

Теория Информационных Процессов и Систем

Тема №4: Элементы
теории приема и
обработки информации



План

- Функциональная схема приемника сигнала
- Детектирование АМ-сигнала
- Диодный детектор с последовательной схемой включения диода
- Импульсный и пиковый детекторы
- Частотный детектор
- Фазовый детектор
- ...

Функциональная схема приемника сигнала

Функциональная схема приемника сигнала имеет следующий упрощенный вид



Входной перестраиваемый фильтр осуществляет селекцию сигнала на несущей (ω)

Детектор предназначен для преобразования модулированного колебания высокой частоты в напряжение (ток), изменяющийся по закону модуляции

Функциональная схема приемника сигнала

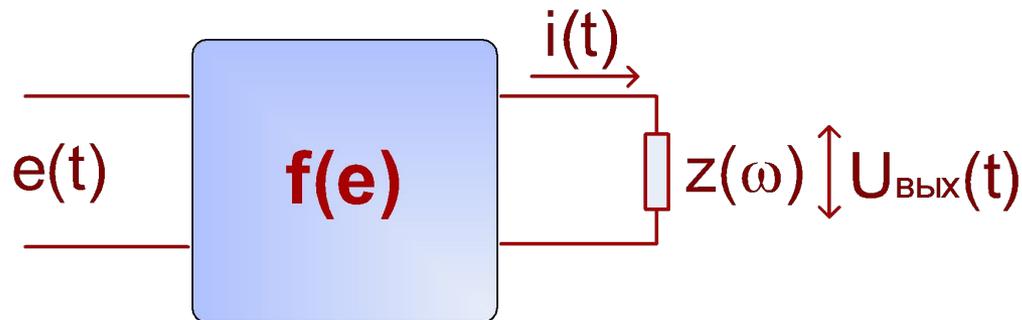
Схему додетекторной и последетекторной обработки служат для решения следующих основных задач:

- Обнаружение сигналов
- Различение сигналов
- Восстановление сигналов

Эти задачи возникают в зависимости от вида и назначения системы передачи информации, а так же в зависимости от известной информации о сигнале и от уровня и вида помех.

Детектирование АМ-сигнала

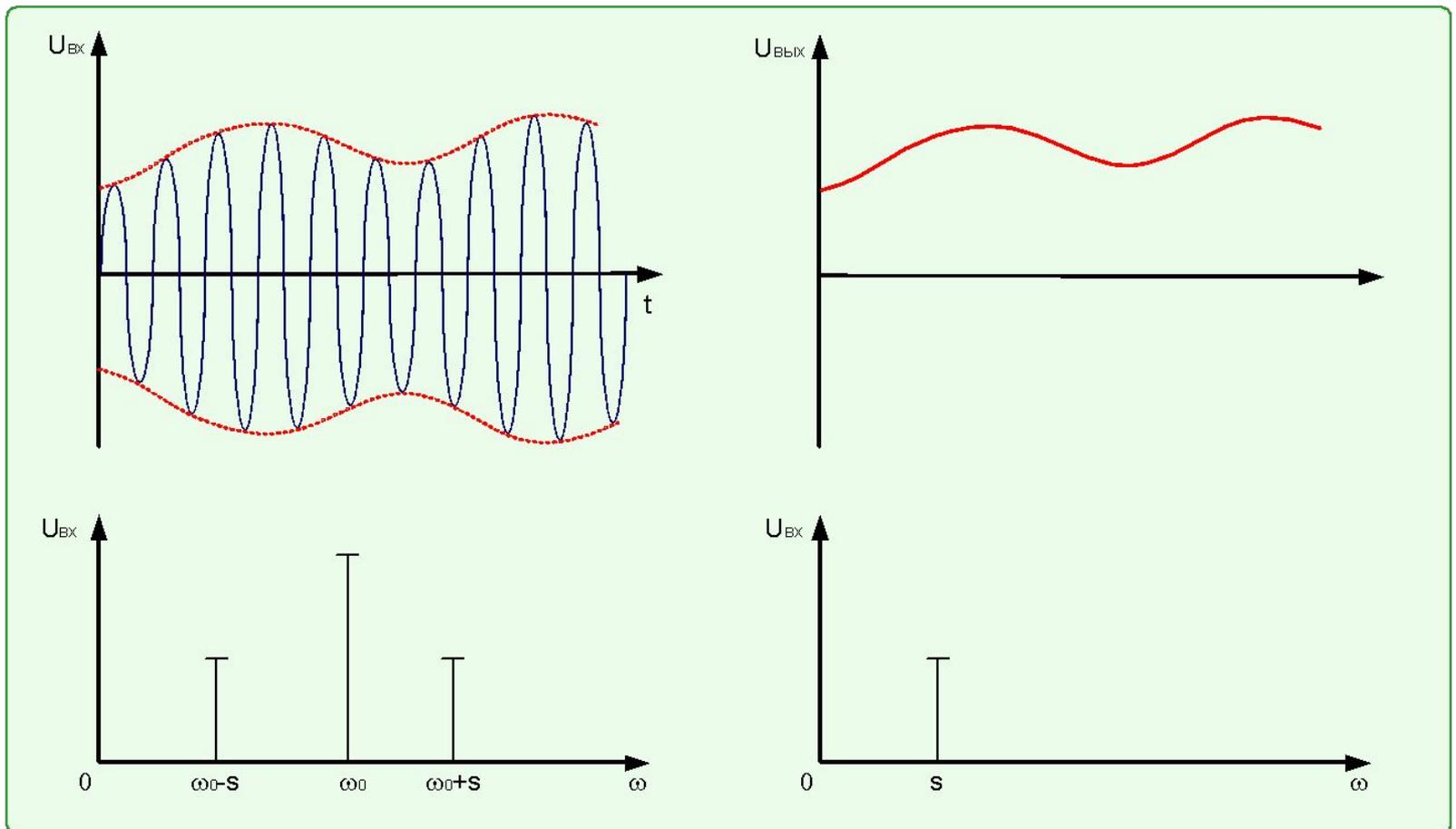
Детекторы на нелинейных элементах строятся по следующей структурной схеме:



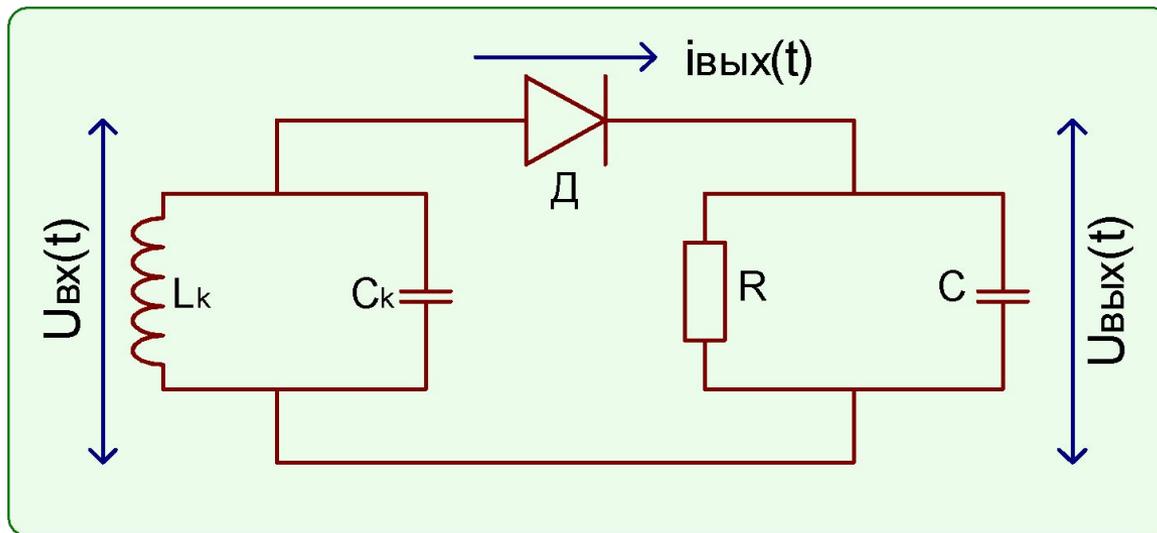
$f(e)$ – нелинейная функция, описывающая характеристику НЭ, зависит от его устройства и режима работы

$z(\omega)$ – сопротивление (комплексное) линейной частотно-избирательной цепи

Детектирование АМ-сигнала



Диодный детектор с последовательной схемой включения диода

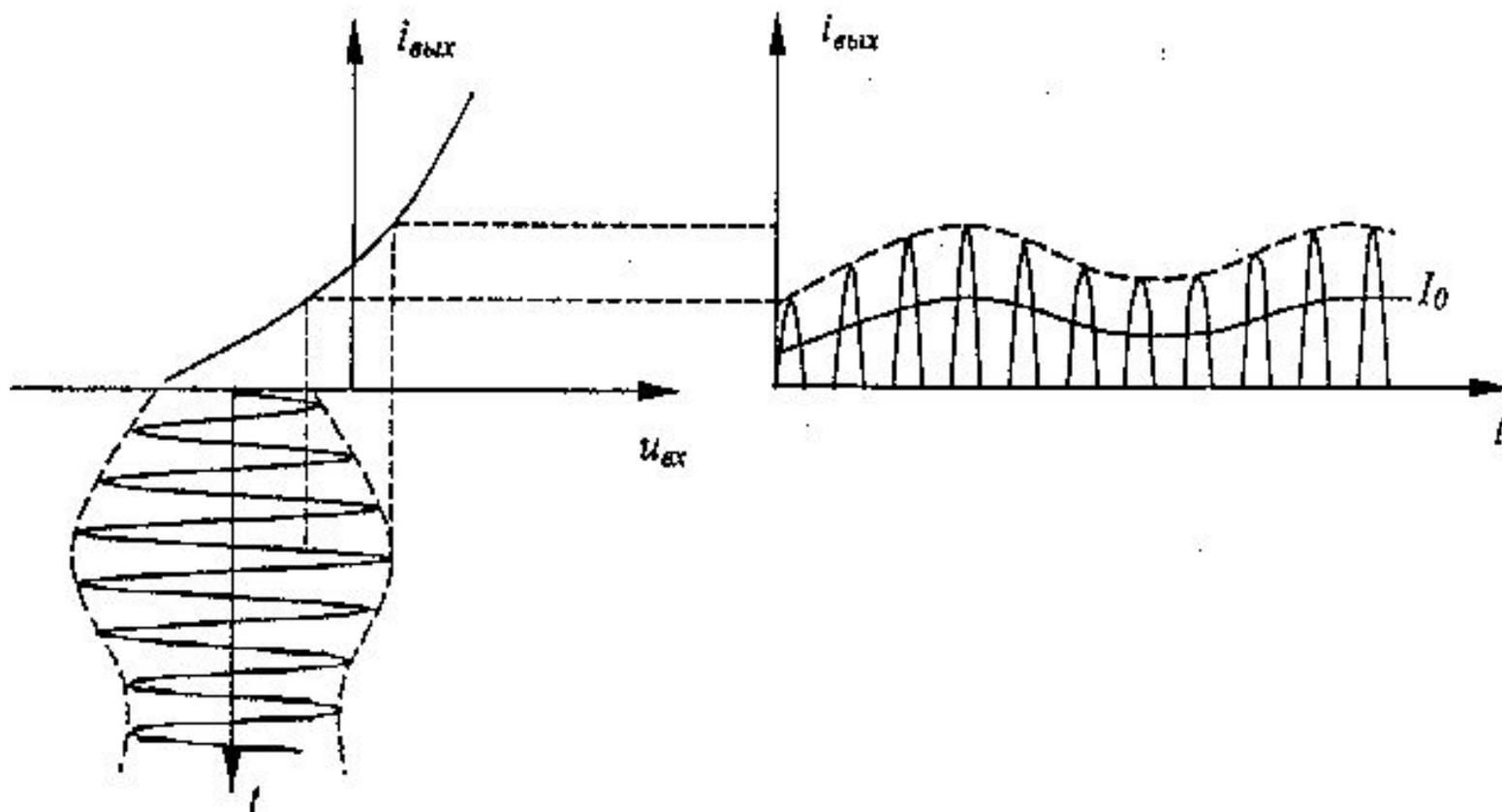


В/а характеристика
НЭ:

$$i_{вых} = f(U_{вх})$$

При воздействии на детектор АМ-напряжения ($U_{вх}$) в его цепи протекает ток в виде высокочастотных импульсов с огибающей модулированного колебания

Диодный детектор с последовательной схемой включения диода



Диодный детектор с последовательной схемой включения диода

Среднее значение тока НЭ за период высокочастотного напряжения пропорционально площади импульса тока, протекающего через НЭ в данный период

Площадь синусоидального импульса пропорциональна максимальному значению

Огибающая импульсов по своей форме соответствует огибающей модулированного колебания

Поэтому: усредненное по периоду высокой частоты значение тока НЭ суммируется по закону модуляции

Итак, необходимо провести усреднение выходного тока детектора!

Диодный детектор с последовательной схемой включения диода

Усреднение (фильтрация) выходного напряжения детектора осуществляется с помощью нагрузки, состоящей из резистора R и емкости C

Постоянная времени этой цепи выбирается из условия:

$$T_{\omega} \ll RC \ll T_{\Omega}$$

При выполнении этого условия:

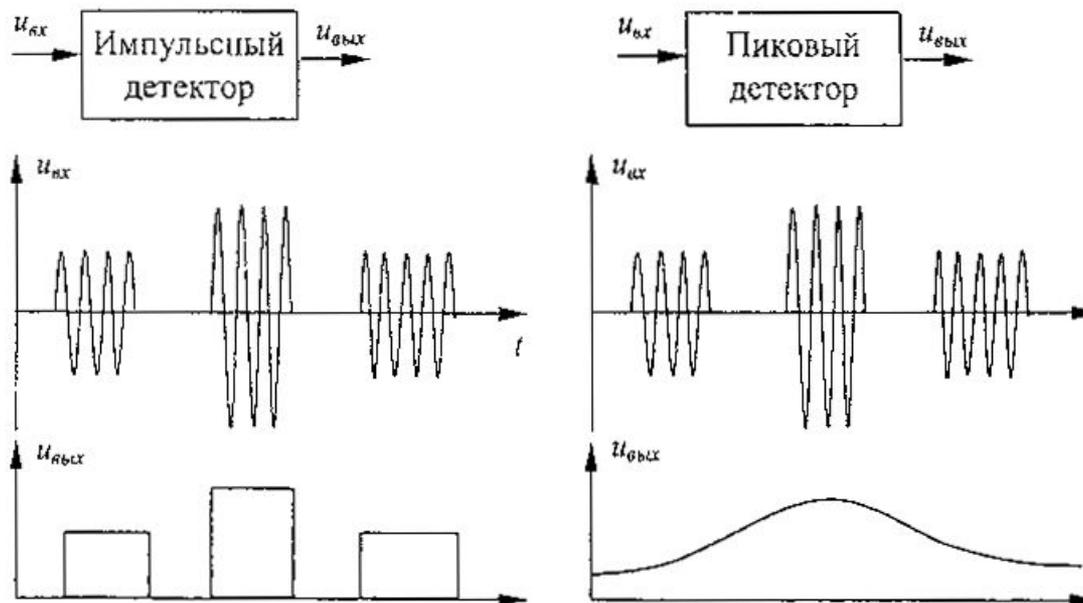
- Напряжение, создаваемое на нагрузке высокочастотными составляющими анодного тока мало
- Напряжение выхода создается практически только низкочастотной составляющей тока

$$T_{\Omega} \gg RC$$

Это неравенство определяет безинерционность детектора

Диодный детектор с последовательной схемой включения диода

Для детектирования импульсных радиосигналов применяются схемы обычных амплитудных детекторов, которые отличаются параметрами элементов (величиной постоянной времени цепи нагрузки)



Импульсный и пиковый детекторы

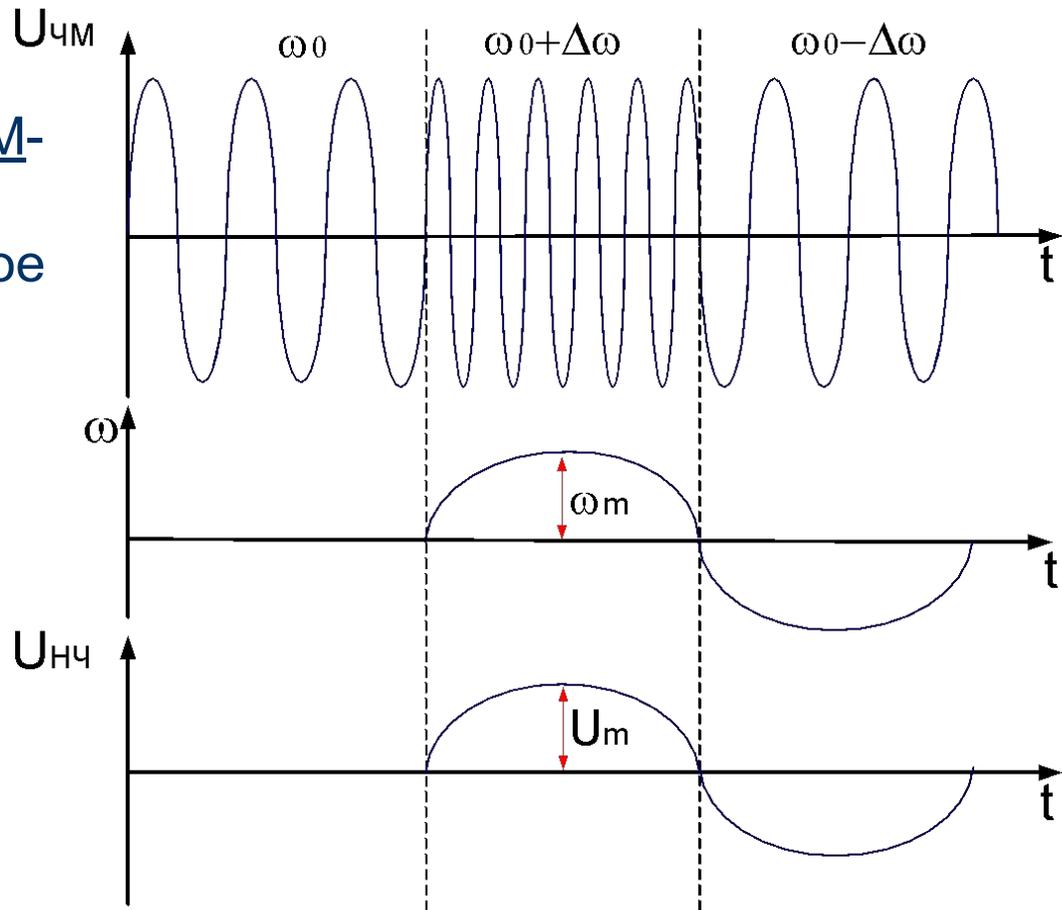
Импульсный детектор – на выходе выделяются огибающие каждого импульса

Пиковый детектор – последовательность импульсов высокой частоты преобразуется в напряжение, форма которого повторяет форму огибающей последовательности

Выходное напряжение в этом случае пропорционально максимальному (пиковому) значению амплитуды импульсов последовательности, поэтому детектор называется пиковым

Частотные и фазовые детекторы

Частотный детектор – устройство, в котором ЧМ-радиосигнал преобразуется в выходное напряжение (или ток), меняющийся по закону модуляции



Частотный детектор

Для частотного детектора используются два основных метода:

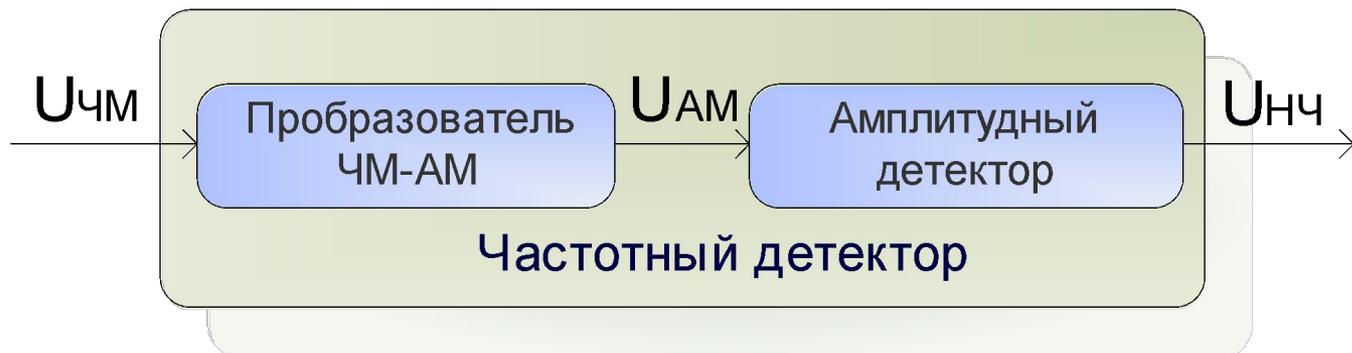
- Детекторы частотно-амплитудного типа
- Частотно-импульсные детекторы

Рассмотрим эти типы более подробно...

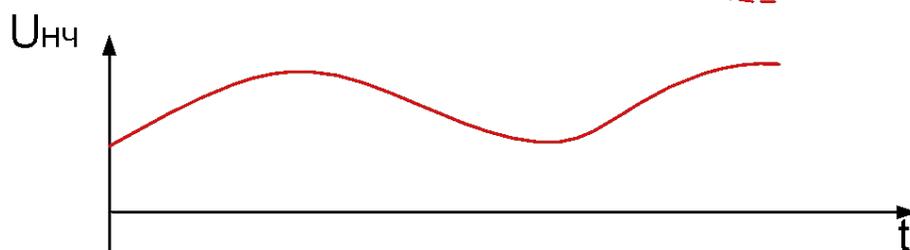
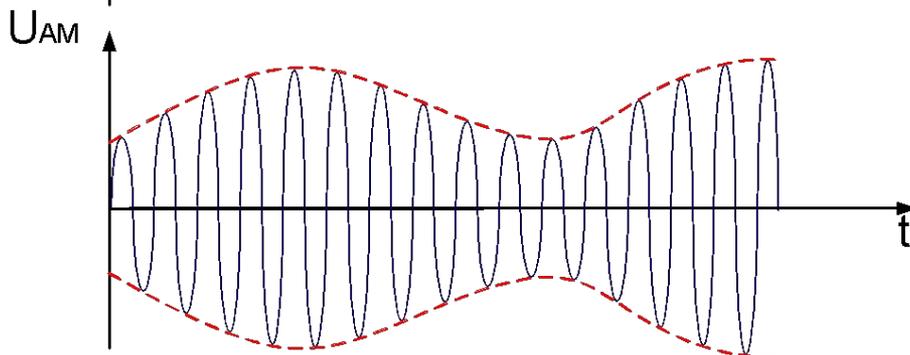
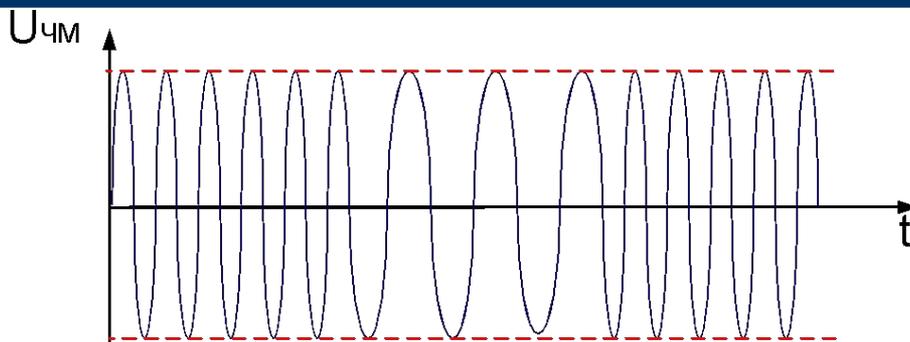
Детекторы частотно-амплитудного типа

Структурная схема содержит два типа элементов:

- Преобразователь сигнала ЧМ в сигнал с амплитудой, изменяющейся соответственно изменению частоты
- Амплитудного детектора

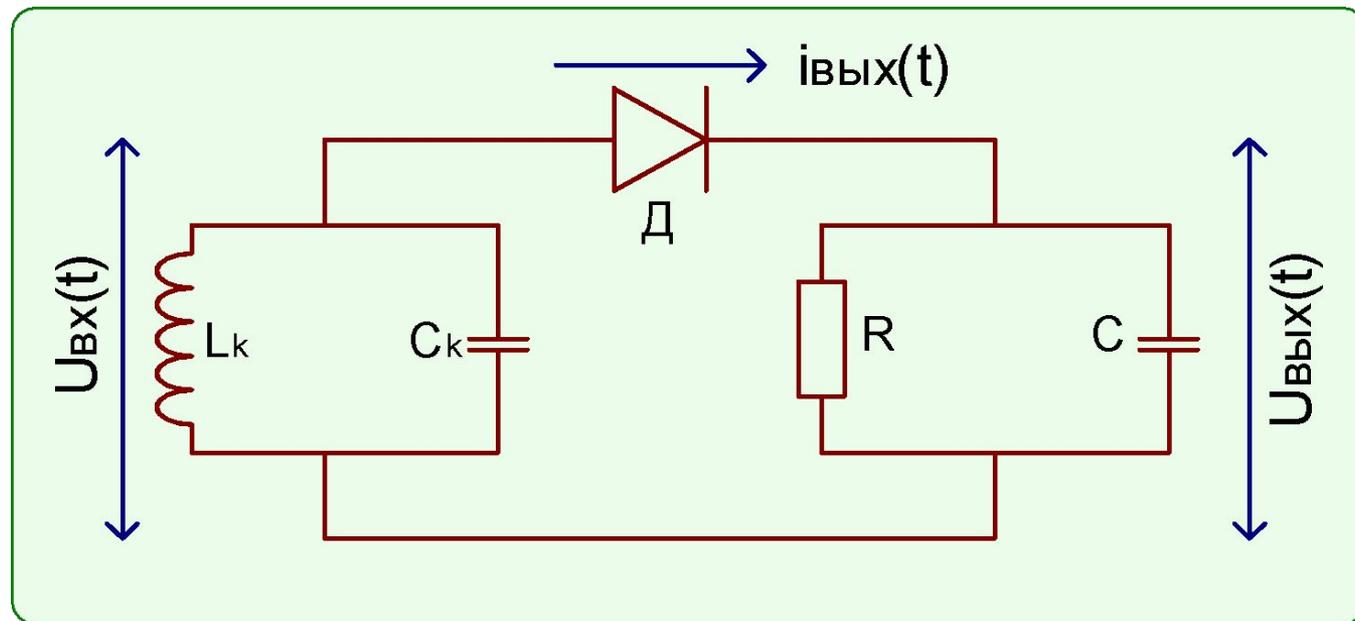


Детекторы частотно-амплитудного типа



Детектор
частотно-амплитудного
типа

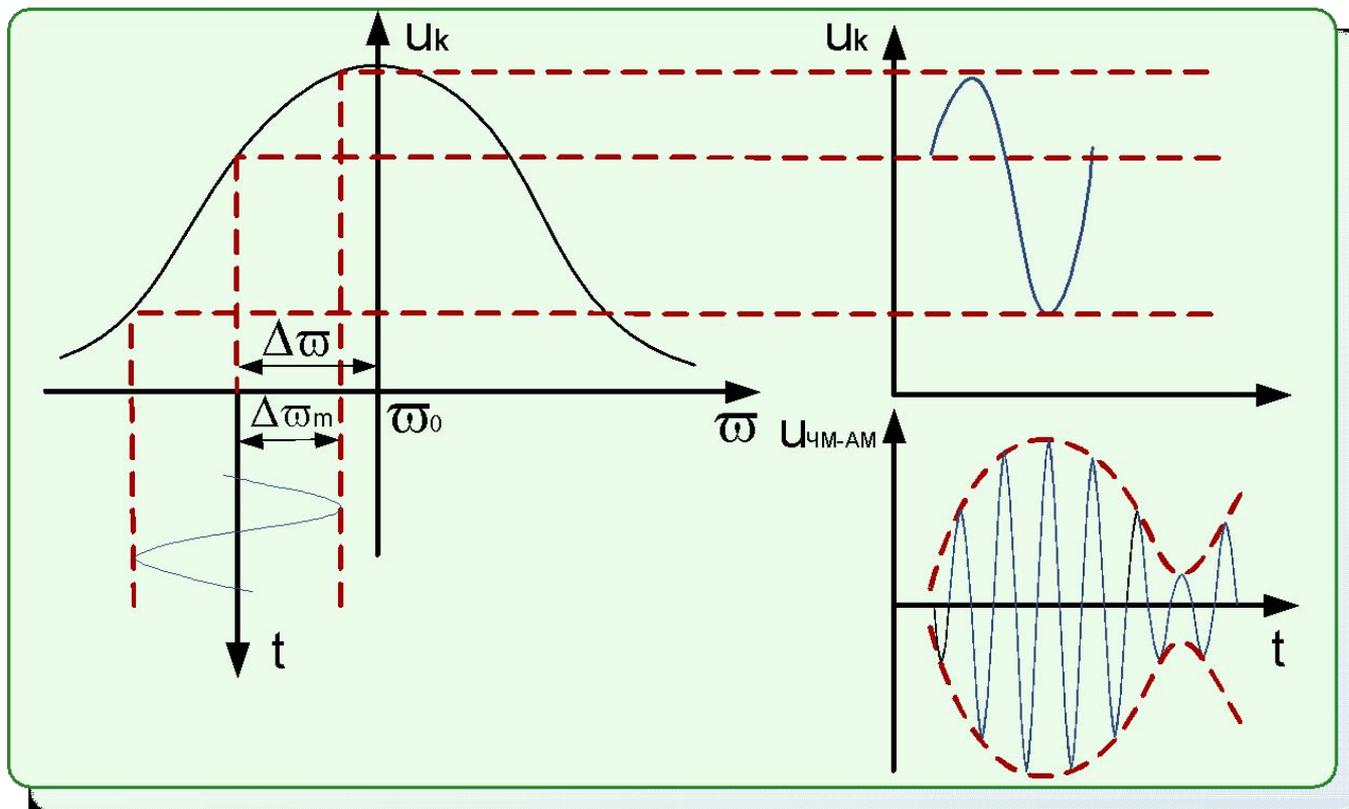
Простейшая схема ЧМ-детектора



Внешне схема совпадает со схемой амплитудного детектора
Роль контура $L_k C_k$ – другая
Контур настроен относительно частоты ω_0 на $\Delta\omega_0$

Простейшая схема ЧМ-детектора

Контур используется а качестве преобразователя радиосигнала с ЧМ в напряжение с переменяющейся амплитудой



Частотно-импульсные детекторы

Метод заключается в преобразовании синусоидального ЧМ-сигнала в импульсный с временной модуляцией (ВИМ)

Преобразование ВИМ-сигнала в низкочастотный осуществляется с помощью преобразователя «код-напряжение»

Фазовый детектор

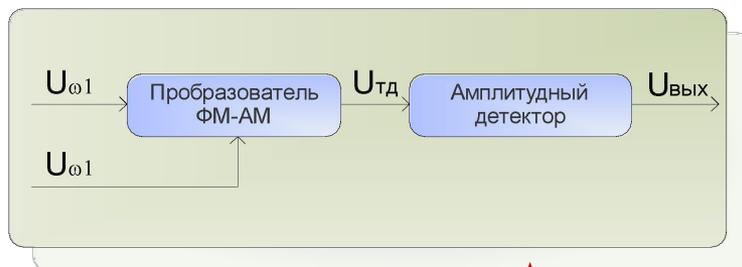
Принцип действия фазового детектора заключается в детектировании результирующего колебания, амплитуда которого зависит от разности фаз слагаемых колебаний

$$U_{\varphi 1} = U_{m1} \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$U_{\varphi 2} = U_{m2} \cos(\omega t + \varphi_2)$$

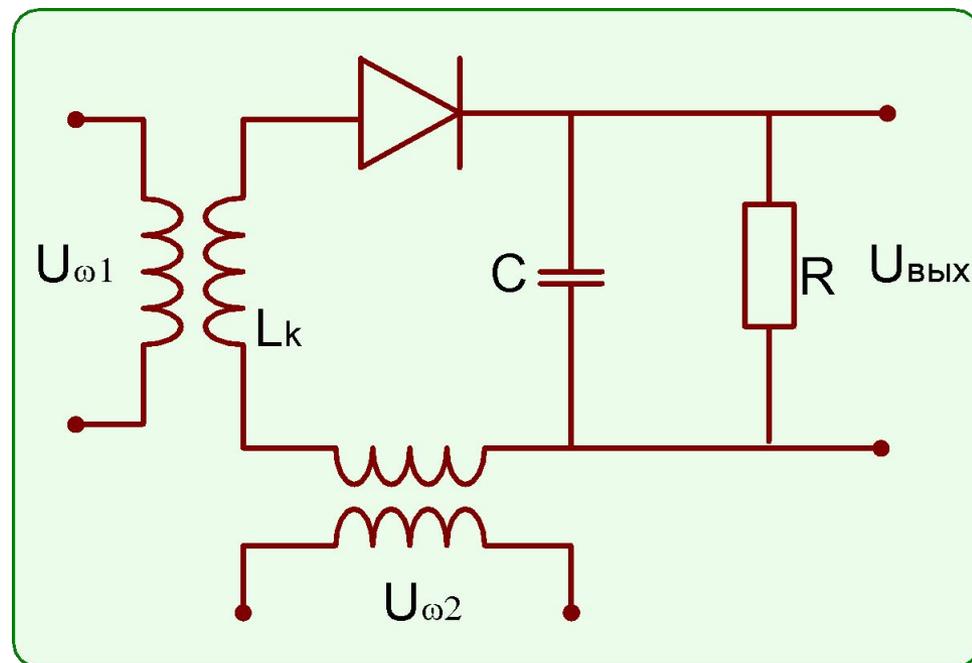
Фазовый детектор

Оба колебания подаются на преобразователь фазовой модуляции в амплитудную. Для этого преобразователь модуляции имеет два входа



Структурная схема

Простейший одноконтурный детектор



Фазовый детектор

Модуль результирующего напряжения:

$$U_{m\partial} = \sqrt{U_{m1}^2 + U_{m2}^2 + 2U_{m1}U_{m2} \cos \varphi}$$

где $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

На выходе амплитудного детектора:

$$U_{вых} = K_{\partial} \cdot U_{m\partial} = K_{\partial} \sqrt{U_{m1}^2 + U_{m2}^2 + 2U_{m1}U_{m2} \cos \varphi}$$

Напряжение зависит от разности фаз.

Эта зависимость представляет собой характеристику простейшего фазового детектора, содержащего один нелинейный элемент

Общие сведения о приеме сигналов

Основные задачи, возникающие при приеме сигналов:

- Обнаружение сигналов
- Различение сигналов
- Восстановление сигналов

Общие сведения о приеме сигналов

При обнаружении решается задача:

- есть сигнал на входе приемника или нет

Такая задача встречается в:

- Радиолокации
- в системах передачи дискретной информации

(наличие сигнала – символ «1»
отличие сигнала – символ «0»)

Общие сведения о приеме сигналов

Задача различения сигналов возникает при передаче двух сигналов S_1 и S_2

Вопрос: Какой сигнал есть на входе S_1 или S_2 ?

Ответ на этот вопрос определяется не свойствами этих сигналов, а их **различием**

Различие должно быть: наибольшим и устойчивым к воздействию помех

Общие сведения о приеме сигналов

Задача восстановления состоит в том, чтобы получить выходной видеосигнал $v(t)$, минимально отличающийся от переданного сообщения $U(t)$

При этом, сообщение $U(t)$ заранее неизвестно. Известно лишь, что принадлежит к некоторому множеству

Основные виды обработки сигналов в приемнике

В системах передачи дискретных сообщений основными видами обработки сигналов в приемнике являются:

- Фильтрация со стробированием
- Интегрирование
- Корреляционная обработка

Основные виды обработки сигналов в приемнике

Стробирование. (прием по методу укороченных контактов)

При стробировании данного элемента сигнала производится отсчет его текущего значения (тока или напряжения) в определенный момент времени, который выбирается в той части элемента, которая в наименьшей степени подвержена искажениям (например, максимальное значение сигнала)

Стробирование производится при помощи специальных сигналов, поступающих от системы синхронизации

Фильтрация может выполняться как до детектора, так и после него



Операцию интегрирования можно рассматривать либо как процесс накопления (суммирования) либо как определение среднего значения сигнала.

При определенных условиях операция интегрирования эквивалентна фильтрации.

Интегрирование (как и фильтрация) может осуществляться как до так и после детектора.

Методы приема

Методы приема можно классифицировать по видам применяемых детекторов, по способам додетекторной и последетекторной обработки

Основные методы приема:

- Когерентный
- Некогерентный
- Корреляционный
- Автокорреляционный

Методы накопления

Эффективный метод борьбы с помехами.

Суть метода:

- Сигнал или его элементы многократно повторяются
- При приеме отдельные сигналы сличаются (обычно суммируются)
- т.к. различные образцы по разному искажаются помехой, то можно восстановить сигнал с большей достоверностью

Методы накопления

Пример:

переданная комбинация	01001
1-я комбинация	00001
2-я комбинация	11010
3-я комбинация	01101
воспроизводимая комбинация	01001

Методы накопления

n образцов сигнала можно получить путем:

- Повторения их во времени
- Передачи их по независимым каналам, разделенным по частоте
- Другие способы

Существуют и другие разновидности метода накопления...

Методы синхронного накопления

На протяжении посылки берется не один отсчет, а несколько. На приеме эти отсчеты суммируются в накопителе.

Пусть отдельные отсчеты принятого сигнала:

$$x_1 = S + w_1 \quad x = \sum_{n=1}^n x_n = \sum_{k=1}^n (s + w_k) = ns + \sum_{k=1}^n w_k = b + \xi$$

$$x_2 = S + w_2$$

$b = ns$ - полезный сигнал на выходе

.....

$$x_n = S + w_n$$

Случайная величина $\xi = \sum_{k=1}^n w_k$ - помеха

Методы синхронного накопления

Отличие сигнал/помеха на выходе

$$q_{\text{вых}} = \left(\frac{P_c}{P_{\Pi}} \right)_{\text{вых}} = \frac{b^2}{D\xi} \quad D - \text{дисперсия случайного процесса на выходе}$$

$$q_{\text{вых}} = \frac{n^2 s^2}{D(\sum w_k)} = \frac{n^2 s^2}{nDw} = \frac{n^2 s^2}{\sigma_{\Pi}^2} \quad \sigma_{\Pi}^2 - \text{дисперсия случайного процесса на входе}$$

$$\frac{s^2}{\sigma_{\Pi}^2} = \left(\frac{P_c}{P_{\Pi}} \right)_{\text{вх}} \quad \text{Мы полагаем, что } W_k \text{ не коррелированы и имеют одинаковое распределение}$$

Таким образом, при описанных условиях накопление сигнала позволяет увеличить отношение сигнал/шум на выходе приемника в n раз

Методы синхронного накопления

Таким образом, при описанных условиях накопление сигнала позволяет увеличить отношение сигнал/шум на выходе приемника в n раз

При суммировании:

- Мощность сигнала растет в n^2 раз (складываются напряжения)
- Мощность помехи растет в n раз (суммируются мощности) (если помехи независимы)

Метод интегрирования (интегральный прием)

Метод накопления можно осуществить, беря не сумму отсчетов x_k , и интеграл непрерывно изменяющихся функций $x(t)=s+w(t)$ за время T , равное длительности сигнала:

$$\int_0^T x(t)dt = sT + \int_0^T w(t)dt = b + \xi$$

Если спектр помехи равномерный в достаточно широкой полосе частот F , т.е. интервал корреляции помехи $\Delta\tau \ll T$, то можно показать, что на выходе интегратора:

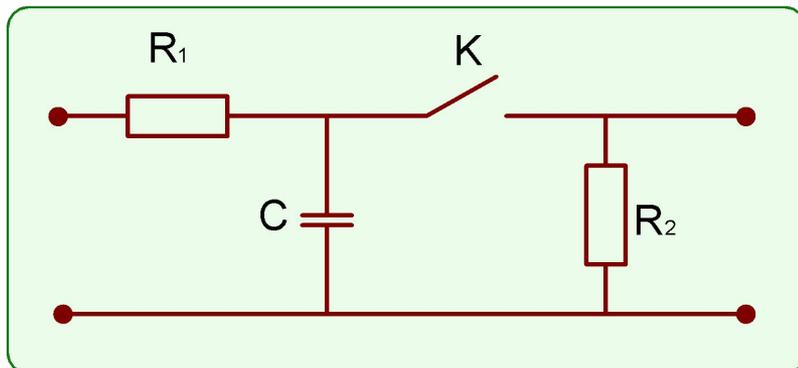
$$q_{\text{вых}} = \frac{b^2}{D\xi} = \frac{T}{\Delta\tau} = TFq_{\text{вх}}$$

Чем больше $T/\Delta\tau$ (чем меньше помеха коррелирована с сигналом) тем больше выигрыш

Метод интегрирования (интегральный прием)

Практическая реализация метода интегрирования осуществляется проще чем суммирование дискретных значений

Так при приеме двоичных сигналов используется цепочка RC, разряжаемая синхронно по окончании каждой элементарной посылки



В конце каждой посылки заряд на емкости приблизительно пропорционален интегралу входного сигнала

Додетекторное интегрирование можно осуществить с помощью резонатора большой добротности

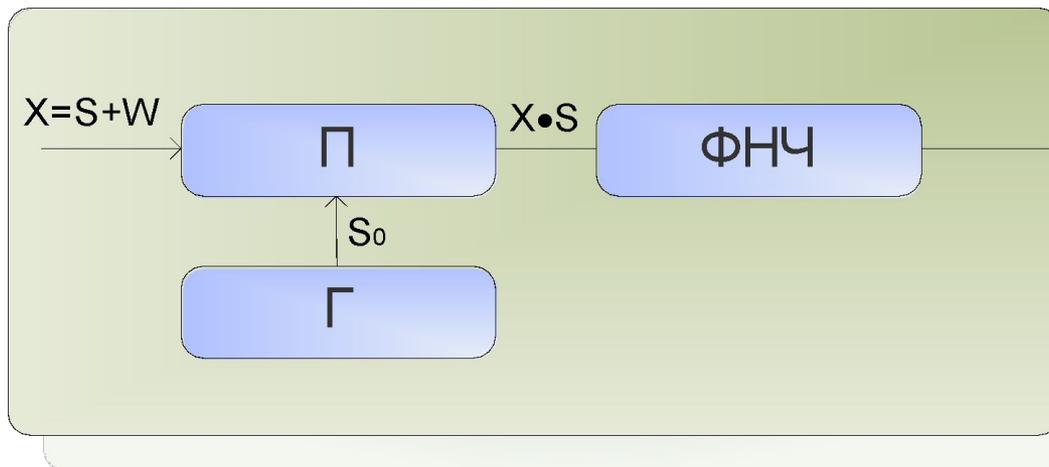
Когерентный и некогерентный приемы

Для оптимального когерентного приема необходимо:

- Передаваемые сигналы должны быть полностью известны и могут быть точно воспроизведены на приемнике
- Канал связи гауссовский, с постоянными параметрами
- Спектральная плотность аддитивной помехи известна
- Возможна идеальная синхронизация принимаемых и опорных сигналов

Когерентный и некогерентный приемы

Схема когерентного приемника



П - перемножитель
Г – генератор опорного колебания $S(t)$

ФНЧ – фильтр низкой частоты

Если $S(t)$ – колебание с известной частотой и фазой, то в приемнике используется синхронный детектор, в котором опорное напряжение синхронно с колебанием несущей частоты

Когерентный и некогерентный приемы

При синхронном детектировании:

На перемножитель (нелинейный элемент) подается сумма двух сигналов:

$$S(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \Theta_1)$$

$$S(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \Theta_2)$$

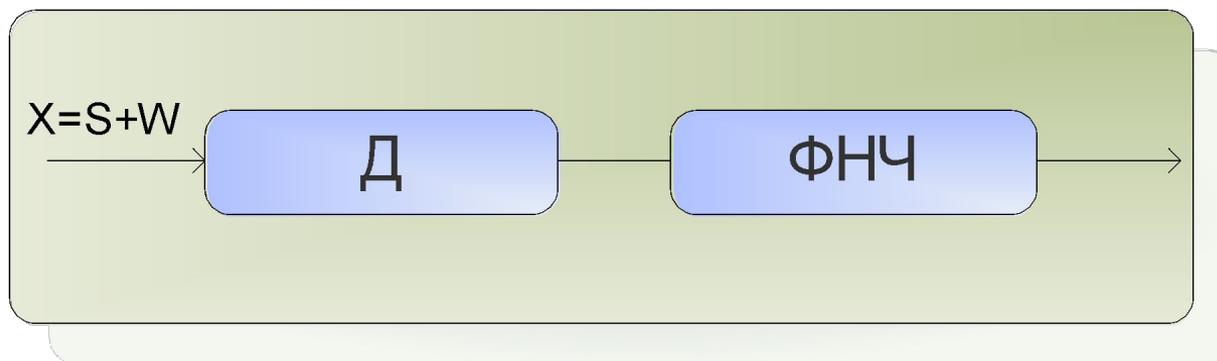
$A(t)$ – огибающая сигнала

Сигнал на выходе:

$$S_{\text{вых}} = a_2 A(t) A_0 \cos(\Theta_1 - \Theta_2)$$

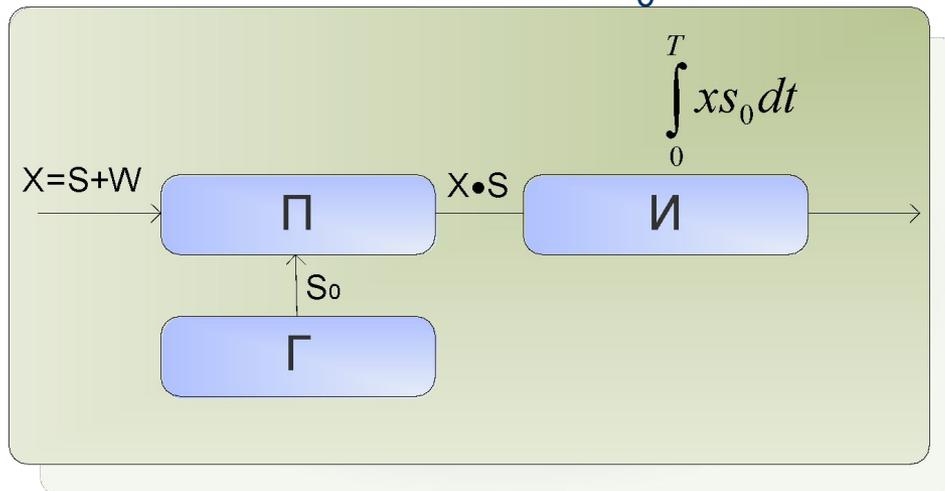
Не когерентный прием

Сведения о начальной фазе не учитываются
(поэтому в схеме можно применять не
синхронный, а амплитудный детектор)



Корреляционный и автокорреляционный методы приема

При корреляционном приеме КП, в некоторый момент времени T измеряется значение функции взаимной корреляции принятого сигнала: $x(t) = S(t) + w(t)$ и опорного колебания $S_0(t)$



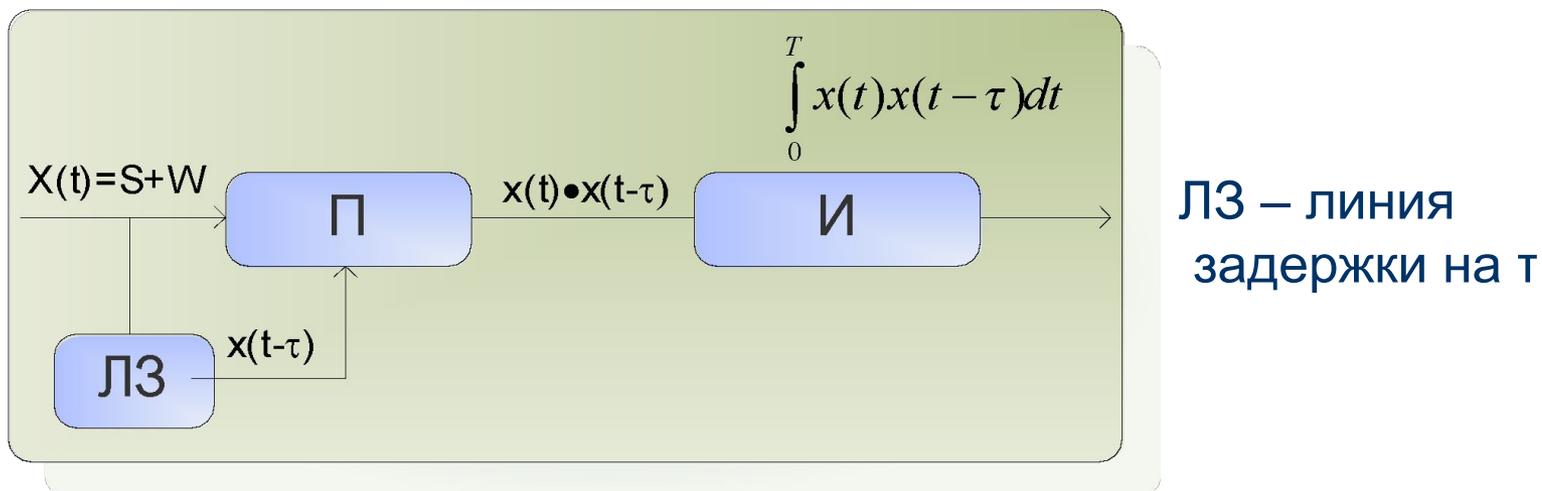
$$(q_{\text{вых}})_{\text{КГ}} \approx 2TFq_{\text{вх}}$$

$$(q_{\text{вых}})_{\text{НКГ}} \approx TFq_{\text{вх}}$$

Корреляционный способ приема можно рассматривать как обобщение метода накопления на сигналы произвольной формы

Схема автокорреляционного приемника (АКП)

Отсутствует специальный генератор опорных колебаний



Более низкая помехоустойчивость АКП по сравнению с КП при любых значения $q_{вх}$ обусловлена наличием помех в тракте опорного напряжения

АКП возможен и в случае отсутствия сведений не только о фазе сигнала, но и о частоте

Прием на согласованный фильтр

Существует такой класс задач, в котором требуется обнаружение сигнала, форма которого известна.

Например – дискретно-двоичные сигналы

Важным параметром, характеризующим качество обнаружения является отношения сигнал/помеха.

Линейный фильтр, максимизирующий это отношение называется **оптимальным согласованным фильтром**.

Частная характеристика оптимального фильтра полностью определяется спектром сигнала, «согласована» с ним.