

# Лекция 1

## Система передачи информации

**Системой передачи информации** называется совокупность технических средств, обеспечивающих передачу информации от источника к получателю.

Системы передачи информации могут быть **одноканальными** и **многоканальными**. Одноканальная система передачи информации предназначена для передачи сообщений только от одного источника к одному или нескольким получателям сообщений. Многоканальная – от нескольких источников - также к одному или нескольким получателям. Сообщения могут быть при этом как независимыми, так и связанными. Например, в цифровых системах радиовещания с помощью одного и того же набора технических средств можно передавать одновременно несколько независимых звуковых программ, в том числе многоканальных (стереофонических) и несколько служебных. **Каналом** в данном случае называется совокупность технических средств предназначенных для передачи информации от одного источника сообщений.

В системах передачи информации сообщения от источника к получателю передаются с помощью электрических сигналов, радиосигналов или оптического излучения. Очевидно, что между сигналом сообщения на входе системы передачи информации и преобразованным в передающей части сигналом, посредством которого это сообщение передается получателю, должно существовать однозначное соответствие. Принятый сигнал подвергается обратному преобразованию в приемной части для восстановления переданного сообщения.

В общем виде структурная схема одноканальной системы передачи информации представлена на рис.1. Здесь устройство, преобразующее сигнал сообщения в сигнал, передаваемый через линию связи, условно назван передатчиком, а устройство, осуществляющее обратное преобразование, - приемником.

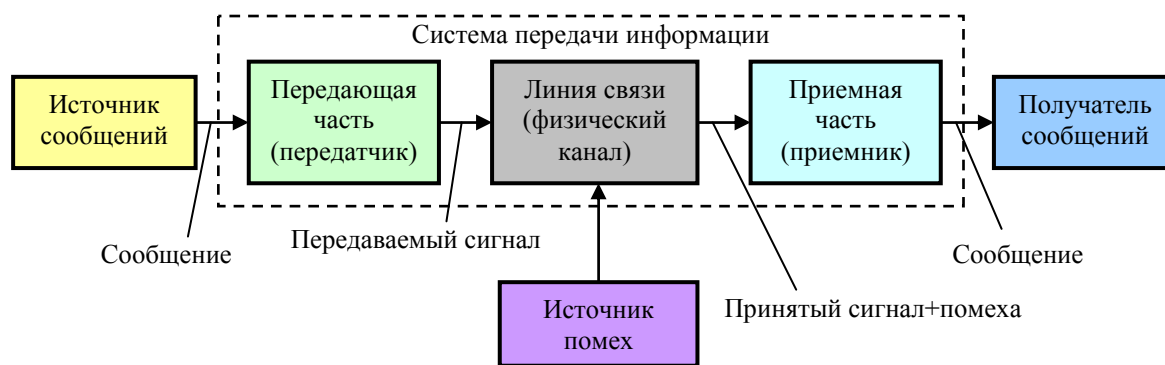


Рис.1. Структурная схема системы передачи информации

Под **линией связи (физическим каналом)** понимается совокупность средств, обеспечивающих передачу сигнала от передатчика к приемнику.

Если в качестве линии связи используются провода (кабель), на одном конце которых установлен формирователь электрического сигнала, а на другом приемник, то система передачи информации называется **проводной (кабельной) системой связи**.

Если в качестве линии связи используются излучатель и приемник электромагнитной энергии, обеспечивающие передачу и прием электромагнитных волн определенной длины через открытое пространство, то имеет место **система радиосвязи**.

Если в качестве линии связи используется оптическое волокно (оптический кабель), на одном конце которого установлен оптический излучатель (например, лазер), а на другом приемник оптического излучения (фотоприемник), то система передачи информации называется **системой волоконно-оптической связи**.

Следует отметить, что системы записи/воспроизведения также можно рассматривать как системы передачи информации. Здесь роль физического канала выполняет носитель информации (магнитный, оптический или магнитооптический). Построение систем записи/воспроизведения ничем не отличается от построения систем проводной или радиосвязи.

Сигнал, поступающий на вход приемника, как правило, отличается от переданного в линию связи. Это отличие обусловлено воздействием на передаваемый сигнал различного рода помех, накладываемых на него в процессе распространения по линии связи. Кроме того, существуют помехи, возникающие в самой аппаратуре передачи и приема информации. Однако их уровень значительно ниже уровня помех, существующих в линии связи, и их влиянием можно пренебречь.

С целью выполнения требования идентичности принятого и переданного сигналов приемник должен обладать способностью выделять собственно сигнал из совокупности сигнал/помеха и преобразовывать его в сообщение.

Способность системы передачи информации обеспечивать требуемую верность принимаемых сообщений называется помехоустойчивостью. Для каждой системы передачи информации существует вполне определенное минимальное соотношение параметров сигнала и помехи, при котором еще обеспечивается требуемая верность принимаемых сообщений.

Системы передачи информации бывают аналоговые и цифровые. **Аналоговые системы** предназначены для передачи исключительно аналоговой информации. В передающей части таких систем преобразование исходной информации в передаваемый сигнал производится в аналоговом виде. Структурная схема аналоговой системы звукового радиовещания, показана на рис.2.

Основной процедурой в передающей части аналоговой системы является модуляция несущей частоты сигналом сообщения. Несущая частота описывается выражением

$$f(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

Модуляция состоит в том, что с помощью модулирующего сигнала осуществляется воздействие на один из параметров несущей частоты, в результате которого в изменениях этого параметра будет содержаться сигнал сообщения. Если изменяется амплитуда  $A$ , то модуляция называется **амплитудной**, если частота  $\omega$ , то модуляция **частотная**, если фаза  $\varphi$ , то **фазовая**.

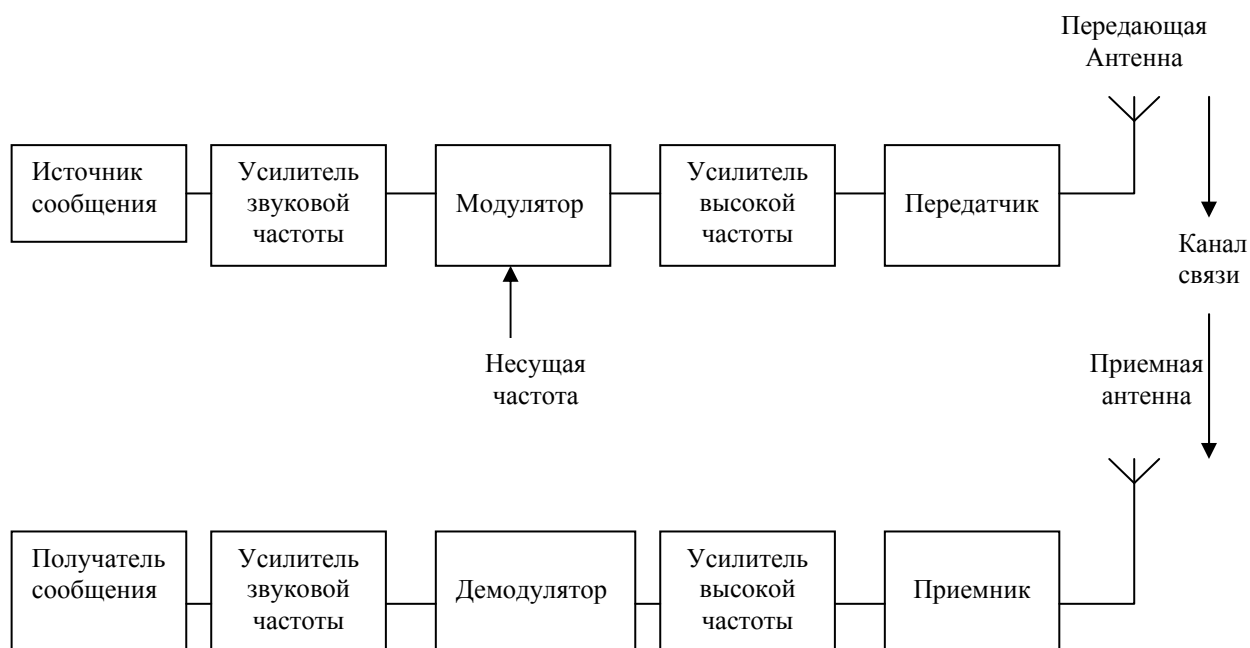


Рис.2. Система аналогового звукового вещания

Если система многоканальная, то модулируется несколько поднесущих, занимающих выделенный для передачи диапазон частот и расположенных в нем с таким расчетом, чтобы спектры частот, возникающих в результате модуляции, не перекрывались. Уплотнение при этом называется частотным.

С помощью **цифровых систем передачи информации** может передаваться как аналоговая, так и цифровая информация. В том случае, если информация аналоговая, то она предварительно преобразуется в цифровую с помощью АЦП. Обработка информации в передающей части цифровых систем передачи осуществляется исключительно в цифровом виде и лишь после модуляции приобретает вид аналогового сигнала. Структурная схема системы цифрового радиовещания показана на рис.3.

**Источник сообщения** на рис.3 – это те технические средства, которые формируют аналоговый сигнал: микрофон, усилитель, магнитофон, адаптер электромузыкального инструмента и пр.

**Кодер источника** – это технические средства, преобразующие аналоговый сигнал в цифровой и обеспечивающие устранение избыточности из формируемого цифрового потока данных: АЦП, цифровые фильтры и устройства сжатия информации (MPEG, Dolby, DTS и пр.).

**Кодер канала** осуществляет преобразование информации с целью защиты ее от ошибок, которые возникают при передаче сообщений по каналу. Такое преобразование связано с введением в поток данных некоторой избыточности. Однако эта избыточность, как правило, значительно меньше, чем та, которая была устранена в кодере источника. Кроме того, к потоку данных здесь добавляется некоторое количество синхронизирующей информации, необходимой для правильного декодирования этих данных, и служебной информации, необходимой для управления потоком данных.

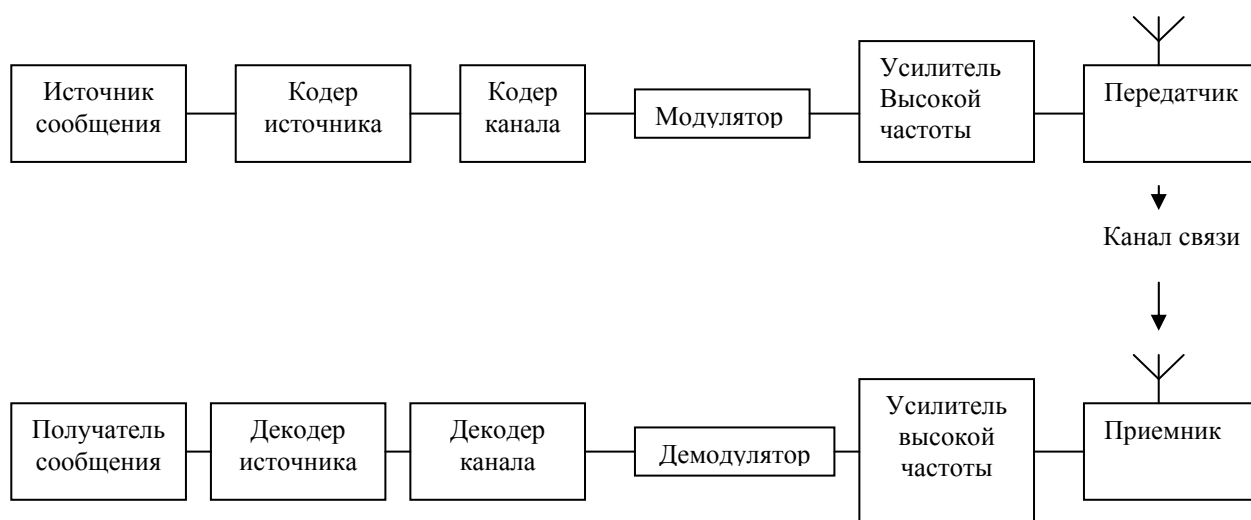


Рис.3. Система цифрового звукового вещания

Модуляция в цифровых системах передачи информации также осуществляется путем воздействия на один из параметров несущей частоты. Но поскольку сигнал сообщения здесь состоит только из сочетаний только двух символов - «нулей» и «единиц», то модуляция называется амплитудно-импульсной (АИМ), частотно-

импульсной (ЧИМ) и фазо-импульсной (ФИМ). На рис.4 показан пример различных видов модуляции кодовым словом 10110.

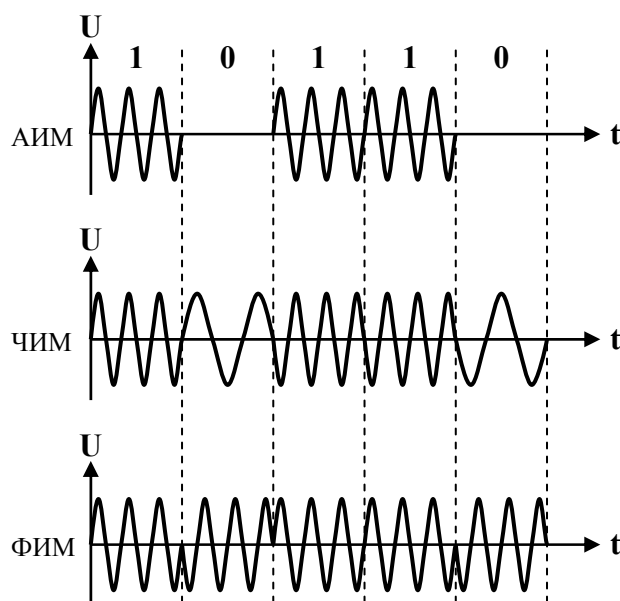


Рис.4. Форма сигнала передачи при различных видах модуляции

Для оценки качества канала связи используют понятие вероятности появления ошибки  $P_{\text{ош}}$ , которая равна усредненному за достаточно большой промежуток времени отношению числа принятых искаженных символов к общему числу переданных за тот же промежуток времени символов:

$$P_{\text{ош}} = \lim(n_{\text{ош}}/n_{\Sigma})$$

Иногда для характеристики канала связи используют понятие скорости ошибочных бит – **Bit Error Rate (BER)**, которая численно равна вероятности появления ошибок  $P_{\text{ош}}$ .

Кроме того, для характеристики канала связи полезно знать максимальную длину пакетов ошибок в битах  $L_{\text{ош}}$ , которая нужна для того, чтобы при разработке системы защиты от ошибок правильно выбрать глубину перемежения.

## Системы стереофонического радиовещания в диапазоне метровых волн

Для организации стереофонического радиовещания чаще всего используют диапазон метровых волн 30-300 МГц (диапазон ОВЧ), поскольку здесь можно обеспечить более высокие параметры качества системы стереофонического радиовещания в целом. Для передачи двух отдельных сигналов стереопары используют один радиопередатчик, несущую которого модулируют по частоте так называемым комплексным стереофоническим сигналом (КСС), предварительно сформированным из сигналов стереопары. КСС формируется таким образом, что стереопередачу можно принимать на монофонические радиоприемники и получать при этом полноценное монофоническое звучание. Требование совместимости системы стереофонического радиовещания с монофонической является обязательным. Более того, это требование должно выполняться уже на этапе создания стереофонической фонограммы, что предполагает возможность формирования полноценного монофонического сигнала путем суммирования левого и правого сигналов стереопары. Кроме того, полоса частот радиоканала при стереопередаче не должна существенно расширяться по сравнению с полосой частот, занимаемой монофоническим передатчиком, так как в противном случае уменьшается зона

обслуживания. И, наконец, расходы на реконструкцию передатчиков и стоимость радиоприемной аппаратуры должны окупаться приростом качества звучания.

В России и в ряде стран СНГ для передачи программ стереофонического радиовещания используют диапазоны частот 65,9-74 МГц (система с ПМ) и 87,5-108 МГц (система с ПТ). Первый из этих диапазонов обычно называют «УКВ», а второй – «FM», хотя это не совсем верно: оба диапазона лежат в области ультракоротких волн, и оба они используют частотную модуляцию (ЧМ, или FM – Frequency Modulation). Основное отличие в вещании на этих диапазонах заключается в способе передачи стереосигнала. В первом диапазоне используется система с полярной модуляцией (ПМ), в другом – система с пилот-тоном (ПТ). Кроме того, отличается максимальная девиация несущей частоты:  $\pm 50$  кГц и  $\pm 75$  кГц соответственно.

В большинстве стран Западной Европы и США для стереофонического радиовещания используют диапазон 87,5-108 МГц, а в Японии – 76-88 МГц.

Для организации стереофонического радиовещания в диапазоне метровых волн Международным консультативным комитетом по радиовещанию рекомендованы три системы:

- система с полярной модуляцией (ПМ), разработанная в СССР;
- система с пилот-тоном (ПТ), разработанная американской фирмой «Зенит Дженерал Электрик» (ЧМ-АМ);
- шведская ЧМ-ЧМ.

### Система с полярной модуляцией

Идея полярной модуляции впервые описана еще в 1939 году советским ученым А.И. Косцовым. Идея состоит в том, что положительные полупериоды высокочастотных колебаний модулируются одним сигналом стереопары, а отрицательные – другим (рис.5). Таким образом, верхняя и нижняя огибающие ПМ колебания несут информацию о двух отдельных сигналах стереопары, каждый из которых может быть выделен с помощью так называемого полярного детектора (рис.6). При этом верхний диод выделяет огибающую положительных, а нижний – отрицательных полупериодов одного несущего колебания частоты  $\omega$ .

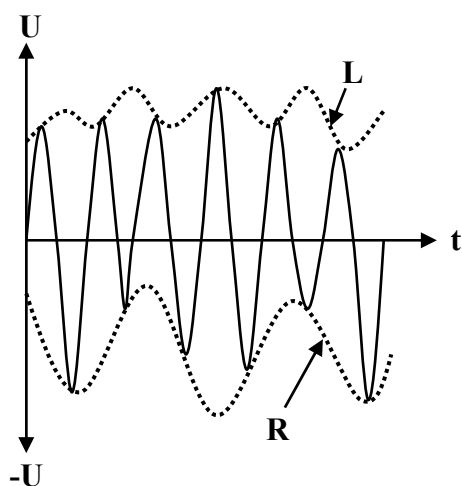


Рис.5. Полярно-модулированное колебание

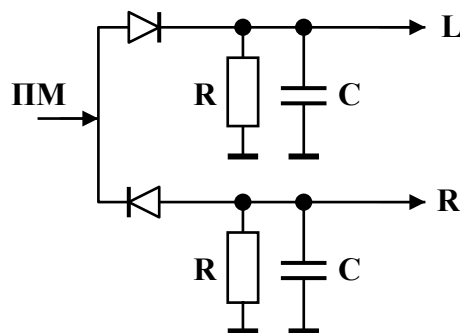


Рис.6. Полярный детектор

Полярно-модулированное колебание описывается уравнением

$$U_{\text{ПМ}}(t) = [u_L(t) + u_R(t)]/2 + \{U_0 + [u_L(t) - u_R(t)]/2\} \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $U_0$  – амплитуда надтональной поднесущей частоты;  $u_L(t) = m_L \sin \Omega_L t$  и  $u_R(t) = m_R \sin \Omega_R t$  – модулирующие сигналы левого и правого стереоканалов;  $m_L$ ,  $m_R$  и  $\Omega_L$ ,  $\Omega_R$  – соответственно амплитуды и частоты этих колебаний, модулирующих положительные и отрицательные полупериоды поднесущего колебания  $U_0 \sin \omega t$ . Из уравнения (1) видно, что полярно-модулированный сигнал состоит из двух основных частей: низкочастотной, которая представляет собой сумму колебаний  $u_L(t) + u_R(t)$ , и надтональной части, которая представляет собой поднесущее колебание  $U_0 \sin \omega t$ , модулированное по амплитуде разностью сигналов  $u_L(t) - u_R(t)$ .

В упрощенном виде можно записать так:

$$U_{\text{ПМ}} = (U_L + U_R) + (U_L - U_R) \sin \omega t$$

Функциональная схема для получения полярно-модулированных колебаний показана на рис.7, где БМ – балансный модулятор, Г – генератор надтональных колебаний,  $\Sigma$  – сумматор, ФНЧ – фильтр нижних частот. Спектр полярно-модулированных колебаний представлен на рис.8.

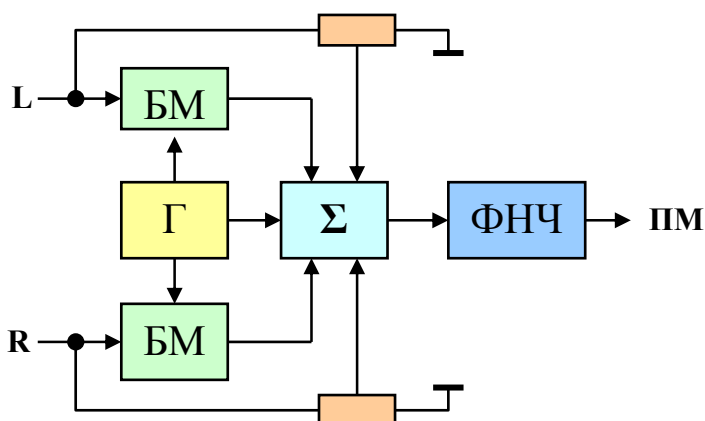


Рис.7. Функциональная схема для получения полярно-модулированных колебаний

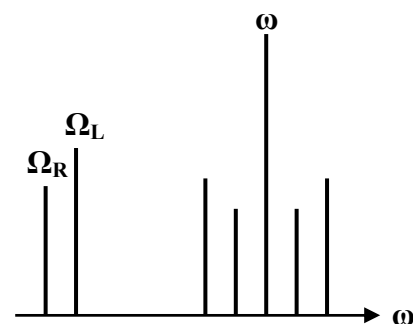


Рис.8. Спектр полярно-модулированной несущей

Поскольку полярно-модулированное колебание содержит только звуковые и надзвуковые частоты, его невозможно непосредственно излучать в эфир радиопередающей станцией. Чтобы это стало возможным, несущая передатчика модулируется по частоте так называемым комплексным стереофоническим сигналом (КСС), спектр которого (рис.9) отличается от спектра ПМК (рис.8) частичным подавлением поднесущей частоты  $f_{\text{ПН}} = 31,25$  кГц. Подавление поднесущей частоты с помощью необходимо для того, чтобы уменьшить его долю в общей девиации несущей частоты передатчика, которая всегда ограничивается стандартом ( $\pm 50$  кГц). Это можно сделать потому, что поднесущая не несет в себе непосредственной информации о передаваемом звуковом сигнале. Уровень поднесущей уменьшается в 5 раз (на 14 дБ) с помощью режекторного фильтра с добротностью  $100 \pm 5$ .

В приемнике уровень поднесущего колебания восстанавливается до номинального значения.

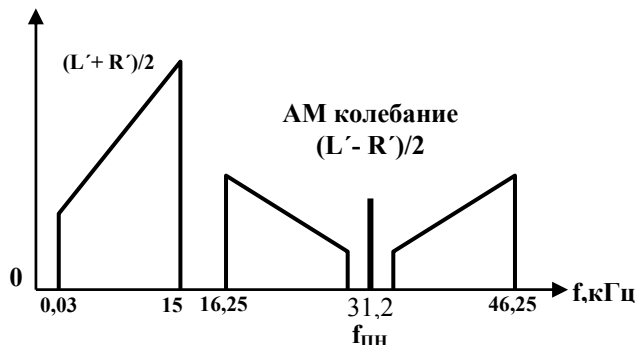


Рис.9. Спектр КСС в системах с полярной модуляцией

$L'$  и  $R'$  - левый и правый стереосигналы после прохождения цепи создания частотных предискажений

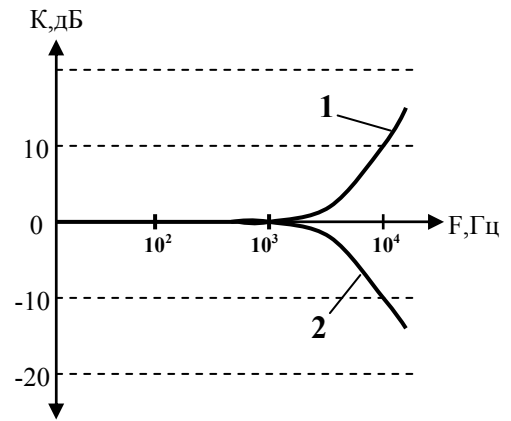


Рис.10. Амплитудно-частотные характеристики RC-цепи предискажений (1) и восстанавливающей цепи (2) при постоянной времени  $\tau=50$  мкс

Для повышения помехозащищенности сигналов  $L$  и  $R$  в области верхних частот, где уровень спектральных составляющих реального звукового сигнала всегда существенно меньше, чем на средних и низких частотах, перед модуляцией звуковой сигнал пропускают через RC-цепь, где производится частотная коррекция его спектра. Характеристика корректирующей цепи (рис.10) нормализована так, что постоянная времени ее составляет  $\tau = 50$  мкс. На приемном конце исходный спектр звукового сигнала восстанавливается с помощью корректирующей цепи, имеющей обратную характеристику (рис.10). Упрощенная структурная схема трактов передачи и приема показана на рис.11.

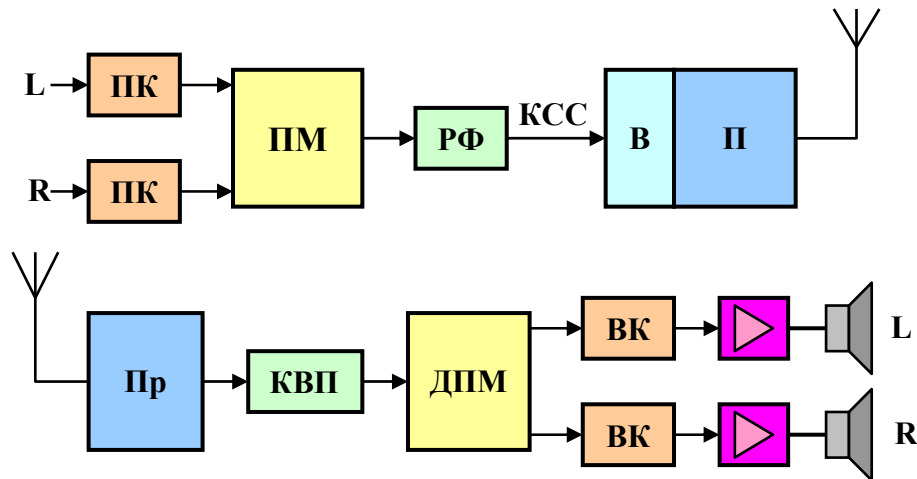


Рис.11. Структурная схема трактов передачи и приема при полярной модуляции поднесущей частоты УКВ ЧМ передатчика

ПМ – предискажающий контур; ПМ – полярный модулятор; РФ – режекторный фильтр; П – УКВ ЧМ передатчик с возбудителем В; Пр – приемник; КВП – контур восстановления поднесущей; ВК – восстанавливающий контур, коэффициент передачи которого  $K_{ВК}(f) = 1/K_{ПК}(f)$ . Совокупность КВП и ДПМ называется **стереодекодером**

Система с полярной модуляцией обеспечивает совместимость передаваемого сигнала, как со стереофоническими приемниками, так и с монофоническими. В монофоническом приемнике при настройке будет выделяться сигнал  $L+R$ , а надтональная

часть стереосигнала L-R, группирующаяся в окрестности поднесущей частоты  $f_{\text{ПН}}$  не пройдет. В стереоприемнике выделяются сигналы L R, от которых будут работать левый и правый громкоговорители.

Система с ПМ разработана в 1958-1959 гг. под руководством Л.М.Кононовича. Первая опытная передача по этой системе состоялась в Ленинграде 6 января 1960 года. Система с ПМ утверждена для регулярного вещания в СССР в декабре 1963 года. Рекомендована МККР к использованию в 1966 году (Рек. 450-1 МККР).

Эта система, тем не менее, не лишена недостатков, поскольку изначально была ориентирована на очень простой стереодекодер. Однако при попытках разработать высококачественный стереодекодер, проявляются некоторые недостатки системы. Прежде всего, это необходимость точного восстановления поднесущей (точно на 14 дБ и контуром с добротностью точно 100). Отклонение этих параметров ухудшает разделение стереоканалов. Кроме того, система не была ориентирована на применение синхронного детектирования, а обычный амплитудный детектор имеет повышенные нелинейные искажения. Выделение же опорной частоты для синхронного детектора из амплитудно-модулированной поднесущей затруднено.

### Система с пилот-тоном

Система с пилот-тоном (ПТ) разработана в США в конце 50-х годов; утверждена для регулярного вещания в 1961 году и рекомендована МККР к использованию в 1966 г. (Рек.450-1 МККР).

В системе с пилот-тоном, также как и в системе с полярной модуляцией, формируется КСС, которым модулируется несущая передатчика. Его спектр также содержит две части: низкочастотную, представляющую собой полусумму  $(L'+R')/2$  сигналов стереопары, и надтональную – АМ-колебание с полностью подавленной поднесущей  $f_{\text{ПН}}$  (рис.12). Поднесущая здесь имеет частоту 38 кГц и модуляция её по амплитуде также осуществляется разностным сигналом  $S = (L'-R')/2$ . Для того чтобы на приемной стороне можно было синхронно восстанавливать поднесущую частоту, в спектр КСС дополнительно вводится пилот-тон с частотой  $f_{\text{ПТ}} = 19$  кГц. При модуляции передатчика пилот-тон подавляется на 20 дБ. Как и в системе с полярной модуляцией, сигналы L и R на передающей стороне подвергаются частотным предискажениям с помощью РС-цепи, но постоянная времени здесь равна 75 мкс.

Девияция несущей частоты после модуляции комплексным стереофоническим сигналом в системе с пилот-тоном составляет  $\pm 75$  кГц.

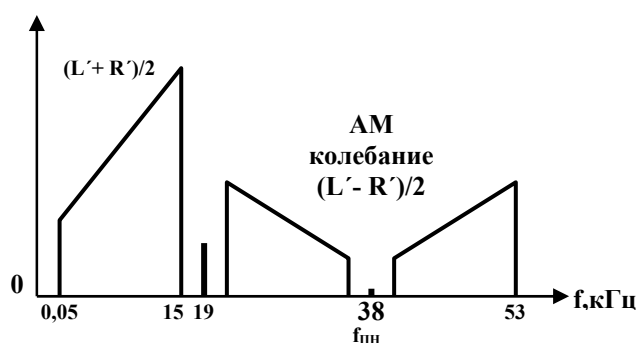


Рис.12. Спектр КСС в системах с пилот-тоном

$L'$  и  $R'$  - левый и правый стереосигналы после прохождения цепи создания частотных

В отличие от системы с ПМ, система с пилот-тоном изначально была ориентирована на применение синхронного детектирования и суммарно-разностных (матричных) стереодекодеров. Поэтому, благодаря применению синхронного детектирования, резко



снижены нелинейные искажения. Кроме того, не требуется восстановления поднесущей с высокой точностью. Система вообще малочувствительна к отклонению уровня и даже фазы поднесущей.

### Система ЧМ-ЧМ

В системе ЧМ-ЧМ спектр КСС (рис.13) также содержит тональную ( $M = (L' + R')/2$ ) и надтональную части. Отличие от вышеописанных систем состоит в том, что здесь поднесущая, частота которой  $f_{ПН} = 33,5$  кГц, модулируется сигналом  $S = (L' - R')/2$  не по амплитуде, а по частоте. Сигнал  $S$  при этом предварительно подвергается компрессированию для повышения его помехозащищенности (канал  $S$  стереокодера содержит сжиматель, а стереодекодер – расширитель). Эта система нашла применение в скандинавских странах и в Японии.

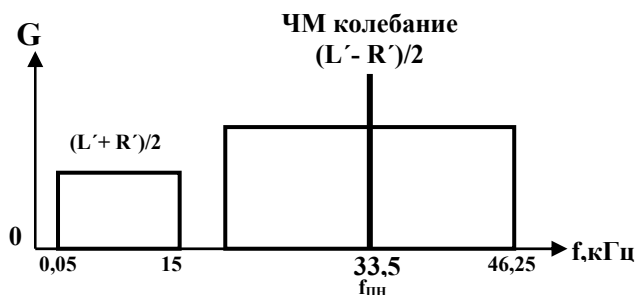


Рис.13. Спектр КСС в системе с ЧМ-ЧМ