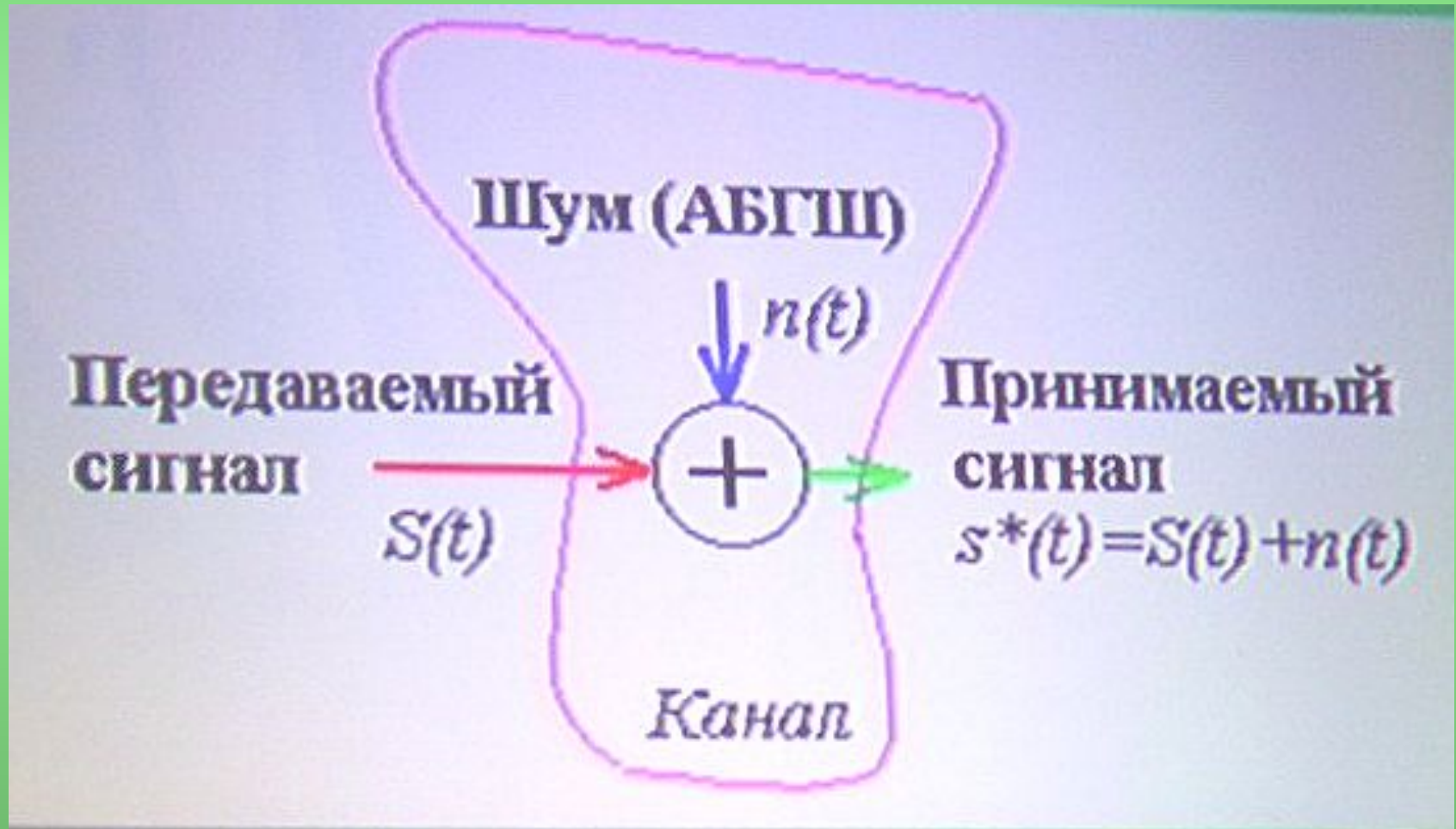


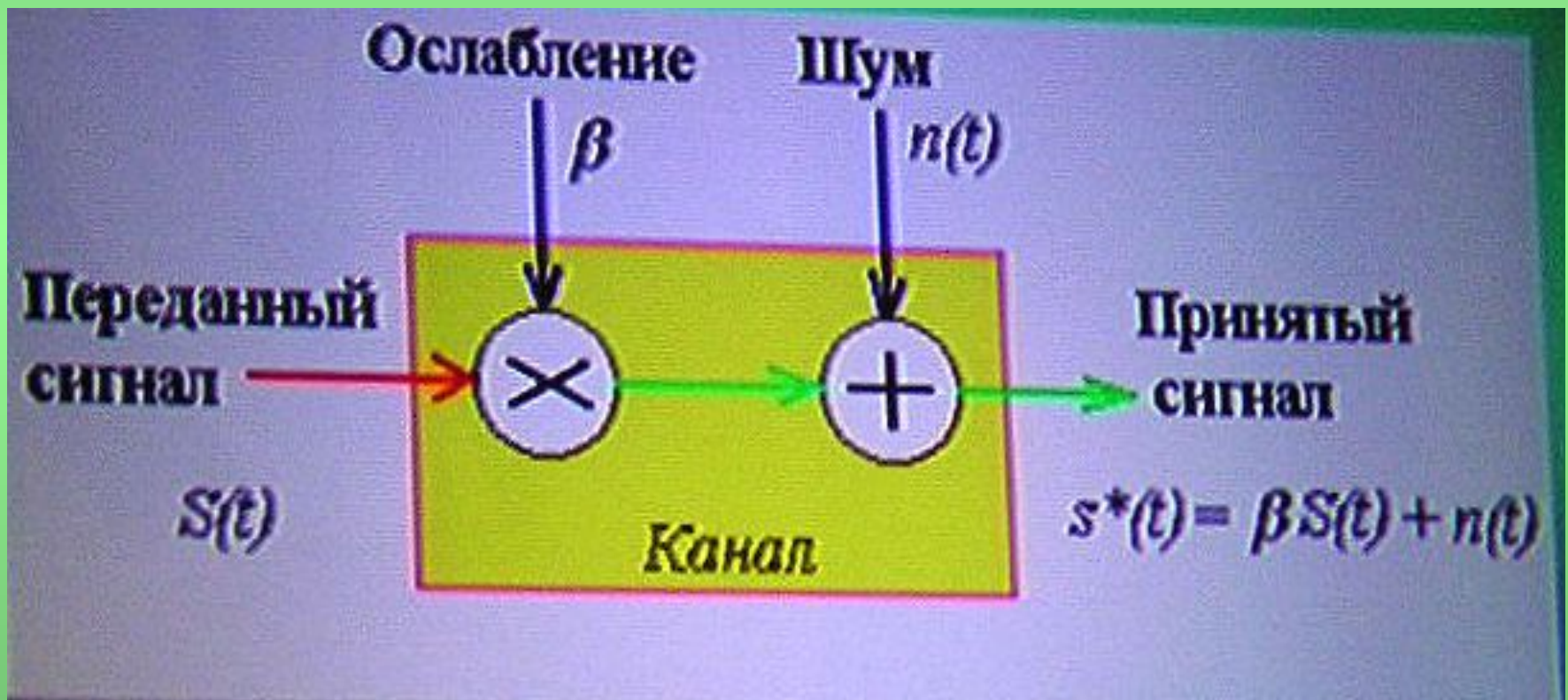
Прием сигналов на фоне помех

Лекция 9

Модель сигнала в канале с АБГШ



Модель канала с затуханием и аддитивным шумом



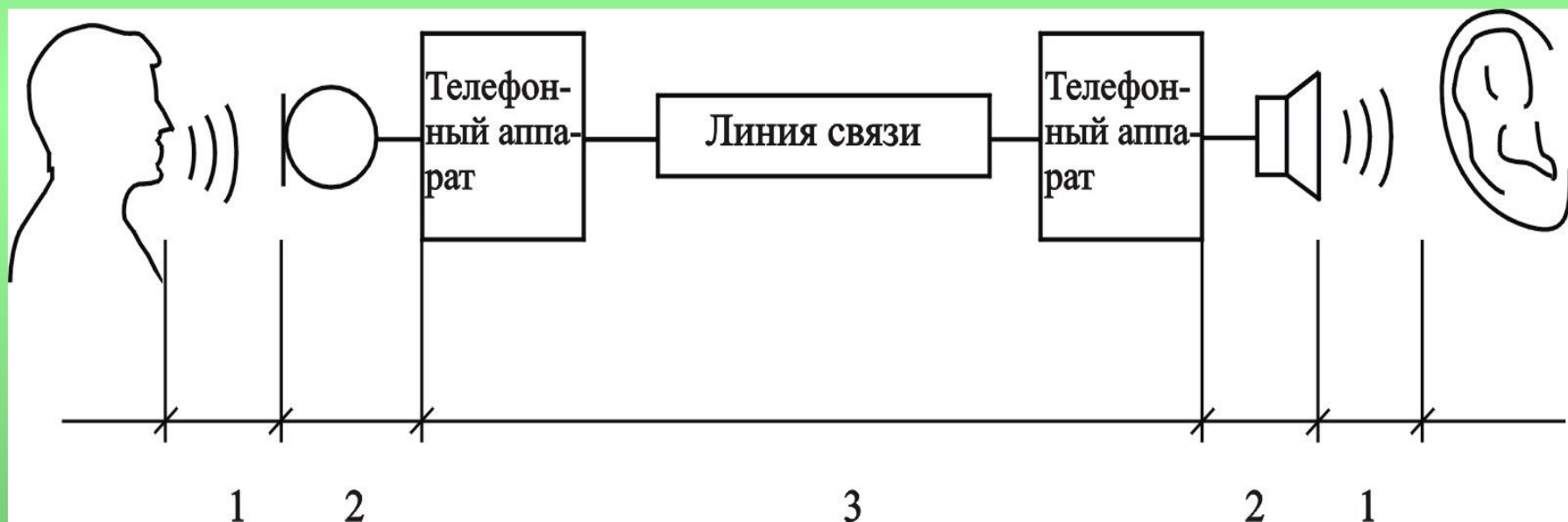
Особенности приема сигналов

- Для проводных и кабельных систем основными проблемными факторами являются:
ослабление (затухание) сигнала на приемном конце и наводимые электромагнитные помехи.
- Для беспроводных систем связи кроме затухания наиболее важными факторами осложнения приема сигнала являются:
многолучевость и замирания.

Проблемы затухания

- Полученный сигнал должен обладать мощностью, достаточной для его обнаружения
- Мощность сигнала должна превышать мощность шума
- При повышении частоты затухание возрастает, что приводит к дополнительным искажениям

Принцип телефонной передачи



Выделение аудио сигнала

- При телефонном разговоре (обмене сообщениями) ток постоянного напряжения и аудио сигнал разделяются путем прохода аудио сигнала через конденсаторы емкостью около 2 мкФ и ограждения сигнала от линий питания с помощью дросселя (индуктивностью 5 Гн и сопротивлением порядка 200 Ом) в каждой линии

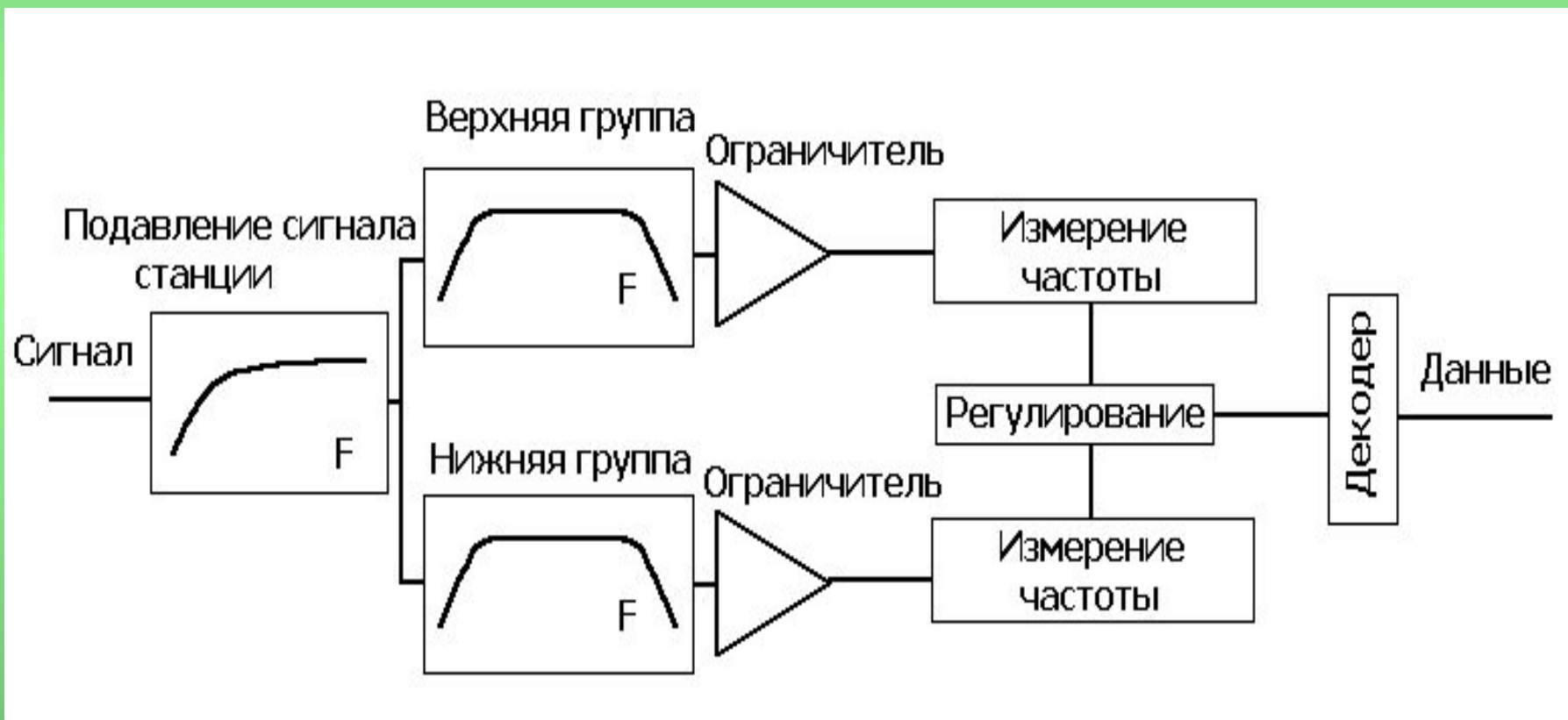
Работа аппарата

- После набора номера АТС посылает в сторону вызывающего телефонного аппарата тон «ждите» или «занято»
- После поднятия трубки вызываемого телефонного аппарата можно вести разговор

Тональный набор номер

- DTMF (dual-tone multi-frequency) – в этой системе цифры передаются двумя частотными (тонами) одновременно
- Кроме функции набора номера, система тонального набора позволяет осуществлять низкоскоростную передачу данных

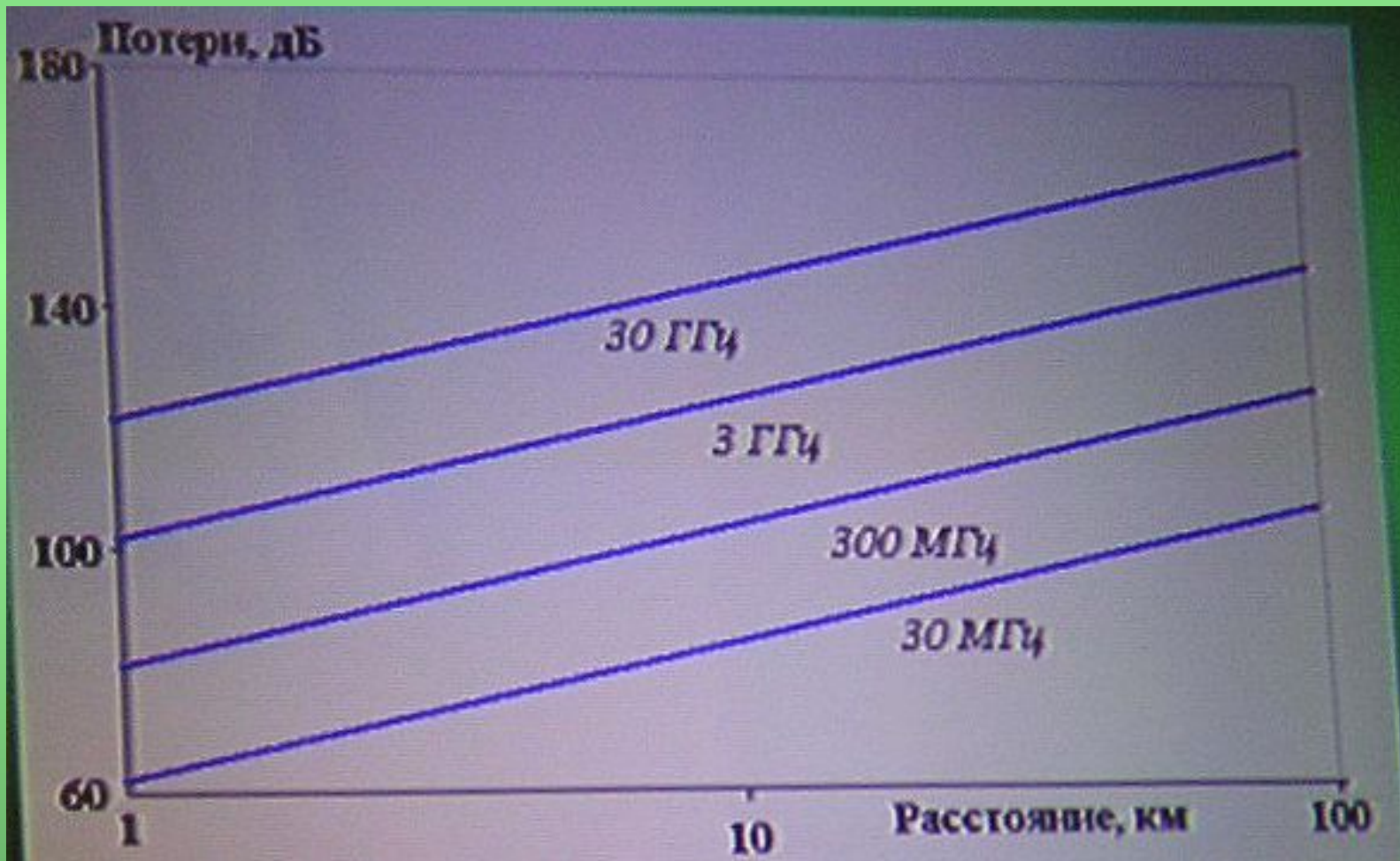
Схема приемника тональных сигналов



Преимущества тонального набора номера

- Частоты выбраны таким образом, чтобы избежать гармонических помех от речевых сигналов
- Правильная цифра определяется одним тоном из верхней частотной группы и одним – из нижней
- Максимальная скорость набора номера в системе частотного набора составляет 7 цифр в секунду (на порядок больше, чем в импульсной)

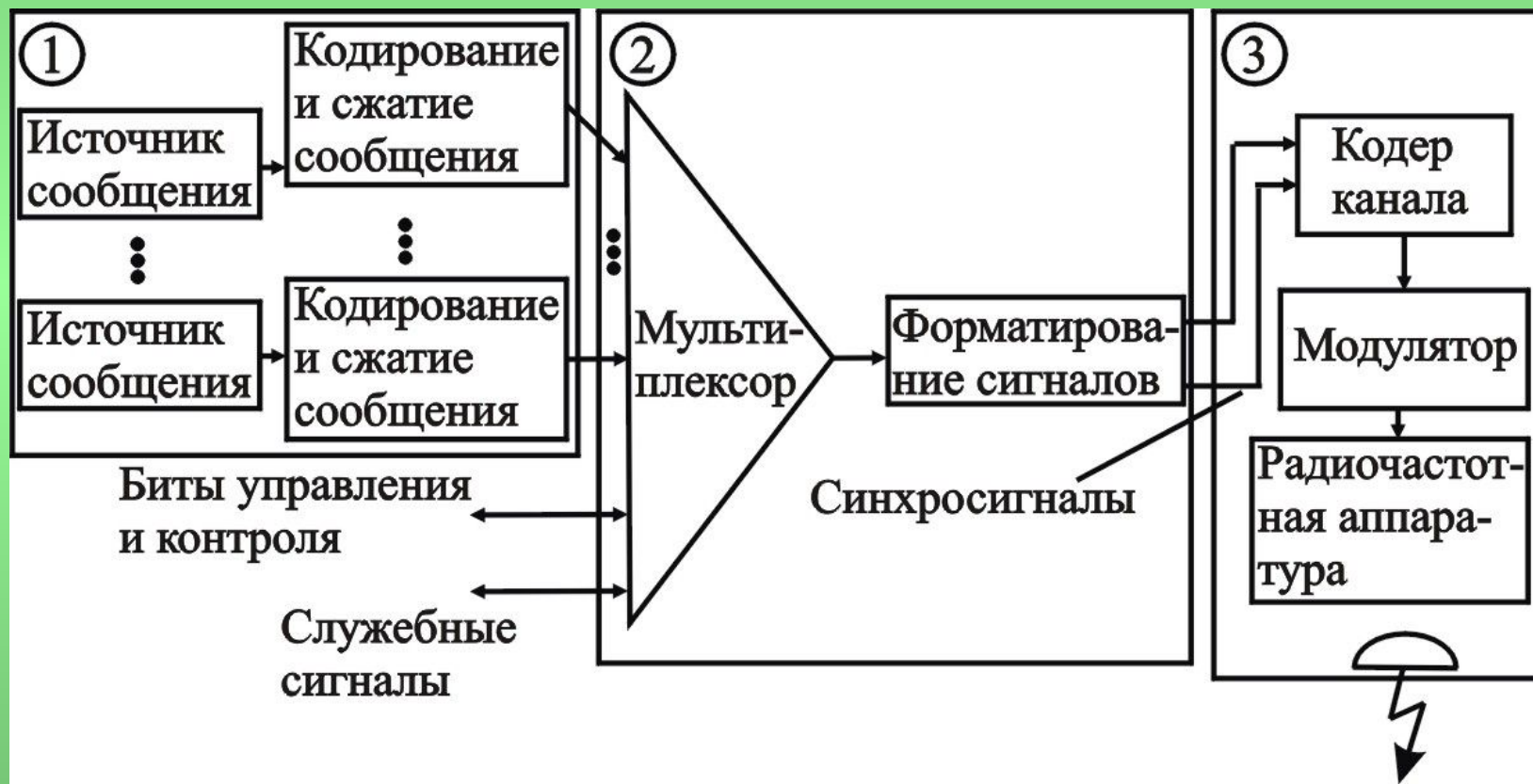
Потери мощности в свободном пространстве



Аппаратура передачи данных

- Функциональная схема аппаратуры передачи данных включает в себя:
 - аппаратуру кодирования и сжатия источников сообщения
 - аппаратуру уплотнения сигналов и формирования формата сигнала
 - передающую радиочастотную аппаратуру

Функциональная схема аппаратуры передачи данных



Не зависит от параметров кода

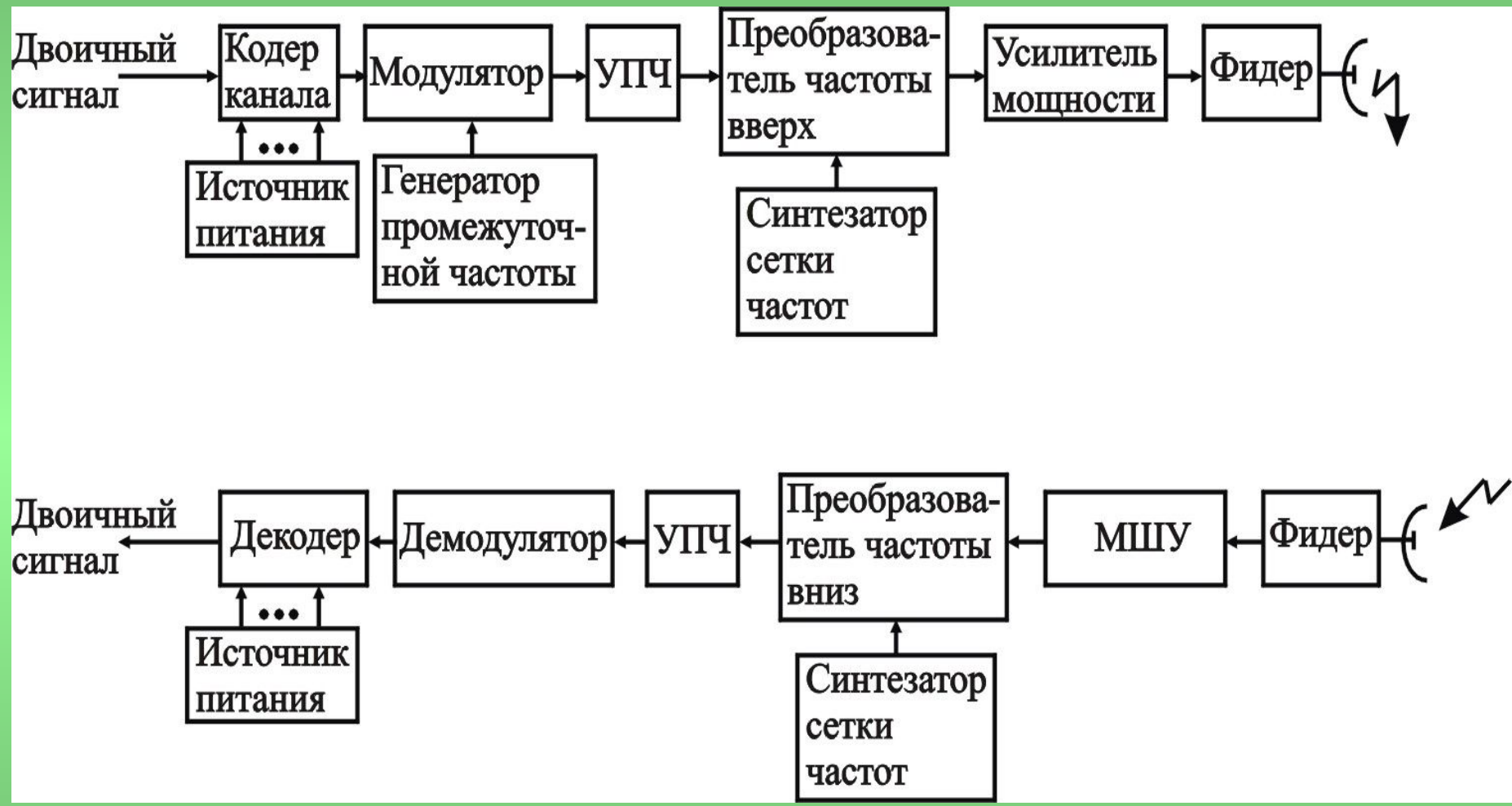
- Значение E_b/N_0 в приемнике не зависит от параметров используемого кода (n, k, \dots)
- Значение E_b/N_0 в приемнике зависит от отношения P_0/N_0 на приемной стороне и скорости передачи данных R :
 $E_b/N_0 = P_0/(N_0 R)$, где P_0 – средняя мощность принимаемого сигнала.

Преобразование сигналов в радиотехнике

- Преобразование исходного сообщения в электрический сигнал
- Модуляция колебания несущей частоты
- Перенос спектра принятого колебания в область более низких частот (на промежуточную частоту) с помощью процесса гетеродинирования для облегчения последующей обработки (фильтрации)
- Демодуляция принятого сигнала
- Фильтрация, обеспечивающая оптимальное выделение передаваемого сообщения

Качество передачи

- Характеризуется вероятностью ошибочного приема символа
- Случайные ошибки при цифровой передаче в основном связаны с наличием теплового шума и межсимвольных помех на входе
- Другими причинами ошибок служат помехи от других систем передачи, шумы естественного происхождения



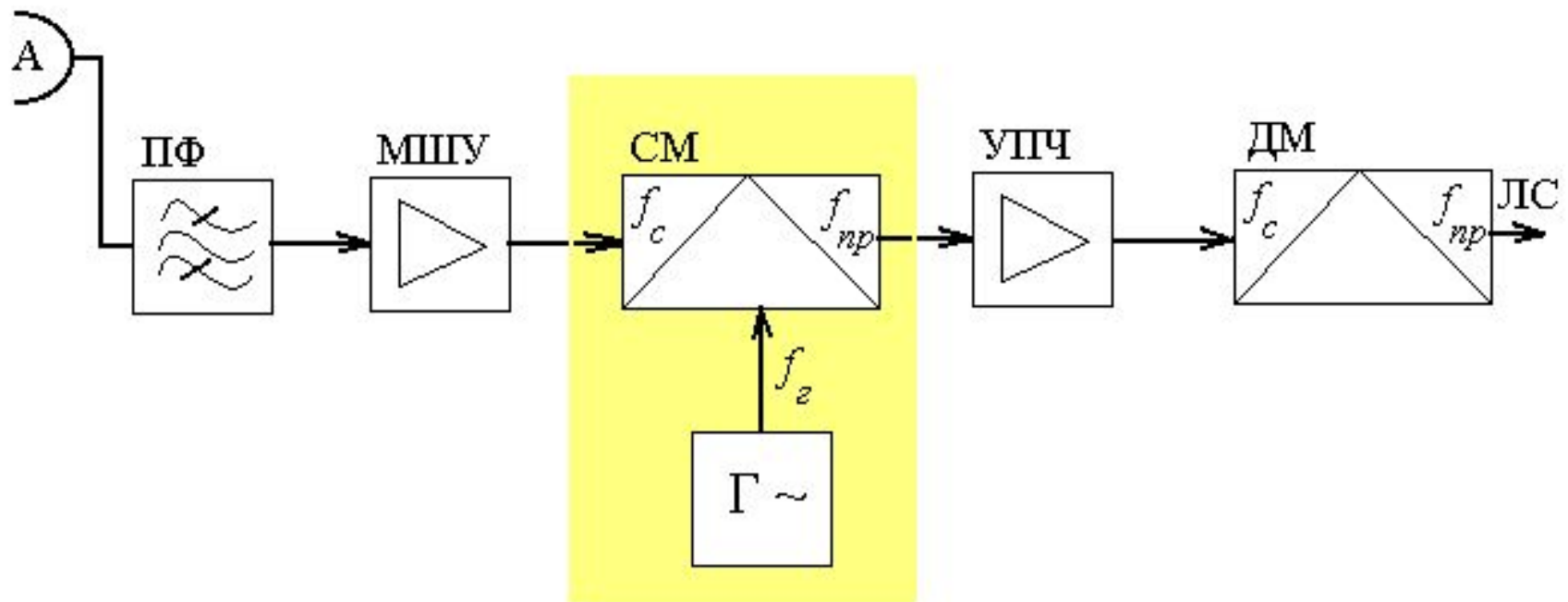
АНТЕННЫ

- Антенна обеспечивает связь между фидерной линией и окружающей средой и служит для излучения или приема электромагнитных волн
- В системах, работающих на частотах выше 1 ГГц, в качестве антенн используют излучающие поверхности, на более низких частотах – излучающие провода

Прием и демодуляция

- Пересекая приемную антенну, радиоволны наводят в ней э.д.с., которая усиливается в приемнике и преобразуется в **сигнал того вида**, который был получен на выходе преобразователя информации **в тракте передачи**
- Такое преобразование называется **демодуляцией**

Схема супергетеродинного приемника



Преобразователь

А - антенна

ПФ - полосовой фильтр

СМ - смеситель

МШУ - малошумящий усилитель

УПЧ - усилитель промежуточной частоты

ДМ - демодулятор

Г - гетеродин

ЛС - линейный сигнал

Радиоприемник

- Сигнал, принятый антенной, фильтруется полосовым фильтром (ПФ) и поступает на вход смесителя (СМ) через малошумящий усилитель (МШУ) или непосредственно
- На выходе смесителя частота принятого сигнала преобразуется в промежуточную $f_{\text{пр}}$
- После усиления в УПЧ сигнал демодулируется (ДМ) и поступает в оконечное оборудование

Параметры приемника

- Диапазон частот
- Чувствительность (способность принимать малые сигналы)
- Селективность (выражается ослаблением посторонних сигналов)
- Стабильность
- Потребляемая мощность
- Массогабаритностые характеристики

Определение

- Чувствительность (дБм) – это мощность сигнала на входе приемника, при которой на выходе достигается заданное отношение сигнал/шум или заданная интенсивность ошибок

Замирания

- Замирание (fading) – это изменение мощности полученного сигнала во времени, вызванное изменением параметров устройств связи или среды распространения
- Различают быстрые и медленные замирания

Многостанционный доступ

- Многостанционный доступ является характеристикой территориально – распределенной радиосистемы в отличие от многоканальной линии связи, где множество источников сигналов физически присутствуют на входе многоканальной линии связи и, вследствие этого, отсутствуют проблемы синхронизации источников сигналов отдельных каналов

Три способа управления многочанальным доступом

- Закрепленные каналы (определенные полосы частот в полосе группового сигнала постоянно выделены для определенных станций)
- Программное распределение каналов (частотные полосы предоставляются станциям по расписанию)
- Незакрепленные каналы (любая станция может получить любой частотный канал, не занятый другой станцией)

Сигнал многолучевого канала

- Представляет собой **сумму** большого числа элементарных сигналов **с разными амплитудами α_i и случайными запаздываниями $\Delta\tau_i$**
- Время запаздывания сигнала в линии определяется **максимальным запаздыванием**
- Для описания сигнала используют статистические характеристики

Методы компенсации ошибок

- **Прямое исправление ошибок** – приемник исправляет битовые ошибки, основываясь только на информации входящего сигнала
- **Адаптивное выравнивание** – используются методы взвешенного суммирования (концентрации) рассеянной энергии принимаемого символа
- **Разнесение** (по частоте или времени) – заключается в создании множества логических каналов между приемником и передатчиком (с учетом того, что процессы замирания происходят независимо)

Обнаружение сигналов

- С точки зрения математической статистики задачи обнаружения сигналов совпадают с задачами теории статистических решений (проверка гипотез и оценка параметров)
- Рассматриваются только те решения, которые непосредственно основаны на отношении правдоподобия

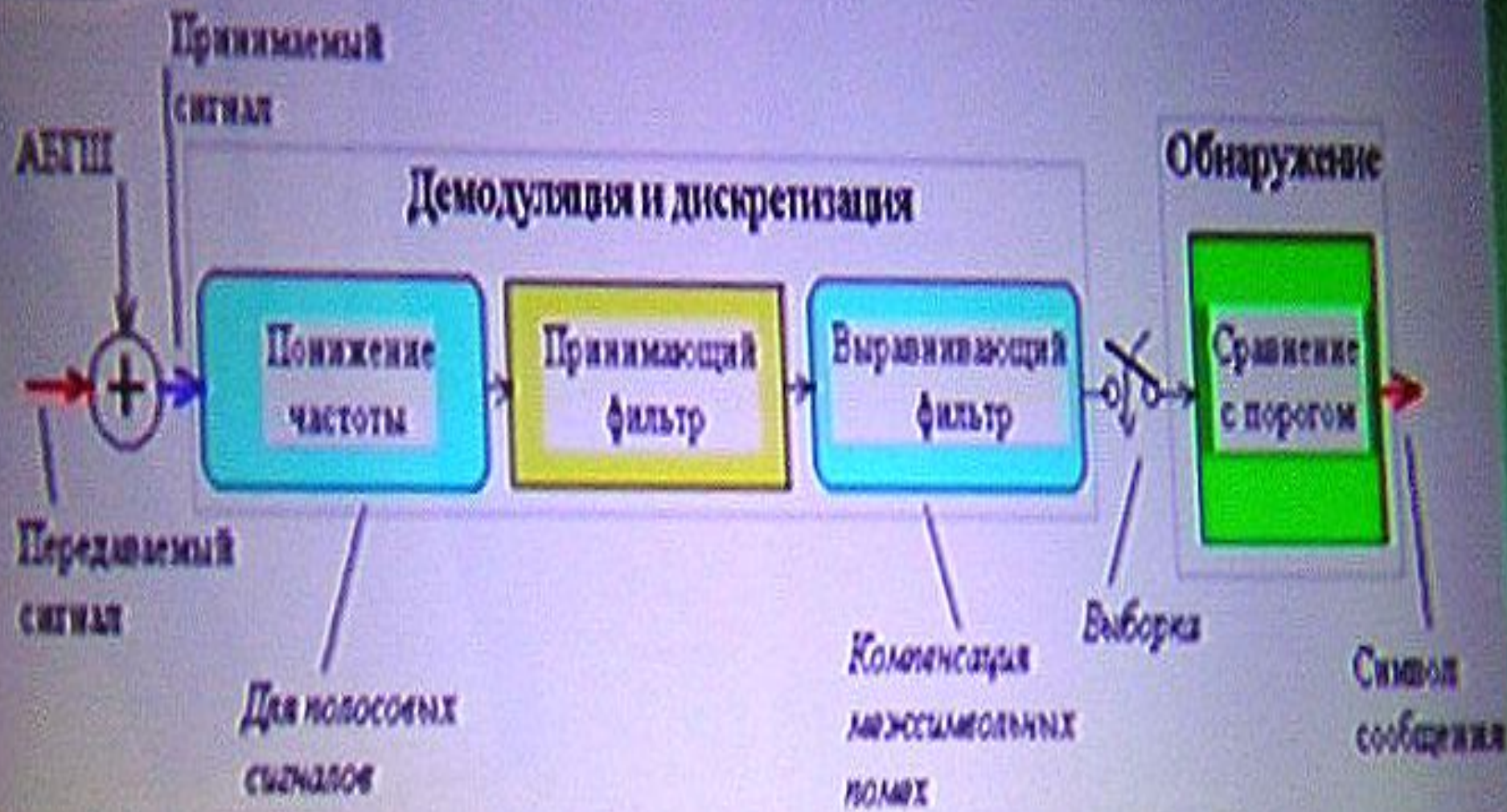
Математическая формулировка

- Задача проверки многих гипотез
- Пусть каждому значению параметра $\alpha = 1, 2, \dots, M$ соответствует точно **известный сигнал** $s(t, \alpha)$. Присоединим к набору значение $\alpha = 0$, что обозначает **гипотезу об отсутствии сигнала**
- Правило выбора решения сводится к вычислению для каждого α величин нормированных вероятностей и **выбору события** с наибольшей вероятностью

Демодуляция и обнаружение цифровых сигналов

- Демодуляцией называем процесс восстановления сигнала в неискаженный импульс
- Обнаружение – это принятие решения относительно цифрового значения этого сигнала

Демодуляция и обнаружение цифровых сигналов



Критерий принятия решения

- Популярный критерий основан на минимизации вероятности ошибки
- Плотность условной вероятности называют также правдоподобием
- Принятие решения заключается в эффективном выборе гипотезы, соответствующей сигналу с максимальным правдоподобием

Некоторые определения

- Согласованный фильтр – это линейное устройство, спроектированное для получения на выходе максимально возможного для данного передаваемого сигнала отношения сигнал/шум
- Импульсная характеристика согласованного фильтра – это зеркальное отображение сигнала с некоторой задержкой
- Работа согласованного фильтра описывается математической операцией свертки

Определение

- Интеграл от произведения принятого сигнала $s^*(t)$ на копию переданного сигнала (прототипа) $S(t)$ на интервале передачи символа представляет собой корреляцию
- Для сравнения принятого сигнала $s^*(t)$ с возможными прототипами $S_1(t) \dots S_M(t)$ используют набор из M корреляторов

Метод многократного повторения принятого сигнала

- Несколько принятых (многолучевые) экземпляров сигнала оказываются поразному искаженными помехами, так как сигнал и помеха – процессы независимые
- Сличая в приемнике несколько экземпляров одного и того же сигнала, можно восстановить истинную форму передаваемого сигнала

Накопление, или суммирование

- Чем больше «экземпляров» принятого сигнала, тем с большей уверенностью будет восстановлено исходное сообщение
- В конечном счете процесс сводится к некоторому «взвешенному» суммированию отдельных образов принимаемого сигнала

Корреляционный метод приема

- Метод основан на измерении функции автокорреляции сигнала с помехой в приемнике
- Идея заключается в использовании того факта, что функция корреляции беспорядочной помехи всегда убывает с возрастанием аргумента (времени), тогда как функция корреляции периодического (многократно повторенного) сигнала периодична

В аналоговых системах

- Для борьбы с межсимвольными помехами (замираниями) используют: метод разнесенного приема (искусственная комбинация нескольких разнесенных копий принимаемого сигнала); метод оптимального приема (с использованием широкополосных сигналов); метод адаптивного приема (с использованием сведений о тракте)

В цифровых системах

- Для борьбы с межсимвольными помехами **дополнительно** используют временное разнесение; помехоустойчивое кодирование

О борьбе

- При передаче информации методами фазовой манипуляции фаза колебания межсимвольной помехи на интервале времени Δt будет случайной по отношению к фазе текущего символа прямого луча
- Вследствие этого с межсимвольной помехой нельзя бороться методами разнесенного приема или увеличением отношения сигнал-шум

Пренебрегаем

- Для стандартных групповых скоростей передачи информации 2 Мбит/с и 8 Мбит/с влиянием межсимвольных помех можно пренебречь
- Для скорости передачи информации 34 Мбит/с и выше необходимо предусматривать меры борьбы с межсимвольными помехами

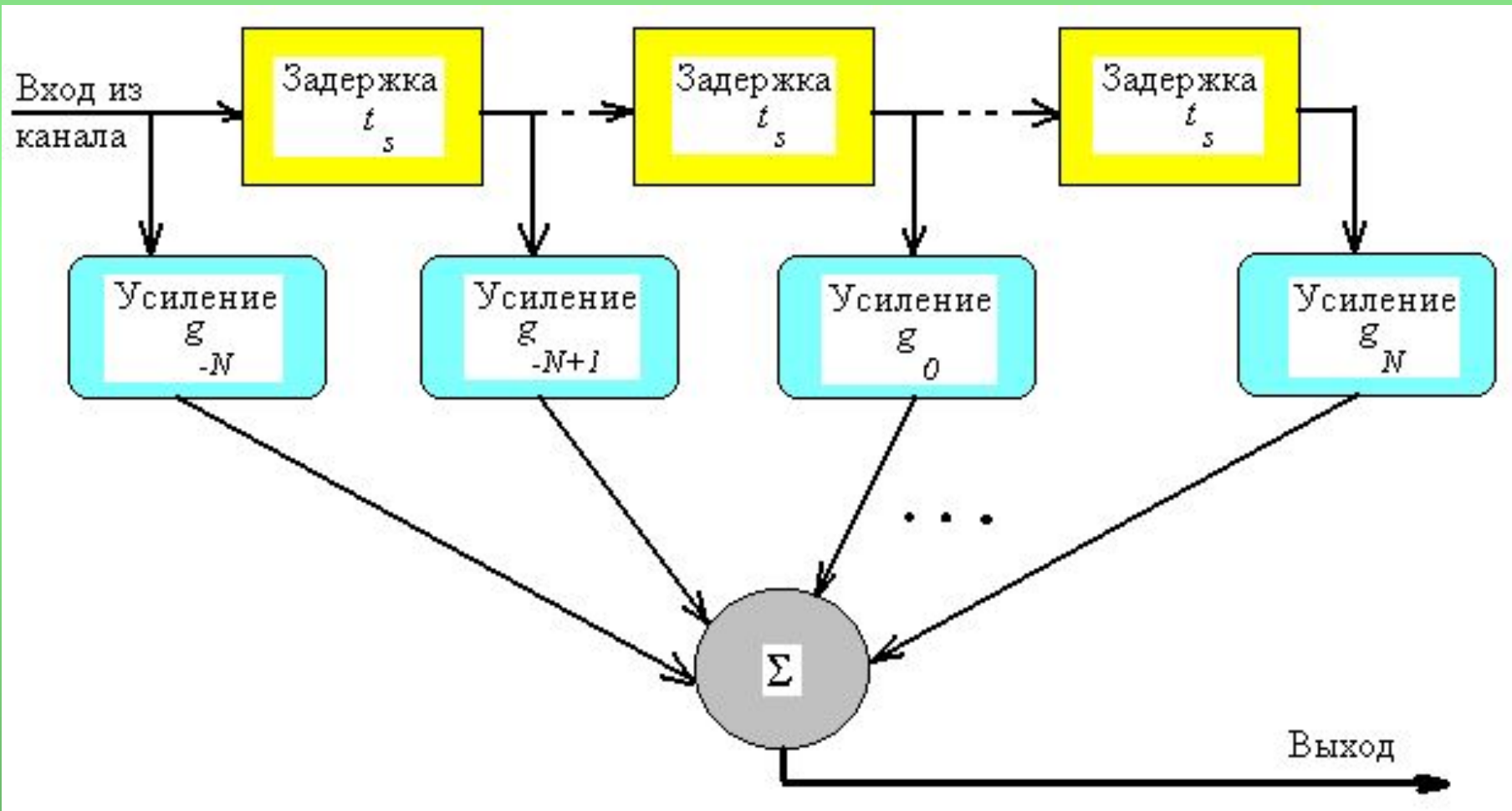
Возможные меры

- В качестве таких мер можно указать использование эквалайзеров – устройств, которые компенсируют в определенной степени межсимвольные помехи за счет знания предыдущей последовательности принятых символов, непрерывного измерения передаточной функции канала связи, и предсказания межсимвольной помехи
- По ряду источников эквалайзеры позволяют обеспечить надежную передачу информации до значений $\Delta\tau/\tau_k = 0,4$

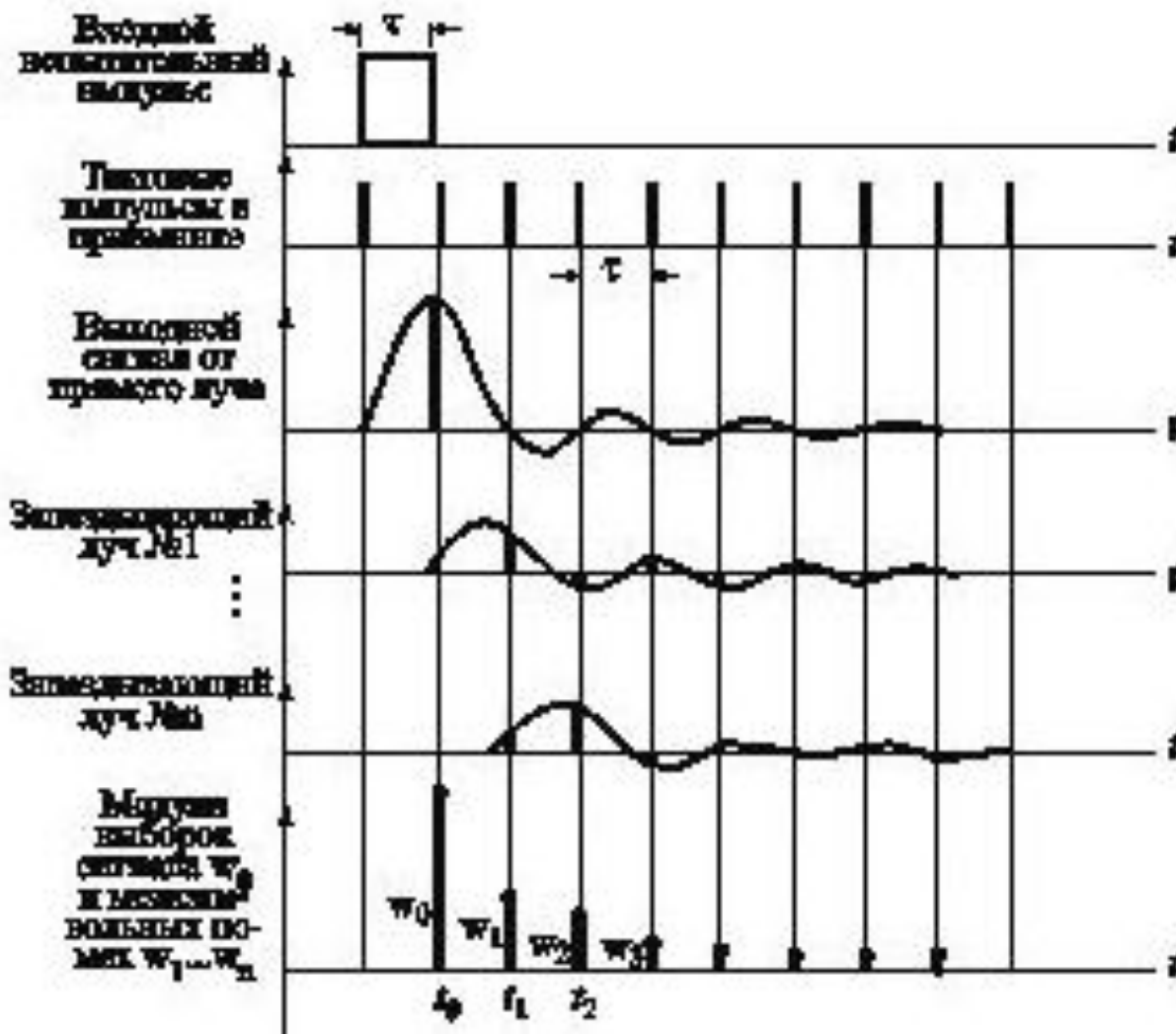
Некоторые термины

- *Equalization* – компенсация, выравнивание, коррекция

Принцип эквалайзера (гармонический фильтр-корректор)



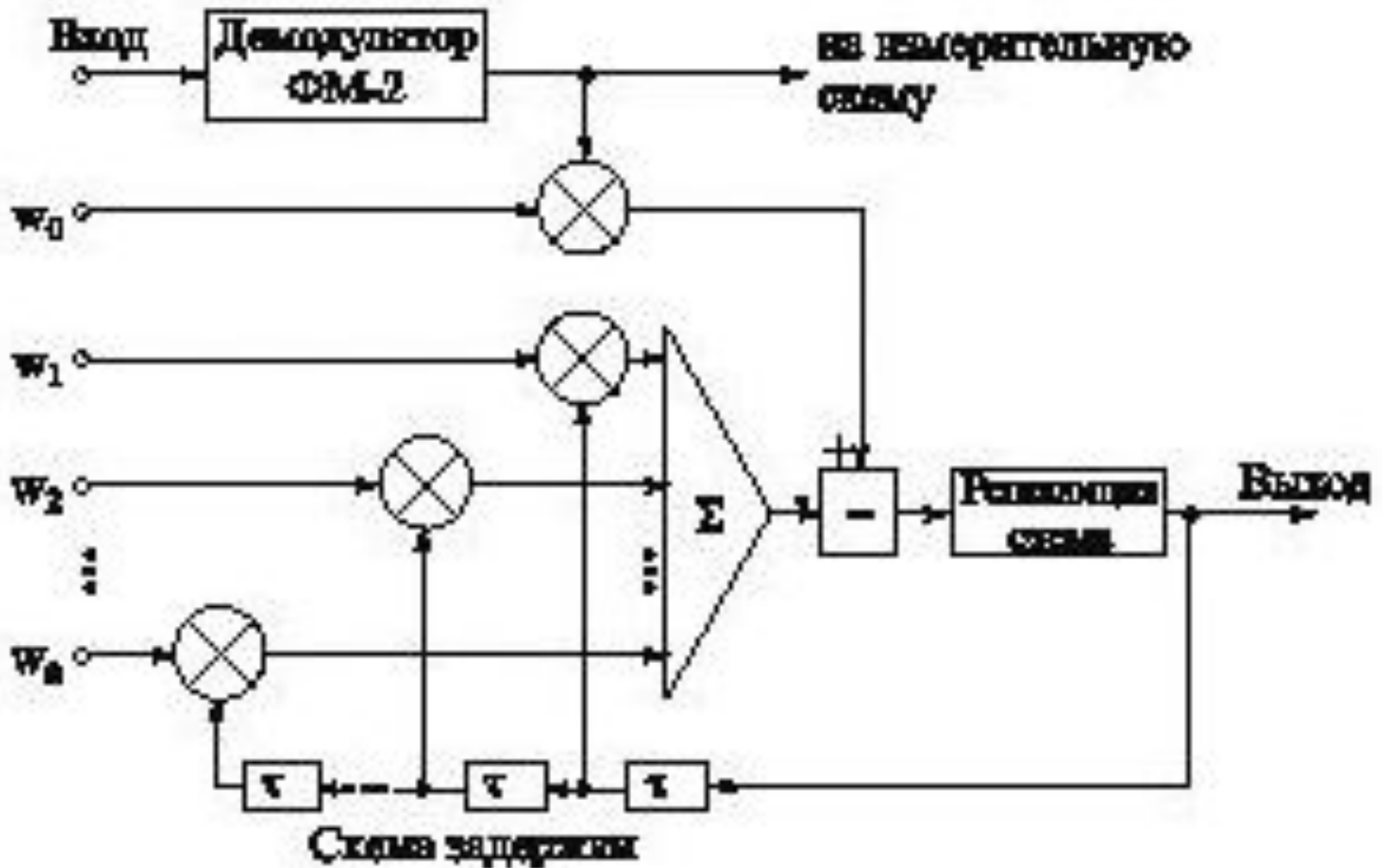
Временные диаграммы



Определить амплитуды помех

- Величины $w_1 \dots w_n$ есть амплитуды межсимвольных помех в тактовые моменты t_1, \dots, t_n при приеме одного символа сообщения
- Будем считать, что в тактовые моменты t_{n+1} и далее межсимвольной помехой можно пренебречь
- Если величины $w_1 \dots w_n$ известны, то межсимвольные помехи при приеме информации можно компенсировать (устранить)

Схема компенсации



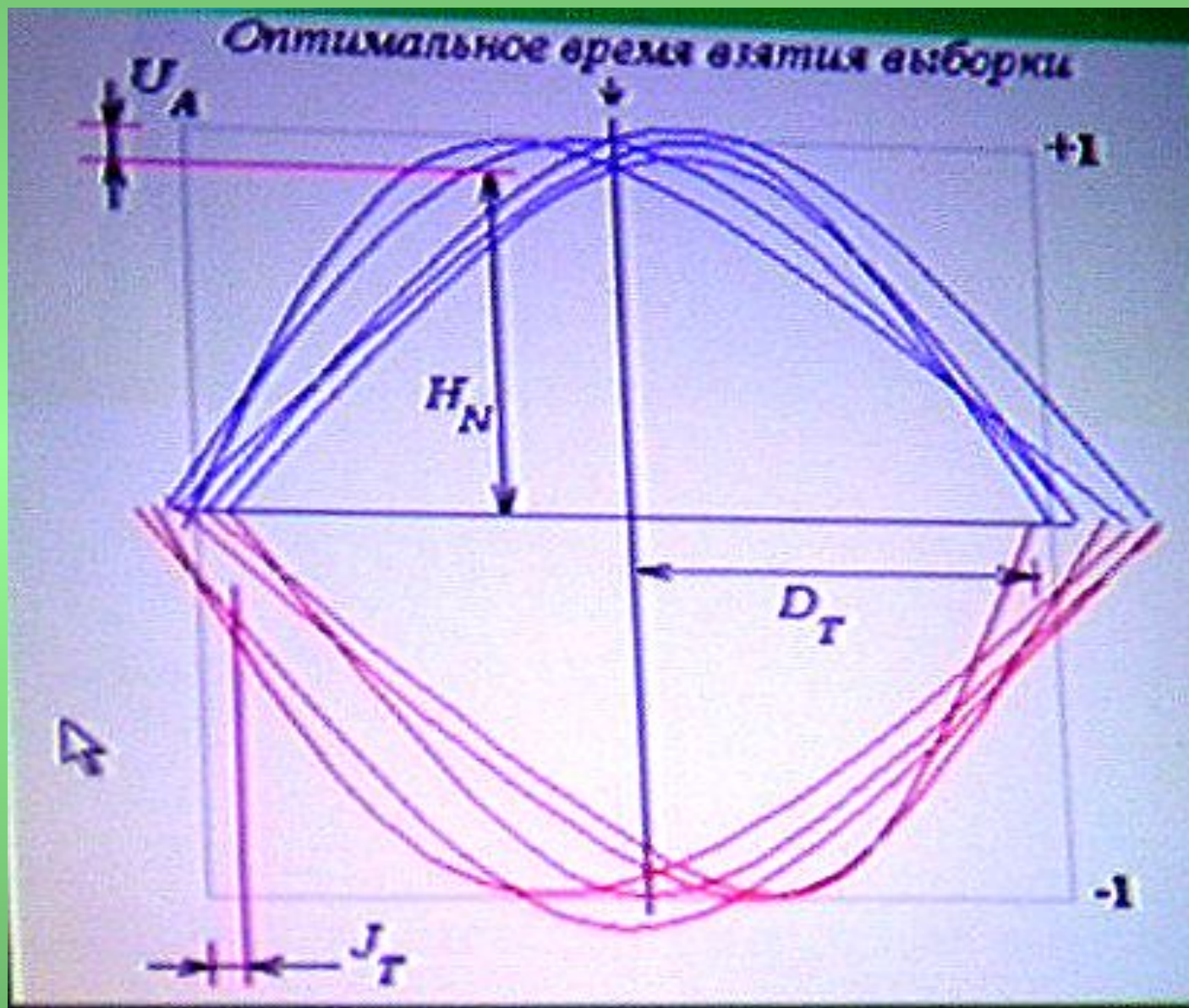
Компенсаторы помех

- При возникновении ошибок при приеме двоичных сигналов также **искажается компенсирующее напряжение** на выходе сумматора
- Практика показывает, что компенсаторы межсимвольных помех **эффективно работают** в многолучевых каналах связи, в которых при отсутствии эквалайзера вероятность ошибки на бит не превышает величины порядка 10^{-2}

Наглядное представление принятого сигнала с помехой

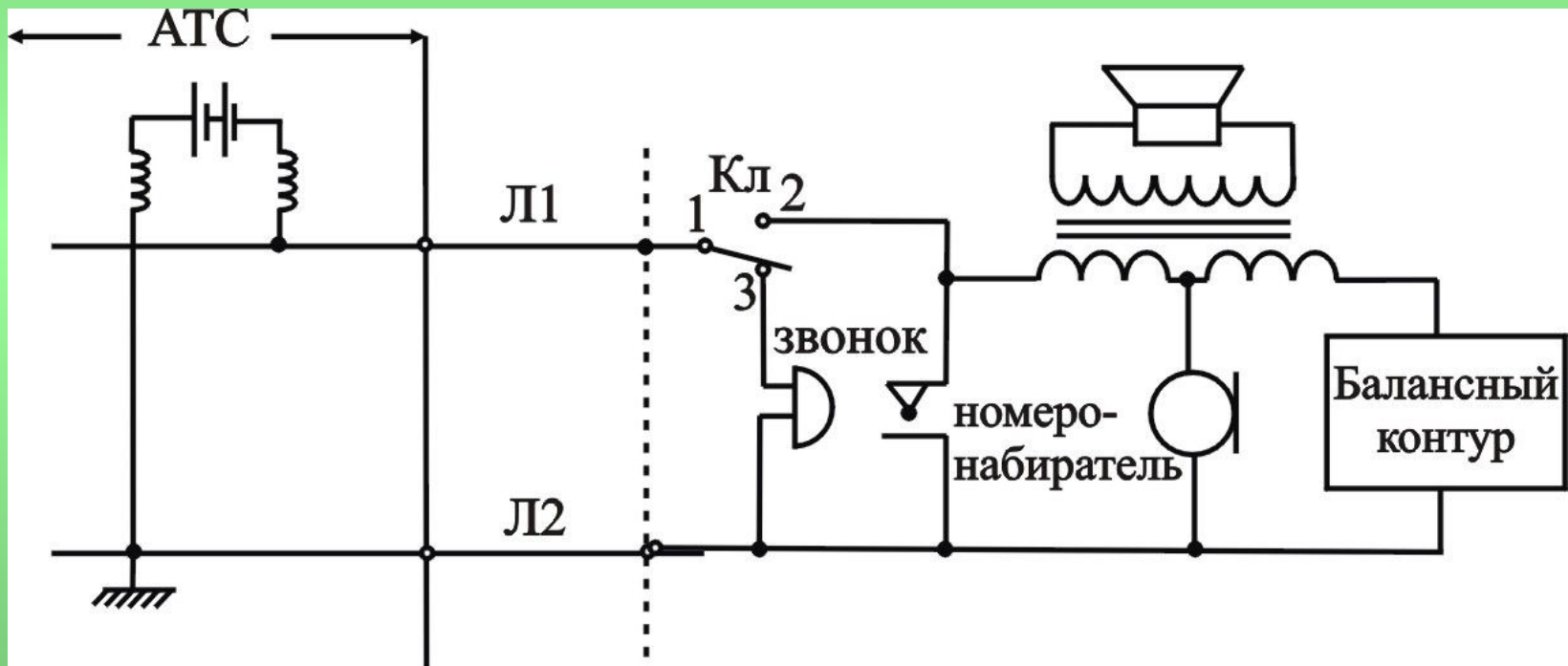
- Глазковая диаграмма – это изображение, полученное в результате измерения отклика системы на заданные узкополосные сигналы
- На вертикальные пластины осциллографа подается отклик приемника на случайную последовательность импульсов, а на горизонтальные – пилообразное напряжение сигнальной частоты (длительность импульса)

Пример глазковой диаграммы



Дополнения ↓

Функциональная схема телефонного аппарата



Принцип действия телефона

