Общие принципы организации радиосвязи

Может возникнуть вопрос, нельзя ли для того чтобы передать с помощью радиоволн человеческую речь или музыку, звуковые колебания превратить в электрические, а последние с помощью антенны преобразовать в электромагнитные волны, чтобы затем в приемном пункте электромагнитные волны снова превратить в звуковые?

Звуковые колебания, воспринимаемые человеческим слухом, лежат обычно в полосе частот от 20 до 20 000 Гц, т.е. такие колебания создадут волны длиной от 15 000 до 15км. Антенны же могут эффективно излучать электромагнитные колебания только тогда, когда их размеры соизмеримы с длиной волны.

Однако сами по себе колебания высокой частоты информацию не несут. Посылать их по линии связи бесполезно. Так же бесполезно, как посылать телеграмму с адресом, но без текста: она дойдет сравнительно быстро, но ее получатель сведений не получит.

Таким образом, в нашем распоряжении есть сообщение, содержащее информацию, но не способное дойти до получателя. Есть и высокочастотное колебание, которое найдет своего получателя, но не принесет ему информацию. Как соединить вместе необходимые качества сообщения и безынформативного колебания?

Единственный способ - попытаться наложить на высокочастотное колебание отпечаток сообщения, т.е. использовать высокочастотное колебание лишь в роли переносчика сообщения, содержащего информацию. С этой целью нужно изменять один или несколько признаков (параметров) несущего колебания в соответствии с изменениями сообщения. Тогда мы получим высокочастотное колебание с меняющимися во времени параметрами по закону передаваемого сообщения. Рассмотренный процесс называется *модуляцией.*

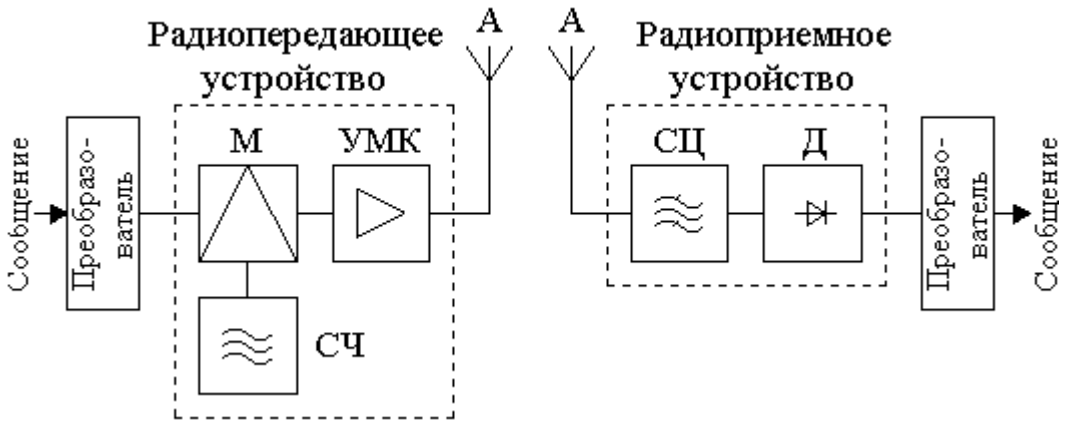

Рисунок 1.1. Структурная схема радиолинии

На рисунке 1.1 приведена упрощенная структурная схема радиолинии. Передаваемое сообщение поступает на преобразователь (микрофон, телевизионную камеру или телеграфный аппарат), который преобразует его в электрический сигнал. Последний поступает на радиопередающее устройство, состоящее из модулятора (М), синтезатора несущей частоты (СЧ) и усилителя модулированных колебаний (УМК). С помощью модулятора один из параметров высокочастотного колебания изменяется по закону передаваемого сообщения. С помощью антенны (А) энергия радиочастотных колебаний передатчика излучается в тракт распространения радиоволн.

На приемном конце радиоволны наводят ЭДС в антенне. Радио-приемное устройство с помощью селективных (избирательных) цепей (СЦ) отфильтровывает сигналы от помех и других радиостанций. В детекторе (Д) происходит процесс, обратный модуляции, – выделение из модулированных колебаний исходного электрического сигнала, который управлял радиопередатчиком. С помощью преобразователя (громкоговорителя, телеграфного аппарата, приемной телевизионной трубки) электрический сигнал связи преобразуется в сообщение, доставляемое абоненту.

Рассмотренная радиолиния обеспечивает одностороннюю передачу сообщения, что приемлемо только в службах оповещения. Одностороннюю радиосвязь представляет собой, в сущности, и радиовещание, хотя в этом случае прием ведется не в одном, а во множестве пунктов. Прием во многих пунктах ведется также при циркулярной передаче: распоряжения передаются многим исполнителям; сообщения передаются из пресс-центра редакциям газет и т.д.

Для организации двусторонней радиосвязи в каждом пункте надо иметь и передатчик и приемник. Если при этом передача и прием на каждой радиостанции осуществляются поочередно, то такая радиосвязь называется симплексной (рисунок 1.2, *а*). Двусторонняя радиосвязь, при которой связь между радиостанциями реализуется одновременно, называется дуплексной (см. рис. 1.2, *б*).

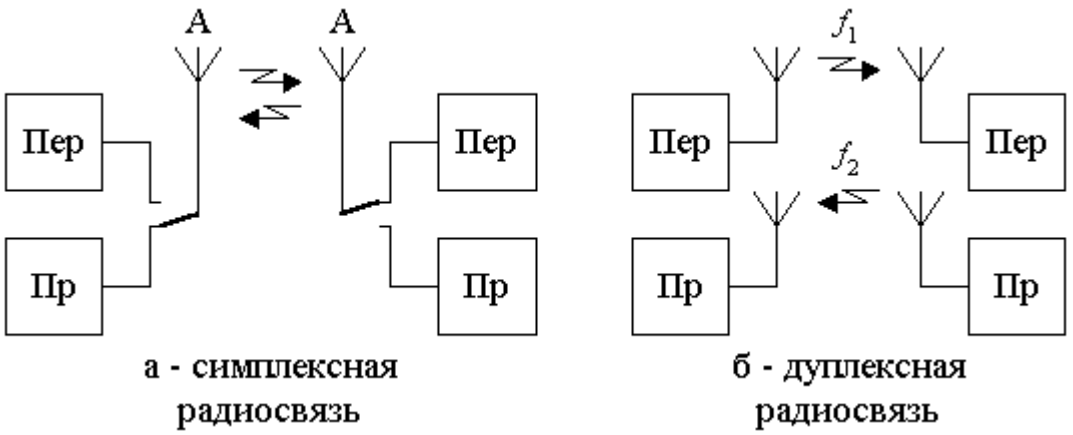

Рисунок 1.2. Структурные схемы организации радиосвязи

При дуплексной радиосвязи передача в одном и другом направлениях ведется, как правило, на разных несущих частотах. Это делается для того, чтобы приемник принимал сигналы только от передатчика с противоположного пункта и не принимал сигналов собственного передатчика.

Для радиосвязи на большие расстояния применяют радиопередатчики мощностью в десятки и сотни киловатт. Поэтому, хотя при дуплексной связи приемник настраивается не на ту частоту, на которую настроен свой передатчик, трудно обеспечить его нормальную работу вблизи мощного передатчика. Исходя из этого приемник и передатчик приходится размещать на расстоянии в десятки километров друг от друга.

Симплексная связь используется, как правило, при наличии относительно небольших информационных потоков. Для объектов с большой нагрузкой характерна дуплексная связь.

Если необходимо иметь радиосвязь с большим числом объектов, то организуется так называемая радиосеть (рисунок 1.3). Одна радиостанция, называемая главной

(ГР), может передавать сообщения как для одного, так и для нескольких подчиненных объектов. Ее радист-оператор следит за порядком в радиосети и устанавливает очередность работы на передачу подчиненных станций (ПР). Последние при соответствующем разрешении могут обмениваться информацией не только с ГР, но и между собой. Этот вариант организации радиосети может быть построен на основе как сложного симплекса (рисунок 1.3, а), так и сложного дуплекса (рисунок 1.3, б). В первом случае возможно использование совмещенных приемопередатчиков и общей рабочей радиоволны (частоты). Во втором случае ГР ведет передачу на одной частоте, а принимает на нескольких (по числу подчиненных радиостанций). Несмотря на различие в частотах приема и передачи, здесь, как и при простом дуплексе, необходимо располагать приемник и передатчик на удалении друг от друга. Иначе из-за помех, создаваемых передающим устройством, одновременный прием сообщений может стать невозможным.

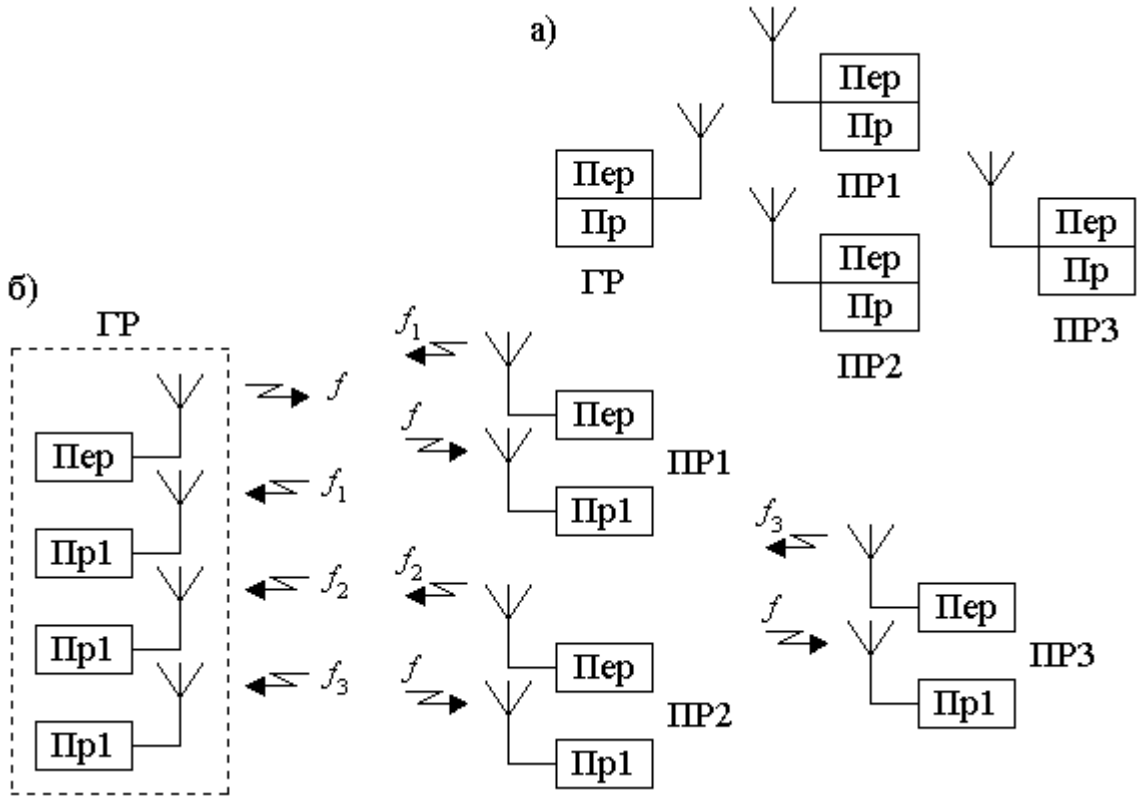

Рисунок 1.3. Структурные схемы радиосетей:

а – сложный симплекс; б – сложный дуплекс.

Центры крупных промышленных районов соединяются линиями радиосвязи со многими пунктами. В этих условиях передатчики и передающие антенны располагают на радиостанции, которую называют передающим радиоцентром. Приемники и приемные антенны располагают на приемном радиоцентре.

Процессы в электроэнергетических сооружениях, на электрифицированных железных дорогах, в электрических установках и бытовых электроприборах, множество которых имеется в городах, связаны с излучением электромагнитных волн. Поскольку эти излучения могут быть помехами радиоприему, приемный радиоцентр обычно помещается в стороне от населенных пунктов и железных дорог. Для соединения источников сообщения с радиопередатчиками и радиоприемниками и контроля качества радиосвязи в городах оборудуют радиобюро.

1.2. Радиопередающие устройства

Основные функциональные узлы радиопередатчика. Схема и конструкция радиопередатчика зависят от различных факторов: назначения, диапазона рабочих волн, мощности и т.д. Тем не менее можно выделить некоторые типичные блоки, которые с теми или иными вариациями имеются в большинстве передатчиков.

Структура передатчика (рисунок 1.4) определяется его основными общими функциями, к которым относятся:

- получение высокочастотных колебаний требуемой частоты и мощности;
- модуляция высокочастотных колебаний передаваемым сигналом;
- фильтрация гармоник и прочих колебаний, частоты которых выходят за пределы необходимой полосы излучения и могут создать помехи другим радиостанциям;
- излучение колебаний через антенну.

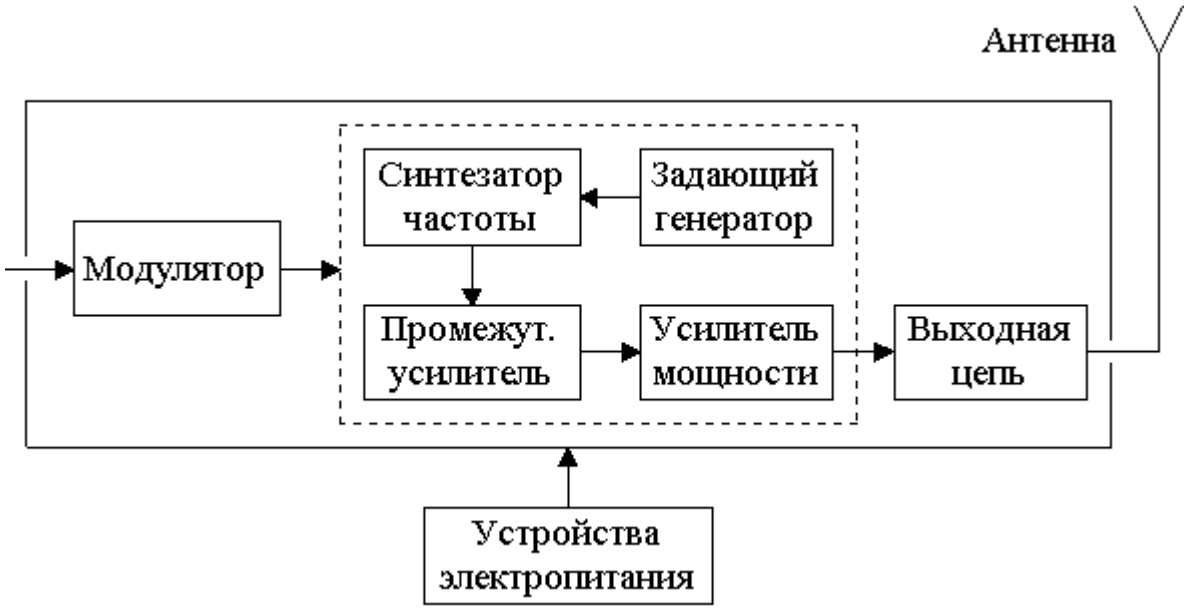

Рисунок 1.4. Функциональная схема радиопередатчика.

Остановимся более подробно на требованиях к отдельным функциональным узлам радиопередатчика.

Генератор высокой частоты, часто называемый *задающим* или опорным генератором, служит для получения высокочастотных колебаний, частота которых соответствует высоким требованиям к точности и стабильности частоты радиопередатчиков.

Синтезатор преобразует частоту колебаний опорного генератора, которая обычно постоянна, в любую другую частоту, которая в данное время необходима для радиосвязи или вещания. Стабильность частоты при этом преобразовании не должна существенно ухудшаться. В отдельных случаях синтезатор частоты не нужен, например если генератор непосредственно создает колебания нужной частоты. Однако с синтезатором легче обеспечить требуемую высокую точность и стабильность частоты, так как он, во-первых, работает на более низкой частоте, на которой легче обеспечить требуемую стабильность; во-вторых, он работает на фиксированной частоте. Кроме того, современные синтезаторы приспособлены для

дистанционного или автоматического управления синтезируемой частотой, что облегчает общую автоматизацию передатчика.

Промежуточный усилитель высокой частоты, следующий за синтезатором, необходим по следующим причинам:

- благодаря промежуточному усилителю с достаточно большим коэффициентом усиления от опорного генератора и синтезатора не требуется значительной мощности;
- применение промежуточного усилителя между синтезатором и мощным усилителем ослабляет влияние на генератор и синтезатор возможных регулировок в мощных каскадах передатчика и в антенне.

Усилитель мощности (его называют *генератором с внешним возбуждением*) увеличивает мощность радиосигнала до уровня, определяемого требованиями системы радиосвязи. Главным требованием к усилителю мощности является обеспечение им высоких экономических показателей, в частности коэффициента полезного действия.

Выходная цепь служит для передачи усиленных колебаний в антенну, для фильтрации высокочастотных колебаний и для согласования выхода мощного оконечного усилителя с антенной, т.е. для обеспечения условий максимальной передачи мощности.

Модулятор служит для модуляции несущих высокочастотных колебаний передатчика передаваемым сигналом. Для этого модулятор воздействует в зависимости от особенностей передатчика и вида модуляции (амплитудная, частотная, однополосная и др.) на один или несколько блоков из числа обведенных пунктиром на рисунке 1.4. Например, частотная модуляция может получаться в синтезаторе частоты либо (реже) в генераторе высокой частоты; амплитудная модуляция получается воздействием на мощный и промежуточный усилители.

Устройство электропитания обеспечивает подведение ко всем блокам токов и напряжений, необходимых для нормальной работы входящих в их состав транзисторов, ламп и прочих электронных элементов, а также систем автоматического управления, устройств защиты от аварийных режимов и прочих вспомогательных цепей и устройств. Система электропитания содержит выпрямители, электромашинные генераторы с двигателями внутреннего сгорания, аккумуляторы, инверторы (преобразователи) низкого постоянного напряжения в более высокое или обратно, трансформаторы, коммутационную аппаратуру, резервные источники питания и устройства для автоматического перехода с основного источника на резервный в случае неисправностей и т.п.

На рисунке 1.4 не показаны многочисленные объекты вспомогательного оборудования, входящие в состав передатчика (особенно мощного), например средства автоматического и дистанционного управления; контрольно-измерительные приборы, устройства дистанционного контроля и сигнализации; устройства защиты и блокировки, выключающие цепи высокого напряжения при аварийных режимах или опасности для обслуживающего персонала и др.

Радиопередатчики диапазонов километровых, гектометровых и декаметровых волн обычно размещаются группами на специальных предприятиях – передающих радиостанциях. При большом числе передатчиков радиостанции называются *радиоцентрами.* Радиовещательные передатчики метровых и дециметровых волн, как правило, размещаются вместе с передатчиками телевизионного вещания. Предприятия связи, на которых установлены эти

передатчики, называются радиотелевизионными передающими станциями (центрами).

Технические показатели радиопередатчиков. К основным показателям радиопередатчика относятся: диапазон волн, мощность, коэффициент полезного действия, вид и качество передаваемых сигналов.

В соответствии с классификацией волн различают передатчики километровых, гектометровых, декаметровых и других волн. С этим различием связаны соответствующие особенности конструкций, так как в разных диапазонах различны конструкции колебательных контуров и типов усилительных элементов. Передатчик может работать на одной или нескольких выделенных для него фиксированных волнах, либо он может настраиваться на любую длину волны в непрерывном диапазоне волн.

Мощность передатчика обычно определяется как максимальная мощность высокочастотных колебаний, поступающая в антенну при отсутствии модуляции, при непрерывном излучении. Однако этой характеристики недостаточно для оценки мощности радиопередатчика. Дело в том, что в технике радиосвязи часто приходится иметь дело с сигналами, напряжение которых изменяется в очень широких пределах и в сравнительно короткие промежутки времени может принимать значения, в несколько раз превосходящие средний уровень. Характерным примером подобного режима может служить радиолокационный передатчик, излучающий импульсы длительностью около 1 мксек, разделенные интервалами около 1 мсек, т.е. в 1000 раз большей длительности. Если бы при проектировании передатчика расчет велся на то, что в моменты этих выбросов мощность излучения соответствовала бы номинальной мощности, то фактическая средняя мощность излучения была бы во много раз меньше. Передатчик был бы использован значительно слабее своих возможностей, а при необходимости обеспечить большую дальность радиосвязи потребовалось бы применить передатчик значительно большей мощности.

В системах радиовещания промежутки времени, в которые амплитуда колебаний достигает максимальных значений, занимают обычно большую часть общего времени работы передатчика (например, 10-20%), длительность их доходит до десятков миллисекунд, но и в этом случае описанное временное форсирование передатчика возможно, хотя и в меньших пределах.

В соответствии с изложенным мощность передатчика, помимо цифры максимальной мощности, при непрерывной работе характеризуют значениями *пиковой* мощности, которая может быть обеспечена в течение ограниченных промежутков времени. Например, если средняя мощность передатчика при непрерывной работе 100 кВт, то она может доходить до 200 кВт, если длительность импульсов не превышает интервалов между ними.

Важнейшими показателями радиопередатчика являются *стабильность* излучаемой им частоты и *уровень* побочных излучений. Дело в том, что если строго соблюдается присвоенная данному передатчику частота сигнала, то настроенный на эту частоту приемник начинает принимать передаваемые сигналы тотчас после включения, не требуя подстроек; это способствует удобству эксплуатации и высокой надежности радиосвязи, а также облегчает автоматизацию оборудования. Кроме того, частотные диапазоны, используемые для радиосвязи и вещания, переуплотнены сигналами одновременно работающих радиостанций, поэтому если частота передатчика отличается от разрешенного значения, то она может приблизиться к частоте другого передатчика, что вызовет помехи приему его сигналов.

По существующим международным нормам отклонение от номинала частоты передатчика для радиосвязи на гектометровых волнах не должно превышать 0,005%; для радиовещательных передатчиков отклонение частоты в этом диапазоне не должно превышать 10 Гц. На декаметровых волнах допустимая нестабильность частоты для передатчиков мощностью более 0,5 кВт равна $15 \cdot 10^{-6}$, что соответствует в диапазоне от 4 до 30 МГц абсолютному отключению частоты от 60 до 450 Гц. Некоторые системы радиосвязи по своему принципу требуют, чтобы стабильность частоты была значительно лучше, чем предусматривается указанными нормами.

Побочными излучениями радиопередатчика называются излучения на частотах, расположенных за пределами полосы, которую занимает передаваемый радиосигнал. К побочным излучениям относятся гармонические излучения передатчика, паразитные излучения и вредные продукты взаимной модуляции.

Гармоническими излучениями (гармониками) передатчика называются излучения на частотах, в целое число раз превышающих частоту передаваемого радиосигнала.

Паразитными излучениями называются возникающие иногда в передатчиках колебания, частоты которых никак не связаны с частотой радиосигнала или с частотами вспомогательных колебаний, используемых в процессе синтеза частот, модуляции и других процессов обработки сигнала.

Известно, что при действии в нелинейной цепи, например двух ЭДС с частотами f_1 и f_2 спектр тока содержит, помимо составляющих с этими частотами и их гармоник, также составляющие с частотами вида $mf_1 \pm nf_2$, где $т$ и $п$ –целые числа. Это явление и лежит в основе взаимной модуляции; оно обусловлено наличием в передатчике элементов, обладающих нелинейными характеристиками, главным образом транзисторов или электронных ламп.

Интенсивность побочных излучений характеризуется мощностью соответствующих колебаний в антенне передатчика. Например, по действующим международным нормам радиопередатчики на частотах до 30 МГц должны иметь мощность побочных излучений не менее чем в 10000 раз (на 40 дБ) ниже мощности основного излучения и не более 50 мВт.

Показатели, определяющие качество передачи вещательного сигнала *(электроакустические показатели),* в принципе не отличаются от аналогичных параметров электрического канала вещания, что естественно, поскольку передатчик является частью канала – трактом вторичного распределения.

Некоторое отличие заключается лишь в том, что эти показатели нормируются и измеряются относительно уровня сигнала, соответствующего определенному коэффициенту модуляции сигналом частотой 1000 Гц. Для допустимого отклонения амплитудно-частотной характеристики этот коэффициент равен 50%.

Коэффициент гармоник определяется при коэффициенте модуляции 50, 90, а также 10%, что обусловлено наличием в модуляторе передатчика специфических искажений вида двустороннего ограничения, заметных при большом коэффициенте модуляции, вида центральной отсечки, заметных при малом коэффициенте модуляции. Защищенность от интегральной помехи и от псофометрического шума измеряется относительно уровня модулирующего сигнала, соответствующего 100% модуляции. Эксплуатационный персонал часто употребляет термин уровень шумов, который оценивается в децибелах относительно уровня модулирующего сигнала с частотой 1000 Гц, соответствующего коэффициенту модуляции 100%. Численно он равен величине запрещенности от интегральной помехи, взятой со знаком "минус".

1.3. Радиоприемные устройства

Назначение и классификация радиоприемных устройств. Радиоприемные устройства используют для радиосвязи, звукового и телевизионного вещания, радионавигации, радиолокации, радио-, телеуправления и т.д. Радиоприемное устройство должно содержать все необходимые узлы для осуществления следующих процессов:

- выделения из всей совокупности электрических колебаний, создаваемых в антенне внешними электромагнитными полями, сигнала от нужного радиопередатчика;
- усиления высокочастотного сигнала;
- детектирования, т.е. преобразования высокочастотного модулированного сигнала в ток, изменяющийся по закону модуляции;
- усиления продетектированного сигнала.

Дальнейшее преобразование сигнала зависит от конкретных особенностей применения радиоприемника. Если, например, приемник предназначен для одноканальной радиотелефонной связи либо звукового или телевизионного вещания, то принятый сигнал после усиления превращается в звук и изображение при помощи телефона, громкоговорителя и приемной телевизионной трубки.

Если приемник предназначен для многоканальной радиосвязи, то продетектированный и усиленный сигнал подводится к оконечному устройству, в котором происходит разделение сигналов по отдельным каналам и, если требуется, дополнительная их обработка.

Применяемые в настоящее время радиоприемники делятся на профессиональные и бытовые. Первые предназначаются для использования на линиях радиосвязи и для решения различных навигационных, телеметрических и других специальных задач. Вторые служат для приема программ звукового и телевизионного вещания.

Радиоприемные устройства можно классифицировать:

- по роду работы (радиотелефонные, радиотелеграфные, телевизионные, радионавигационные, радиолокационные и др.);
- по виду модуляции (с амплитудной модуляцией (АМ), частотной модуляцией (ЧМ), однополосной амплитудной модуляцией (ОБП) и т.д.);
- по диапазону волн принимаемых сигналов (километровые, гектометровые, декаметровые и т.д.);
- по месту установки (стационарные, переносные, самолетные, автомобильные и др.);
- по схеме электропитания (от сети постоянного и переменного токов).

Основные показатели радиоприемников. Показатели радиоприемников определяются их назначением. Для радиоприемников разных типов они могут быть различными.

Чувствительность характеризует способность приемника принимать слабые сигналы. Она обычно оценивается наименьшим значением ЭДС или мощностью радиосигнала в антенне, при которой возможен устойчивый прием с нормальным воспроизведением сигнала без недопустимого искажения его помехами.

Чувствительность приемников в зависимости от их назначения может колебаться в широких пределах. Так, чувствительность радиовещательных приемников находится в пределах 50-300 мкВ в зависимости от класса качества. Чувствительность радиолокационных приемников имеет значения порядка 10^{-12} – 10^{-15} Вт. Для приемников с ферритовой антенной используется понятие чувствительности по напряженности поля. Она имеет значение от 0,3 до 5 мВ/м.

Высокая чувствительность может быть практически реализована лишь в том случае, если уровень внешних помех или собственных шумов на выходе приемника в несколько раз ниже уровня сигнала. Поэтому приемники разных видов необходимо характеризовать не только их чувствительностью, но и так называемой реальной чувствительностью, под которой понимается минимальная ЭДС в антенне, при которой обеспечивается не только нормальная мощность на выходе, но получается определенное превышение уровня сигнала над уровнем внешних помех или собственных шумов.

Избирательностью (селективностью) радиоприемного устройства называется его способность выделять из различных сигналов, отличающихся по частоте, сигнал принимаемой станции. В соответствии с этим избирательность приемника оценивается как относительное ослабление сигналов посторонних радиостанций, работающих на различных волнах, по отношению к сигналам принимаемого передатчика, на волну которого этот приемник настроен. Избирательность осуществляется главным образом входящими в состав приемника колебательными контурами и фильтрами.

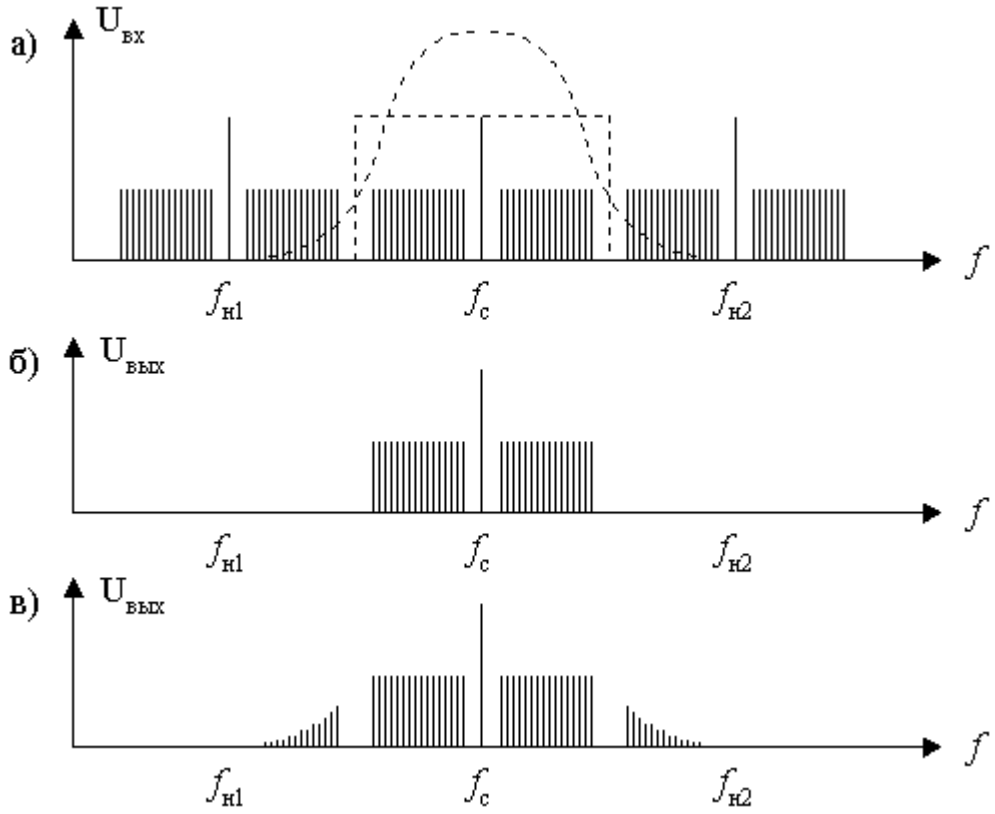

Рисунок 1.5. К пояснению избирательности радиоприемника.

Понятие избирательности поясняет рисунок 1.5, на котором показан спектр частот трех радиостанций, из которых две крайние мы рассматриваем как помехи. Из рисунка 1.5 видно, что если фильтры приемника обладают прямоугольной частотной характеристикой, соседние (мешающие) радиостанции не создадут на его выходе никакого сигнала (рисунок 1.5 б). Если же частотная характеристика

фильтра далека от идеальной, то на его выходе кроме полез ного сигнала будет прослушиваться помеха (рисунок 1.5 в).

Естественно, что наибольшие трудности представляет ослабление помех от ближайших по частоте посторонних сигналов, т.е. сигналов соседнего частотного канала. Поэтому для оценки качества приемника всегда определяется его селективность в отношении помех соседнего канала.

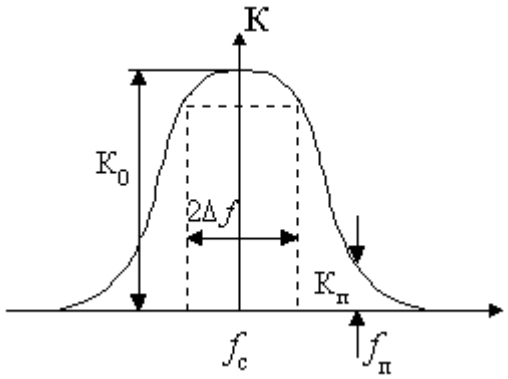

Рисунок 1.6. Резонансная характеристика приемника.

В первом приближении количественную оценку избирательности можно производить по резонансной характеристике приемника, изображающей зависимость коэффициента усиления от частоты колебаний в антенне. Благодаря применению колебательных контуров и фильтров резонансная характеристика при настройке приемника на какую-либо частоту сигнала имеет вид, подобный рисунку 1.6. Избирательность в отношении помехи на частоте $f_с$ определяется вэтом случае как

$$Se = \frac{К_0}{К_п}$$ где $К_0$ – коэффициент усиления на частоте настройки; $К_п$ – коэффициент усиления на частоте $f_п$.

Селективность удобно определять также в децибелах:

$$Se_{дБ} = 20 \lg Se = К_{0дБ} - К_{пдБ}$$

Так как передаваемое сообщение имеет определенную полосу частот, другой не менее важной функцией приемника является прием сигнала высокой частоты со всеми его боковыми частотами, т.е. одновременный прием определенной полосы частот. При этом необходимо, чтобы соотношения между амплитудами составляющих спектра сигнала оставались без изменений. Последнее можно обеспечить лишь при постоянной чувствительности приемника в определенной полосе частот. Поэтому понятно, что идеальная амплитудная частотная характеристика (АЧХ) приемника должна быть прямоугольной. При такой форме приемник одинаково принимает спектр боковых частот полезного сигнала, т.е. полоса пропускания такого устройства однозначно определяется как $2\Delta f$. Одновременно приемник с такой АЧХ обладал бы идеальной избирательностью, поскольку не пропускал бы сигналов мешающих станций и помех, частоты которых отличаются на Δf.

Частотная характеристика реального приемника отличается от прямоугольной. Полосой пропускания в данном случае называют область частот, в пределах

которой ослабление спектра принимаемых колебаний не превышает заданного значения. Считается, что искажения будут не заметны на слух, если неравномерность АЧХ в пределах полосы пропускания не превышает 3 дБ. Это соответствует уровню $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$. Именно на этом уровне отсчитывается полоса пропускания. Частотные свойства контура могут быть заданы его добротностью $Q = \frac{f_0}{2\Delta f}$.

Качество воспроизведения принятого сигнала зависит от различного рода искажений сигнала в отдельных каскадах приемника. К этим искажениям относятся частотные, фазовые и нелинейные. На качество принятого сигнала будут влиять также различного рода помехи: атмосферные, промышленные, помехи от соседних по частоте передатчиков, а в диапазонах УКВ - собственные шумы приемника.

Структурные схемы радиоприемников. В настоящее время находят применение приемники прямого усиления, регенеративные, суперрегенеративные, супергетеродинные с одинарным и двойным преобразованиями частоты. Рассмотрим более подробно структурные схемы приемника прямого усиления и супергетеродинного. На рисунке 1.7 представлена структурная схема приемника прямого усиления.

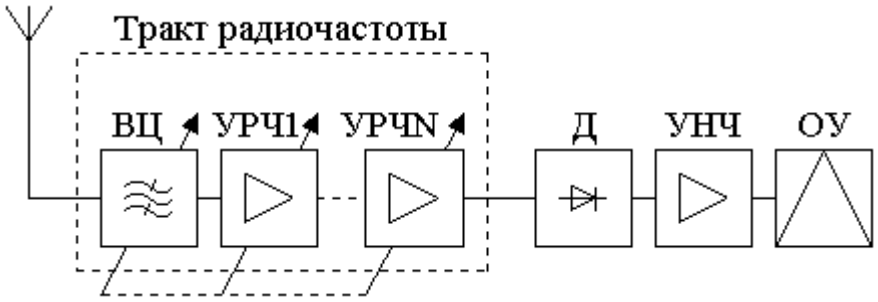

Рисунок 1.7. Структурная схема приемника прямого усиления

Входная цепь (ВЦ) выделяет полезный сигнал из всей совокупности колебаний, наводимых в антенне от различных радиопередатчиков и других источников электромагнитных колебаний, ослабляет мешающие сигналы. Усилитель радиочастоты (УРЧ) усиливает поступающие из входной цепи полезные сигналы и обеспечивает дальнейшее ослабление сигналов мешающих станций. Детектор (Д) преобразует модулированные колебания радиочастоты в колебания, соответствующие передаваемому сообщению: звуковому, телеграфному и др. Усилитель низкой частоты (УНЧ) усиливает продетектированный сигнал по напряжению и мощности до величины, достаточной для приведения в действие оконечного устройства (громкоговорителя, реле, приемной телевизионной трубки и др.). Оконечное устройство (ОУ) преобразует электрические сигналы в исходную информацию (звуковую, световую, буквенную и др.).

Приемник прямого усиления не может обеспечить хорошую избирательность и высокую чувствительность, особенно в диапазонах коротких и ультракоротких волн. Это объясняется тем, что по мере повышения частоты возрастает полоса пропускания резонансной цепи. Так, полоса пропускания одиночного контура 2Δ

$$2\Delta f = \frac{f_c}{Q}$$

f и его добротность Q связаны соотношением , где f_c – частота принимаемого сигнала.

На высоких частотах полоса пропускания контура возрастает и кроме полезного сигнала контур будет пропускать помеху.

Заметим, что сделать селективную цепь приемника прямого усиления с прямоугольной или даже близкой к ней характеристикой практически невозможно, так как этот контур должен быть перестраиваемым. Фильтры, обеспечивающие прямоугольные характеристики. - это многоконтурные системы, перестраивать которые одной ручкой настройки невозможно. В связи с этим приемник прямого усиления обладает плохой избирательностью.

Усилитель радиочастоты, осуществляющий усиление радиосигналов с различными несущими частотами, при наличии неизбежной паразитной обратной связи (например, через источники питания или паразитные емкости) может самовозбудиться и превратиться в автогенератор. Вероятность самовозбуждения растет с ростом частоты и коэффициента усиления. Для повышения устойчивости работы УРЧ его коэффициент усиления приходится ограничивать. Поэтому чувствительность приемника прямого усиления оказывается относительно низкой. Например, для того чтобы УРЧ обеспечил на входе детектора необходимое для линейного детектирования напряжение $\approx$ 0,1 В, напряжение на его входе, характеризующее чувствительность, должно быть не менее 1000 мкВ. Плохая избирательность и низкая чувствительность, изменяющиеся в рабочем диапазоне частот, являются существенными недостатками приемника прямого усиления, ограничивающими его использование.

От указанных недостатков свободен супергетеродинный приемник (рисунок 1.8). Его отличительной особенностью является использование в нем преобразователя частоты, состоящего из смесителя (С) и гетеродина (Г). На выходе преобразователя мы получаем промежуточную частоту, усиливаемую в дальнейшем усилителем промежуточной частоты (УПЧ).

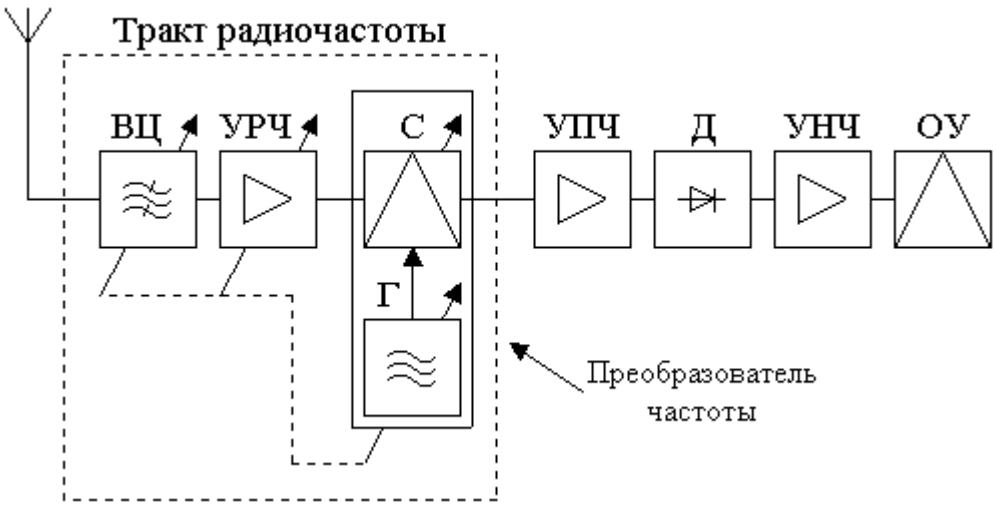

Рисунок 1.8. Структурная схема супергетеродинного приемника.

Преобразователем частоты называется устройство, предназначенное для переноса спектра сигнала из одной области частот в другую без изменения амплитудных и фазовых соотношений между компонентами спектра. Поскольку при таком переносе форма спектра сигнала не меняется, то не будет меняться и закон

модуляции сигнала. Изменяется только значение несущей частоты сигнала f_c, которая становится равной некоторой преобразованной частоте $f_{пр}$.

К преобразователю частоты кроме напряжения сигнала с частотой f_c, подводится напряжение гетеродина (маломощного автогенератора) с частотой $f_г$. При взаимодействии этих напряжений в преобразователе частоты возникаю составляющие различных комбинационных частот, из которых используется только одна. Обычно используется составляющая $f_{пр} = f_г - f_c$.

На практике значение $f_{пр}$ обычно меньше частоты несущей сигнала f_c , но больше частоты модулирующего сигнала F_c.

Поскольку преобразованная частота $f_{пр}$ занимает промежуточное значение между f_c и F_c , то она называется промежуточной частотой.

Название супергетеродин составное (супер+гетеродин), в котором слово гетеродин указывает на характерный для супергетеродинных приемников каскад-гетеродин. Этот каскад является неотъемлемой частью преобразователя частоты. Приставка супер означает, что в супергетеродинных приемниках преобразованная частота $f_{пр}$ расположена в области частот выше (сверх) частоты модуляции F_c.

Преобразование несущей частоты радиосигнала в промежуточную приводит к улучшению фильтрации соседних каналов радиосвязи. Например, пусть в антенне действует ЭДС сигналов с несущими частотами f_1 = 20 МГц (полезный сигнал) и f_2 = 20,2 МГц. Относительная разность частот между

$$\frac{\Delta f}{f_1} = \frac{20,2 - 20}{20} = 0,01 = 1\%$$

станциями . Контур в радиочастотном диапазонеимеет добротность 20-50, т.е. относительную полосу пропускания 5-2%. В рассматриваемом примере станция f_2 отличается от избранной всего на 1% и поэтому будет создавать заметную помеху. Если произвести преобразование несущей частоты f_1 , то при частоте сигнала гетеродина $f_г$ = 20,5 МГц получаются две промежуточные частоты $f_{пр1}$ = 20,5 - 20 = 0,5 МГц и $f_{пр2}$ = 20,5 – 20,2 = 0,3 МГц,

$$\frac{\Delta f}{f_1} = \frac{0,5 - 0,3}{0,5} = 40\%$$

относительная разность между которыми . Как видно, относительная разность увеличиласьот 1 до 40%. В этих условиях станция, работающая на частоте f_2, не будет помехой для фильтров преобразователя частоты, настроенных на частоту $f_{пр}$ =0,5 МГц, даже если их добротность соизмерима с добротностью контуров УРЧ.

В супергетеродинных приемниках основное усиление и избирательность осуществляются после преобразования частоты в усилителе промежуточной частоты (УПЧ). Важным достоинством супергетеродинного приемника является то, что в процессе его перестройки на другую станцию промежуточная частота $f_{пр}$ не меняется. Достигается это за счет того, что при перестройке приемника на другую частоту сигнала f_c одновременно изменяется частота гетеродина $f_г$ таким образом, чтобы разность $f_г - f_c = f_{пр}$ осталась неизменной.

Следовательно, при перестройке супергетеродинного приемника достаточно изменить резонансные частоты входной цепи, УРЧ и гетеродина. Перестраивать УПЧ при этом не требуется. Поскольку УПЧ не перестраивается, то его характеристики не меняются. При этом частотная характеристика контуров УПЧ может быть получена достаточно близкой к прямоугольной, так как в нем могут быть использованы фильтры любой степени сложности. Именно по этой причине супергетеродинные приемники обеспечивают высокую избирательность.

Поскольку УПЧ работает на существенно более низкой частоте, чем УРЧ, он может обеспечить существенно большее усиление, так как усилительные свойства элементов улучшаются но мере понижения частоты. Кроме того, при снижении частоты уменьшится влияние паразитных обратных связей, что способствует повышению коэффициента устойчивого усиления УПЧ. Это позволит обеспечить высокую чувствительность супергетеродинного приемника (порядка 1 мкВ).

Недостатком супергетеродинных приемников является наличие в них побочных каналов приема, главным из которых является зеркальный.

Зеркальный канал имеет несущую частоту $f_{зерк}$, отличающуюся от частоты полезного сигнала f_c на удвоенную промежуточную частоту $f_{зерк} = f_c + f_{пр}$ (рисунок 1.9).

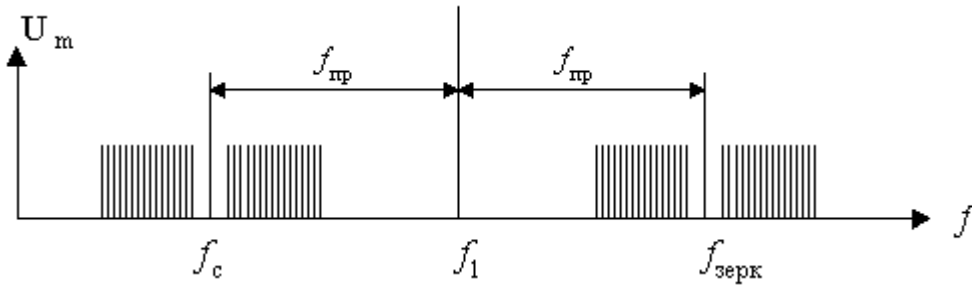

Рисунок 1.9. К вопросу возникновения зеркальной помехи

Частоты f_c и $f_{зерк}$ расположены зеркально симметрично относительно частоты гетеродина $f_г$. Разность между $f_{зерк}$ и $f_г$ равна промежуточной частоте, как и в случае полезного сигнала. Поэтому если на преобразователь частоты поступают сигналы станций f_c и $f_{зерк}$, то на его выходе обе станции дадут напряжение промежуточной частоты. Если сигнал частоты f_c является полезным, то сигнал частоты $f_{зерк}$, попавший на преобразователь, является помехой. Очевидно, что ослабление помехи по зеркальному каналу должно происходить до преобразователя частоты. Для улучшения избирательности по зеркальному каналу промежуточная частота должна быть высокой. Тогда несущие частоты f_c и $f_{зерк}$ значительно различаются. При этом коэффициент передачи входной цепи (она тоже обладает резонансными свойствами) на частоте $f_{зерк}$ существенно меньше, чем на частоте f_c , и сигнал зеркальной станции будет значительно подавлен входной цепью. При наличии в приемнике УРЧ зеркальная помеха дополнительно подавляется за счет избирательных свойств УРЧ.

Однако при высокой промежуточной частоте уменьшается коэффициент устойчивого усиления УПЧ и расширяется его полоса пропускания, что приводит к снижению чувствительности приемника и его избирательности по соседнему каналу. Как видно, требование к величине промежуточной частоты довольно противоречиво.

Другим побочным канатом является канал, частота которого равна промежуточной. Сигнал такой частоты, поступающий на вход преобразователя, без каких-либо изменений попадает па УПЧ. Для его устранения радиовещательные станции не должны работать на промежуточной частоте, а случайные помехи с частотами, близкими к промежуточной, должны быть подавлены соответствующими фильтрами на входе приемника.

В бытовых радиовещательных приемниках несущая частота составляет 465 кГц, т.е. она расположена в окне между границами радиовещательных диапазонов ДВ и СВ - 285,5-525 кГц.

В приемниках, работающих на магистральных линиях радиосвязи, требуются более высокие чувствительность и избирательность как по соседнему, так и по зеркальному каналам. Это невозможно выполнить при выборе одной промежуточной частоты, поэтому в таких приемниках применяют двойное преобразование частоты. При двойном преобразовании частоты первую промежуточную частоту выбирают достаточной высокой (порядка 1 МГц), за счет чего обеспечивается высокая избирательность по зеркальному каналу. Вторая промежуточная частота выбирается достаточно низкой (порядка 100 кГц), что позволяет получить высокий коэффициент устойчивого усиления в каскадах УПЧ и таким образом повысить чувствительность приемника при высокой избирательности по соседнему каналу.

Контрольные опросы

1.1. Понятие принципа работы системы радиосвязи.

1.2. Назовите основные структурные схемы организации радиосвязи.

1.3. Перечислите основные функциональные узлы радиопередатчика.

1.4. Назовите основные технические показатели радиопередатчиков.

1.5. Приведите классификацию радиоприемных устройств.

1.6. Назовите основные показатели радиоприемных устройств.

1.7. Приведите структурную схему радиоприемника прямого усиления.

1.8. Объясните особенности работы супергетеродинного радиоприемника.

1.9. Из каких соображений выбирается значение промежуточной частоты в супергетеродинном радиоприемнике?