Лекция 2. Сигналы систем электросвязи

1. Общие понятия о сигналах.
2. Временное представление сигналов.

www.fppt.info

1. Общие понятия о сигналах.

Сообщения в чистом виде по линии связи передавать нельзя, поэтому в кодере канала они преобразуются в электрические сигналы, которые являются переносчиками информации.

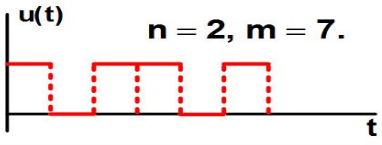
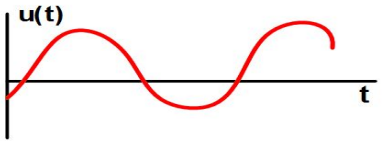
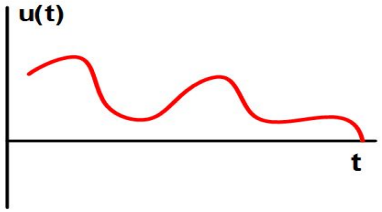
Сигнал – это изменяющийся во времени процесс, параметры которого каким – либо образом отображают передаваемое сообщение.

Различают следующие виды сигналов – световые (визуальные), звуковые (аудиальные), обонятельные (запахи), вкусовые, тактильные (прикосновения), электрические.

Под электрическим сигналом подразумеваются электрические напряжение и ток, изменяющиеся по закону сообщения, предназначенные для передачи данного сообщения, с использованием радиотехнических устройств.

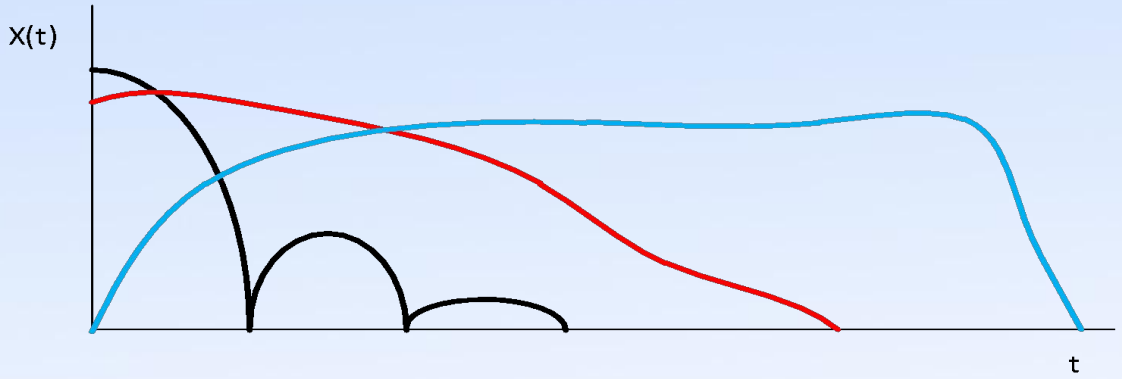
www.fppt.info

В кодере источника сообщение преобразуется в первичный электрический сигнал (ПЭС), который также называют видеосигналом. Термин «видеосигнал» не имеет никакого отношения к передаче видеоизображений; им принято обозначать электрические сигналы без высокочастотного заполнения, которые характеризуются тем, что являются низкочастотными.

ВИД СООБЩЕНИЯ	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	ФОРМА СИГНАЛА	ДАТЧИК СИГНАЛА (КОДЕР)
ТЕКСТ	$a_i(k)$, где $k = 1,2,3 \dots n$. $a_i \in \{a_j\}$, где $j = 1,2,3 \dots m$.		Клавиатура телеграфного аппарата, ЭВМ
ЗВУК	$P = P(t)$.		Микрофон
ФАКС ВИДЕО	$B = B(x,y)$. $B = B(x,y,t)$.		Факсимильные устройства, видеокамера, телевизор

www.fppt.info

Частотный спектр ПЭС, независимо от формы сигнала, начинается практически от нуля

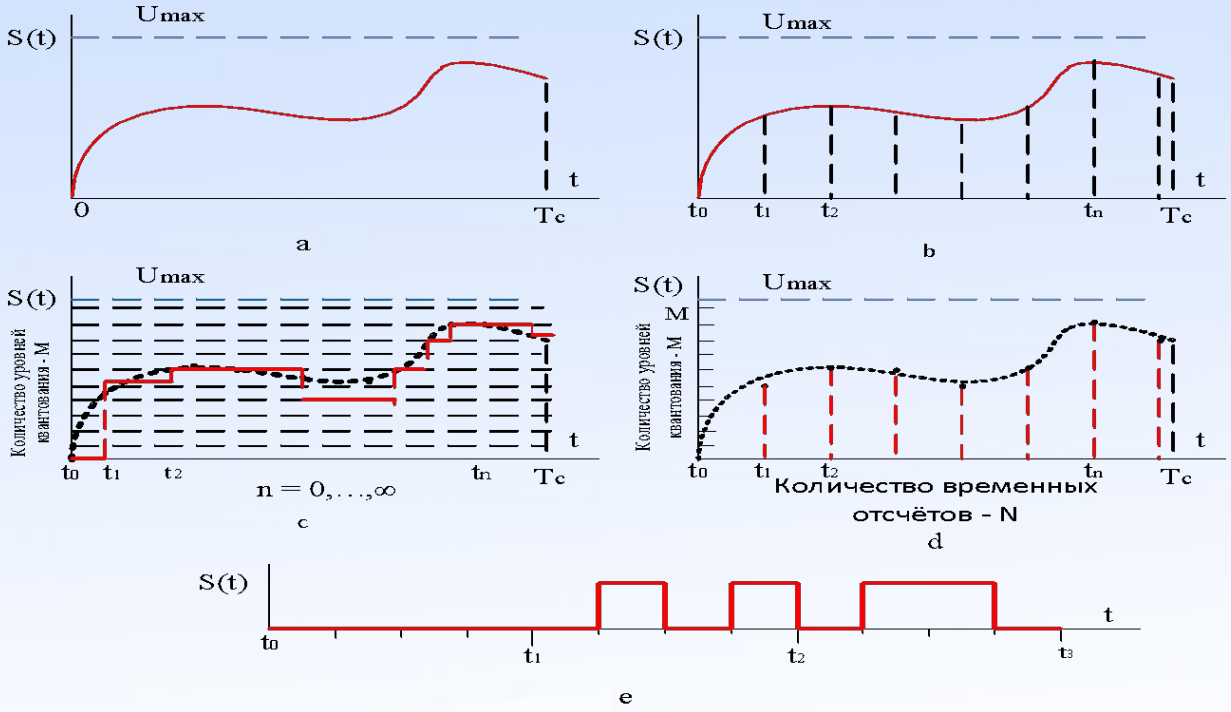


1 – спектр прямоугольного импульса;
2 – спектр речевого сигнала;
3 – спектр телевизионного сигнала

Ширина спектра зависит от типа сигнала и лежит в пределах от десятков Гц до нескольких МГц.

www.fppt.info

Все ПЭС принято делить на пять групп – аналоговые, непрерывно – дискретные, дискретно – непрерывные, дискретные и цифровые



www.fppt.info

Любой сигнал как материальный объект имеет свои характеристики, которые в привычном нам трёхмерном виде определяются как:

- длительность T_c - определяющим интервал времени, в пределах которого сигнал существует;

- динамический диапазон D_c – параметр, отображающий отношение максимального значения сигнала к минимальному. Обычно измеряется в децибелах и, поэтому:

- по напряжению $D_c = 20\lg(U_{мах}/U_{мин})$;
- по мощности $D_c = 10\lg(P_{мах}/P_{мин})$.

- эффективная ширина спектра ΔF_c – полоса частот, в которой сосредоточено 90% - 95% энергии.

Эффективная ширина спектра дает представление о скорости изменения сигнала внутри интервала его существования.

Часто вводят довольно общую и наглядную характеристику – объем сигнала:

$$V_c = T_c D_c \Delta F_c.$$

Чем больше объем сигнала, тем больше информации можно вложить в этот объем, но тем труднее передать такой сигнал по каналу связи.

www.fppt.info

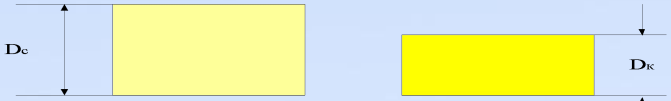
Для канала определяют соответствующие характеристики:
$T_к$ – время занятости канала.
$D_к$ – динамический диапазон канала.
$\Delta F_к$ – полоса пропускания канала.
Произведение этих характеристик $V_к = T_к D_к \Delta F_к$ называется ёмкостью канала.
Для безыскажённой передачи информации важно выдержать условие

$$V_к \geq V_с.$$

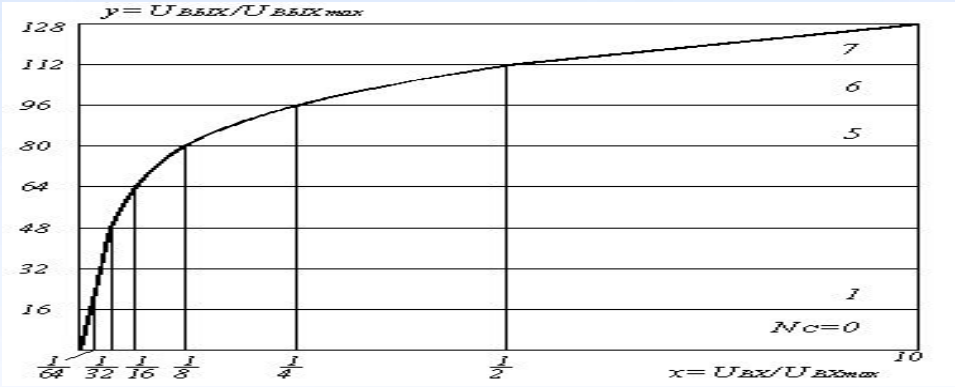
Важно именно это, а вот для отдельных сомножителей в произведениях это условие может и не выполняться, например, $\Delta F_с$ может быть больше чем $\Delta F_к$, $D_с$ – больше чем $D_к$ и $T_с$ больше $T_к$.

www.fppt.info

1. $D_c > D_к$



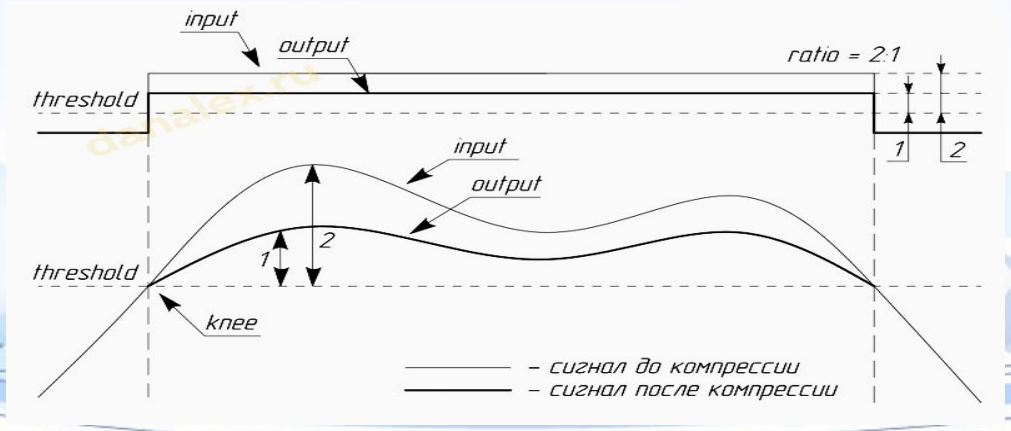
В этом случае сигнал просто компрессируется (сжимается) по уровню (если он аналоговый) или просто ограничивается по уровню, если он цифровой. Суть компрессии сигнала состоит в том, что его подают на вход нелинейного устройства с передаточной функцией, изображённой на рисунке



На малых уровнях сигнала коэффициент передачи устройства практически равен 1 и сигнал передаётся без искажений амплитуды. По мере увеличения уровня сигнала коэффициент передачи уменьшается, например, по логарифмическому закону и амплитуда сигнала на выходе уменьшается по сравнению со входным.

www.fppt.info

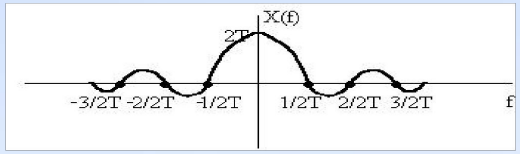
На приёмной стороне осуществляется расширение динамического диапазона экспандером, имеющим характеристику, противоположную компрессору, что обеспечивает линейность системы передачи. Совокупность операций сжатия динамического диапазона компрессором и расширение его экспандером называется компандированием сигнала.



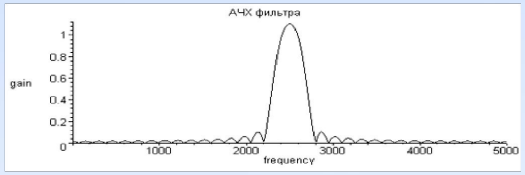
www.fppt.info

$$\Delta F_c > \Delta F_к.$$

В большинстве случаев канал связи можно представить в виде эквивалентного полосового фильтра, АЧХ которого показана на рисунке, б.



а

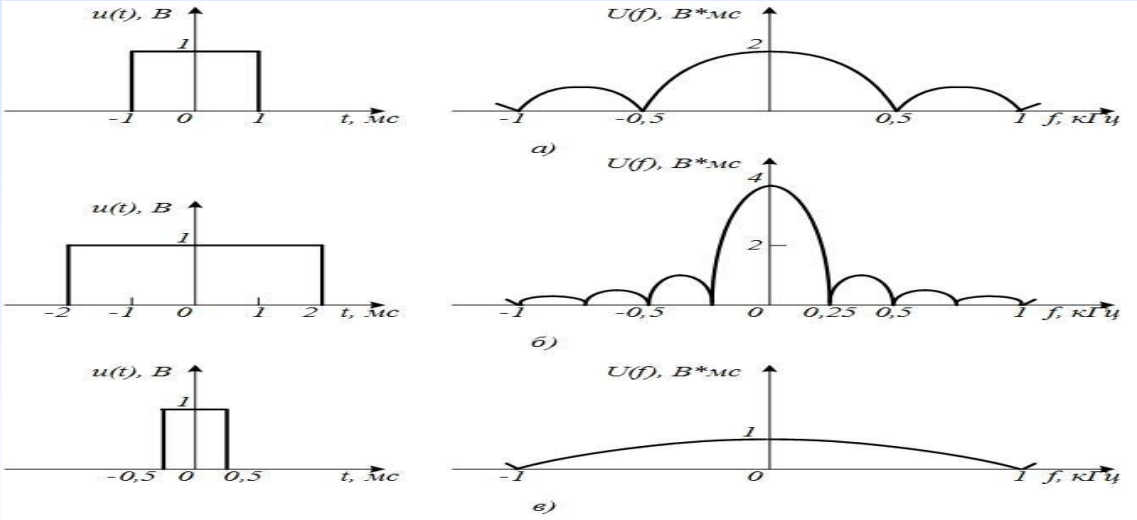


б

Ширина спектра прямоугольного импульса, подлежащего передаче по каналу изображена на рисунке, а. Так как $\Delta F_c > \Delta F_к$, то на выходе канала импульс по форме будет отличаться от прямоугольного и, тем больше, чем больше неравенство $\Delta F_c > \Delta F_к$. Искажения информации также будут увеличиваться.

www.fppt.info

Уменьшить ширину спектра сигнала можно увеличив его длительность. Однако это возможно только в том случае, когда $T_к > T_с$. При этом с увеличением длительности импульса уменьшается скорость передачи информации. Но, одновременно с увеличением длительности импульса упрощается процедура его восстановления и, следовательно, увеличивается помехоустойчивость передачи.



Соотношение между длительностью импульса и шириной его спектра

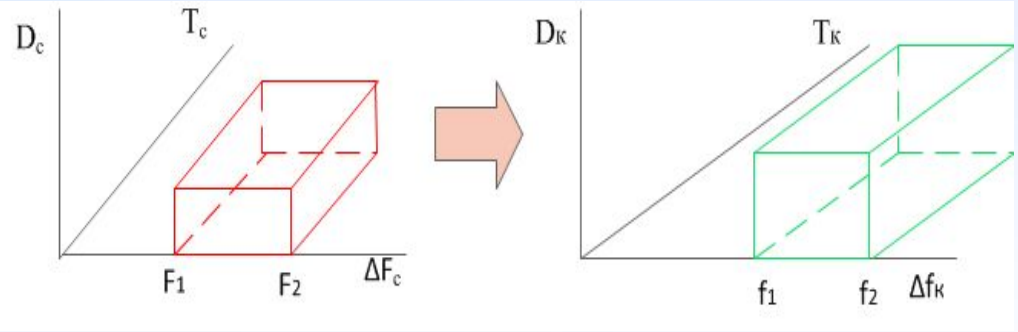
www.fppt.info

$$T_к < T_с.$$

В этом случае, если $\Delta F_с$ « $\Delta F_к$, можно уменьшить длительность сигнала $T_с$, увеличивая таким образом скорость передачи информации.

Преобразования сигнала (согласование сигнала с каналом) осуществляются в кодере канала.

Сигнал на выходе модулятора можно рассматривать как коробку, в которой определённым образом упакована информация. Канал при этом рассматривается как труба, по которой передаётся сигнальная коробка



www.fppt.info

Упаковка информации в сигнал (в коробку) осуществляется либо с помощью оптимальных, либо с помощью корректирующих кодов.

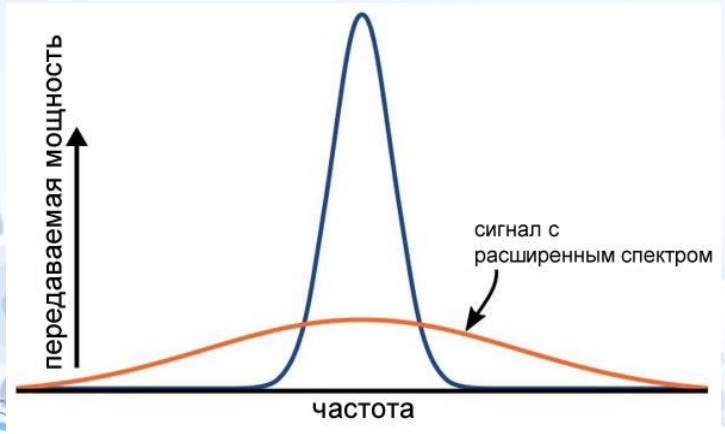
В первом случае повышается скорость передачи информации, так как весь объём сигнальной коробки заполняется только информационными символами.

Во втором случае за счёт применения обнаруживающих или исправляющих кодов увеличивается помехоустойчивость, но уменьшается скорость передачи информации, так как часть сигнальной коробки отводится для корректирующих символов, которые информацию не несут.

www.fppt.info

Важным параметром сигнала является его база $B_{c,}$ равная произведению эффективной ширины спектра на длительность сигнала, т.е. $B_c = \Delta F_c T_c$. Для простых сигналов (прямоугольные, треугольные и т.д.) $B_c \approx 1$.

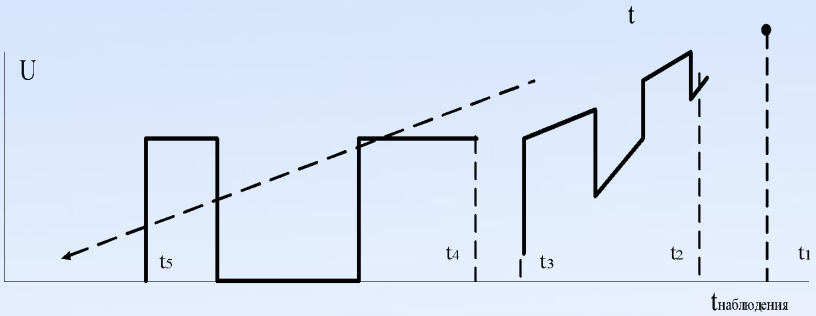
В настоящее время для повышения эффективности использования выделенного радиочастотного канала (размещения большого количества одновременно работающих радиостанций без их взаимного влияния), уменьшения влияния помех на передаваемый сигнал, увеличения скорости передачи информации и её скрытности, используют сложные широкополосные шумоподобные сигналы (ШПС), у которых база значительно больше единицы, т.е. B_c » 1. В системах связи с ШПС ширина спектра излучаемого сигнала F всегда много больше ширины спектра информационного сообщения.



www.fppt.info

2. Временное представление сигналов.

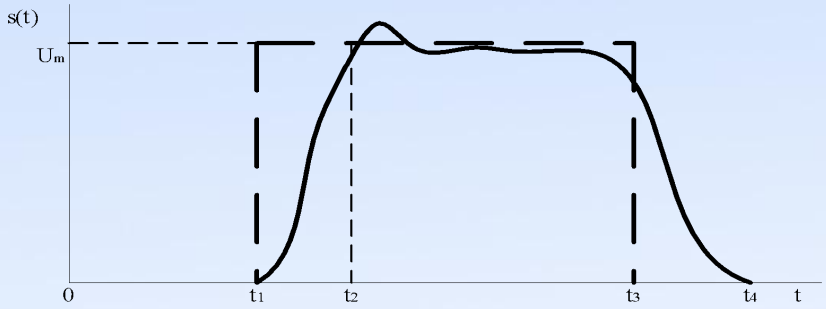
Временное представление основано на рассмотрении сигнала как функции времени. В зависимости от положения сигнала относительно наблюдателя, его функция времени будет, вообще говоря, различной. Сказанное достаточно просто поясняется с помощью диаграммы



Положим, что «наблюдатель» находится в точке, которая характеризуется интервалом наблюдения $t_4 – t_5$. Очевидно, что в момент времени t_1 наблюдается только некоторая точка, отображающая факт наличия сигнала, а о его структуре сказать ничего нельзя. По мере приближения к «наблюдателю» сигнал начинает растягиваться во времени и мы видим какую-то его структуру (интервал времени $t_2 – t_3$). На этом интервале структура сигнала соответствует его истинной структуре, а вот частота следования импульсов не будет соответствовать фактической. Таковой она станет только в интервале $t_4 – t_5$, когда расположение сигнала будет соответствовать положению «наблюдателя». В этом интервале мы сможем измерить истинные параметры сигнала – его амплитуду, частоту и фазу.

www.fppt.info

Подавляющее большинство сигналов, использующихся в современных системах связи имеют вид прямоугольных импульсов. Прямоугольный импульс прямоуголен только в идеальном случае. На самом деле он имеет вид, изображённый на рисунке



На рисунке импульс имеет следующие основные составные части:
- участок t_1-t_2 – фронт, т.е. отклонение напряжения от исходного уровня;
- участок t_2-t_3 – вершина импульса;
- участок t_3-t_4 - срез (задний фронт), т.е. возврат напряжения к исходному уровню.

www.fppt.info

Параметры импульса:

1. Амплитуда импульса U_m - наибольшее отклонение импульса от исходного уровня.

2. Длительность импульса $\tau_и$ ($t_и$). Измеряется на различных уровнях U_m. Длительность бывает:

- полная, на уровне $0,1U_m$ ($\tau_{ио}$);
- активная, при которой обычно срабатывает импульсное устройство - на уровне $0,5U_m$ ($\tau_{иа}$).

3. Длительность фронта ($t_ф$) - время нарастания напряжения от $0,1U_m$ до $0,9U_m$ (может быть полной и активной).

4. Длительность среза (t_c) - время возвращения напряжения к исходному уровню от $0,9U_m$ до $0,1U_m$.

5. Спад вершины импульса (ΔU_m). Описывается коэффициентом спада $К_c=\Delta U_m/U_m$. Величина коэффициента спада колеблется в диапазоне от 0,01 до 0,1.

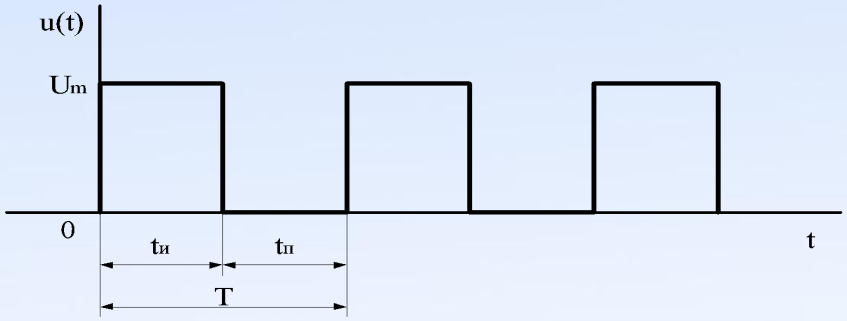
В качестве дополнительного можно отметить такой параметр как крутизна - скорость нарастания (спада) импульса.

Крутизна фронта определяется как $S_ф=U_{m.}/t_ф$.

Крутизна среза определяется как $S_c=U_{m.}/t_c$.

www.fppt.info

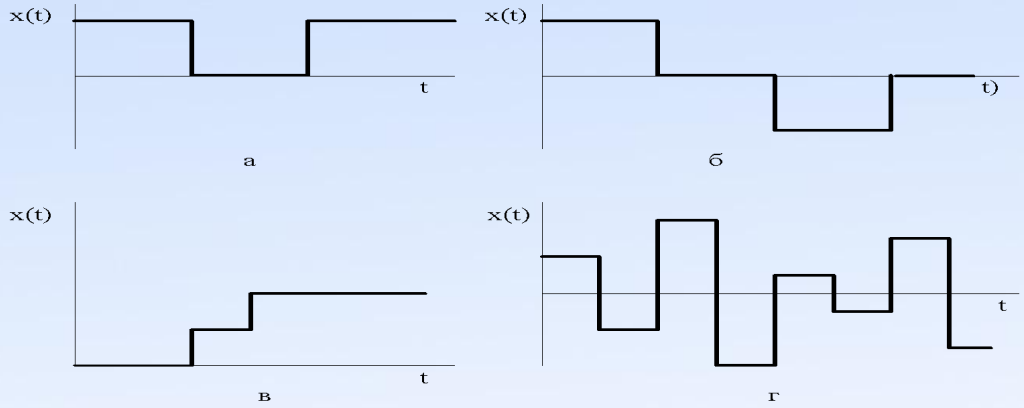
Для передачи информации используются последовательности импульсов – периодические и непериодические. Периодические последовательности используются только для тестирования аппаратуры, а для передачи семантической информации применяются непериодические последовательности.



1. Период следования (повторения) - T. $T = t_и + t_п$.
2. Частота следования (повторения) - F. Это есть число импульсов в секунду. Выражение для определения частоты имеет вид: $F = 1/T$.
3. Скважность - отношение интервала между импульсами (периода) (скважины) к длительности самого импульса (Q). $Q=T/t_и$. Скважность всегда больше 1 (Q>1).
4. Коэффициент заполнения - величина, обратная скважности (γ). γ=1/Q

www.fppt.info

В зависимости от количества передаваемой информации прямоугольные сигналы могут быть двоичными или m-ичными.



В таких сигналах один импульс переносит 1, 2, 3 бита информации и т.д. Троичные сигналы типа показанных на рисунке б предназначены не только для передачи информации, но и для облегчения работы систем тактовой синхронизации (так называемые самосинхронизирующиеся коды).

В системах, использующих такие сигналы, информационный бит **1** передаётся двумя импульсами 10, а бит **0 –** импульсами **-**10.

www.fppt.info

В настоящее время любая информация передаётся цифровыми сигналами. Для этого аналоговые сигналы с выхода кодера источника подаются на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), где преобразуются в цифровую форму. Это преобразование осуществляется либо методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) либо методом дельта-модуляции (ДМ).

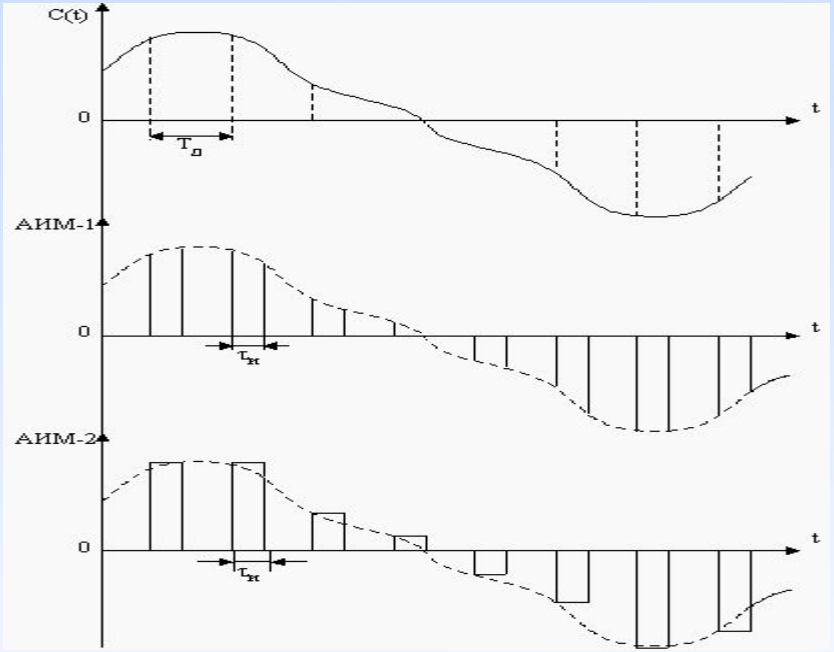
Теорема Котельникова (теорема отсчётов, теорема Найквиста).

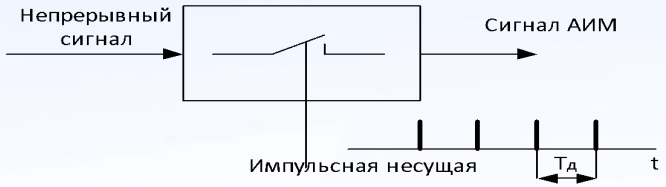
Любой аналоговый сигнал с максимальной частотой спектра F_m, описываемый непрерывной монотонной (убывающей или возрастающей) функцией на некотором интервале $T_д$, без существенной потери информации может быть представлен временными отсчётами (дискретами), расстояние между которыми равно $T_д$

$$T_д = \frac{1}{F_д} \leq \frac{1}{2F_m}.$$

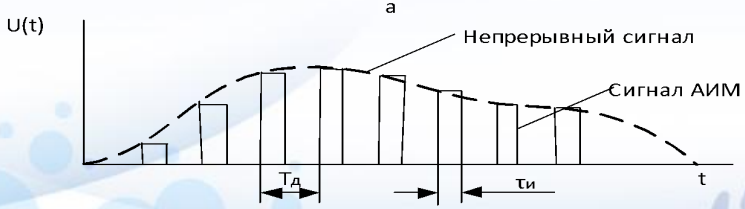
www.fppt.info

АИМ сигнал





а

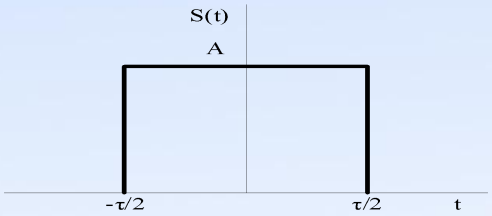


б

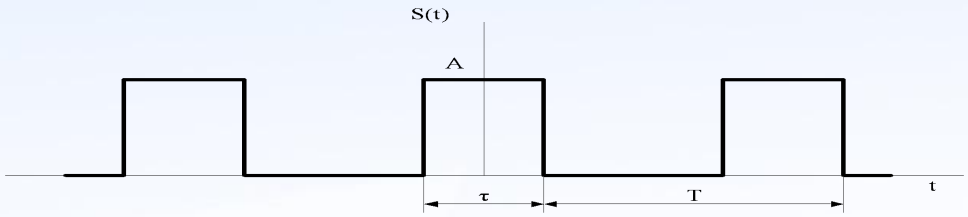
www.fppt.info

Любой аналоговый сигнал с максимальной частотой спектра F_m, описываемый непрерывной монотонной (убывающей или возрастающей) функцией на некотором интервале $T_д$, без существенной потери информации может быть представлен временными отсчётами (дискретами), расстояние между которыми равно $T_д$

$$T_д = \frac{1}{F_д} \leq \frac{1}{2F_m}.$$



Информация в каналах связи передаётся непериодическими (точнее квазипериодическими последовательностями) импульсов. Поскольку выражение для таких последовательностей случайно, то для анализа используют периодические последовательности

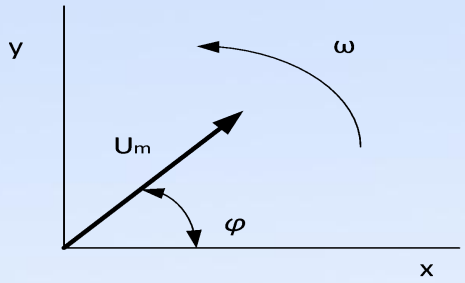


Любой аналоговый сигнал с максимальной частотой спектра F_m, описываемый непрерывной монотонной (убывающей или возрастающей) функцией на некотором интервале $T_д$, без существенной потери информации может быть представлен временными отсчётами (дискретами), расстояние между которыми равно $T_д$

$$T_д = \frac{1}{F_д} \leq \frac{1}{2F_m}.$$

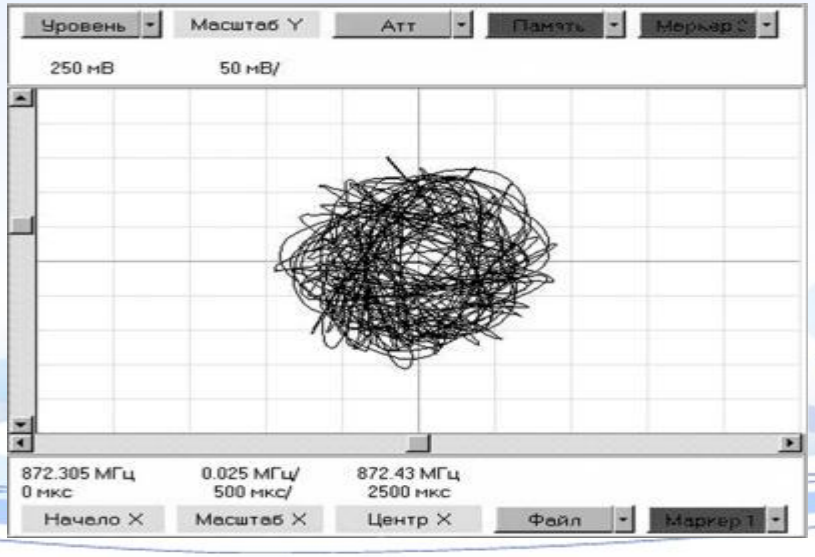
www.fppt.info

Достаточно часто сигнал **$s(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$** представляется вектором в пространстве



Здесь амплитуда сигнала U_m определяется длиной вектора, его фаза φ определяется углом наклона вектора к оси x, частота ω – скоростью вращения вектора (обычно против часовой стрелки).

Векторное представление сигналов стало широко использоваться в последние годы по мере развития цифровой аппаратуры.



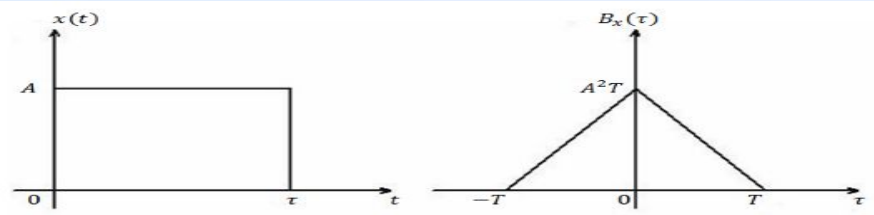
www.fppt.info

Любой аналоговый сигнал с максимальной частотой спектра F_m, описываемый непрерывной монотонной (убывающей или возрастающей) функцией на некотором интервале $T_д$, без существенной потери информации может быть представлен временными отсчётами (дискретами), расстояние между которыми равно $T_д$

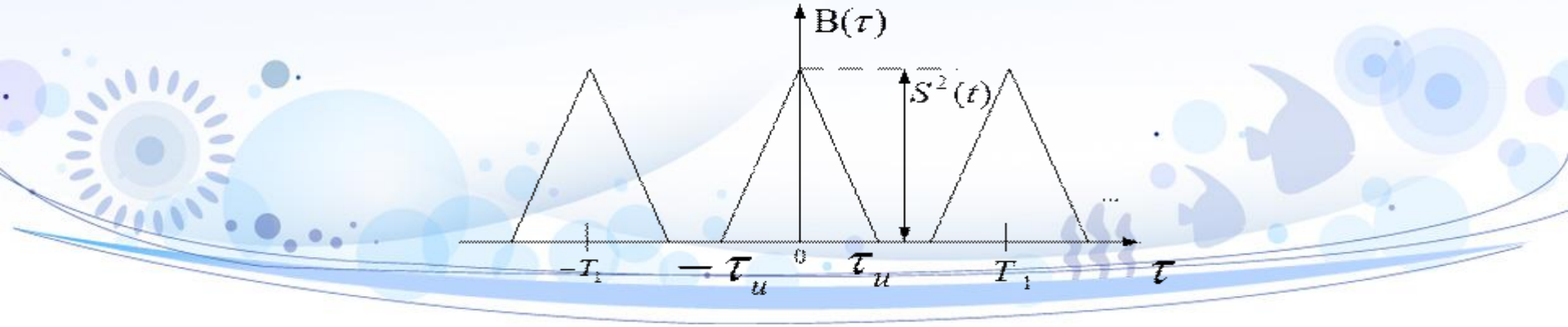
$$T_д = \frac{1}{F_д} \leq \frac{1}{2F_m}.$$

www.fppt.info

Корреляционные свойства кодовых последовательностей, используемых в широкополосных системах, зависят от типа кодовой последовательности, её длины, частоты следования её символов и от её посимвольной структуры.
Изучение АКФ играет важную роль при выборе кодовых последовательностей с точки зрения наименьшей вероятности установления ложной синхронизации, а также для разделения сигналов в системах CDMA (например, в системах сотовой связи).
Например, для прямоугольного импульса

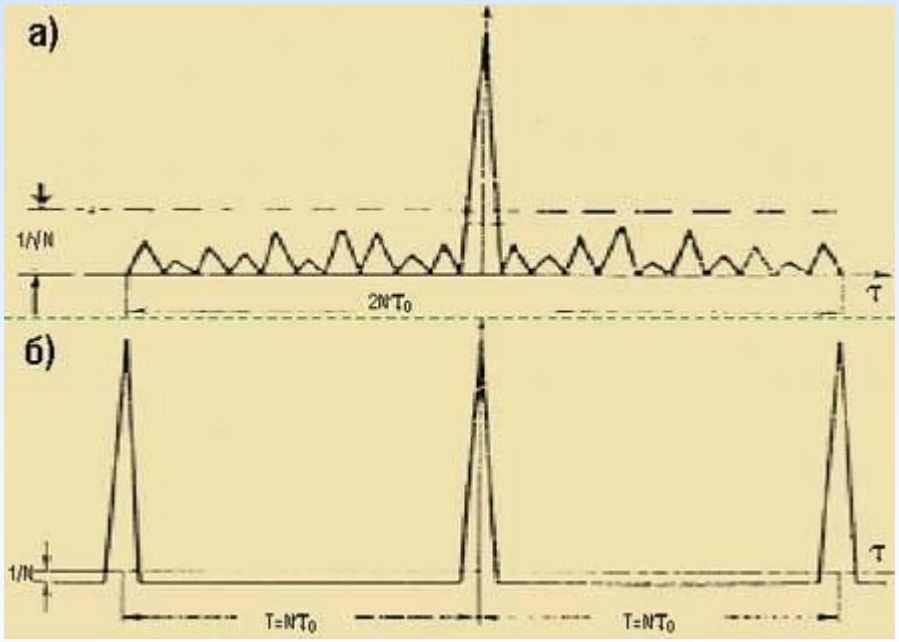


АКФ бесконечной периодической последовательности видеоимпульсов



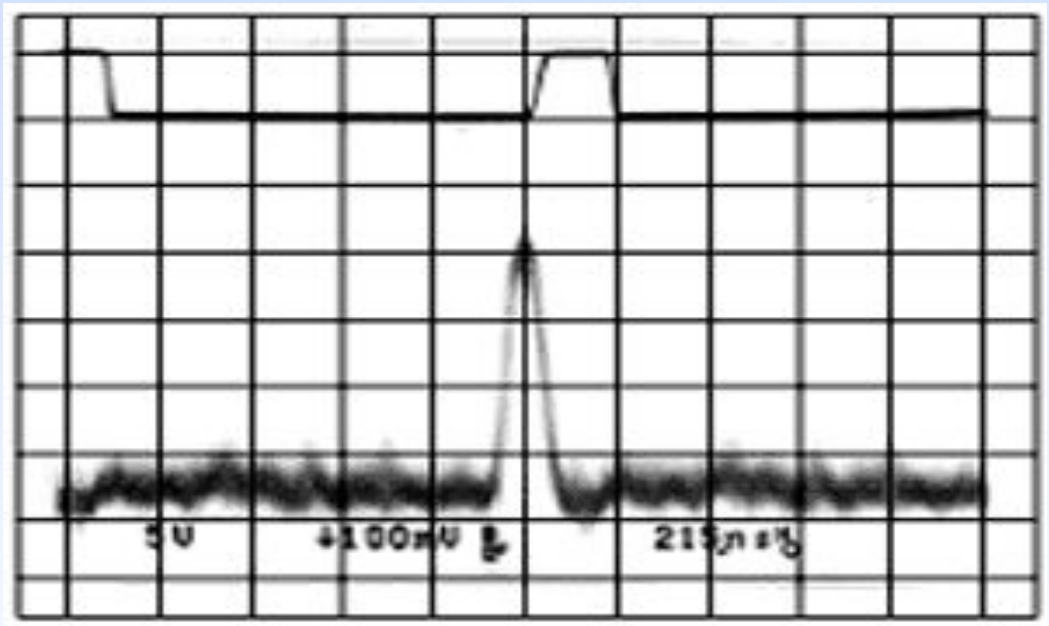
www.fppt.info

АКФ псевдослучайной последовательности будет иметь вид



www.fppt.info

Снимок АКФ реального сигнала с экрана монитора анализатора (осциллографа)



Сверху на фотографии показан синхроимпульс осциллографа.

www.fppt.info

Любой аналоговый сигнал с максимальной частотой спектра F_m, описываемый непрерывной монотонной (убывающей или возрастающей) функцией на некотором интервале $T_д$, без существенной потери информации может быть представлен временными отсчётами (дискретами), расстояние между которыми равно $T_д$

$$T_д = \frac{1}{F_д} \leq \frac{1}{2F_m}.$$

www.fppt.info