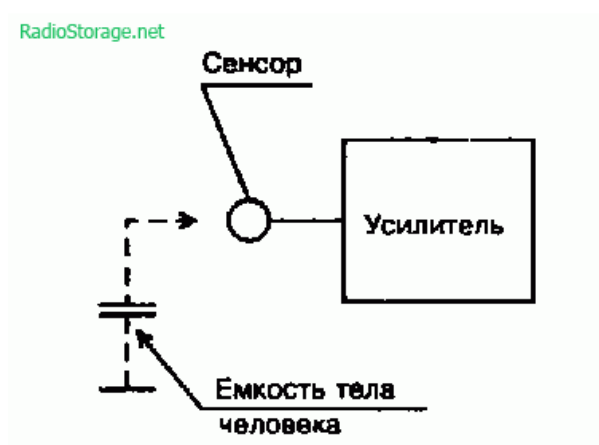


Рис. Принципиальная схема емкостного сенсора

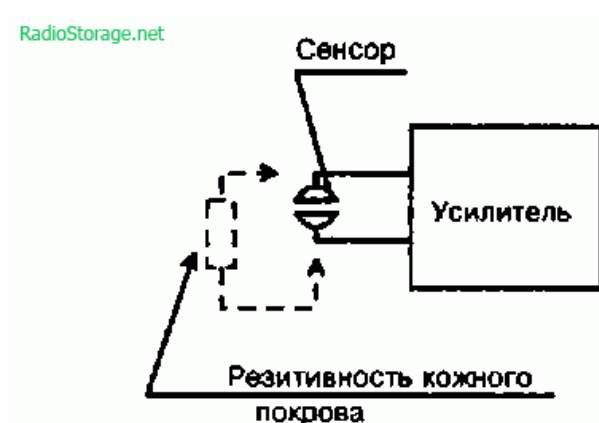


Рис. . Принципиальная схема резистивного сенсора

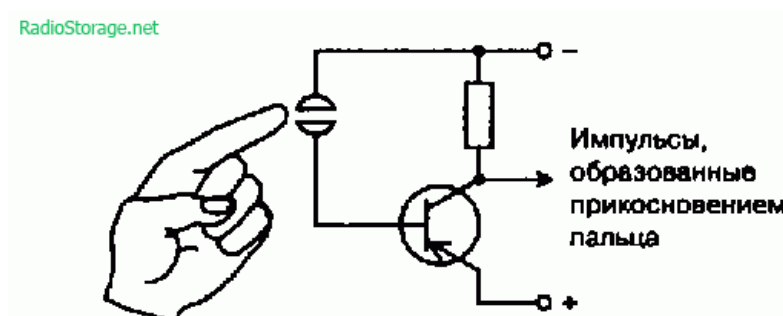


Рис.. Принципиальная схема простейшего сенсора с усилителем

Прикосновение пальца к двум пластинам равнозначно присоединению резистора между источником питания и базой, если вспомнить, что кожный покров имеет сопротивление. В этом случае на базу транзистора относительно эмиттера через кожный покров подается небольшое отрицательное напряжение. При этом транзистор открывается, в базовой цепи появляется небольшой ток, который вызывает в несколько раз больший ток коллектора транзистора. Напряжение на коллекторе немедленно меняется на величину, равную падению напряжения, образовавшегося на резисторе. Если теперь убрать палец с сенсора, то транзистор вернется в предыдущее состояние и напряжение на коллекторе тоже станет прежним по величине. Такой простой способ прикосновения пальца к сенсору вызывает импульсы на выходе транзисторного каскада. Этот пример в сущности и показывает, как надо строить управление исполнительным радиоэлектронным устройством с использованием сенсорной электронной схемы, которая преобразовывает прикосновение пальца в электрический сигнал.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ**

#### **3.1 Структуры устройств приёма и обработки радиосигналов**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на то, что основные элементы цифровой части устройства (радиоприёмника) сосредоточены в модуле цифрового радиоприёмника. Этот модуль производит канальную фильтрацию и демодуляцию сигнала. Модуль может обрабатывать один или несколько каналов приёма. Необходимо знать все виды обработки сигналов и уметь объяснить принцип работы каждого из видов обработки сигналов.

#### **3.2 Основные технические характеристики и их взаимосвязь**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на то, что характеристики канала связи в значительной мере определяют основные показатели качества передачи дискретной информации: скорость, верность, время доставки, надежность, эффективность. Поэтому знание этих характеристик представляет первостепенный интерес для разработчика систем ПДИ.

#### **3.3 Шумовые свойства устройства приёма обработки сигналов**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на то, шумовые свойства преобразователей зависят не только от шумовых свойств нелинейного элемента, но и от вклада шумов, определяемого зеркальным каналом. В радиоприемных устройствах шумы по зеркальному каналу подавляются избирательными цепями преселектора.

#### **3.4 Входные цепи и устройства**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на то, что входной цепью радиоприемного устройства называют цепь, связывающую антенно-фидерное устройство с первым каскадом усиления или преобразования частоты радиосигнала.

Основное ее назначение - предварительная частотная селекция принимаемого сигнала от помех, ухудшающих реальную чувствительность радиоприемного устройства.

#### **3.5 Высококачественные усилители устройств приёма и обработки сигналов**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на то, что усилитель мощности — это основной элемент звуковой системы. Это устройство получает сигнал малого уровня от линейного выхода головного устройства и увеличивает его напряжение и ток до

нужных величин, достаточных для обычной работы динамиков. Усилители делятся по классам зависимо от собственной эффективности (К.П.Д.) и уровня преломления выходного сигнала. В процессе усиления, проходя через разные блоки усилителя, звуковой сигнал искажается, «обрастая» ненужными гармониками.

### **3.6 Преобразователи частоты и параметрические усилители**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на то, что важнейшим функциональным элементом радиотехнических систем является радиоприемное устройство, способное воспринимать слабые радиосигналы и преобразовывать их к виду, обеспечивающему использование содержащейся в них информации. В состав радиоприемного устройства входят собственно радиоприемник, антенна и оконечное устройство.

### **3.7 Детекторы радиосигналов**

Изучение методов обработки дискретных сигналов в приёмнике и экспериментальное исследование их помехоустойчивости при флуктуационных помехах в канале связи.

### **3.8 Регулировки в устройствах приёма и обработки сигналов**

Регулировка может осуществляться дискретно или плавно и, как правило, вручную. Регулируемыми элементами могут быть избирательные системы линейной части приемного тракта, главным образом в УПЧ, а также в каскадах низких частот.

Для плавной регулировки полосы пропускания в тракте УПЧ используются регулируемые фильтры, представляющие собой систему двух перестраиваемых контуров, связанных между собой с помощью кварцевого резонатора и являющихся нагрузкой одного из каскадов УПЧ. Таким образом при изменении расстройки контуров можно регулировать полосу пропускания, так как при настройке их на промежуточную частоту полоса пропускания максимальна, а при расстройке она сужается. Пределы регулировки полосы пропускания определяются допустимыми потерями в усилении.