

ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Занятие №15

Дискретизация аналоговых сигналов

1. Дискретизация аналоговых сигналов
2. Вопросы

Дискретизация аналоговых сигналов

На предыдущем занятии мы познакомились с преобразованием дискретной формы представления информации в аналоговую. Сегодня мы рассмотрим решение обратной задачи — передачи аналоговой информации в дискретной форме.

Как вам уже известно, начиная с 60-х годов прошлого века голос начал передаваться по телефонным сетям в цифровой форме, то есть в виде последовательности единиц и нулей. Основной причиной такого перехода является невозможность улучшения качества данных, переданных в аналоговой форме, если они существенно исказились при передаче.

Сам аналоговый сигнал не дает никаких указаний ни на то, что произошло искажение, ни на то, как его исправить, поскольку форма сигнала может быть любой, в том числе и такой, которую зафиксировал приемник. Улучшение же качества линий, особенно территориальных, требует огромных усилий и капиталовложений. Поэтому на смену аналоговой технике записи и передачи звука и изображений пришла цифровая техника. В этой технике используется так называемая **дискретная модуляция** исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом — за счет этого происходит *дискретизация по времени*.

Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает *дискретизацию по значениям* — непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений.

Устройство, которое выполняет подобную функцию, называется **аналого-цифровым преобразователем (АЦП)**. После этого замеры передаются по линиям связи в виде последовательности единиц и нулей. При этом применяются те же методы кодирования (с ними мы познакомимся на следующем занятии), что и при передаче изначально дискретной информации.

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность битов, а специальная аппаратура, называемая **цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП)**, производит демодуляцию оцифрованных амплитуд, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

Дискретная модуляция основана на *теории отображения Найквиста*. В соответствии с этой теорией, аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции.

Если это условие не соблюдается, то восстановленная функция будет существенно отличаться от исходной.

Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является возможность контроля достоверности считанных с носителя или полученных по линии связи данных. Для этого можно применять те же методы, что и в случае компьютерных данных, — вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, применение самокорректирующихся кодов.

Для представления голоса в цифровой форме используются различные методы его дискретизации. Наиболее простой метод, в котором применяется частота квантования амплитуды звуковых колебаний в 8000 Гц, имеет название **импульсно-кодовой модуляции (Pulse Code Modulation, PCM)**.

Обоснование выбранной частоты квантования в методе РСМ достаточно простое. Оно объясняется тем, что в аналоговой телефонии для передачи голоса был выбран диапазон от 300 до 3400 Гц, который достаточно качественно передает все основные гармоники собеседников. В соответствии с *теоремой Найквиста-Котельникова* для качественной передачи голоса достаточно выбрать частоту дискретизации, в два раза превышающую самую высокую гармонику непрерывного сигнала, то есть $2 \times 3400 = 6800$ Гц. Выбранная в действительности частота дискретизации 8000 Гц обеспечивает некоторый запас качества.

В методе РСМ обычно используется 7 или 8 бит кода для представления амплитуды одного замера. Соответственно это дает 127 или 256 градаций звукового сигнала, что сказывается вполне достаточно для качественной передачи голоса.

При использовании метода РСМ для передачи одного голосового канала необходима пропускная способность 56 или 64 Кбит/с в зависимости от того, каким количеством битов представляется каждый замер. Если для этих целей применяется 7 бит, то при частоте передачи замеров в 8000 Гц получаем:

$$8000 \times 7 = 56\,000 \text{ бит/с или } 56 \text{ Кбит/с.}$$

А для случая 8 бит:

$$8000 \times 8 = 64\,000 \text{ бит/с или } 64 \text{ Кбит/с.}$$

Как вы знаете, стандартным является цифровой канал 64 Кбит/с, который также называется **элементарным каналом цифровых телефонных сетей**; канал 56 Кбит/с применялся на ранних этапах существования цифровой телефонии, когда один бит из байта, отведенного для передачи данных, изымался для передачи номера вызываемого абонента.

Передача непрерывного сигнала в дискретном виде требует от сетей жесткого соблюдения временного интервала в 125 мкс (соответствующего частоте дискретизации 8000 Гц) между соседними замерами, то есть требует синхронной передачи данных между узлами сети.

При отсутствии синхронности прибывающих замеров исходный сигнал восстанавливается неверно, что приводит к искажению голоса, изображения или другой мультимедийной информации, передаваемой по цифровым сетям. Так, искажение синхронизации в 10 мс может привести к эффекту «эха», а сдвиги между замерами в 200 мс приводят к невозможности распознавания произносимых слов.

В то же время потеря одного замера при соблюдении синхронности между остальными замерами практически не сказывается на воспроизводимом звуке. Это происходит за счет сглаживающих устройств в цифро-аналоговых преобразователях, работа которых основана на свойстве инерционности любого физического сигнала - амплитуда звуковых колебаний не может мгновенно измениться на большую величину.

На качество сигнала после ЦАП влияет не только синхронность поступления на его вход замеров, но и погрешность дискретизации амплитуд этих замеров. В теореме Найквиста-Котельникова предполагается, что амплитуды функции измеряются точно, в то же время использование для их хранения двоичных чисел с ограниченной разрядностью несколько искажает эти амплитуды. Соответственно искажается восстановленный непрерывный сигнал — этот эффект называют шумом дискретизации (по амплитуде).

Вопросы

1. Зачем необходима дискретная модуляция аналоговых сигналов?
2. За счет чего происходит дискретизация по времени?
3. Что такое дискретизация по значениям?
4. Опишите устройство АЦП.
5. Опишите устройство ЦАП.
6. На какой теории основана дискретная модуляция? Опишите эту теорию.
7. Опишите метод импульсно-кодовой модуляции.
8. Что называется элементарным каналом цифровых телефонных сетей?