

# Тема лекции: Характеристики дискретных сигналов

- Учебные вопросы:
- 1. Основные характеристики дискретных сигналов.
- 2. Помехи и искажения в каналах связи.
- 3. Искажения дискретных сигналов.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие для вузов и колледжей: в 3 т., Т.1.: Современные технологии/ Б. И. Крук, В. Н. Попантонопуло, В. П. Шувалов. - М. : Горячая линия - Телеком, 2005. - 647 с. : ил.
- 2. Проект концепции предоставления документальных услуг электросвязи. Министерство Российской Федерации по связи и информатизации 2002г.
- 3. Основы построения систем и сетей передачи информации: учеб. пособие для вузов/ В. В. Ломовицкий, А. И. Михайлов, К. В. Шестак/ - М. : Горячая линия – Теле- ком, 2005. - 382 с.

# 1-й вопрос: Основные характеристики дискретных сигналов

1. Показатели качества передачи ДИ
2. Детерминированные и случайные изменения сигнала
3. Искажения сигнала
4. Остаточное затухание
5. Виды дискретных сигналов
6. Отличительные признаки
7. Преобразование к коду передачи
8. Понятие скважности
9. Временные характеристики ДС
0. Понятие спектра сигнала
1. Спектр амплитуд последовательности импульсов
2. Спектральные характеристики ДС
3. Эффективная полоса частот
4. Закономерности спектра ДС
5. Скорость телеграфирования
6. Предел Найквиста

# Показатели качества передачи ДИ

Характеристики канала связи в значительной мере определяют **основные показатели качества передачи дискретной информации: скорость, верность, время доставки, надежность, эффективность**. Поэтому знание этих характеристик представляет первостепенный интерес для разработчика систем ПДИ. Прежде всего, необходимо определить перечень тех характеристик, которые существенно влияют на качество передачи дискретной информации по каналам связи. Этот перечень определяется, с одной стороны, ограничениями на сигналы  $S_{ВХ}(t)$ , передачу которых канал обеспечивает, и, с другой стороны, характером преобразований  $S_{ВХ}(t) \rightarrow S_{ВЫХ}(t)$ , которые он осуществляет. Здесь  $S_{ВХ}(t)$ ,  $S_{ВЫХ}(t)$  — соответственно сигналы на входе и выходе канала связи. Поскольку в реальных каналах идеальное соответствие  $S_{ВХ}(t) = S_{ВЫХ}(t)$  не соблюдается, сигнал на выходе канала отличается от сигнала на его входе, причем различают детерминированные и случайные изменения сигнала.

# Детерминированные и случайные изменения сигнала

- **Детерминированные** (известные) изменения сигнала определяются структурой канала и заключаются в определенном изменении масштаба сигнала (усиление или затухание), смещении во времени (задержка) и изменении формы (искажения).
- **Случайные** изменения сигнала определяются помехой, действующей в канале, и заключаются в случайном изменении тех же показателей — масштаба, задержки, искажений.

## Искажения сигнала

Из детерминированных изменений сигнала наибольший интерес для изучения представляют искажения, так как задержка во времени принципиально не может быть уменьшена, а изменение масштаба компенсируется усилением или ослаблением сигналов с помощью автоматического регулирования усиления систем передачи. Искажения можно разделить на линейные и нелинейные. К первым относятся искажения, вызываемые наличием отклонений АЧХ и ФЧХ от идеальных характеристик

## Остаточное затухание

Амплитудно-частотную характеристику канала передачи принято задавать частотной характеристикой остаточного затухания. **Остаточным затуханием** называется разность между уровнями сигнала на входе и выходе канала связи. С целью снижения влияния помех на передаваемые сигналы остаточное затухание, нелинейные и линейные искажения в каналах передачи сигналов нормируют и строят каналы передачи, в которых выполняются эти нормы.

# Виды дискретных сигналов

- Под дискретными сигналами в технике связи понимают сигналы, квантованные по уровню, по времени или по уровню и по времени одновременно. Когда речь идет о квантовании времени чаще используется – дискретизация. Иначе можно сказать, что дискретные сигналы – это сигналы, квантованные по уровню или дискретные во времени или и то и другое одновременно.
- К классу дискретных сигналов относятся: *телеграфные, сигналы передачи данных (телекодовые) и цифровые.*
- *Телеграфными* называются дискретные импульсные сигналы, используемые при телеграфии.
- По определению МСЭ передача данных – это область электросвязи, целью которой является передача информации для ее обработки ЭВМ или уже обработанной ими. Формируемые при этом сигналы называются *сигналами передачи данных (телекодовые).*
- Под *цифровыми* сигналами чаще всего имеют в виду аналоговые сигналы, преобразованные в аналого-цифровых преобразователях. Эти сигналы представлены в виде последовательности двоичных импульсов с относительно большим значением скважности и соответствуют двоичным кодам квантованных уровней исходного сигнала



# Отличительные признаки

- По форме и принципам передачи телекодовые, цифровые и телеграфные сигналы практически одинаковы, поэтому и методика анализа их свойств одна и также.
- 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,

# Преобразование к коду передачи

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.

## Понятие скважности

Отношение  $q = \frac{T}{\tau}$  называется **скважно-стью** 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 ДС

- 1. **Длительность импульса  $t$ ;**
- 2. **Период последовательности импульсов  $T$ ;**
- 3. **Сквозность импульсной последовательности  $q$ .**
- 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.
-

# Понятие спектра сигнала

## Спектральные характеристики

дискретных сигналов связаны с временными известным математическим преобразованием Фурье.

Различают спектр амплитуд и спектр фаз сигнала. Совокупность амплитуд гармонических составляющих, в виде суммы которых с любой требуемой точностью может быть представлен сигнал, называется **спектром амплитуд** сигнала. **Фазовым спектром** называют совокупность начальных фаз  $\psi_n$ . **Амплитудный и фазовый спектры** полностью определяют дискретный сигнал в частотной области.

# Спектральные характеристики ДС

- **Основная частота «телеграфирования»**  
- это частота первой гармоники сигнала  $\omega_1 = \frac{1}{T}$
- **Величина постоянной составляющей**  $\frac{U}{q}$
- **Величина или ширина первого лепестка огибающей амплитудного спектра**  $\Delta\omega = \frac{1}{\tau}$
- **Число дискретных гармонических составляющих в первом лепестке огибающей, которое равно  $q - 1$ .**

# Эффективная полоса частот

- С последними двумя характеристиками связано очень важное в теории и практике связи понятие **ширины полосы спектра** дискретного сигнала. 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 частотой:
- В такой полосе сосредоточено до 88 % энергии сигнала. Такую полосу частот, занимаемую спектром сигнала, называют **эффективной полосой**.
- Таким образом, при определении ширины полосы спектра реального дискретного сигнала, используется «энергетический подход».

# Закономерности спектра дискретного сигнала

- 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  $\frac{1}{T}$
- 3. Амплитуды спектральных составляющих с увеличением номера гармоники уменьшаются, постоянная составляющая равна:  $\frac{I_0}{q}$
- 4. Частоты спектральных составляющих кратны основной частоте повторения импульсов  $\frac{1}{T}$ , причем в основной полосе от нуля до  $\frac{1}{T}$  располагаются  $q-1$  гармоника.



# Скорость телеграфирования

- 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 1 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.

# Предел Найквиста

- 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 счет уменьшения длительности импульса. Это же приведет к увеличению ширины полосы спектра сигнала, которая фиксирована в наших рассуждениях полосой пропускания канала. При этом минимальная полоса пропускания для такого сигнала будет  $\Delta F_{\min} = \frac{1}{2\tau} = \frac{B}{2}$ .  
В этом случае в полосу пропускания канала попадают постоянная составляющая и первая гармоника.
- 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
- В этом случае по определению  $B_{\max} = \frac{1}{\tau} = 2F_{\max}$

## 2-й вопрос: Помехи и искажения в каналах связи

1. Понятие помехи
2. Виды помех
3. Сосредоточенные помехи
4. Импульсные помехи
5. Флуктуационные помехи
6. Мультипликативные помехи
7. Аддитивные помехи

# Понятие помехи

Под помехой понимают всякое случайное воздействие на сигнал в канале передачи, препятствующее правильному приему сигналов. При этом следует подчеркнуть случайный характер воздействия, так как борьба с регулярными помехами не представляет затруднений (во всяком случае, теоретически). Так например, фон переменного тока или помеха от определенной радиостанции могут быть устранены компенсацией или фильтрацией.

# Виды помех

- В каналах передачи действуют как аддитивные помехи, т. е. случайные процессы, налагающиеся на передаваемые сигналы, так и мультипликативные помехи, выражающиеся в случайных изменениях характеристик канала.
- На выходе непрерывного канала всегда действуют гауссовские помехи. К таким помехам, в частности, относится тепловой шум. Эти помехи неустранимы. Модель непрерывного канала, включающая в себя закон композиции сигнала  $s(t)$ , четырёхполюсник с импульсной характеристикой  $g(t, \tau)$  и источник аддитивных гауссовских помех  $n(t)$ .
- Более полная модель должна учитывать другие типы аддитивных (аддитивные – суммарные) помех, нелинейные искажения сигнала, а также мультипликативные помехи.

# Аддитивные помехи

Аддитивные помехи содержат три составляющие: сосредоточенную по частоте (гармоническую), сосредоточенную во времени (импульсную) и флуктуационную. Помеха, сосредоточенная по частоте, имеет спектр значительно уже полосы пропускания канала. **Импульсная помеха** представляет собой последовательность кратковременных импульсов, разделенных интервалами, превышающими время переходных процессов в канале. **Флуктуационную** помеху можно представить как последовательность непрерывно следующих один за другим импульсов, имеющую широкий спектр, выходящий за пределы полосы пропускания канала. **Импульсную** помеху можно рассматривать как крайний случай флуктуационной, когда её энергия сосредоточена в отдельных точках временной оси, а гармоническую помеху — как другой крайний случай, когда вся энергия сосредоточена в отдельных точках частотной оси.

# Мультипликативные помехи

- **Мультипликативные** (умножения на сигнал) помехи обусловлены случайными изменениями параметров канала связи. В частности, эти помехи проявляются в изменении уровня сигнала на выходе демодулятора. Различают плавные и скачкообразные изменения уровня. Плавные изменения происходят за время, которое намного больше, чем  $T_0$  – длительность единичного элемента; скачкообразные – за время, меньшее  $T_0$ . Причиной плавных изменений уровня могут быть колебания затухания линии связи, вызванные, например, изменением состояния погоды, а в радиоканалах – замирания. Причиной скачкообразных изменений уровня могут быть плохие контакты в аппаратуре, несовершенство эксплуатации аппаратуры связи, технологии измерений и др.
- Снижение уровня более, чем 17,4 дБ ниже номинального, называется перерывом. При перерыве уровень падает ниже порога чувствительности приемника и прием сигналов фактически прекращается. Перерывы длительностью меньше 300 мс принято называть кратковременными, больше 300 мс – длительными.
- Импульсные помехи и перерывы являются основной причиной



# **Сосредоточенные помехи**

**Сосредоточенные по спектру, или гармонические, помехи** представляют собой узкополосный модулированный сигнал. Причинами возникновения таких помех являются снижение переходного затухания между цепями кабеля, влияние радиостанций и т. п.

# Импульсные помехи

**Импульсные помехи** — это помехи, сосредоточенные по времени. Они представляют собой случайную последовательность импульсов, имеющих случайные амплитуды и следующие друг за другом через случайные интервалы времени, причем вызванные ими переходные процессы не перекрываются во времени. Причины появления этих помех: коммутационные шумы, наводки с высоковольтных линий, грозовые разряды и т. п. Нормирование импульсных помех в канале ТЧ производится путем ограничения

# Флуктуационные помехи

**Флуктуационная (случайная) помеха** характеризуется широким спектром и максимальной энтропией, и поэтому с ней труднее всего бороться. Однако в проводных каналах связи уровень флуктуационных помех достаточно мал и они при малой удельной скорости передачи информации практически не влияют на коэффициент ошибок.

## 3-й вопрос: Искажения дискретных сигналов

1. Причины искажения формы сигналов
2. Краевые искажения
3. Виды краевых искажений
4. Сущность преобладаний
5. Сущность характеристических искажений
6. Сущность случайных искажений
7. Борьба с краевыми искажениями
8. Искажения типа «дробление»

# Причины искажения формы сигналов

- При передаче дискретных сигналов по каналу связи они подвергаются искажениям и воздействиям помех. Основные причины искажений формы сигналов следующие:
- 1. Ограниченная полоса пропускания канала связи;
- 2. Нестабильность коэффициента передачи канала в полосе его пропускания;
- 3. Неправильный выбор порога срабатывания формирователя сигнала на приемной стороне;
- 4. Неправильный выбор значащего момента времени, т.е. момента срабатывания формирователя при использовании тактовой синхронизации.
- 5. Помехи в канале связи.
- При правильном выборе порога срабатывания восстановленные импульсы имеют ту же длительность, что и передаваемые, хотя могут быть смещены во времени относительно передаваемых импульсов на время задержки.

# Краевые искажения

- Неправильный выбор приводит к удлинению или укорочению восстановленных формирователем импульсов.
- Это смещение фронтов импульсов называется *краевым искажением*.

# Виды краевых искажений

По своим свойствам и причинам возникновения краевые искажения делятся на три основных вида:

- *преобладания,*
- *характеристические,*
- *случайные.*

# Сущность преобладаний

- *Преобладания* характеризуются относительным постоянством изменения длительности импульса относительно его номинальной длительности. При этом импульсы одного значения удлиняются за счет импульса другого значения. Такие искажения возникают чаще всего за счет асимметрии уровней пороговых устройств на передающей и приемной сторонах, долговременной составляющей нестабильности остаточного затухания канала, изменения температуры, изменения параметров усилительных приборов и др.
- В технике связи широко применяются регулировки, позволяющие компенсировать эти искажения путем внесения преобладания противоположного знака на приемной стороне.



# Сущность характеристических искажений

*Характеристические искажения* обусловлены переходными процессами. Они возникают в тех случаях, когда на входе приемного устройства не успевают закончиться переходные процессы, вызванные импульсом определенной длительности.

Характеристические искажения возникают только в случае, когда короткому импульсу предшествует длинный или наоборот (например, при передаче информации кодом Морзе). Эти искажения будут тем больше, чем больше разница в длительности принимаемых посылок.

# Сущность случайных искажений

## Случайные искажения

характеризуются тем, что их величина и знак меняются случайным образом. Они обусловлены действием:

флуктуационных помех, нерегулярных импульсных помех, кратковременных занижений уровней передачи, кратковременных перерывов в связи.

# Оценка краевых искажений

- При передаче дискретных сигналов присутствуют все три вида краевых искажений, поэтому величина краевых искажений численно определяется как алгебраическая сумма искажений всех видов:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_{np} + \delta_{хар} + \delta_{сл}$$

При этом возможна компенсация друг друга искажений различных видов. Борьба с краевыми искажениями и с искажениями типа дробления ведется на уровне проектирования техники связи и лишь краевые искажения типа преобладания могут быть оперативно скомпенсированы оператором связи в результате регулировок аппаратуры перед сеансом связи.

- **Краевые искажения** численно оцениваются отношением времени, на которое сдвинулся фронт импульса, к длительности импульса.

# Оценка дроблений

- **Искажения типа дробления** численно оцениваются отношением времени, на которое изменилось значение длительности импульса за счет дробления к номинальной длительности импульса:

$$\delta_{кр} = \pm \frac{\Delta \tau_{кр}}{\tau} 100\%$$

$$\delta_{др} = \frac{\Delta \tau_{др}}{\tau} 100\%$$

- Оба эти показателя используются как **критерии оценки качества передачи дискретных сигналов по каналу связи**. Их величина не должна принимать значений больших допустимых.