

# Лекция 2

## Тема: Временное и спектральное представление детерминированных сигналов

### Учебные вопросы:

- 1. Основные понятия о детерминированных сигналах.
- 2. Характеристики и закономерности дискретных сигналов.
- 3. Спектры непериодических сигналов.

# 1-й вопрос: Основные понятия о детерминированных сигналах

1. Понятие детерминированного сигнала.
2. Случайный сигнал.

# Понятие детерминированного сигнала

- **Детерминированным** называется сигнал, который точно определен в любой момент времени (например, задан в аналитическом виде). Детерминированные сигналы могут быть периодическими и непериодическими.
- **Периодическим** называется сигнал, для которого выполняется условие  $s(t) = s(t + kT)$ , где  $k$  - любое целое число,  $T$  - период, являющийся конечным отрезком времени.
- Любой сложный периодический сигнал может быть представлен в виде суммы гармонических колебаний с частотами, кратными основной частоте
- **Непериодический** сигнал, как правило, ограничен во времени.

# Случайный сигнал

- Случайным сигналом называют функцию времени, значения которой заранее неизвестны и могут быть предсказаны лишь с некоторой вероятностью. В качестве основных характеристик случайных сигналов принимают:
  - а) закон распределения вероятности (относительное время пребывания величины сигнала в определенном интервале);
  - б) спектральное распределение мощности сигнала.

# 2-й вопрос: Характеристики и закономерности дискретных сигналов

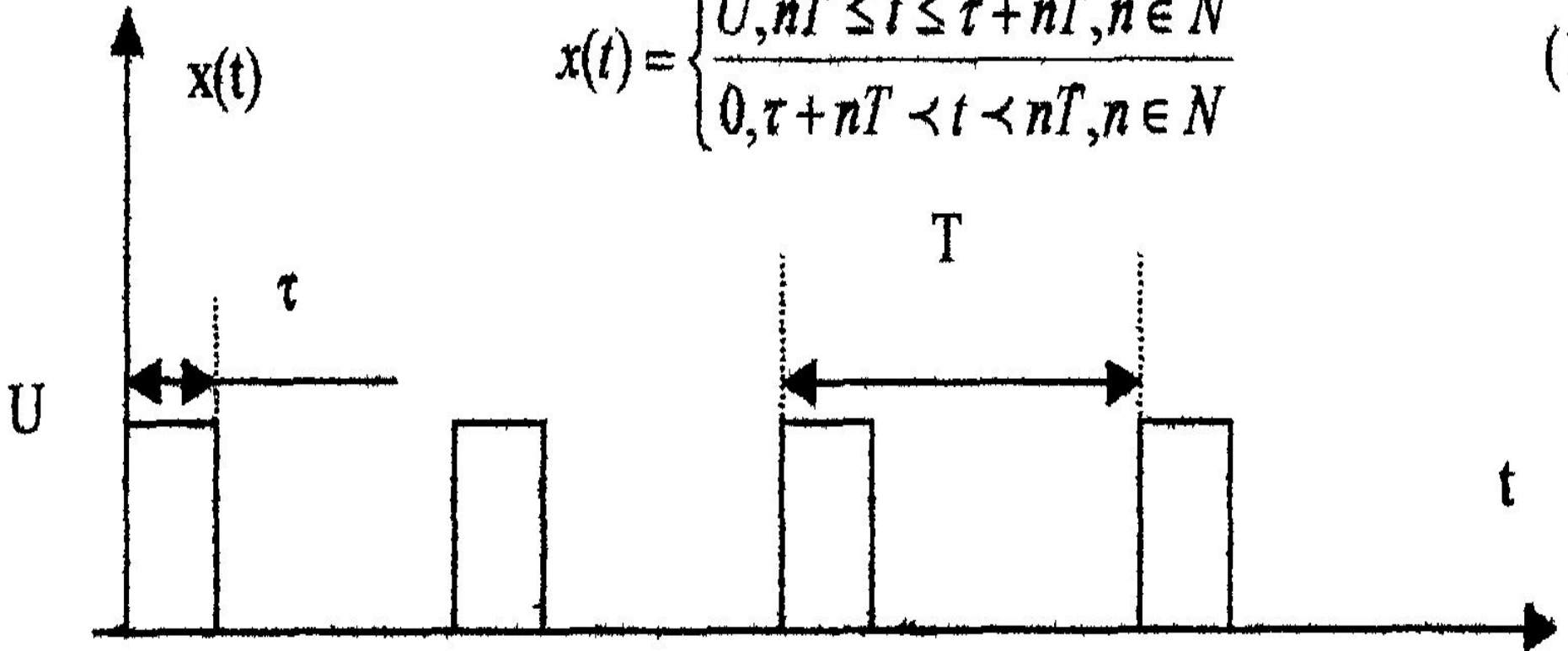
1. Принципы формирования дискретных сигналов.
2. Последовательность видеоимпульсов.
3. Сквозность импульсной последовательности.
4. Временные характеристики дискретных сигналов.
5. Спектральная диаграмма амплитуд импульсного периодического сигнала (ИПС).
6. Спектральные характеристики ИПС.
7. Связь спектра ИПС и полосы пропускания канала связи (КС).
8. Закономерности спектра дискретных сигналов (ДС).
9. Скорость передачи ДС.
0. Многозначное кодирование.
1. Минимальная полоса пропускания.
2. Предел Найквиста.

# Принципы формирования дискретных сигналов

- Любой дискретный сигнал чаще формируется на основе двоичной системы счисления, хотя известны случаи использования многозначной системы счисления. Это определяет число **отличительных признаков** элементарных импульсов, в данном случае – 2.
- При формировании первичных дискретных сигналов (видеосигналы или сигналы низкой частоты) чаще всего используют **амплитудный** или **полярный** отличительные признаки. Если они передаются по радиоканалам или по проводным каналам с использованием аппаратуры **тонального телеграфирования**, то применяют **модуляцию** несущего ВЧ колебания данными первичными дискретными сигналами. При этом используются амплитудный, частотный, фазовый признаки (сигналы А1, А2, F1, F2, F6, F9). При формировании дискретных сигналов в ряде цифровых систем передачи, модуляция несущего колебания не используется – происходит передача в основной полосе частот, хотя и с применением специальных преобразований (**преобразования к коду передачи**). В этом случае чаще всего используется полярный отличительный признак.

# Последовательность видеоимпульсов

$$x(t) = \begin{cases} U, nT \leq t \leq \tau + nT, n \in N \\ 0, \tau + nT < t < nT, n \in N \end{cases} \quad (1)$$



# Скважность импульсной последовательности

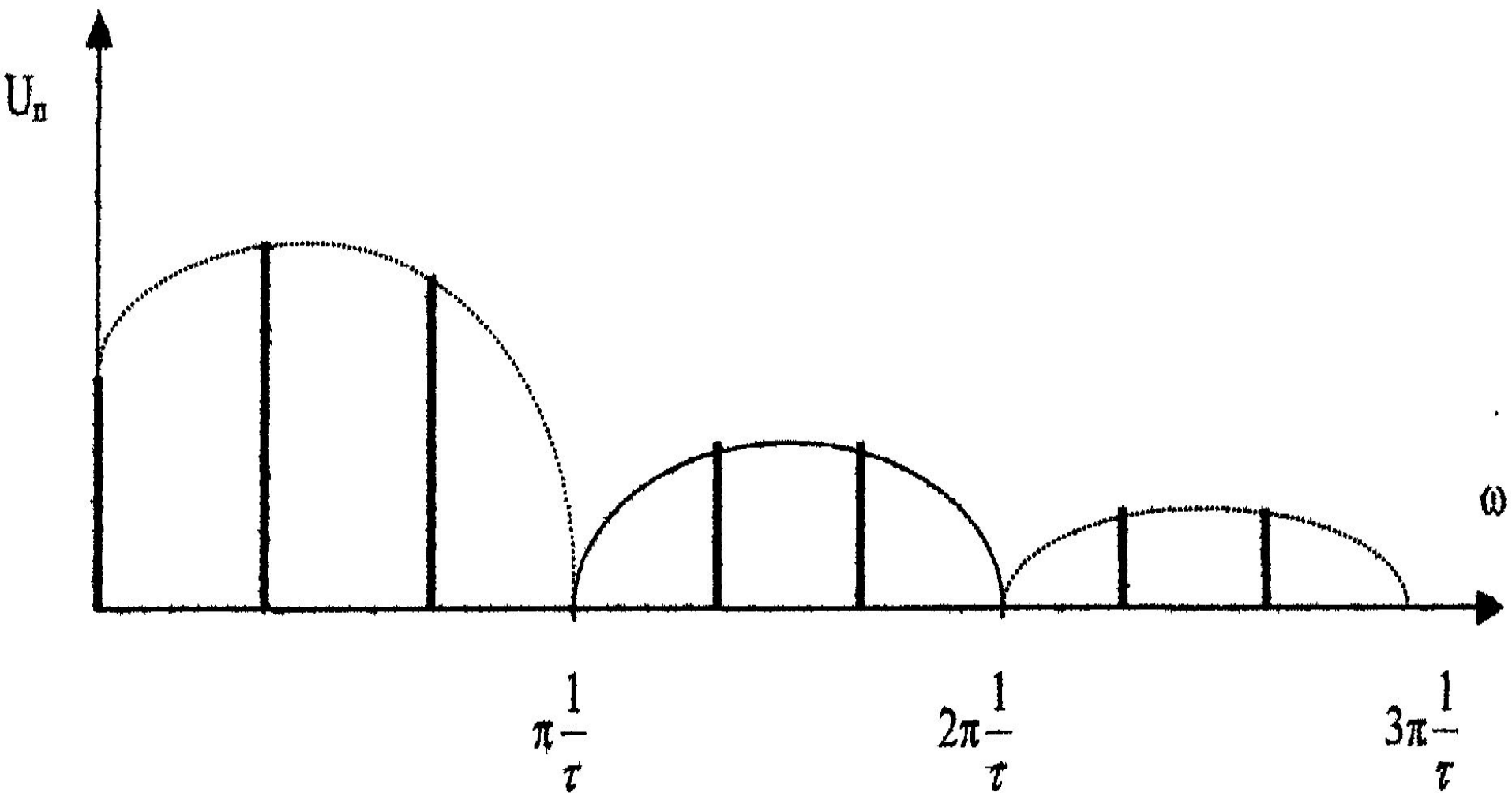
Отношение называется **скважностью** импульсной последовательности. Импульсная последовательность сигналов со скважностью равной 2 называется **меандром** и играет важную роль в технике связи. Такие сигналы используются при проверках, при вхождении в синхронизм, при анализе систем связи и их элементов.



# Временные характеристики дискретных сигналов

- 1. *Длительность импульса  $t$ .*
- 2. *Период последовательности импульсов  $T$ ;*
- 3. *Сквозность импульсной последовательности  $q$ .*
- 4. Это характеристики идеальных дискретных сигналов. Реальные дискретные сигналы имеют конечную **длительность переднего  $t_{пф}$  и заднего  $t_{зф}$  фронтов**, которые также используются при их описании.

# Спектральная диаграмма амплитуд импульсного периодического сигнала



# Спектр амплитуд и фаз сигнала

- Совокупность амплитуд составляющих спектральную диаграмму амплитуд сигнала называют спектром амплитуд сигнала.
- ***Фазовым спектром*** называют совокупность начальных фаз  $\psi_n$  сигнала. ***Амплитудный и фазовый спектры*** полностью определяют дискретный сигнал в частотной области.

# Спектральные характеристики ИДС

- **1. Основная частота «телеграфирования»** - это частота первой гармоники сигнала

$$F_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{1}{T}$$

- **2. Величина постоянной составляющей**  $U_0 = \frac{U}{q}$

- **3. Величина или ширина первого лепестка огибающей амплитудного спектра**

$$\Delta F = \frac{1}{\tau}$$

- **4. Число дискретных гармонических составляющих в первом лепестке огибающей, которое равно  $q - 1$ .**

# Связь спектра ИПС и полосы пропускания КС

- Частотный спектр дискретного сигнала бесконечен. Следовательно, для неискаженной передачи такого сигнала требуется линия или канал связи с бесконечно широкой полосой пропускания, в то время как реальные системы связи имеют полосы пропускания, ширина которых ограничена. Это противоречие разрешается достаточно просто, если иметь в виду, что нет необходимости передавать по линии связи импульсы идеальной формы. В дискретных двоичных каналах достаточно зафиксировать факт наличия или отсутствия импульса. А это, в свою очередь, позволяет организовать связь в линиях и каналах связи с конечной полосой пропускания.
- Теоретические и экспериментальные исследования показали, что для надёжной регистрации дискретного сигнала достаточна полоса пропускания канала с верхней граничной полосой  $f_{max}$ .
- В такой полосе сосредоточено до 88 % энергии сигнала. Такую полосу частот, занимаемую спектром сигнала, называют ***эффективной полосой***.

# Закономерности спектра дискретных сигналов

- 1. Частотный спектр дискретных сигналов бесконечен, однако основная доля мощности спектральных составляющих дискретных сигналов лежит в эффективной полосе и может достигать 88 %.
- 2. Огибающая амплитуд спектра носит лепестковый характер, лепестки спектра ограничиваются частотами, кратными  $1/T$ .
- 3. Амплитуды спектральных составляющих с увеличением номера гармоники уменьшаются, постоянная составляющая равна  $U_0 = \frac{U}{q}$ .
- 4. Частоты спектральных составляющих кратны основной частоте повторения импульсов  $f_1 = 1/T$ , причём в основной полосе от нуля до  $1/T$  располагаются  $q-1$  гармоник.
-

# Скорость передачи ДС

- Под **технической скоростью передачи** дискретных сигналов понимают количество элементарных символов, передаваемых в одну секунду. В телеграфии используется синонимичный термин – **скорость телеграфирования**.
- Единицей измерения технической скорости передачи является Бод. Одному Боду соответствует скорость передачи, при которой в  $\frac{1}{B}$  сек передается 1 импульс:  
$$B = \frac{1}{\tau}$$

**Информационная скорость** измеряется в бит/сек и численно равна количеству единиц информации, передаваемых в секунду.

- **При передаче дискретных сигналов двоичным безизбыточным кодом техническая и информационная скорости численно равны.**

# Многозначное кодирование

При использовании многозначного кодирования, значение информационной скорости вырастает в  $\log_2 m$  раз, где  $m$  – основание системы счисления. Кроме того, при использовании помехоустойчивого избыточного кодирования передаваемых сообщений информационная скорость в двоичном канале меньше технической скорости.



# Минимальная полоса пропускания

- *Существует зависимость между скоростью передачи дискретных сигналов и шириной полосы пропускания используемого канала связи.*
- Самым информативным дискретным сигналом является сигнал со скважностью 2, поскольку за период передается два технических импульса и дальнейшее увеличение информативности возможно только за счёт уменьшения длительности импульса. Это же приведет к увеличению ширины полосы спектра сигнала, которая фиксирована в наших рассуждениях  $\Delta f_{\text{полосой пропускания}}$  канала. При этом **минимальная полоса пропускания** для такого сигнала будет .

- В этом случае в полосу пропускания канала

# Предел Найквиста

- Из ТЭРЦ известно, что минимальная длительность импульса численно равна длительности переднего (или заднего) фронта. А величина переднего фронта определяется половиной периода максимальной частоты в спектре сигнала. Тогда 
$$\tau = \tau_{\phi} = \frac{1}{2f_{\max}} = \frac{1}{2F_{\max}}$$

- В этом случае по определению

$$B_{\max} = \frac{1}{\tau} = 2F_{\max}$$

- Это выражение известно как **предел Найквиста** и которое устанавливает предельное значение достижимой скорости передачи дискретных сигналов по двоичному каналу связи с максимальным значением верхней граничной частоты его полосы пропускания  $F$ .

# Свойства преобразования Фурье

- а) **Сдвиг сигнала во времени**  $s_2(t)=s_1(t-t_0)$ .
- б) **Сжатие и расширение сигнала**  $s_2(t)=s_1(nt)$ .
- При сжатии сигнала в  $n$  раз на временной оси во столько же раз расширяется его спектр на оси частот при уменьшении модуля в  $n$  раз. Наоборот, при растяжении сигнала во времени имеет место сужение спектра и увеличение модуля спектральной плотности. Т. о. сжатие спектра импульса с целью повышения точности измерения частоты требует удлинения времени измерения. В то же время сжатие импульса по времени с целью, например, повышения точности измерения времени его появления заставляет расширять полосу пропускания измерительного устройства.
- в) **Дифференцирование и интегрирование сигнала**
- г) **Сложение сигналов (линейность преобразования)**
- д) **Спектр произведения двух функций равен свертке их спектров.**
- е) **Взаимная обратимость.**