

Общие принципы организации радиосвязи

Как 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 15 км. 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. Это как посылать телеграмму с адресом, но без текста: она дойдет сравнительно быстро, но ее получатель сведений не получит.

Т.о., 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 безыформативного 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*.

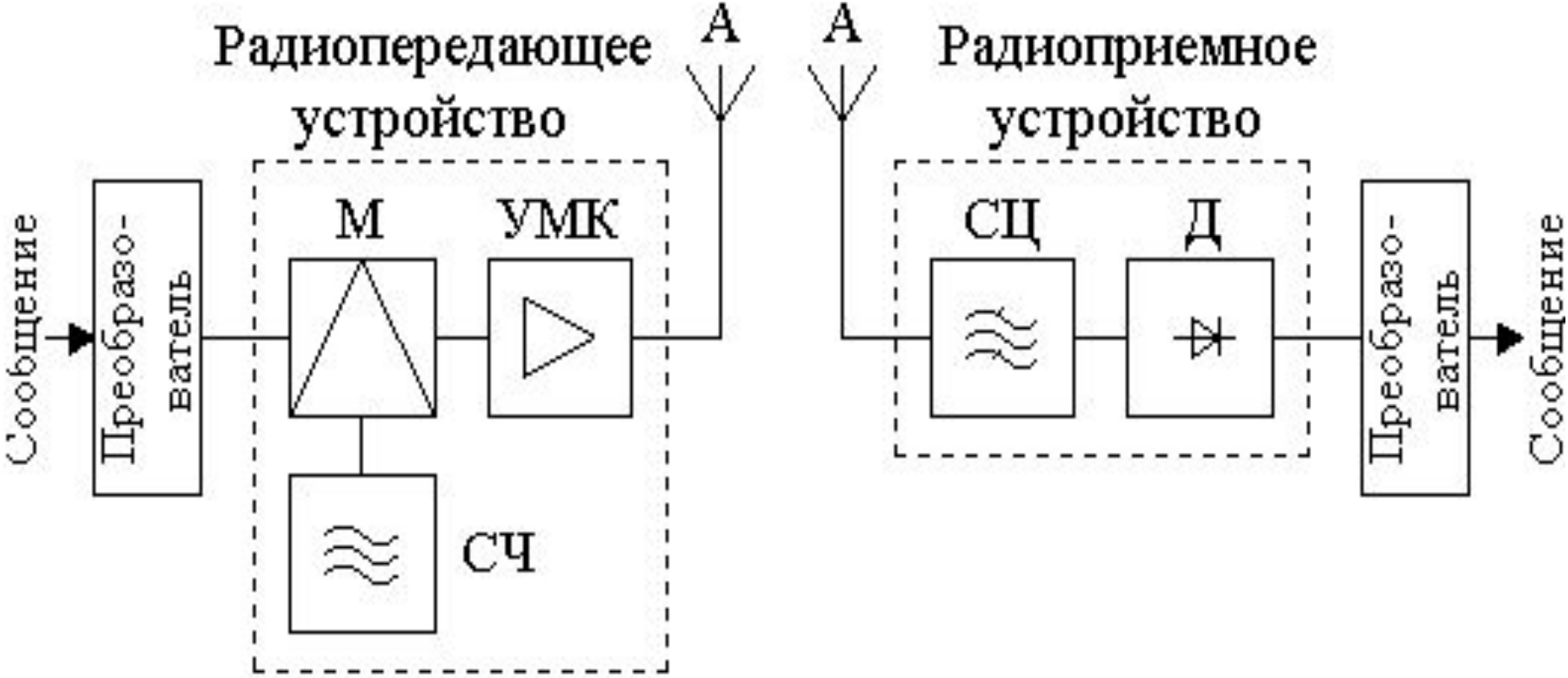


Рисунок 1.1. Структурная схема радиолинии

На рисунке 1.1 приведена упрощенная структурная схема радиоприемника.

Передаваемое сообщение поступает на преобразователь (микрофон, телевизионную камеру или телеграфный аппарат), который преобразует его в электрический сигнал.

Последний поступает на радиопередаточное 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. Радиоприемное 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 управляет 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 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.

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).

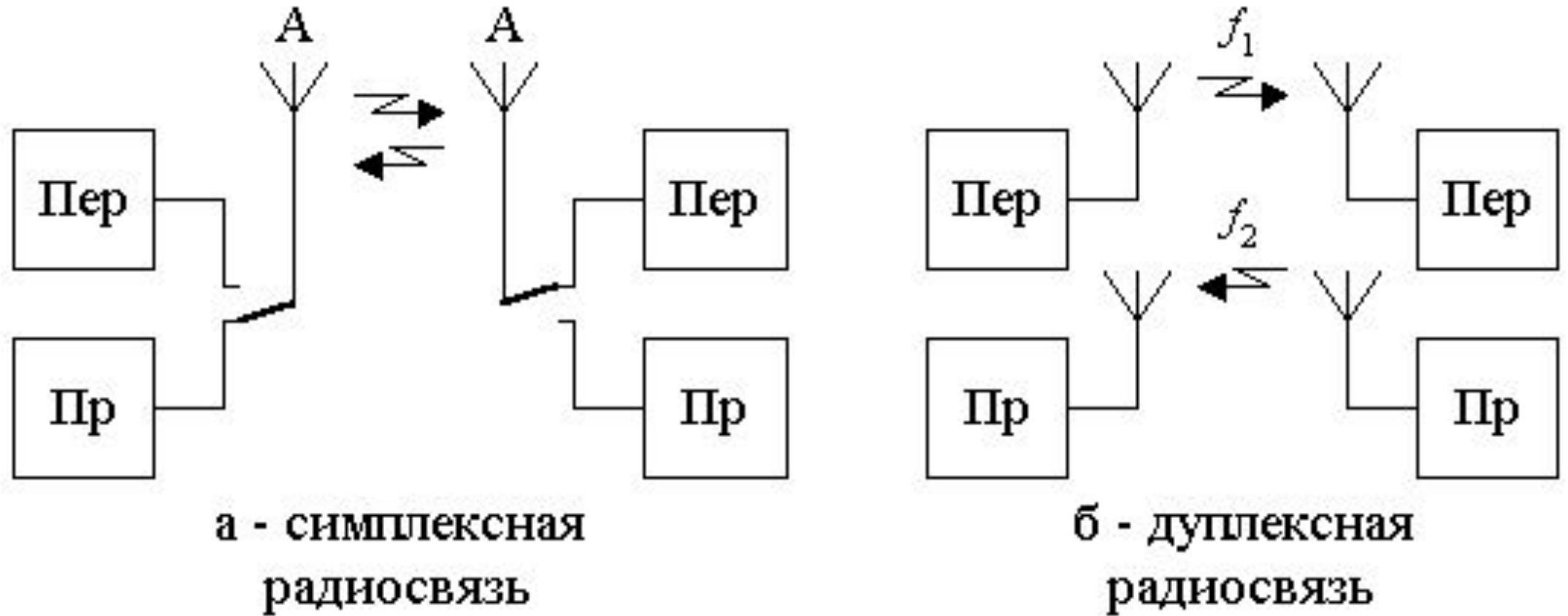


Рисунок 1.2. Структурные схемы организации радиосвязи

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.

Симплексная связь используется 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.

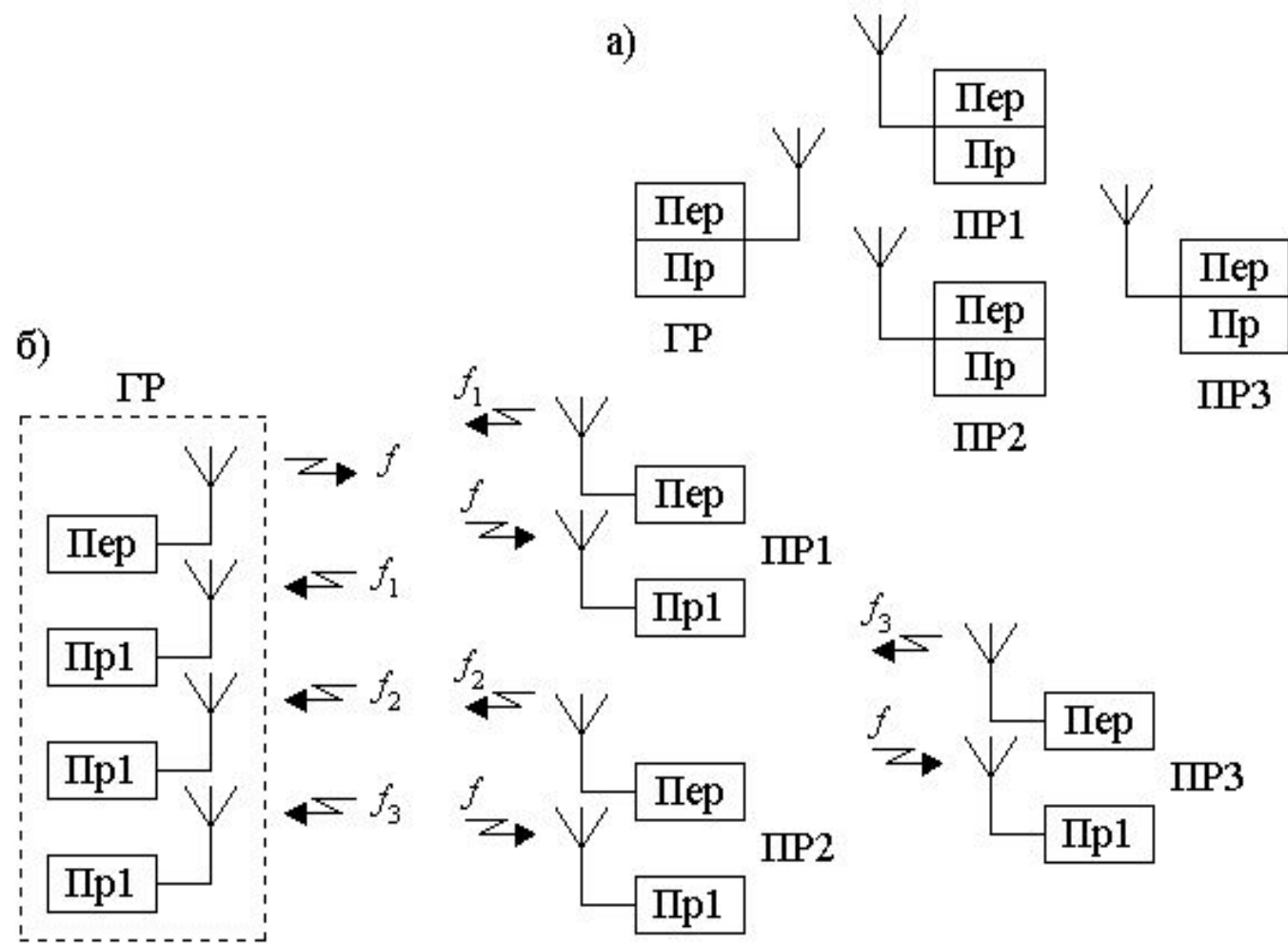


Рисунок 1.3. Структурные схемы радиосетей:
 а – сложный симплекс; б – сложный дуплекс.

1.2 Принцип радиосвязи Как правило, электрические сигналы, непосредственно отображающие сообщения, низкочастотны, включая и телевизионный сигнал 0-6 МГц. Такие сигналы в радиосвязи называют первичными сигналами. Электрические сигналы с низкими частотами не могут эффективно излучаться в свободное пространство. На низких частотах большие промышленные помехи (фон электросети 50 Гц, искровые помехи автотранспорта, электромоторов и других электромеханизмов). Передавать сигналы низких частот непосредственно можно только по проводным и кабельным линиям связи. Для передачи информации без проводов используют специальные электрические колебания, называемые несущими. Несущие колебания не содержат информации, но хорошо излучаются и распространяются в свободном пространстве. Поэтому с их помощью информация, заложенная в первичном сигнале, переносится в свободном пространстве. Информация закладывается в один из параметров несущего колебания $U_m \cos(\omega t + \varphi)$ (методом модуляции, т.е. изменения амплитуды U_m , частоты ω или фазы φ , по закону изменения первичного сигнала, отображающего передаваемую информацию. Структура системы радиосвязи представлена на рис. 1.1.

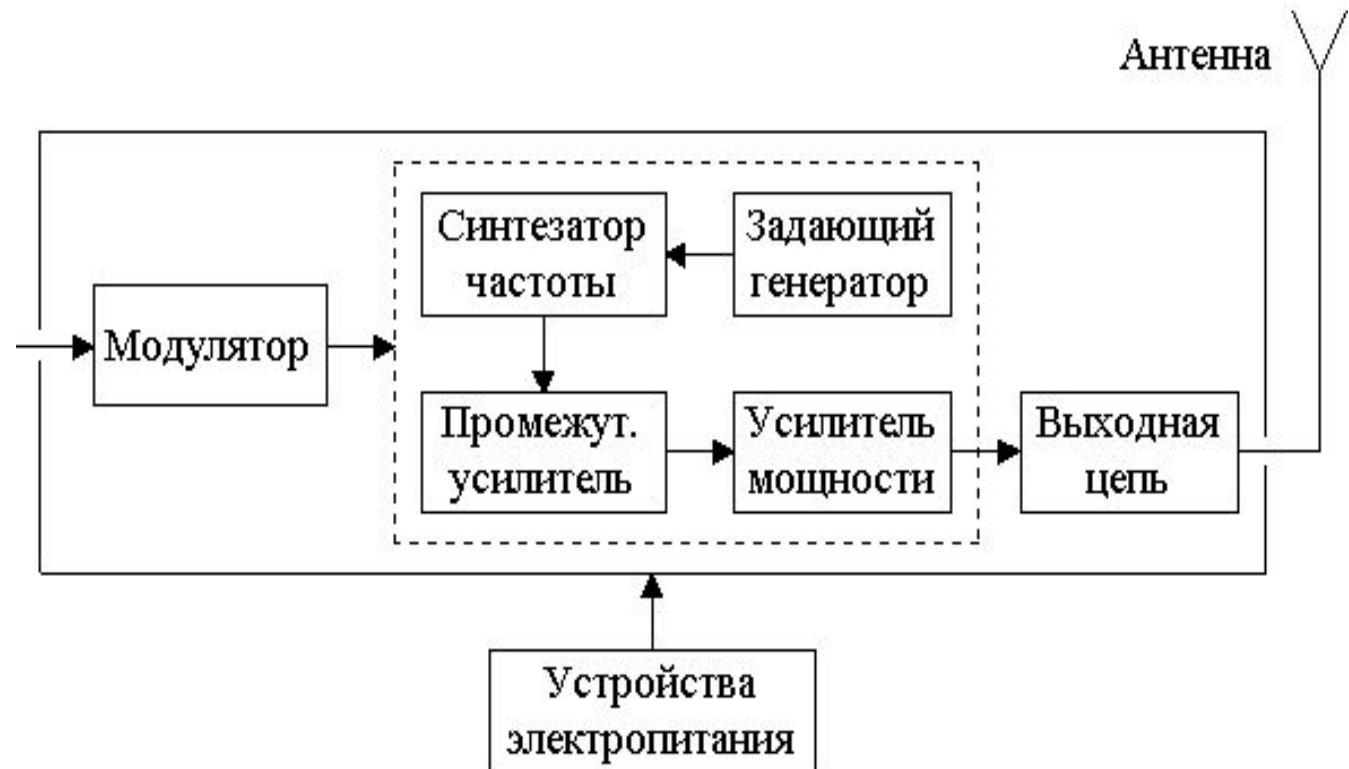
Радиопередающие устройства

Схема и конструкция радиопередатчика зависят от различных факторов: назначения, диапазона рабочих волн, мощности и т.д. Можно выделить некоторые типичные блоки, которые имеются в большинстве передатчиков.

Структура передатчика (рисунок 1.4) определяется его 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



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 электронных элементов, а также систем автоматического управления, устройств защиты от аварийных режимов и прочих вспомогательных цепей и устройств.

На рисунке 1.4 не показаны многочисленные объекты вспомогательного оборудования, входящие в состав передатчика (особенно мощного).

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

Радиоприемные устройства

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 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:

- профессиональные предназначены для использования на линиях радиосвязи и для решения различных навигационных, телеметрических и других специальных задач.
- бытовые 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).

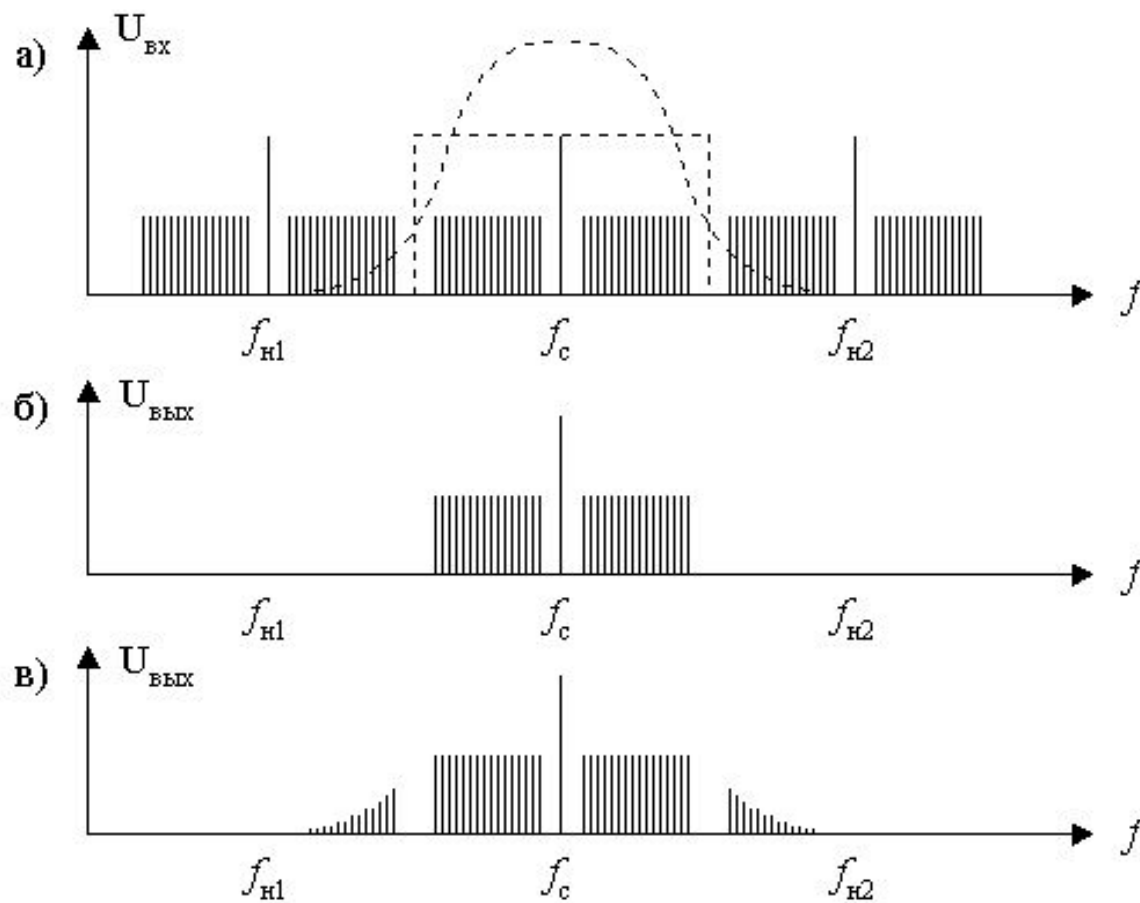
Основные показатели радиоприемников. Показатели радиоприемников определяются их назначением. Для радиоприемников разных типов они могут быть различными.

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.

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.



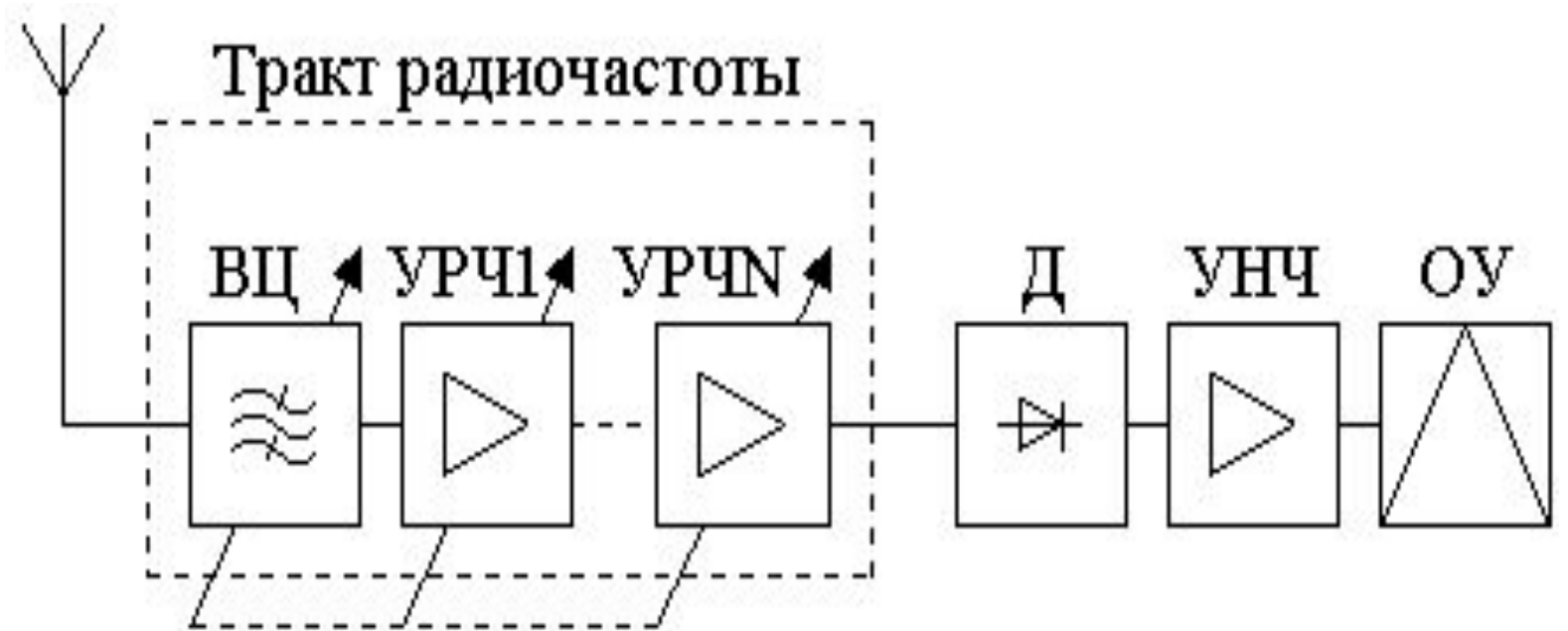
Понятие избирательности поясняет рисунок 1.5, на котором показан спектр частот трех радиостанций, из которых две крайние мы рассматриваем как помехи. Из рисунка 1.5 видно, что если фильтры приемника обладают прямоугольной частотной характеристикой, соседние (мешающие) радиостанции не создадут на его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

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.

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

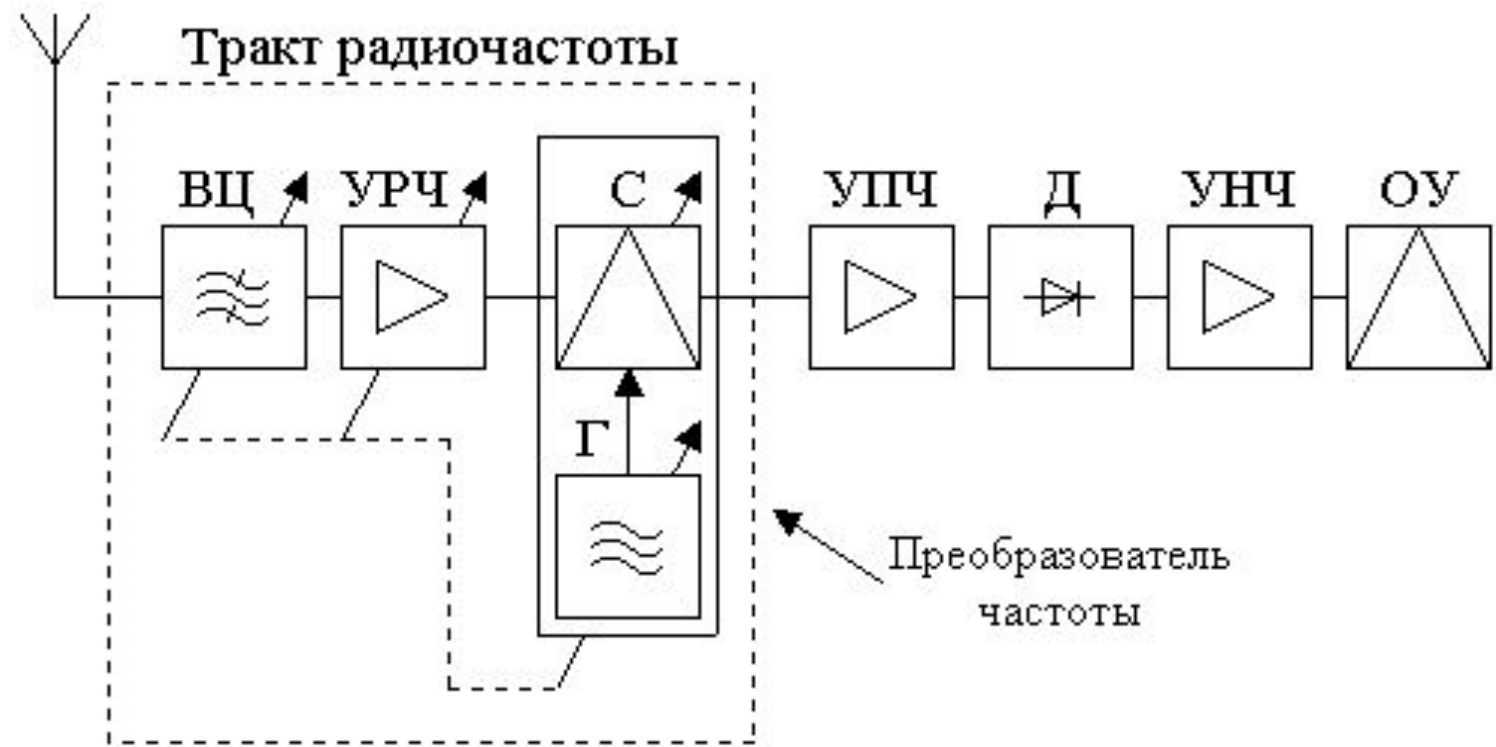
Сделать селективную цепь приемника прямого усиления с прямоугольной или даже близкой к ней характеристикой практически невозможно, так как этот контур должен быть перестраиваемым. Фильтры, обеспечивающие прямоугольные характеристики. - это многоконтурные системы, перестраивать которые одной ручкой настройки 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.

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_r . При взаимодействии этих напряжений в преобразователе частоты возникают составляющие различных комбинационных частот, из которых используется только одна. Обычно используется составляющая $f_{пр} = f_r - f_c$.

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 .

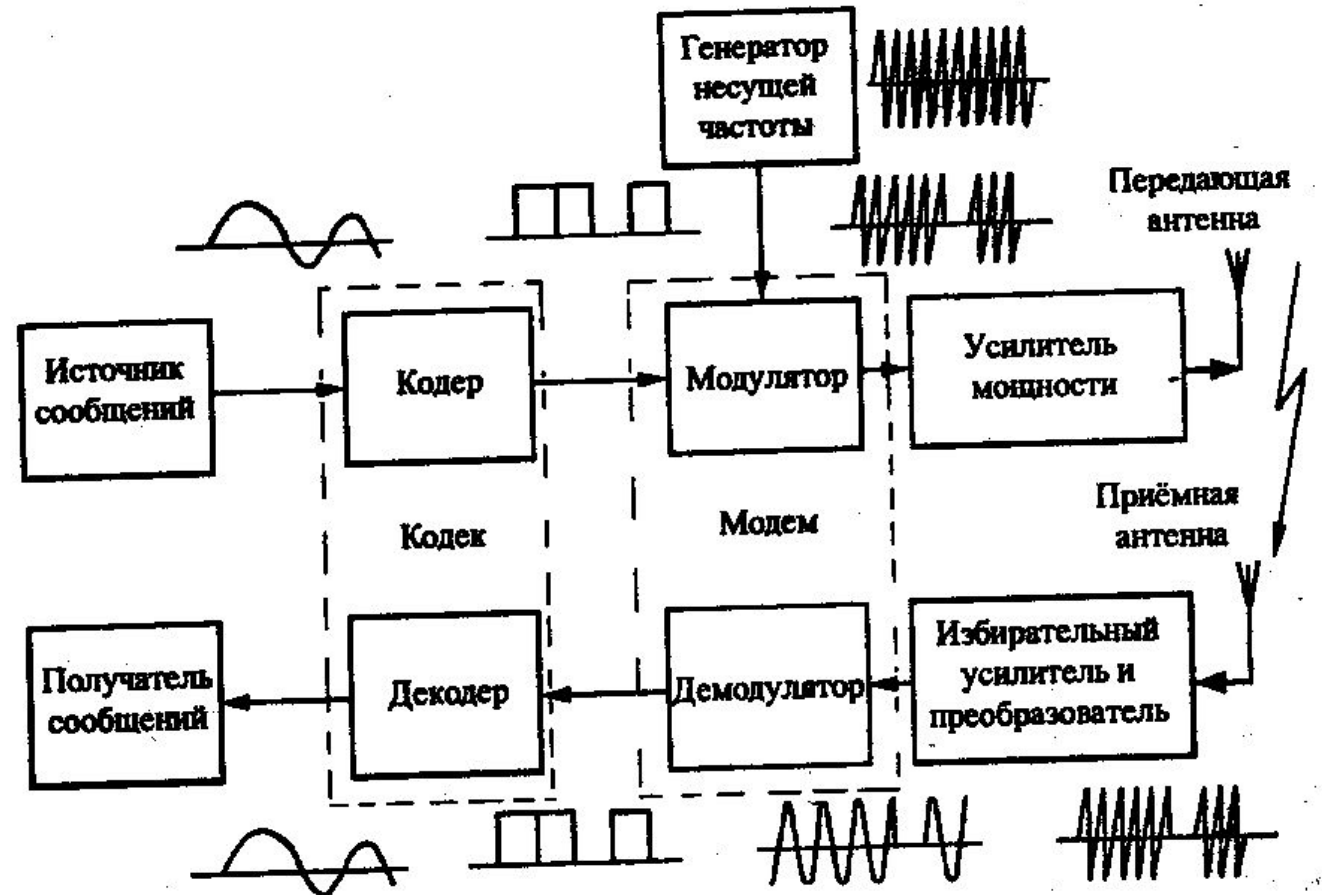
Преобразование несущей частоты радиосигнала в промежуточную приводит к улучшению фильтрации соседних каналов радиосвязи.

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 $f_{\text{пр}}$ не меняется. Достигается это за счет того, что при перестройке приемника на другую частоту сигнала f_c одновременно изменяется частота гетеродина f_r таким образом, чтобы разность $f_r - f_c = f_{\text{пр}}$ 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 по 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).

Цифровые (дискретные) системы связи. В цифровых системах передачи энергия сигнала излучается не непрерывно (как при гармоническом переносчике), а в виде коротких радиоимпульсов. Это позволяет при той же общей энергии излучения, что и при непрерывном переносчике, увеличить пиковую (максимальную) мощность в соответствующем импульсе и тем самым повысить помехоустойчивость приема. В качестве переносчика первичного сигнала $e(t)$ в импульсных системах связи используют периодическую последовательность видео- и радиоимпульсов.

Рис. Структурная схема радиоканала цифровой системы связи.



Непрерывные сообщения можно передавать по цифровым системам связи. Для этого их преобразуют в цифровую форму с помощью операций дискретизации по времени, квантования по уровню и кодирования. Под кодированием понимают операцию преобразования дискретных сообщений в последовательность кодовых символов (например, двоичных чисел).

В передающем устройстве цифровой системы радиосвязи кодирование передаваемого сигнала выполняется цифровой микросхемой, называемой *кодером*. На выходе кодера передаваемый первичный сигнал имеет вид цифрового кода – некую последовательность импульсов («единиц») и пауз («нулей»), обычно имеющих одинаковую длительность.

В модуляторе передатчика несущее колебание модулируется полученной в кодере импульсной последовательностью. Чаще всего в цифровых системах связи применяется так называемая *импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)*. В случае применения ИКМ дискретные значения непрерывного сигнала передаются в виде кодовых комбинаций. При использовании двоичного представления, кодовая комбинация может выражать целое число, равное соответствующему уровню непрерывного сигнала в момент его дискретного отсчета.

Итак, в цифровой системе передачи информации превращение сообщения в радиосигнал осуществляется тремя операциями: преобразованием, кодированием и модуляцией (в аналоговом двумя – преобразованием и модуляцией).

Кодирование определяет математическую сторону, а модуляция – физическую сторону превращения сообщения в сигнал. По существу кодирование представляет собой преобразование сообщения в последовательность кодовых символов, а модуляция – преобразование этих символов в сигналы, пригодные для передачи по цифровому каналу. С помощью кодирования и модуляции источник сообщений согласуется с каналом связи.

В приемнике после усиления на радиочастоте, из сигнала промежуточной частоты (принятого вторичного сигнала) с помощью демодулятора извлекается последовательность кодовых символов (первичный сигнал). Затем производится декодирование этих символов в декодере. *Декодирование* состоит в восстановлении сообщения по принимаемым кодовым символам. С выхода декодера восстановленный аналоговый сигнал поступает к *получателю сообщений*.

В современных цифровых системах передачи информации используются две группы относительно самостоятельных, совмещенных в отдельные микросхемы, аналого-цифровых устройств – кодеки и модемы. *Кодеком* называется пара преобразователей *кодер-декодер* (как правило, это логические устройства), а *модемом* – пара преобразователей *модулятор-демодулятор*.

Модемы выполняют определенный набор различных функций и в зависимости от принципов их реализации разделяются на проводные или телефонные модемы, сотовые модемы, пакетные радиомодемы, связные высокочастотные радиомодемы, цифровые модемы, факс-модемы и пр. В режиме приема данных с линии связи в модеме с помощью корректора устраняются искажения передаваемых сигналов, возникающих чаще всего в результате ограниченной полосы пропускания телефонного канала и неравномерности амплитудно-частотной и нелинейности фазо-частотной характеристик. С выхода корректора сигнал подается на детектор (демодулятор), преобразующий модулированное колебание в напряжение, форма которого воспроизводит низкочастотный передаваемый сигнал аналогового или цифрового вида. В схему модема входит также блок управления.