

Занятие № 9 «Методы кодирования аналоговых источников»

Для передачи непрерывных сигналов можно использовать дискретный канал, преобразуя непрерывный сигнал в цифровой с помощью АЦП, а на приемной стороне цифровой сигнал в непрерывный с помощью ЦАП.

Применение цифровых систем передачи (ЦСП) даёт возможность объединения различных видов связи на единой цифровой основе, а также широко использовать современную элементную базу, обеспечивая стабильность характеристик, надежность, и хорошие массо-габаритные показатели.

1. Теорема Котельникова

В 1933 году В.А. Котельниковым доказана теорема отсчетов, имеющая важное значение в теории связи: непрерывную функцию $s(t)$ с ограниченным спектром можно точно восстановить

(интерполировать) по её отсчётам $s(k\Delta t)$, взятым через интервалы $\Delta t = \frac{1}{(2F)}$, где F – верхняя частота спектра функции.

В соответствии с этой теоремой сигнал $s(t)$ можно представить рядом Котельникова:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s\left(\frac{k}{2F}\right) \frac{\sin 2\pi F \left[t - \frac{k}{2F}\right]}{2\pi F \left[t - \frac{k}{2F}\right]}. \quad (8)$$

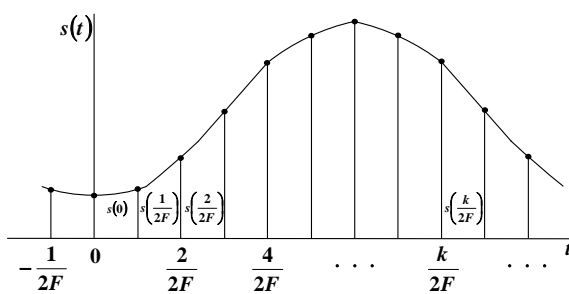


Рис. 5. Временная функция сигнала

Таким образом, функцию $s(t)$, заданную на непрерывной оси времени, можно представить с помощью последовательности $s\left(\frac{k}{2F}\right)$, заданной на дискретных точках $\frac{k}{2F}$ (рис. 5).

Функция вида $\frac{\sin 2\pi F \left[t - \frac{k}{2F}\right]}{2\pi F \left[t - \frac{k}{2F}\right]}$ называется функцией отсчетов. Она характеризуется

следующими свойствами:

функции отсчетов смещены на время $t_c = \frac{k}{2F}$;

если $k = 0$ функция отсчетов имеет максимальное значение при $t = 0$, а в моменты времени

$t = \frac{i}{2F}$ ($i = 1, 2, \dots$) она обращается в нуль (рис. 6);

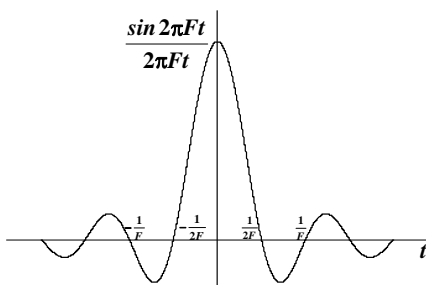


Рис. 6. Функция отсчётов

ширина главного лепестка функции отсчётов на нулевом уровне равна $\frac{1}{F}$, поэтому минимальная длительность импульса, который может существовать на выходе линейной системы с полосой пропускания F , равна $\frac{1}{F}$;

функции отсчётов ортогональны на бесконечном интервале времени.

2. Передача сигналов с импульсно-кодовой модуляцией

Принцип АЦП на основе импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) включает дискретизация во времени, квантование по уровню (амплитуде) и кодирование.

Процесс формирования ИКМ сигнала поясним с помощью упрощенной структурной схемы (рис. 7) и временных диаграмм (рис. 8).

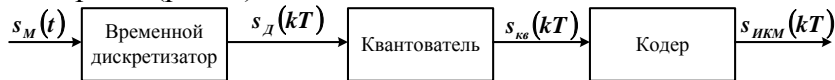


Рис. 7. Обобщенная структурная схема процесса формирования ИКМ сигнала

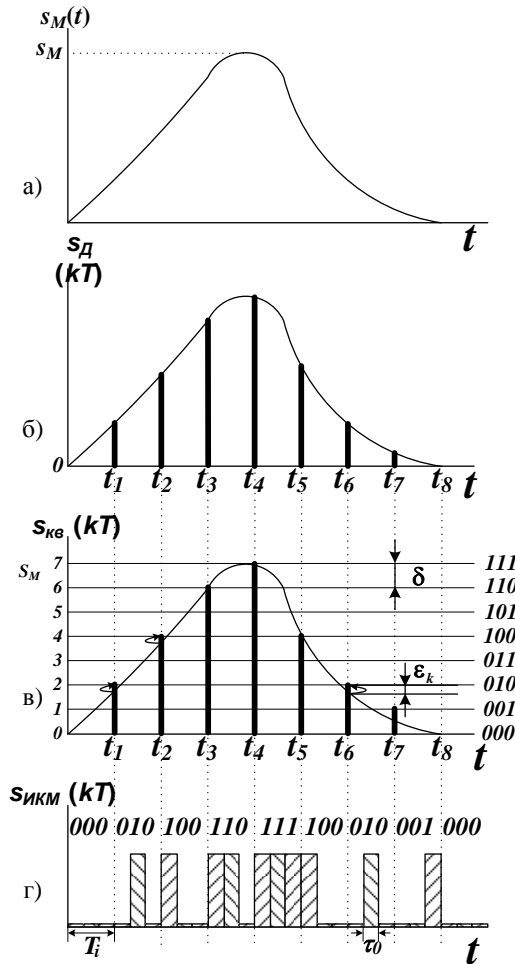


Рис. 8. Формирование ИКМ сигнала

Дискретизация заключается в том, что непрерывный сигнал $s_M(t)$ (рис. 8,а) заменяется отсчетами $s_д(kT)$ (на рис. 8,б), следующими через одинаковые интервалы времени

$$\Delta t = \frac{1}{2F_{max}}.$$

Например, для речевого сигнала, где $F_{max} = 3,4$ кГц, принят стандартный интервал $t = 125$ мкс $2F_{max} \approx 8$ кГц.

Различают равномерное и неравномерное квантование. При квантовании устанавливается количество уровней (L) разрешенных для передачи.

Процесс квантования состоит в следующем: текущие значения сигнала соответствующее моменту отсчета $s_д(kT)$ заменяется ближайшим дискретным значением $s_кв(kT)$ (уровнем), такая операция подобна округлению и приводит к ошибке:

$$\epsilon_{кв}(t) = s_д(kT) - s_кв(kT),$$

где $\epsilon_{кв}(t)$ – шум квантования, величина которого обычно считается случайной, равномерно распределенной в пределах $-0,5\delta \leq \epsilon_{кв} \leq 0,5\delta$.

При равномерном квантовании шаг квантования δ имеет постоянную величину. В системе ИКМ с равномерным квантованием как большие, так и малые сигналы кодируются с одним и тем же шагом квантования. Если выбор шага квантования был ориентирован на малые сигналы, то для

больших сигналов создается избыточное качество воспроизведения. Кроме того, вероятность появления больших сигналов мала. По этим причинам можно считать, что выбранная разрядность кода n не всегда используется эффективно.

Можно реализовать более высокую точность передачи, если применить неравномерное квантование, предполагающее для больших значений входных сигналов увеличение шага квантования. Выбор характеристики квантователя позволяет добиться одинакового качества восстановления сигналов как малой, так и большой величины.

Трудности реализации неравномерного квантования устраняются предварительным нелинейным преобразованием – компрессией («сжатием») аналогового сигнала.

Компрессированные отсчеты сигнала затем подвергаются равномерному квантованию. Для компенсации нелинейного искажения отсчетов на приемной стороне осуществляют их обратное преобразование – экспандирование («растяжение»). Совместный процесс компрессирования и экспандирования называется компандированием сигнала.

Таким образом, компандирование обеспечивает передачу с меньшими шумами квантования сигналов, обладающих малой средней мощностью (с большим пикфактором), например речевых.

При кодировании происходит преобразование квантованных значений $s_кв(kT)$ в n разрядные кодовые комбинации. Например, при количестве уровней $L = 8 = 2^3$, в десятичной

системе счисления этим уровням соответствуют номера от 0 до 7 (рис. 8,в). В двоичной системе счисления им соответствуют трехразрядные кодовые комбинации, в данном случае от 000 до 111 (рис. 8,в). Полученная импульсная последовательность представлена на рис. 8,г.

Повышение разрядности, во-первых, связано с определенными трудностями технической реализации быстродействующих многоразрядных кодеков и, во-вторых, требует значительного увеличения пропускной способности систем связи, что не всегда возможно. Преодоление указанных трудностей возможно, например, за счет применения неравномерного квантования.

Передача сигналов с дельта модуляцией

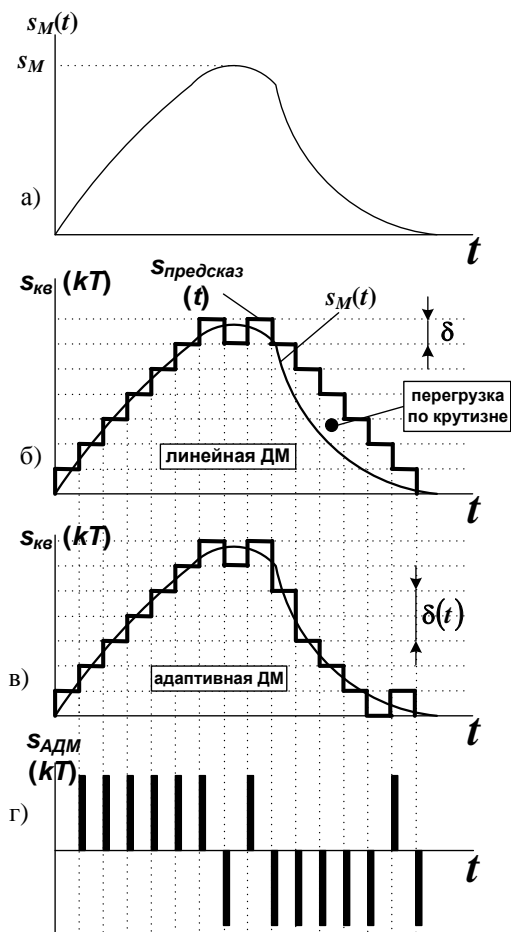


Рис. 9. Формирование ДМ сигнала

Дельта-модуляция (ДМ) – особый вид импульсной модуляции, при которой так же, как и при ИКМ, аналоговый сигнал $s_M(t)$ представляется в виде дискретных отсчетов времени, квантованных по амплитуде. ДМ основана на существовании зависимости между отсчетами в речевом сигнале. При ДМ используется только один разряд для квантования разности соседних отсчетов. В этот разряд записывается полярность разности.

Закон возрастания (уменьшения) величины шага δ для предсказания $s_{np}(kT) = s_{np}((k-1)T) \pm \delta$ выбирается исходя из статистических характеристик передаваемых сообщений. В частности, величина δ может возрастать по линейному закону, по закону геометрической прогрессии, по экспоненциальному закону и другим законам, обеспечивающим требуемую точность передачи информации. При использовании постоянного шага (рис.9,б), необходимо иметь высокую тактовую частоту с целью предотвращения перегрузок по крутизне. Наиболее широко применяются методы адаптивной ДМ, один из которых иллюстрируется на рис. 9,в. При таком методе шаг предсказания δ меняется автоматически в соответствии с законом изменения крутизны (производной) сигнала $s_M(t)$. На рис. 9,в показано, что участку сигнала с большой крутизной соответствуют большие шаги квантования, что позволяет устранить искажения.

3. Импульсные методы передачи непрерывных сигналов

При импульсной модуляции несущее колебание имеет характер периодической последовательности импульсов (рис. 10,б) и может быть записано следующим выражением:

$$s_H(t) = s_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_1(t - t_0 - kT_i), \quad (9)$$

где $s_1(t)$ – функция, описывающая форму одиночного импульса, это последовательность, в которой $s_1(t)$ чаще всего прямоугольный однополярный импульс, характеризующийся параметрами:

амплитудой импульса s_0 ;

длительностью импульса τ_0 ;

начальной фазой t_0 ;

частотой повторения (тактовая частота) $F_i = \frac{1}{T_i}$, обычно $T_i \gg \tau_0$.

В зависимости от параметра импульса, который подвергается модуляции различают четыре основных вида модуляции: амплитудно-импульсная (АИМ), длительно-импульсная модуляция (ДИМ) (широотно-импульсная (ШИМ)), частотно-импульсная (ЧИМ) и фазоимпульсная (ФИМ).

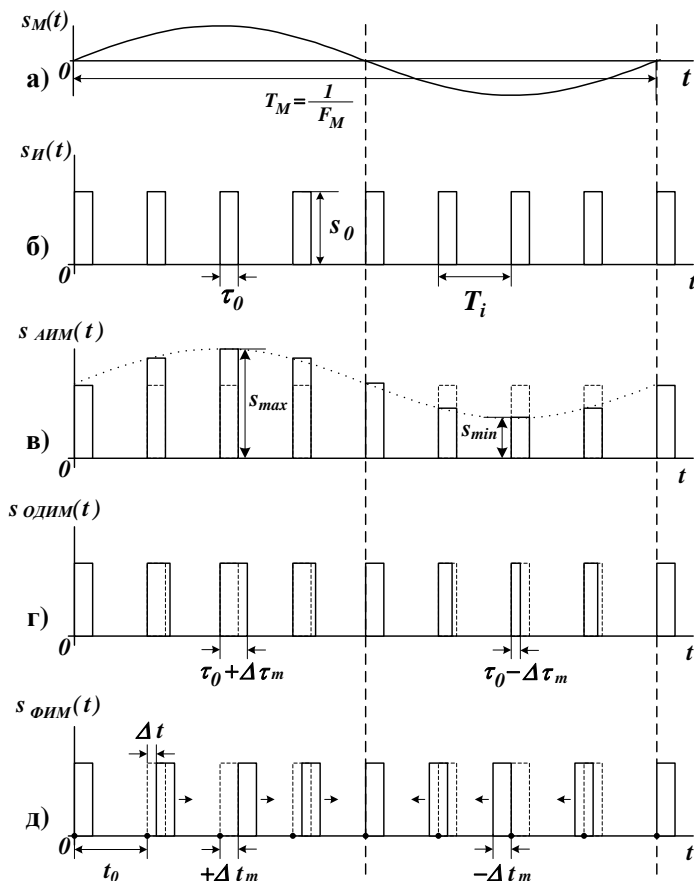


Рис. 10. Временные диаграммы

При любом виде импульсной модуляции передача непрерывного модулирующего сигнала осуществляется отдельными импульсами. Чем чаще следуют импульсы в несущем колебании, тем меньше интервал T_i , а значит, тем точнее отображается сам модулирующий сигнал.

Частота повторения импульсов находится исходя из необходимой точности восстановления непрерывного колебания $s_M(t)$ при его демодуляции. Минимальное значение частоты повторения

определяется теоремой Котельникова $F_{min} = \frac{1}{\Delta t} = 2F_B$ где F_B – максимальная частота в спектре $s_M(t)$. Так, для передачи телефонного сигнала с $F_B = 3400$ Гц значение

$\Delta t \leq \frac{1}{2 \cdot 3400} \leq 147$ мксек. Обычно частоту следования импульсов берут с некоторым запасом

$F_B = 8$ кГц, что соответствует $\Delta t = 125$ мксек. Длительность самих импульсов в современных системах связи исчисляется долями микросекунды.

Рассмотрим, как формируется импульсно-модулированное колебание.

В импульсных системах связи, используют высокочастотное колебание, при этом модуляция осуществляется в два этапа сначала модулирующее колебание $s_M(t)$ управляет информационным параметром периодической последовательности видеоимпульсов, выполняющей роль промежуточного переносчика. В результате образуется модулированная последовательность видеоимпульсов (рис. 10,в,г,д). На втором этапе полученная модулированная последовательность видеоимпульсов используется для манипуляции гармонического высокочастотного несущего колебания. Тем самым осуществляется перенос модулированных видеоимпульсов на частоту несущего колебания Ω_i . В этом случае получается двойная модуляция. Чаще всего применяется вторичная амплитудная манипуляция. Колебания с двойной модуляцией сокращенно обозначаются пятью буквами, например ФИМ–АМ (фазоимпульсная модуляция и вторичная амплитудная манипуляция), АИМ–АМ.

Рассмотрим пример формирования импульсно модулированных сигналов, если в качестве модулирующего сигнала взять гармоническое колебание $s_M(t)$ (рис. 10,а), а в качестве несущего периодическую последовательность импульсов вида (9) (рис. 10,б).

При АИМ (рис. 10,в) пропорционально модулирующему колебанию $s_M(t)$ изменяется амплитуда импульсов, а прочие параметры остаются неизменными.

При ДИМ (ШИМ) (рис. 10,г) пропорционально модулирующему колебанию $s_M(t)$ изменяется длительность (ширина) импульсов. Возможны два метода: ОДИМ (односторонняя ДИМ) и ДДИМ (двухсторонняя ДИМ). При ОДИМ перемещается один из фронтов, а второй при этом фиксированный. При ДДИМ изменяются два фронта, а положение середины не меняется.

При ФИМ (рис. 10,д) пропорционально модулирующему колебанию $s_M(t)$ изменяется начальная фаза, т.е. положение импульса на временной оси относительно тактовых точек.

При ЧИМ – частота следования импульсов.