

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

Понятие цифровой обработки

До этого мы работали с аналоговыми (непрерывными) сигналами: спектральный анализ аналоговых сигналов, аналоговая обработка сигналов с помощью электрических цепей.

В современной радиотехнике широко распространена цифровая обработка сигналов (ЦОС). С помощью цифровых устройств можно реализовать очень сложные алгоритмы обработки сигналов, которые трудно, а часто даже невозможно реализовать, используя обычную аналоговую технику. После обработки сигнала может потребоваться его преобразование в аналоговую форму. В связи с этим дискретные, квантованные и цифровые сигналы обычно рассматриваются во взаимосвязи с соответствующими им аналоговыми сигналами.

Преимущества устройств ЦОС перед аналоговыми системами:

- многофункциональность — на одной аппаратуре можно осуществлять разные виды обработки;
- отсутствие принципиальных ограничений на сложность алгоритма обработки;
- абсолютная повторяемость при многократной реализации;
- точность, быстродействие, большой объём обрабатываемых данных.

Любая система цифровой обработки сигналов независимо от ее сложности содержит цифровое вычислительное устройство — универсальную цифровую вычислительную машину, микропроцессор или специально разработанное для решения конкретной задачи вычислительное устройство. Сигнал, поступающий на вход вычислительного устройства, должен быть преобразован к виду, пригодному для обработки на ЭЦВМ.

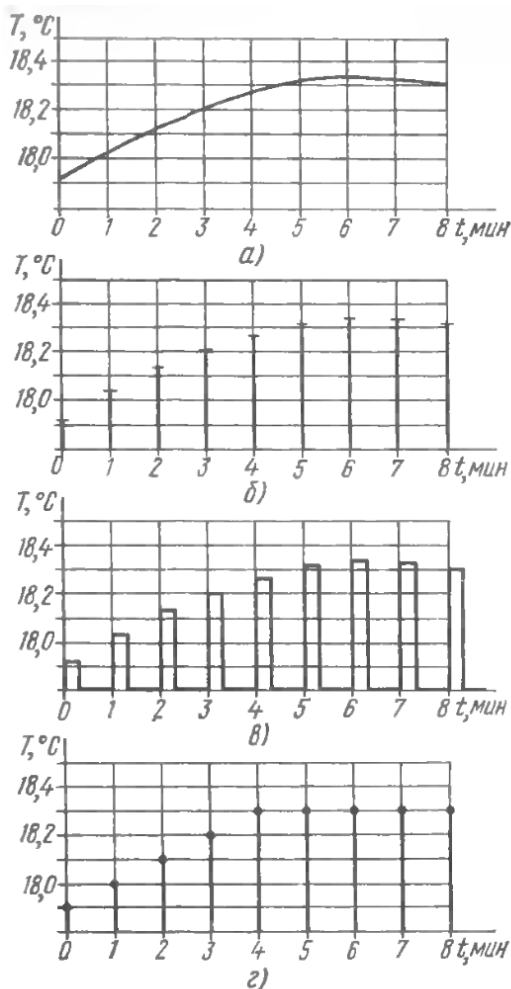


Рис. 1. – Виды сигналов:
 а – непрерывный, б – дискретный,
 в – АИМ-колебание, г - квантованный

Аналоговый сигнал (рис. 1. а) непрерывен – определён в любой момент времени. Дискретный сигнал (рис. 1. б) – последовательность, элементы которой точно равны значениям исходного непрерывного сигнала, в фиксированные моменты времени (дискретизация по времени) (nT). Цифровой (квантованный) сигнал - (рис. 1. г) – дискретный сигнал, значение которого в фиксированные моменты времени не в точности равны значению непрерывного, а одному из разрешённых уровней (дискретизация по уровню). Т.е. значение аналогового сигнала округляется до ближайшего разрешённого уровня, как в меньшую, так и в большую сторону. Это обусловлено ограниченной памятью цифровых устройств и требуемым быстродействием. На рисунке 1.б показан идеализированный дискретный сигнал, где в качестве дискретным импульсом является дельта импульс. В реальных системах невозможно добиться импульса бесконечно малой длительности, поэтому, фактически дискретный сигнал является *амплитудно-импульсно-модулированным* (АИМ), т.е. амплитуда отдельных прямоугольных импульсов изменяется в соответствии с изначальным сигналом. Импульсная модуляция – изменение какого-либо параметра (амплитуда, фаза и т.д.) серии импульсов под действием сообщения. Сигнал на рисунке 1.г, это не конечная форма цифрового сигнала, так как она всё ещё непонятна вычислительному устройству. Следующим этапом является кодирование (рис. 2).

Каждому уровню квантования соответствует определённый номер, кодируемый двоичным кодом. Число уровней соответствует $M = 2^m$, где m -

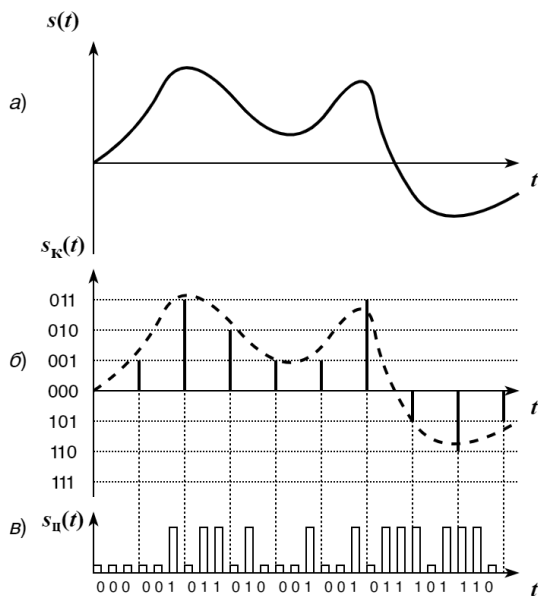


Рис. 2. – Представление сигнала в виде двоичной последовательности

число разрядов (бит), выделенных на кодирование. Одной из характеристик устройства, выполняющего оцифровку – аналого-цифрового преобразователя – является разрядность, т.е. количество доступных уровней и, соответственно, точность оцифровки.

Виды цифровых сигналов

Амплитудно-импульсная модуляция

Переносчиком сообщения в амплитудно-импульсной модуляции является серия прямоугольных импульсов. Под воздействием мгновенных значений сообщения амплитуда импульсов переносчика изменяется (рис. 1.в).

Широтно-импульсная модуляция

При широтно-импульсной модуляции (ШИМ) под действием мгновен-

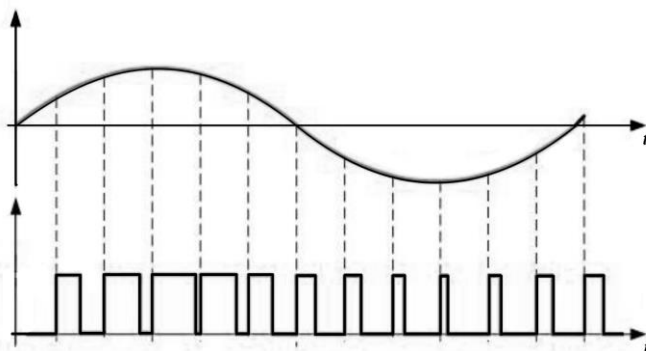


Рис. 3. – ШИМ сигнал

ных значений сообщения изменяется длительность или ширина импульсов переносчика (рис. 3). Например, расширяясь при увеличении мгновенного значения сообщения и сужаясь при его уменьшении (за счёт положения заднего фронта импульса – изменя-

ется скважность каждого отдельного такта). Частота и амплитуда импульсов при ШИМ не изменяются.

Время-импульсная модуляция

При *временной-импульсной модуляции* (ВИМ) происходит смещение импульсов во времени относительно тактовых точек на величину, пропорциональную амплитуде передаваемого сигнала. Различают два вида ВИМ: фазоимпульсная модуляция (ФИМ) и частотно-импульсная модуляция (ЧИМ).

При ФИМ величина сдвига импульсов относительно тактовых точек определяется амплитудой отсчетных значений исходного сигнала.

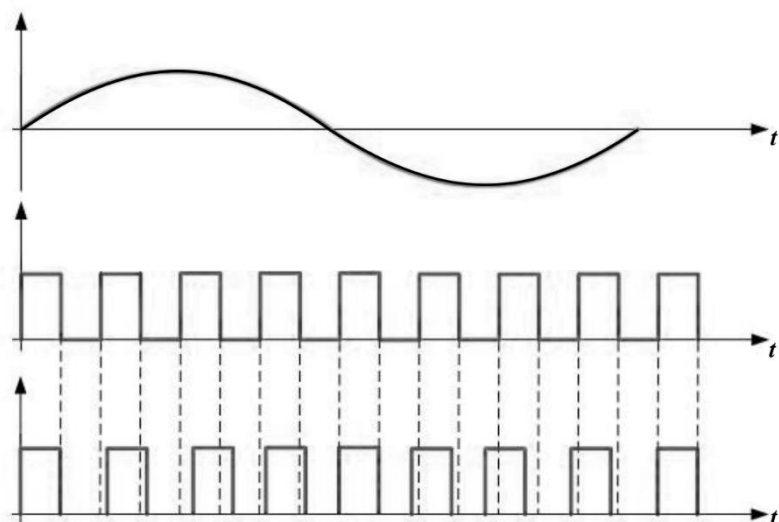


Рис. 4. – ФИМ сигнал

При ЧИМ частота следования импульсов пропорциональна амплитуде отсчетных значений исходного сигнала.

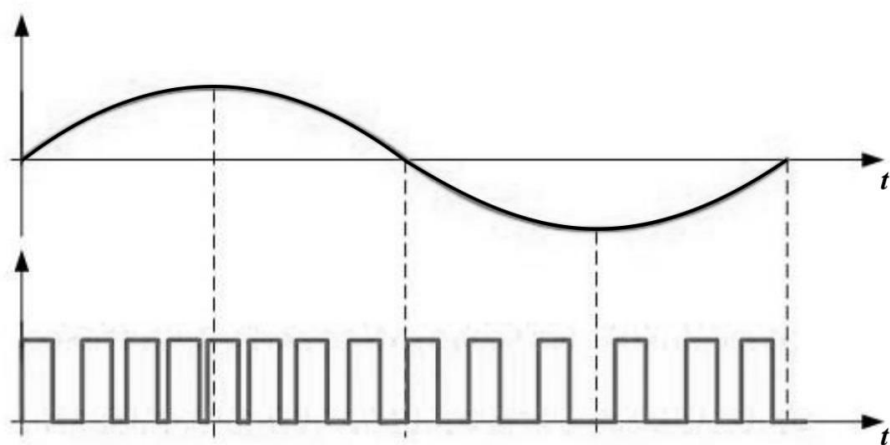


Рис. 5. – ЧИМ сигнал

Кодоимпульсная модуляция

Сообщение при кодоимпульсной модуляции (КИМ) квантуется по времени и уровню (рис. 6). Полученные значения передаются в дискретные моменты времени.

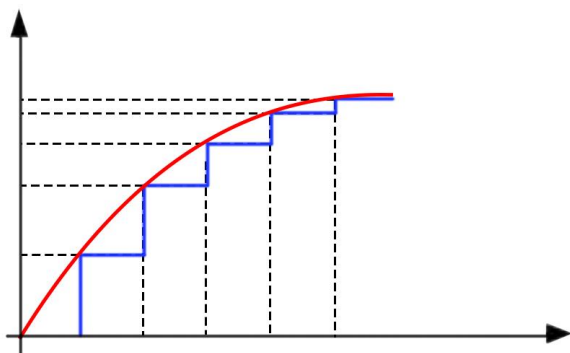


Рис. 6. – КИМ сигнал

Амплитудно-импульсная модуляция

Различают амплитудно-импульсную модуляцию первого рода (АИМ-1) и модуляцию второго рода (АИМ-2). Кодоимпульсную модуляцию иногда называют АИМ третьего рода.

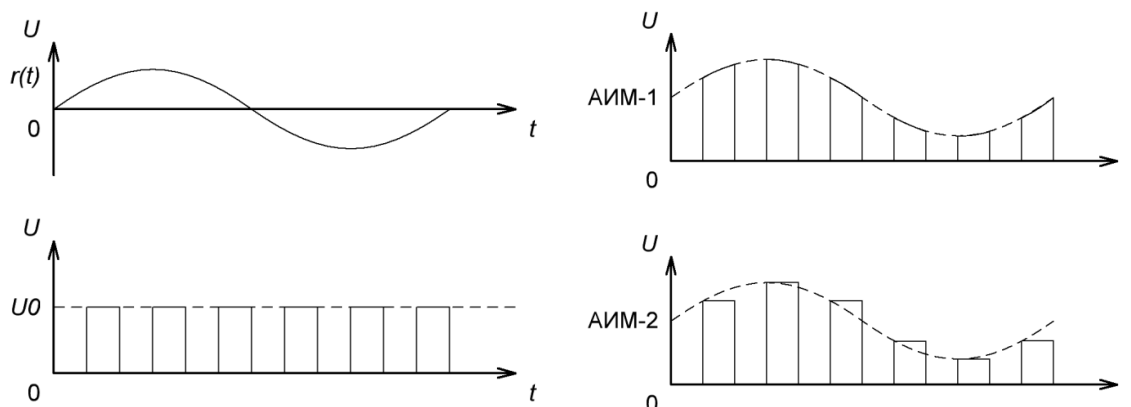


Рис. 7. – Виды АИМ

При АИМ-1 амплитуда импульса следует изменению модулирующей функции в течение всего времени существования этого импульса (рис. 7). В случае АИМ-2 амплитудная модуляция импульсов определяется мгновенными значениями функции сообщения. Амплитуда импульсов в этом случае пропорциональна мгновенному значению модулирующей функции в момент времени, соответствующий началу нового такта, и сохраняется постоянной во время импульса.

Математически АИМ-1 записывается как простое перемножение модулирующего колебания и выражения несущей кодовой последовательности:

$$s_{\text{НИП}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-nT}{\tau_u}\right);$$

$$s(t) = A \cos(\Omega t);$$

$$s_{\text{аим}}(t) = s_{\text{НИП}}(t) \cdot s(t).$$

Математическая запись АИМ-2:

$$s_{\text{аим}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-nT}{\tau_u}\right) \cdot s(nT).$$

Здесь $s(nT)$ выступает в качестве коэффициента, определяющего амплитуду импульса, равную значению модулирующего колебания в момент времени, соответствующий началу нового импульса НИП.

Если длительность импульсов $\tau_0 \ll T$ (сильно меньше периода НИП), то различие между АИМ-1 и АИМ-2 становится несущественным.

Спектр АИМ

Спектра АИМ сигнала можно найти воспользовавшись теоремой о спектре произведения сигналов.

$$s_1(t) \leftrightarrow S_1(\omega); \quad s_2(t) \leftrightarrow S_2(\omega);$$

$$s_1(t) \cdot s_2(t) = \frac{1}{2\pi} S_1(\omega) \otimes S_2(\omega),$$

где \otimes - символическая запись операции свертки:

$$S_1(\omega) \otimes S_2(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(x) S_2(\omega - x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\omega - x) S_2(x) dx.$$

Тогда

$$S_{\text{аим}}(j\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) S_{\text{нип}}(j(\omega - z)) dz.$$

Пример

Запишем выражение для НИП через ряд Фурье:

$$s_{\text{нип}}(t) = \frac{V_0 \tau_0}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \text{sinc}\left(\frac{k\omega_d \tau_0}{2}\right) e^{jk\omega_d t}$$

Реальный дискретный сигнал:

$$S_{\text{аим}}(t) = s(t) s_{\text{нип}}(t) = \frac{V_0 \tau_0}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \text{sinc}\left(\frac{k\omega_d \tau_0}{2}\right) s(t) e^{jk\omega_d t},$$

где $s(t)$ – модулирующий сигнал.

Тогда спектр:

$$\begin{aligned} S_d(\omega) &= F\{s_d(t)\} = \\ &= F\left\{\frac{V_0 \tau_0}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \text{sinc}\left(\frac{k\omega_d \tau_0}{2}\right) s(t) e^{jk\omega_d t}\right\} = \\ &= \frac{V_0 \tau_0}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \text{sinc}\left(\frac{k\omega_d \tau_0}{2}\right) F\{s(t) e^{jk\omega_d t}\} = \\ &= \frac{V_0 \tau_0}{T} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \text{sinc}\left(\frac{k\omega_d \tau_0}{2}\right) S(\omega - k\omega_d). \end{aligned}$$

Т.е. спектр реального дискретного АИМ сигнал представляет собой повторяющиеся через ω_d (частота дискретизации) копии спектра модулирующего (информационного) сигнала, и коэффициентом амплитуды этих копий, определяемым через выражение для спектра элемента НИП. Например, для информационного сообщения, описываемого функцией $\text{sinc}(x)$ и НИП из прямоугольных импульсов вид спектров будет следующим.

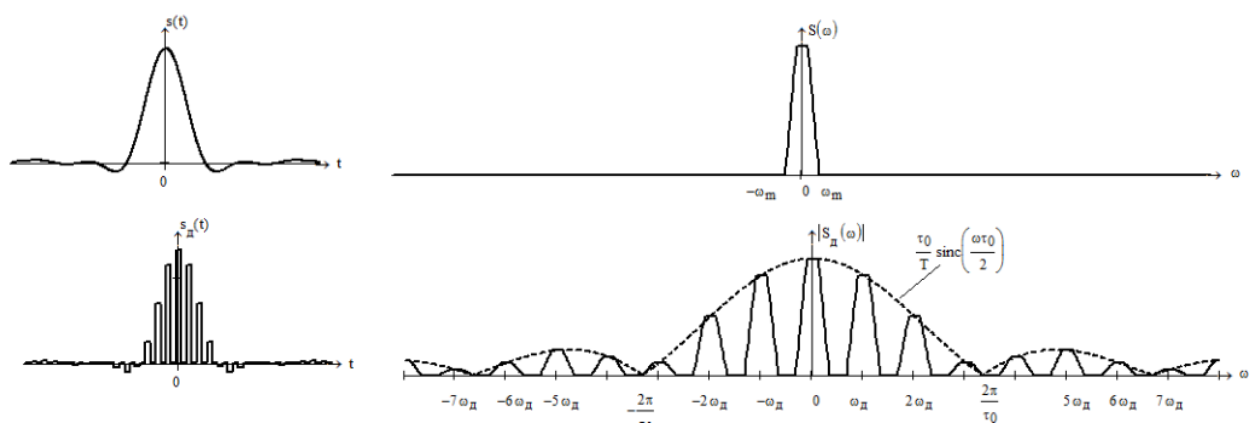


Рис. 8. – Спектры аналогово (сверху) и реального дискретного сигналов (снизу)