

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# Модуль военно-технической (военно-специальной) подготовки

## Раздел №2. «Основы радиоэлектроники.

### Радиосвязное оборудование воздушных судов»

#### Тема № 4. Основы радиоэлектроники

Лекция №19. Основные способы представления сигналов. Основные виды сигналов, используемых в радиосвязи военного назначения. Аналоговая модуляция.

лектор - кандидат физико-математических наук,  
подполковник запаса  
**Межетов Муслим Амирович**

## Основные способы представления сигналов

Обработка любого сообщения, передаваемого в радиотехнической системе, всегда начинается с его преобразования в первичный электрический сигнал  $\lambda(t)$ .

Первичный сигнал - это сигнал с относительно медленным (до нескольких десятков килогерц) изменением одного или нескольких параметров.

Преобразование производится в электрофизическом преобразователе (ЭФП). Полагаем, что ЭФП имеет идеальные характеристики, и изменения первичного электрического сигнала точно соответствуют передаваемому сообщению.

В качестве ЭФП выступают:

- электроакустические преобразователи;
- датчики параметров полета и навигационной информации;
- источники излучений и т.п.

Первичный электрический сигнал  $\lambda(t)$  при прохождении по каскадам формирования и передачи сообщений, по радиоканалу и по каскадам радиоприемного устройства испытывает искажения и воздействие помех. Из этого следует, что сигнал  $\lambda'(t)$  на выходе устройства приема обработки сообщений не тождественный первичному сигналу  $\lambda(t)$ . Таким образом, о совпадении сигналов  $\lambda(t)$  и  $\lambda'(t)$  можно говорить лишь в вероятностном смысле.

Сигналы характеризуются:

- размахом (амплитудой);
- амплитудным и фазовым спектром, которые для периодических сигналов определяются рядом, а для непериодических сигналов интегралом Фурье, при этом периодические сигналы имеют линейчатый спектр, а непериодические – сплошной спектр;
- ковариационной (корреляционной) функцией;
- спектральной плотностью.

Электрические сигналы представляют интерес для передачи сообщений потому, что имеют свойство распространяться с большой скоростью на большие расстояния при относительно малых потерях энергии.

Мощность электромагнитных колебаний в точке приема (при распространении в вакууме) с точностью до постоянного коэффициента обратно пропорциональна квадрату расстояния до излучающего объекта.

Электрические сигналы можно передавать как в виде колебаний электрического тока (напряжения) при помощи проводов, так и в виде электромагнитных колебаний (ЭМК) через свободное пространство.

В устройствах формирования, передачи приема и обработки сообщений сочетаются оба эти способа. Изменения тока (напряжения) используются при формировании передаваемого сообщения (в радиопередающем устройстве) и при приеме и обработке сообщения (в радиоприемном устройстве).

ЭМК являются своего рода «переносчиком» сообщения от передающей до приемной антенны. Для того, чтобы сообщение переносилось при помощи ЭМК, применяется модуляция.

Модуляция (от лат. *modulatio* – мерность, размеренность) – изменение амплитуды, частоты или фазы периодических колебаний, происходящее с периодом значительно большим, чем собственный период этих колебаний. В более широком смысле модуляцией в радиотехнике считается любое управление параметрами электрических колебаний ЭМК относительно просто формируются и излучаются при достаточно высоких частотах изменения тока (напряжения).

В авиационных радиотехнических системах используется широкий участок общей шкалы электромагнитных колебаний – от 100 кГц до 30 ГГц и более.

Непрерывные высокочастотные (ВЧ) сигналы – это колебания тока (напряжения) неограниченной длительности с частотами выше 50...100 кГц.

Частота 100 кГц принята в качестве нижней частоты радиодиапазона.

Важно иметь настолько большую частоту колебаний ВЧ сигнала, чтобы в пределах некоторого числа периодов  $N$  не было заметно изменений его параметров. В пределах этих  $N$  периодов с точностью, достаточной для большинства практических целей, ВЧ сигнал можно считать гармоническим.

Параметрами ВЧ сигнала являются амплитуда (размах), частота, фаза. При передаче сообщения амплитуда, частота или фаза ВЧ сигнала изменяются согласно закону передаваемого сообщения  $\lambda(t)$ .

В процессе формирования, передачи приема и обработки сигналов:

- полезный сигнал, переносящий сообщение  $\lambda(t)$ , принимается одновременно с мешающими ЭМК различного происхождения;
- параметры радиоаппаратуры изменяются вследствие влияний изменения условий эксплуатации:
  - температуры среды;
  - атмосферного давления;
  - влажности;
  - напряжений питания;
  - старения электрорадиоэлементов.
- параметры среды распространения радиоволн изменяются случайным образом, что также искажает полезный сигнал.

# Основные виды сигналов, используемых в радиосвязи военного назначения

## Детерминированные сигналы

Для реализации того или иного принципа действия радиотехнической системы и получения при этом связной, навигационной информации, информации о подвижных и неподвижных объектах методами радиолокации и т.д. применяются детерминированные сигналы. Детерминированные сигналы могут быть непрерывными и импульсными.

**Детерминированным** называется сигнал, закон изменения которого описывается совершенно определенной функцией времени. Каждому моменту времени  $-\infty < t < \infty$  детерминированного сигнала соответствует совершенно определенное, известное значение тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$ .



**Непрерывные сигналы.** Самый простой – это гармонический сигнал:

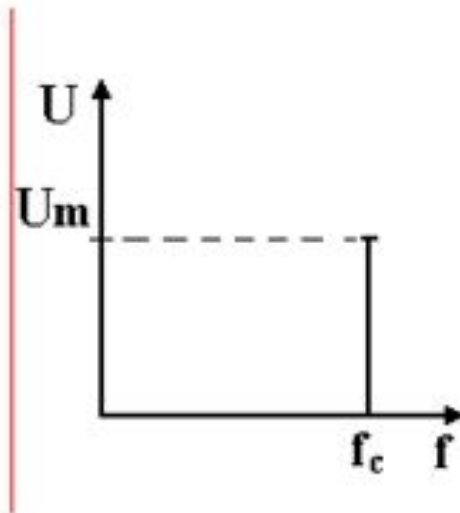
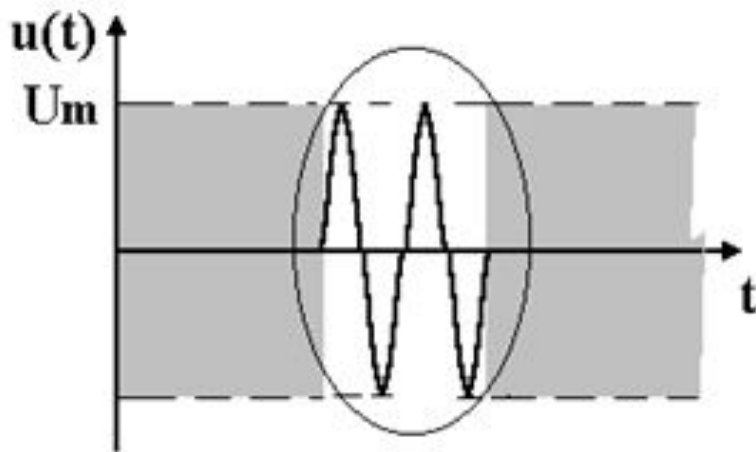
$$u(t) = U_m \sin(\Omega_c t + \varphi_0)$$

где  $U_m$  – амплитуда;  $\Omega_c$  – циклическая частота (количество колебаний за  $2\pi$  секунд),

$$\Omega_c = 2\pi F = 2\pi/T;$$

$F$  – частота (количество колебаний за 1с),  $T$  – период колебаний (время одного колебания);  $\varphi_0$  – начальная фаза (фаза, с которой начинаются колебания).

# Гармонический ВЧ сигнал и его спектр



Низкочастотным (НЧ) гармоническим сигналом принято считать сигналы, частоты которых  $F < 100$  кГц. Звуковые сигналы ( $10 \text{ кГц} \leq F \leq 20 \text{ кГц}$ ) входят в область низкочастотных сигналов. Для высокочастотных (ВЧ) (радиочастотных) гармонических сигналов (частота более 100 кГц), приняты обозначения: амплитуда –  $U_m$ ; частота –  $f_c$ , циклическая частота –  $\omega_c = 2\pi f_c$ :

$$u(t) = U_m \sin(\omega_c t + \varphi_0).$$

Для формирования и передачи информации простые гармонические сигналы не применяются:

во-первых, реальные сигналы всегда ограничены во времени;

во-вторых, как отмечалось, ВЧ сигналы подвергаются модуляции;

в-третьих, в радиотехнических устройствах из-за нелинейности каскадов сигналы искажаются.

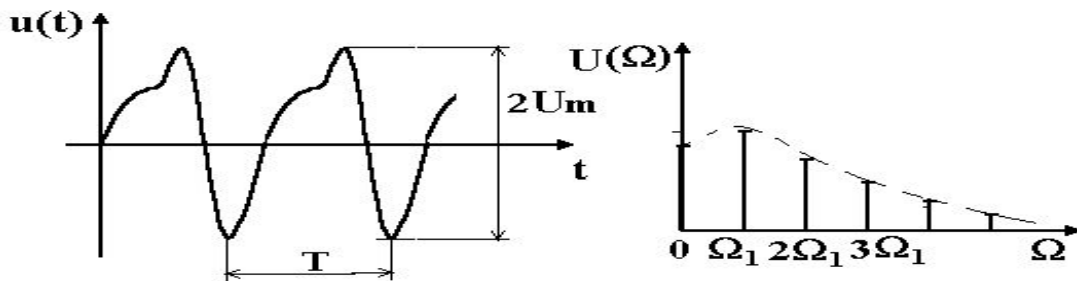
Таким образом, реально применяемые сигналы отличаются от гармонических.

Негармонические сигналы согласно теореме Фурье могут быть представлены в виде бесконечного гармонического ряда или интеграла.

Периодические сигналы представляются в виде бесконечного ряда:

$$U(t) = U_0/2 + U_{m1} \sin(\Omega_1 t + \varphi_1) + U_{m2} \sin(2\Omega_1 t + \varphi_2) + \dots + U_{mk} \sin(k \Omega_1 t + \varphi_k) + \dots$$

где  $k=1,2,3\dots$  - номер гармоники.



Периодический негармонический НЧ сигнал и его спектр

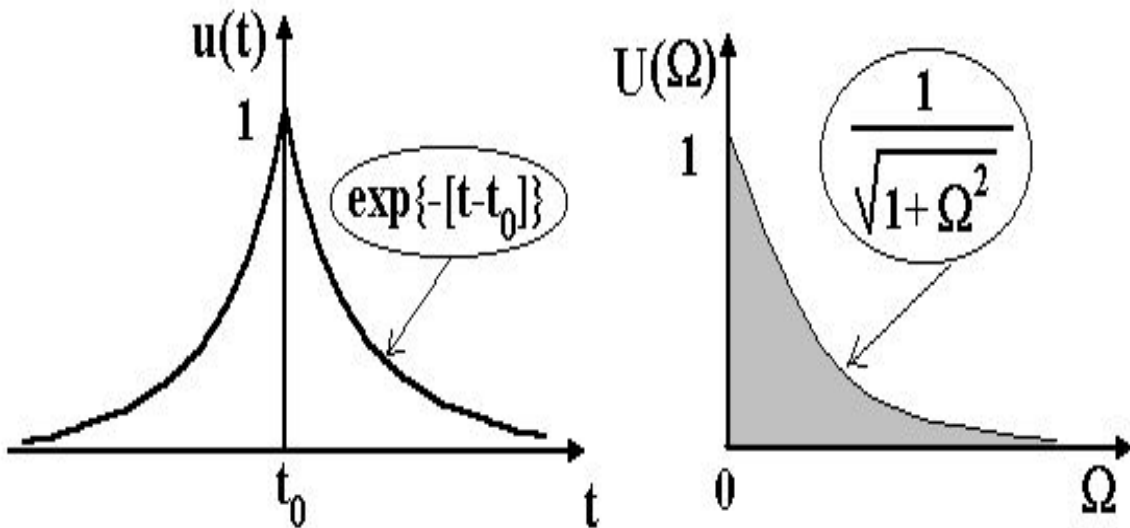
Колебания с частотой  $\Omega_1$  называются основной или первой гармоникой, а с частотами  $\Omega_k = k\Omega_1$  называются высшими гармониками.

Зависимость амплитуд гармонических составляющих  $U_{mk}$  от частоты  $\Omega_k$  представляет собой амплитудный спектр сигнала.

Зависимость фаз гармоник  $\varphi_k$  от  $\Omega_k$  называется фазовым спектром.

Спектры непериодических сигналов определяются интегралом Фурье

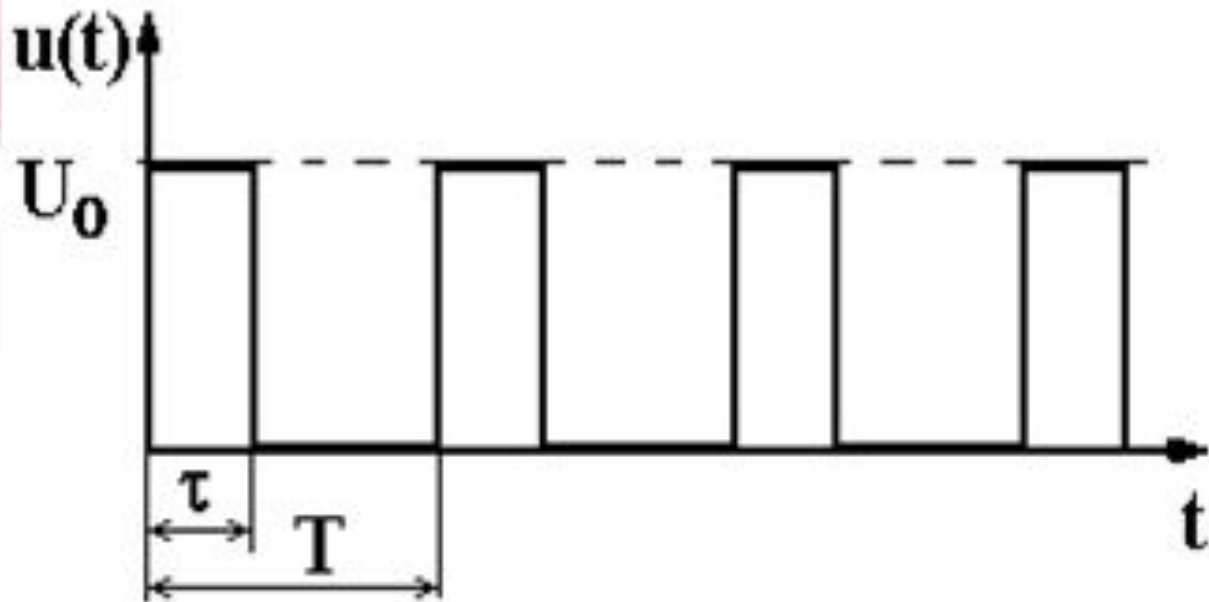
$$U(\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-j\Omega t} dt$$



Пример непериодического сигнала и его спектр

В авиационных радиотехнических системах, кроме гармонических и негармонических непрерывных сигналов, используются также импульсные сигналы. Импульсным считается такой сигнал, который представляет собой кратковременные, сравнимые по длительности с временем переходных процессов в цепях, всплески напряжения или тока. Самый простой, идеализированный, импульсный сигнал - это прямоугольный импульс. Низкочастотный прямоугольный импульс (видеоимпульс) представляет собой физическую реализацию функции

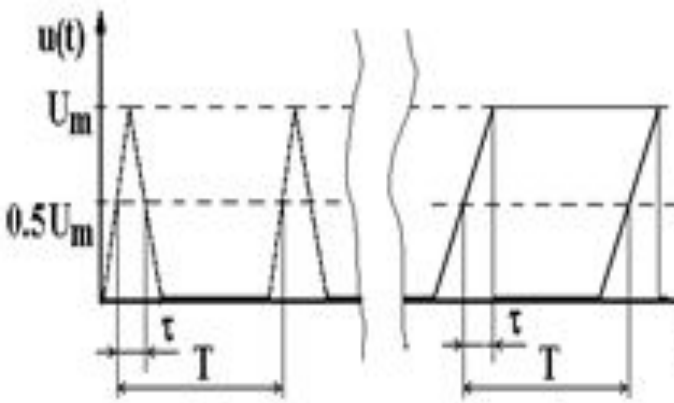
$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ U_0 & \text{при } 0 \leq t \leq t_1, \\ 0 & \text{при } t > t_1. \end{cases}$$



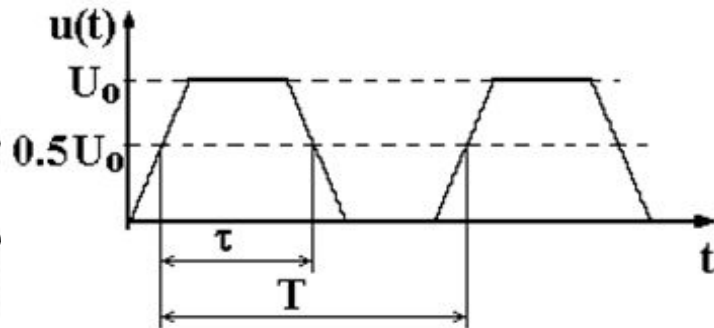
Последовательность прямоугольных импульсов



Кроме прямоугольных импульсов применяются идеализированные треугольные (пилообразные) и трапециидальные импульсы.

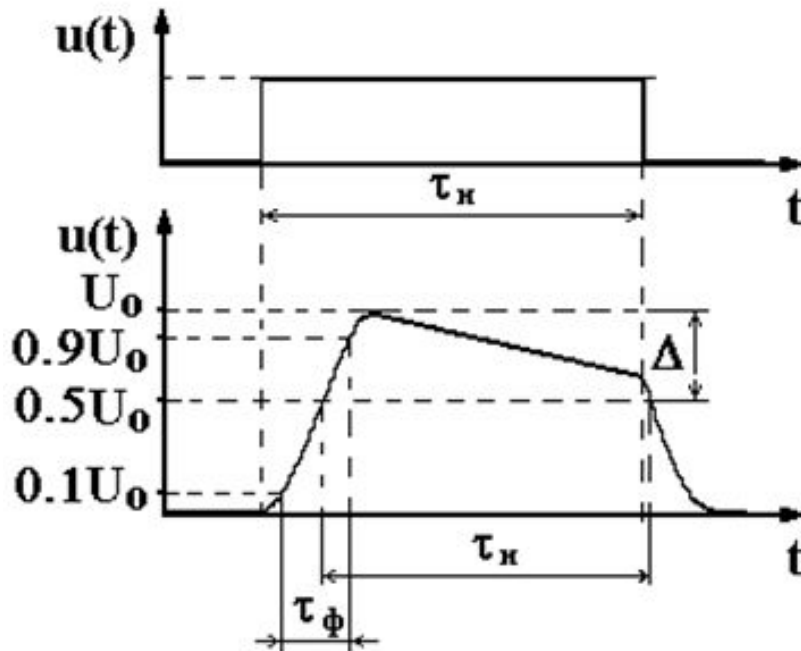


Последовательность треугольных и пилообразных видеоимпульсов



Последовательность трапециидальных импульсов

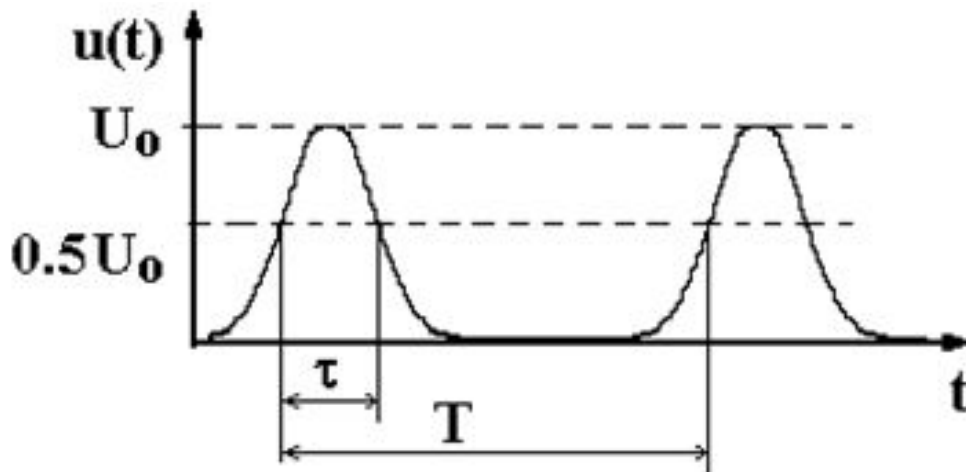
В каскадах радиотехнических систем импульсные сигналы подвергаются линейным и нелинейным искажениям. Благодаря этому фронт импульса удлиняется, а вершина приобретает спад  $\Delta$ .



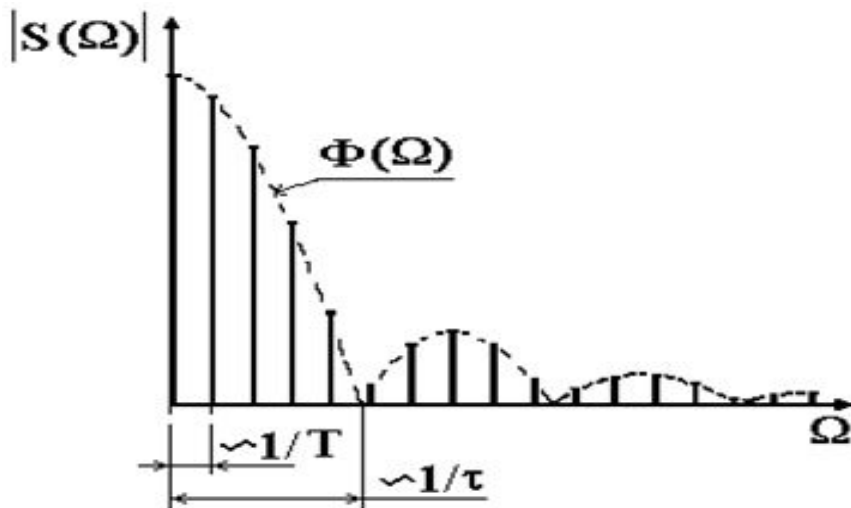
Искажения прямоугольного видеоимпульса

Длительность прямоугольных импульсов определяется, как правило, на уровне  $0,5U_0$ . Иные случаи для конкретных устройств оговариваются в технических требованиях.

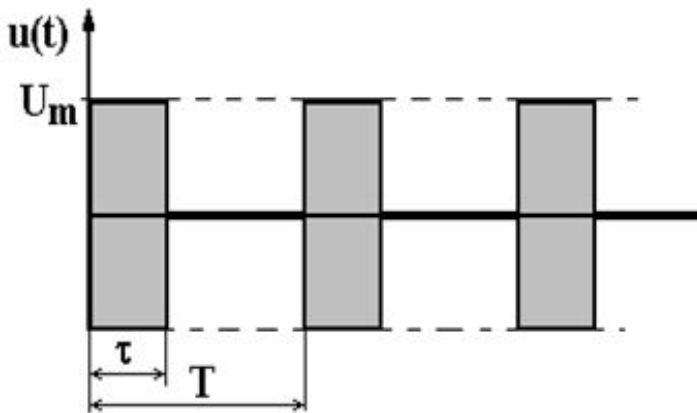
Короткие видеоимпульсы удобно аппроксимировать импульсами колокольной формы.



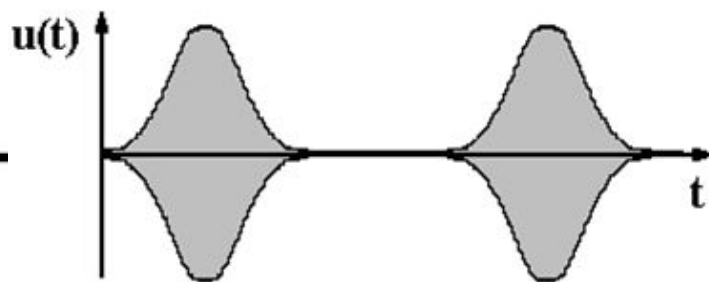
Общий вид графического представления амплитудного спектра видеоимпульсов показан на рисунке. Этот спектр линейчатый и бесконечный. В общем случае частотное расстояние между двумя соседними гармониками обратно пропорционально периоду следования импульсов. Огибающая гармоник  $\Phi(\Omega)$  имеет вид  $[(\sin x)/x]$ , где аргумент  $x$  однозначно определен длительностью и формой видеоимпульса



Импульсный высокочастотный сигнал (радиоимпульс) представляет собой ограниченные по времени высокочастотные колебания (пачку колебаний). Длительность существования пачки соизмерима с длительностью переходных процессов в устройстве, предназначенном для обработки радиоимпульсов. Форма радиоимпульсов определяется огибающей колебаний. Идеальными являются прямоугольные радиоимпульсы. Реальные радиоимпульсы имеют фронты конечной длительности и могут быть представлены в виде колокольных импульсов.



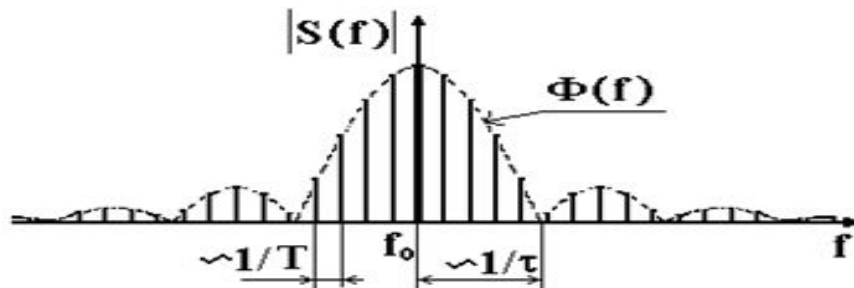
Последовательность  
прямоугольных радиоимпульсов



Форма реальных коротких  
радиоимпульсов

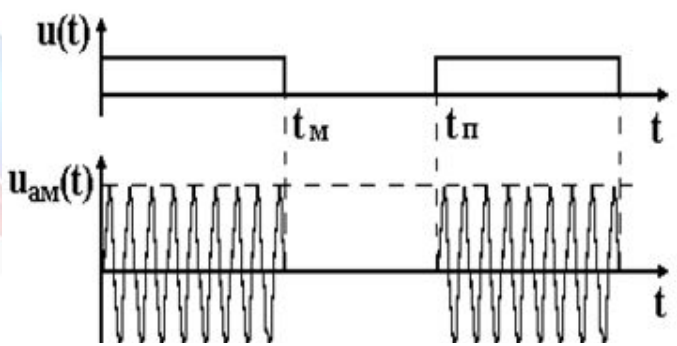
Длительность радиоимпульсов также определяется, как правило, на уровне 0,5 от максимального размаха

Амплитудный спектр последовательности радиоимпульсов также линейчатый, и бесконечный. Но в отличие от спектра видеоимпульсов он двухсторонний. Центральная частота спектра равна несущей частоте  $f_0$ . Реальные радиосигналы всегда ограничены во времени. Поэтому и их спектры отличаются от спектров идеализированных сигналов. Но для достаточно длинных сообщений удобно представление сигнала бесконечным во времени. Это позволяет упростить анализ при описании сигналов близком к адекватному.

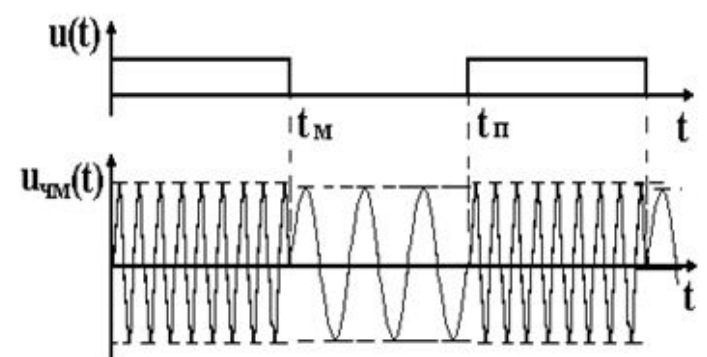


Амплитудный спектр последовательности радиоимпульсов

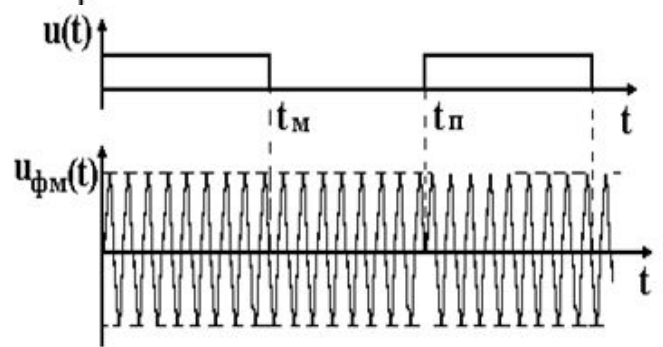
Для переноса сообщения применяется модуляция высокочастотных колебаний низкочастотным сигналом. Самый простой способ модуляции – амплитудная, частотная или фазовая манипуляция. При манипуляции соответствующий параметр высокочастотных колебаний в моменты времени  $t_m$  и  $t_p$  изменяется скачком. При каждом воздействии манипулирующего сигнала передатчик начинает вырабатывать колебания с другим, соответствующим манипулирующему воздействию, параметром. Манипуляция применяется в системах и комплексах радиосвязи при амплитудной, частотной или фазовой телеграфии.



АМН



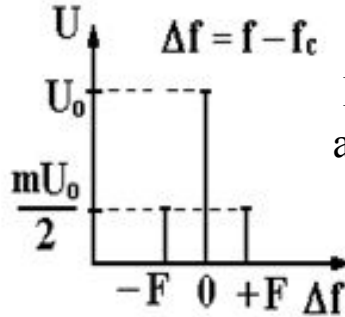
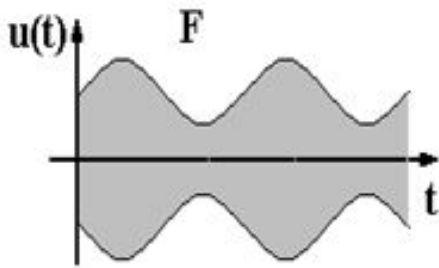
ЧМН



ФМН

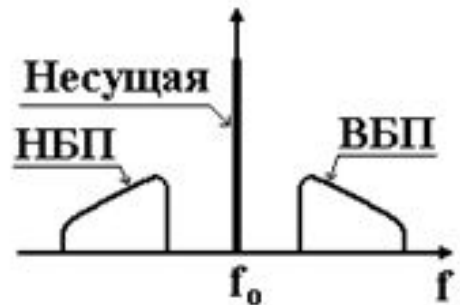


При непрерывном изменении амплитуды, частоты или фазы высокочастотного колебания образуются амплитудно-модулированные (АМ) колебания, или колебания, модулированные по углу (соответственно ЧМ, или ФМ).



Высокочастотный сигнал с амплитудной модуляцией и его спектр.

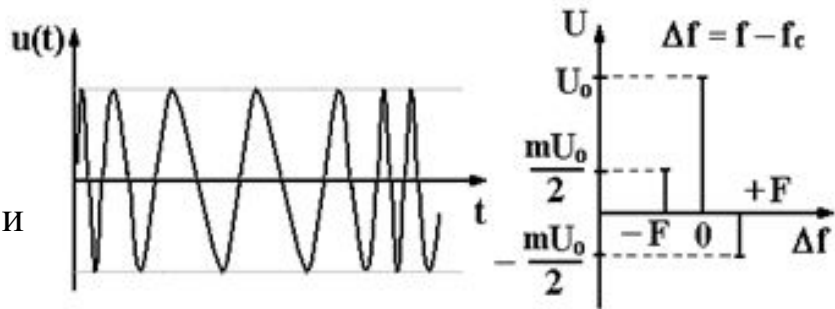
Спектр реального АМ сигнала



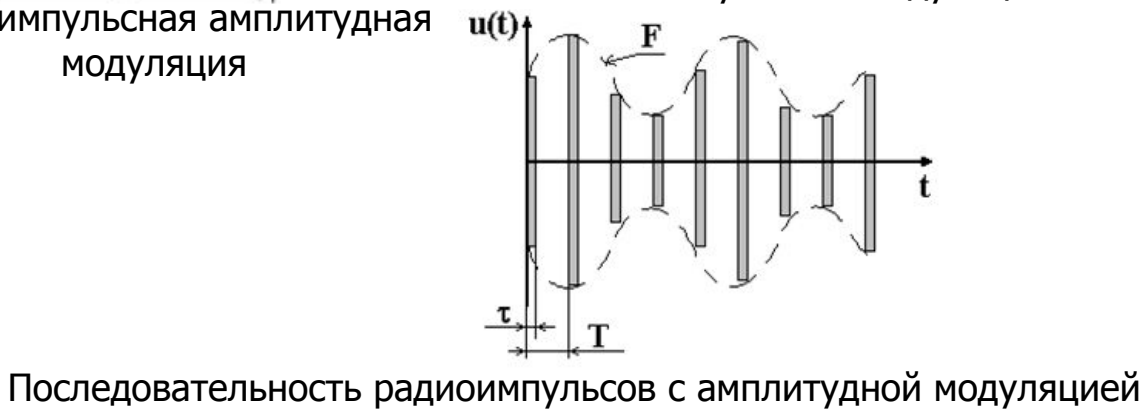
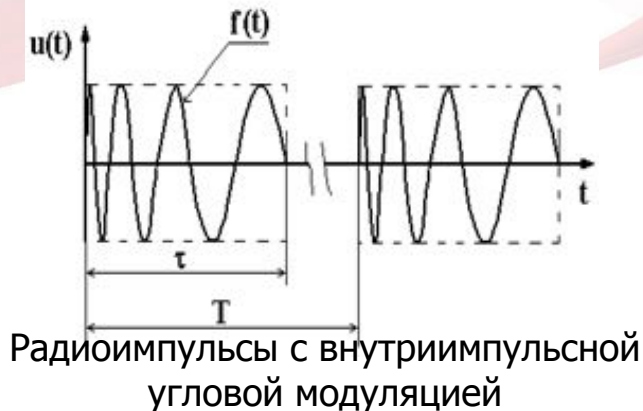
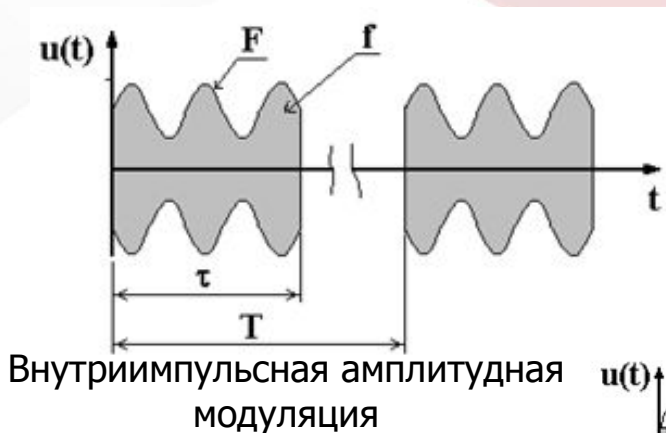
Характерная особенность АМ колебаний – симметричность спектра относительно несущей частоты  $f_0$ . Кроме несущей в простейшем случае спектр содержит две боковые частоты, амплитуды которых определяются глубиной модуляции  $m$ . При модуляции сложным, например звуковым, сигналом в спектре образуются симметричные боковые полосы – верхняя боковая (ВБП) и нижняя боковая (НБП). Обе полосы содержат одинаковые сообщения. Так что сигнал АМ обладает избыточностью. Без потери информации можно передавать только одну полосу - ВБП или НБП. Сигнал, сформированный таким образом, что содержит одну боковую полосу, называется сигналом с однополосной модуляцией (ОМ). ОМ сигнал может быть с несущей, с частично подавленной несущей или полностью подавленной несущей.

При угловой модуляции спектр радиосигнала намного сложнее. Даже при однотоновой модуляции он состоит из бесконечного числа боковых частот  $\pm nF$ , где  $n$  – целое число, расположенных попарно симметрично относительно несущей частоты  $f_0$ . Однако, при индексе модуляции  $m < 0.3$  высшими составляющими спектра из-за их малости можно пренебречь и считать, что он имеет такую же ширину, как и спектр АМ сигнала, но фазы в боковых полосах противоположны

Высокочастотный сигнал с однотоновой, при малом индексе угловой модуляции и его спектр.



При использовании импульсных сигналов может применяться внутриимпульсная модуляция, модуляция последовательности импульсов, или комбинированные – способы модуляции.



# ВЫВОДЫ



- Таким образом, на сегодняшнем занятии рассмотрены вопросы: Основные способы представления сигналов. Основные виды сигналов, используемых в радиосвязи военного назначения. Аналоговая модуляция.

# **Задание на самостоятельную работу**

*Прочитав конспект лекций ответить на следующие вопросы:*

- 1. Какие основные способы представления сигнала применяются в радиотехнике?**
- 2. Перечислить основные параметры детерминированных сигналов?**
- 3. Изобразить Амн колебание и пояснить каким образом передаётся цифровая информация?**
- 4. Изобразить Чмн колебание и пояснить каким образом передаётся цифровая информация?**
- 5. Изобразить Фмн колебание и пояснить каким образом передаётся цифровая информация?**
- 6. Изобразить спектр АМ сигнала?**
- 7. Изобразить спектр узкополосного ЧМ сигнала?**
- 8. Перечислить признаки избыточности АМ сигнала?**
- 9. Изобразить спектр радиоимпульсов и показать основные параметры этого спектра?**
- 10. Какая внутриимпульсная модуляция применяется в импульсных сигналах?**