### Лекция 1. Общие сведения о радиоприемном устройстве







1.1. Назначение и структура радиоприемного устройства

Радиоприемным называется устройство, предназначенное для приема сообщений, передаваемых с помощью электромагнитных волн (ЭМВ) в радиочастотном и оптическом диапазонах.

Место радиоприемного устройства в любой системе передачи информации отражает рис.1.1.

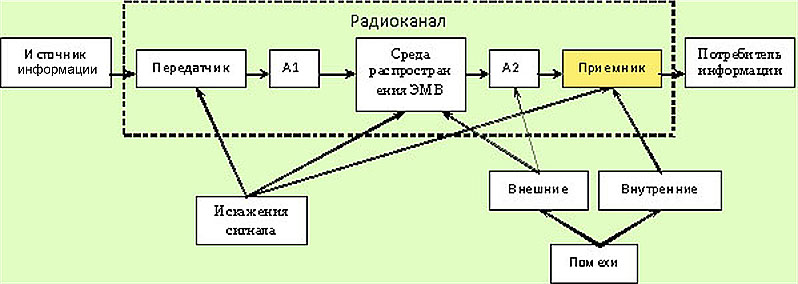


Рис. 1.1

Радиопередающее устройство (ПРД), вместе с передающей антенной А1, радиоприемное устройство (ПРМ) вместе с приемной антенной А2 и среда распространения ЭМВ образуют радиоканал.

При прохождении по радиоканалу сигнал претерпевает нежелательные изменения – искажения, связанные с распространением радиоволн и неидеальностью характеристик ПРД и ПРМ. Кроме того, в месте приема существуют электромагнитные поля, создаваемые посторонними источниками естественного и искуственного происхождения (внешние помехи), а в цепях самого ПРМ возникают различные побочные электрофизические явления, проявляющиеся в виде внутренних помех приему.

Основными функциями ПРМ являются:

1. Улавливание радиоволн и преобразование энергии электромагнитного поля в энергию электрических колебаний. Эту функцию выполняет антенна ПРМ.

2. Отделение полезного сигнала от мешающих воздействий других радиостанций и помех различной природы, что осуществляется с помощью фильтров.

3. Усиление и преобразование радиосигнала в напряжение (ток) с частотой модулирующего колебания.

4. Воспроизведение переданного сообщения в виде звука, изображения на экране, записи текста и т.п.

Укрупненная структурная схема ПРМ, определяемая его основными функциями показана на рис.1.2.



Рис.1.2.

Радиотракт предназначен для усиления сигнала до уровня, необходимого для нормальной работы детектора (без искажений), и подавления мешающих сигналов. Следовательно, радиотракт включает усилительные каскады и частотноселективные цепи (фильтры). Детектор преобразует высокочастотное колебание, модулированное передаваемым сообщением, в низкочастотное, соответствующее модулирующему сигналу.

В последетекторной части радиоприемника происходит усиление продетектированного сигнала до уровня, необходимого для нормальной работы воспроизводящего устройства. Здесь же происходит дополнительное ослабление помех, например, за счет включения декодирующих устройств при приеме цифровой информации.

В многоканальных приемниках радиотракт рассчитывается на прием группового сигнала, который несет в себе ряд независимых сообщений. В этом случае последетекторный тракт включает в себя разделитель каналов, а на выходе каждого канала используется свое воспроизводящее устройство.

1.2. Классификация ПРМ.

В зависимости от признаков, положенных в основу классификации, существует множество различных приемников. По основному функциональному назначению ПРМ делят на профессиональные и вещательные (бытовые).

К профессиональным ПРМ относят связные, телевизионные (в системах передачи информации), телеметрические, локационные, телеуправления и др.

Вещательные приемники обеспечивают прием программ звукового и телевизионного вещания. Их массовое производство и необходимость относительной дешевизны обуславливают сравнительно простые технические решения. В зависимости от сложности и качества они делятся на классы.

Среди связных различают ПРМ космических, магистральных, внутризоновых, местных, технологических и других радиосистем.

В зависимости от места установки ПРМ могут быть стационарными, бортовыми, автомобильными, переносными и т.д.

По виду принимаемых сигналов выделяют приемники непрерывных и дискретных сигналов; по виду модуляции (или манипуляции для приемников дискретных сигналов): с амплитудной (АМ), однополосной (ОМ), частотной (ЧМ) и фазовой (ФМ) модуляцией, различными видами импульсной модуляции и т.п.

По диапазону частот принимаемых сигналов различают приемники НЧ, СЧ, ВЧ, ОВЧ, УВЧ, СВЧ, а также приемники оптического диапазона. Радиовещательные приемники обычно классифицируют по диапазону длин волн: **ДВ, СВ**, КВ, УКВ. Приемники дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн используются в радиолокации и спутниковых системах связи.

Радиоприемники можно классифицировать также по способу питания (сетевые, от батареи), конструктивному выполнению и др.

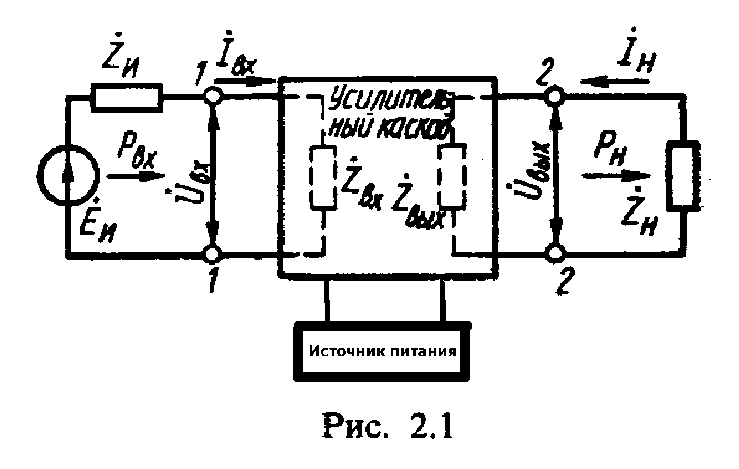
***Основные качественные показатели ПРМ***

2.1. Основные показатели усилительных устройств

Усиление в ПРМ обеспечивается как на высокой (до детектора) так и на низкой частоте (после детектора). При этом усилительные каскады имеют существенные отличия. Остановимся кратко на основных показателях, характеризующих усилительные свойства и искажения усилительных каскадов.

Усилительные возможности оцениваются с помощью коэффициентов усиления при действии на входе гармонического испытательного сигнала.

Представление усилителя в виде активного четырехполюсника (рис.2.1), параметры которого определяются источником питания, позволяет определить его основные характеристики.



Усилитель предназначен для увеличения мощности сигнала, подведенного к его входу, что происходит благодаря преобразованию энергии источника питания в энергию выходного сигнала. Поэтому основным показателем, характеризующим усилительные свойства усилителя, является коэффициент усиления по мощности, который всегда больше единицы:

Кр = Рн/Рвх,

где Рн - мощность, отдаваемая в нагрузку (выделяемая на активной части нагрузки),

Рвх - мощность, подводимая ко входу усилителя от источника сигнала.

Коэффициент усиления по напряжению это отношение комплексных амплитуд напряжений на выходе и на входе усилителя:

(2.1)

Сквозной коэффициент усиления по напряжению – отношение комплексной амплитуды напряжения на выходе усилителя к ЭДС источника сигнала:

.

Аналогично коэффициент усиления по току:

.

Коэффициенты усиления являются комплексными величинами.

Из-за наличия в усилителе реактивных элементов появляется фазовый сдвиг выходных напряжений и тока относительно входных значений. Более того, наличие реактивных элементов, сопротивление которых зависит от частоты, приводит к изменению модуля и фазы выходных напряжения и тока при изменении частоты входного сигнала, то есть к возникновению амплитудно-частотных и фазо-частотных искажений.

Амплитудно-частотные и фазо-частотные искажения оцениваются по амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристике, соответственно.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) представляет собой зависимость модуля коэффициента усиления по напряжению (2.1) от частоты, а фазо-частотная (ФЧХ) показывает зависимость фазового сдвига между выходным и входным напряжениями от частоты.

Типичный вид АЧХ и ФЧХ усилителей низкой частоты (УНЧ) показан на рис. 2.2, а и б:

Рис.2.2*а* Рис.2.2*б*

На рис. 2.2 в, для сравнения приведена АЧХ резонансного усилителя (РУ) радиочастоты, характерной особенностью которого является выраженный максимум коэффициента усиления на резонансной частоте f0.

Рис.2.2*в*

Очевидно, усиленный сигнал не искажается, если каждой составляющей спектра усиленного сигнала соответствует одинаковый коэффициент усиления и запаздывание на одинаковое время. При этом идеальные АЧХ и ФЧХ показаны пунктирными линиями соответственно на рис. 2.2, а (в) и 2.2 б.

Для количественной оценки амплитудно-частотных искажений используют коэффициент частотных искажений

Mf = K0/Kf , (2.2)

где Kf - коэффициент усиления по напряжению на частоте, на которой оцениваются частотные искажения; K0 - коэффициент усиления в области средних частот для УНЧ или резонансный коэффициент усиления для РУ.

Учитывая, что АЧХ усилителей обычно нормируются:

,

из 2.2 имеем , где  - значение нормированной АЧХ  на частоте f.

Амплитудно-частотные и фазочастотные искажения относятся к классу линейных искажений, так как не добавляют в выходной сигнал новых спектральных составляющих, а лишь изменяют их соотношение.

Нелинейные искажения возникают в усилительных каскадах из-за нелинейности вольтамперной характеристики (ВАХ) усилительного элемента, определяющего зависимость выходного тока от входного напряжения (проходная характеристика, рис. 2.3.).

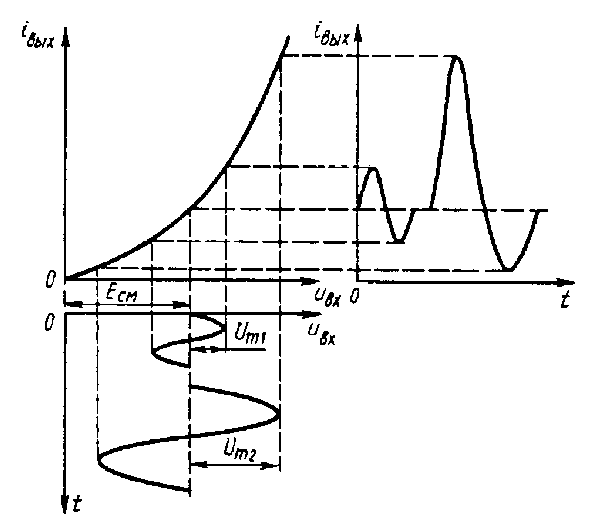


Рис.2.3

Нелинейные искажения проявляются в возникновении в выходном токе новых (высших) гармонических составляющих и оцениваются коэффициентом гармоник:

 (2.3)

где  - действующие (или амплитудные значения тока и напряжения первой, второй и т.д. гармоник выходного колебания.

Нелинейность радиотракта приемника приводит к ряду нелинейных эффектов (перекрестная модуляция и интермодуляция, блокирование).

**2.2. Качественные показатели ПРМ**

Основным показателем качества радиотракта приемника является **чувствительность.**

Чувствительностью называется способность приемника принимать слабые радиосигналы.

Количественно чувствительность оценивается той минимальной ЭДС в антенне  (или мощностью ), при которой на выходе приемника сигнал воспроизводится с требуемым качеством.

Под требуемым качеством понимают либо обеспечение заданного уровня сигнала на выходе приемника при определенном отношении сигнал/помеха, либо обеспечения одного из вероятностных критериев принятия сигнала.

Очевидно, чувствительность зависит от величины усиления сигнала в приемнике и ограничена ею, так как бесконечно увеличивать усиление в радиотракте невозможно. С другой стороны, чувствительность ограничена внутренними шумами. Такая чувствительность является параметром собственно приемника.

* **Чувствительность, ограниченная шумами** — чувствительность радиоприёмника, определяемая минимальным уровнем радиосигнала на его входе при заданном отношении уровней полезного сигнала и шума и заданном уровне полезного сигнала на выходе радиоприёмника.
* **Чувствительность, ограниченная усилением** — чувствительность радиоприёмника, определяемая минимальным уровнем радиосигнала на его входе, необходимым для получения заданного уровня сигнала на выходе радиоприёмника.
* **Пороговая чувствительность** — чувствительность радиоприёмника, определяемая минимальным уровнем радиосигнала на его входе при равных уровнях полезного сигнала и шума на выходе радиоприёмника.

**Избирательность** (селективность) приемника – это способность приемника отделять полезный сигнал от мешающих. Она основана на использовании тех или иных различий полезных и мешающих сигналов: направления прихода (пространственная избирательность), времени действия (временная), поляризации (поляризационная), амплитуды (амплитудная), частоты (частотная), фазы (фазовая).

Пространственная и поляризационная избирательности реализуются приемной антенной; временная (при приеме импульсных сигналов) достигается отпиранием приемника только на время действия полезного сигнала.

Основное значение имеет частотная избирательность, реализуемая с помощью резонансных цепей и фильтров. Различают односигнальную и многосигнальную (эффективную, реальную) частотную избирательность.

Односигнальная избирательность определяется АЧХ фильтров радиотракта приемника без учета нелинейных явлений при действии на входе одного сигнала (либо полезного, либо мешающего) (рис.2.4.а).

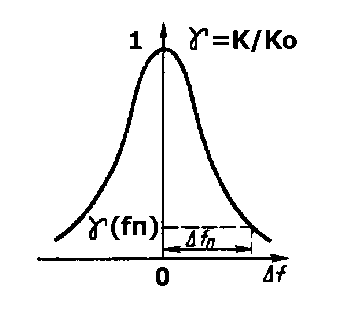


Рис.2.4а

Количественно односигнальная избирательность оценивается отношением уровня испытательного сигнала на частоте помехи к его значению на частоте полезного сигнала при неизменной настройке и одинаковом выходном напряжении, то есть отношением соответствующих коэффициентов усиления:

.

Следовательно, характеристика односигнальной избирательности или кривая селективности (рис. 2.4.б), оценивающая ослабление помехи в зависимости от частоты расстройки , обратна соответствующей АЧХ (рис.2.4.а).

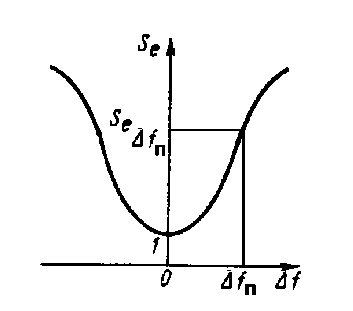


Рис.2.4б

При этом учтено, что в отличие от АЧХ УНЧ для резонансных усилителей радиотракта приемника при построении АЧХ по оси частот удобнее откладывать не абсолютное значение частот, а значение расстройки частоты относительно настройки приемника .

Важным показателем приемника, также определяемым по его АЧХ, является **полоса пропускания**, оцениваемая полосой частот вблизи резонансной частоты, где уровень амплитудно-частотных искажений не превышает допустимый, задаваемый неравномерностью АЧХ в полосе пропускания.

Неравномерность АЧХ оценивается отношением коэффициентов усиления на резонансной частоте и на границах полосы пропускания

.

Очевидно, что идеальная (с точки зрения обеспечения избирательности и отсутствия частотных искажений) АЧХ имеет прямоугольную форму (штриховая линия на рис.2.2в).

Степень близости реальной АЧХ к идеальной оценивается коэффициентом прямоугольности, определяемым отношением полос пропускания при двух значениях .

Обычно .

Отметим, что показатели избирательности и неравномерности, как большинство относительных величин, обычно выражаются в дБ.

**Реальная** (многосигнальная, эффективная) **селективность** учитывает нелинейные эффекты (перекрестная модуляция, блокирование, интермодуляция), возникающие в радиотракте приемника при действии сильных внеполосных помех, когда начинает проявляться нелинейность радиотракта.

Реальная селективность характеризует способность приемника выделять полезный сигнал при одновременном действии сигнала и помех. Нелинейные искажения сигнала на выходе приемника оцениваются коэффициентом гармоник модулирующего сигнала (2.3).

Нелинейностью амплитудных характеристик () определяется и **динамический диапазон** приемника, характеризующий пределы изменения уровня выходных сигналов, при которых обеспечивается требуемое качество воспроизведения принятого сообщения:

.

Здесь  - максимальный уровень сигнала в антенне, ограниченный допустимыми нелинейными искажениями в усилительном тракте;  - минимальный уровень сигнала в антенне, определяемый уровнем шумов, т.е. реальной чувствительностью.

К другим показателям качества относятся:

- **диапазон рабочих частот**, определяемый коэффициентом перекрытия диапазона ;

- **время настройки** на принимаемую частоту;

- **помехоустойчивость** – способность приемника обеспечивать требуемое качество приема при действии различных помех;

- **электромагнитная совместимость** с другими средствами радиосвязи;

- **конструктивно-эксплуатационные характеристики**;

- **производственно-экономические характеристики**.

Особое значение имеют шумовые показатели ПРМ, определяющие его предельную чувствительность. Для оценки уровня собственных шумов приемника (или любого четырехполюсника) вводится понятие **коэффициента шума** Ш, оценивающего уровень собственных шумов ПРМ в общем шуме на выходе устройства.

Для любого четырехполюсника коэффициент шума представляет собой:



Здесь  - мощность шума на выходе идеального нешумящего четырехполюсника;  - собственные шумы четырехполюсника.

Пусть на вход четырехполюсника от источника сигнала с внутренним шумящим сопротивлением  поступает мощность шума , где  - полоса шума; в - коэффициент рассогласования, зависящий от сопротивлений источника сигнала  и входного сопротивления четырехполюсника, k = 1,3807⋅10-23 Дж/К - постоянная Больцмана,  - абсолютная температура (200 С). Тогда мощность на выходе идеального нешумящего четырехполюсника , где  - коэффициент усиления по мощности четырехполюсника.

Другой интерпретацией коэффициента шума может служить отношение:

,

оценивающее ухудшение  на выходе четырехполюсника за счет добавления собственных шумов.

Иногда, особенно для малошумящих устройств, удобно пользоваться понятием **шумовой температуры**. Шумовая температура  показывает, насколько надо изменить температуру сопротивления источника сигнала , чтобы считая его нешумящим, получить на выходе такую же мощность шума, какую дает реальный усилитель.

При этом .

Известно, что коэффициент шума пассивного четырехполюсника (например, входной цепи приемника) определяется: , где  - номинальный (при согласовании) коэффициент передачи по мощности четырехполюсника.

Коэффициент шума многокаскадного устройства:

,

где  - коэффициент шума i-го каскада.

Отсюда следует, что влияние каждого последующего каскада на общий коэффициент шума меньше предыдущего и это уменьшение тем заметнее, чем выше коэффициент передачи предыдущих каскадов. Поэтому в ПРМ для обеспечения высокой предельной чувствительности, т.е. низкого коэффициента шума, стремятся первые каскады (УРЧ) выполнять малошумящими и с возможно большим коэффициентом усиления по мощности.

Вопросы для самопроверки

1. Какова причина возникновения частотных и фазовых искажений в усилителях низкой частоты?

2. Как выглядят идеальные АЧХ и ФЧХ усилителей низкой частоты и почему?

3. В чем причина возникновения нелинейных искажений в усилителях и как они оцениваются?

4. Чем ограничена чувствительность ПРМ?

5. Как количественно оценивается чувствительность ПРМ?

6. По какой характеристике оценивается одноканальная частотная избирательность?

7. Как определяется полоса пропускания приемника?

8. Что такое динамический диапазон приемника и как он определяется?

9. Как оцениваются шумовые показатели приемника (усилителя)? Почему шумовые свойства малошумящих устройств удобнее оценивать по шумовой температуре, а не по коэффициенту шума?

10. Поясните влияние шумовых и усилительных показателей отдельных каскадов на шумовые характеристики многокаскадных устройств.