

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:
Д.Н. Борисов,
Н.Н. Винокурова

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2010

Содержание

Введение.....	5
1. Описание сигналов и обобщенная схема ЦОС.....	6
1.1. Основные типы сигналов.....	6
1.2. Математические модели дискретных сигналов.....	7
1.3. Типовые дискретные сигналы.....	9
1.4. Обобщенная схема цифровой обработки сигналов.....	12
2. Преобразования дискретных сигналов.....	15
2.1. Ряд Фурье.....	16
2.2. Преобразование Фурье.....	17
2.3. ДПФ и обратное ДПФ.....	19
2.4. Дискретное косинус-преобразование.....	20
2.5. Преобразование Уолша.....	21
2.6. Преобразование Адамара.....	23
2.7. Вейвлетное преобразование.....	24
3. Применение z-преобразования.....	27
3.1. Системы дискретного времени.....	27
3.2. Прямое и обратное z-преобразование.....	28
3.2.1. Метод степенных рядов.....	29
3.2.2. Метод разложения на элементарные дроби.....	30
3.2.3. Метод вычетов.....	31
3.2.4. Сравнение методов обратного z-преобразования.....	31
3.3. Свойства z-преобразования.....	32
3.4. Описание систем дискретного времени с помощью полюсов и нулей.....	32
3.5. Исследование устойчивости.....	34
3.6. Разностные уравнения.....	35
3.7. Оценка импульсной характеристики.....	36
4. Корреляция и свертка.....	36
4.1. Описание корреляции.....	37
4.2. Описание свертки.....	40
4.3. Свойства свертки.....	43
4.4. Идентификация систем.....	43
4.5. Обращение свертки.....	44
4.6. Слепое обращение свертки.....	44
5. Разработка цифровых фильтров.....	46
5.1. Типы цифровых фильтров: КИХ- и БИХ-фильтры.....	46
5.2. Выбор между КИХ- и БИХ-фильтрами.....	47
5.3. Этапы разработки фильтра.....	48
5.3.1. Спецификация требований.....	49
5.3.2. Расчет коэффициентов.....	51
5.3.3. Представление фильтра подходящей структурой.....	52

1. ОПИСАНИЕ СИГНАЛОВ И ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА ЦОС

1.1. Основные типы сигналов

К основным типам сигналов относят аналоговый, дискретный и цифровой.

Аналоговые сигналы описываются непрерывными и кусочно-непрерывными функциями $x(t)$, причем как сама функция, так и ее аргумент могут принимать любые значения в пределах некоторых интервалов $t_1 \leq t \leq t_2$, $x_1 \leq x \leq x_2$ (рис. 1.1а).

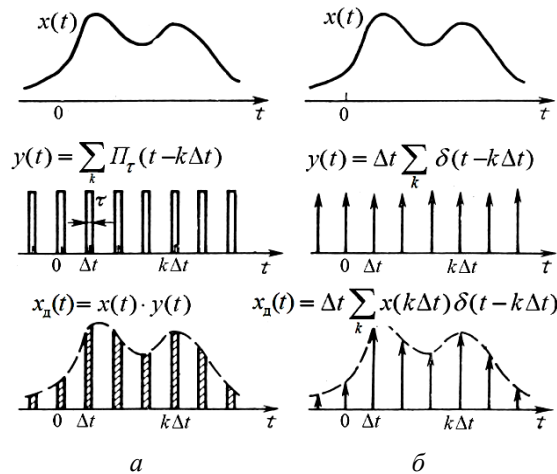


Рис. 1.1. Дискретизация сигнала

Дискретные сигналы $x_d(t)$ образуются путём умножения аналогового сигнала $x(t)$ на так называемую функцию дискретизации $y(t)$, представляющую собой периодическую последовательность коротких импульсов, следующих с шагом дискретизации Δt (рис. 1а). В идеальном случае в качестве функции дискретизации используется периодическая последовательность дельта-функций (рис. 1.1б).

Интервал $T = k\Delta t$ называют периодом дискретизации, а обратную величину – частотой дискретизации.

$$f_n = \frac{1}{T}.$$

Значения последовательности в моменты времени nT называют отсчетами. Дискретный сигнал может быть как вещественным, так и комплексным. В последнем случае его вещественная и мнимая части описываются вещественными последовательностями

$$x(nT) = x_1(nT) + jx_2(nT).$$

Цифровой сигнал $x_n(t)$ описывается квантованной решетчатой функцией (рис. 1.2), т. е. решетчатой функцией, принимающей лишь ряд дискретных уровней – уровней квантования $m q$, где q – шаг квантования по уровню, а m – номер интервала квантования, $m = 0, 1, 2, \dots, M - 1$, $M = 2^n$, n – целое положительное число.

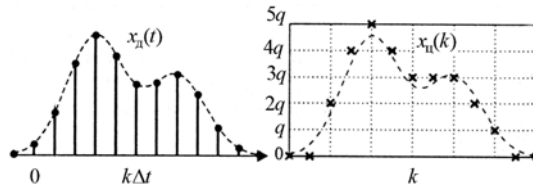


Рис. 1.2. Цифровой сигнал

Цифровой сигнал представляется последовательностями чисел, имеющих ограниченное количество разрядов.

При описании дискретных и цифровых сигналов иногда пользуются нормированным временем i

$$i = \frac{t}{T},$$

которое при $t = nT$ имеет смысл номера отсчета n

$$i = \frac{t}{T} = \frac{nT}{T} = n$$

и означает, что отсчет взят в момент nT . Это позволяет описывать дискретный сигнал функцией целочисленной переменной $x(n)$ и считать тождественными обозначения дискретного сигнала $x(n)$ и $x(nT)$; $x(nT) \equiv x[n]$.

1.2. Математические модели дискретных сигналов

Математически дискретный сигнал определяют:

- функцией дискретного времени nT_d : $x(nT_d) = x(t)|_{t=nT_d}$, $n = 0, 1, 2, \dots$, соответствующей выборкам аналогового сигнала в дискретные периодически повторяющиеся моменты времени;
- функцией номера выборки n : $x(n) = x(nT_d)|_{T_d=1}$, в общем случае не связанной со временем;
- функцией непрерывного времени t :

$$x(t) = x(t)f_\delta(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_d) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_d) \delta(t - nT_d) \quad (1.1)$$

получаемой умножением аналогового сигнала $x(t)$ на дискретизирующую функцию $f_\delta(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_d)$ в виде периодической последовательности δ импульсов с периодом, равным T_d :

$$\delta(t - nT_d) = \begin{cases} \infty, & t = nT_d, \\ 0, & t \neq nT_d. \end{cases}$$

Графически дискретные сигналы представляются функцией номера выборки n или дискретного времени nT_d (рис. 1.3). Приводимую на графе-

как функцию непрерывного времени отождествляют либо с аналоговым сигналом $x(t)$, соответствующим дискретному сигналу $x(nT_d)$, либо с некоторой условной огибающей дискретной последовательности $x(n)$, более наглядно отображающей ее функциональную зависимость.

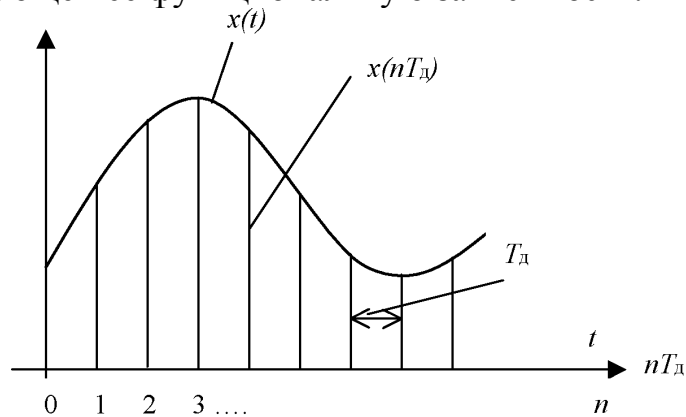


Рис. 1.3. График непрерывного $x(t)$ и дискретного $x(nT_d)$ сигнала

Сигналы $x_d(t)$ и $x(nT_d)$ связаны линейным соотношением

$$x(nT_d) = \int_{(n-0.5)T_d}^{(n+0.5)T_d} x_d(t) dt$$

и имеют одинаковые свойства (но разные размерности).

Сигналы, представленные функцией номера выборки n , называют также числовыми последовательностями. Определение дискретного сигнала функцией непрерывного времени (1.1) эквивалентно балансной модуляции или взвешиванию площади периодически следующих δ -импульсов $f_\delta(t)$ дискретизируемым сигналом $x(t)$ или его выборками $x(nT_d)$ (рис. 1.4). Это определение позволяет с помощью известных методов описания аналоговых сигналов и систем получить математические описания и сопоставить свойства соответствующих им дискретных сигналов и систем.

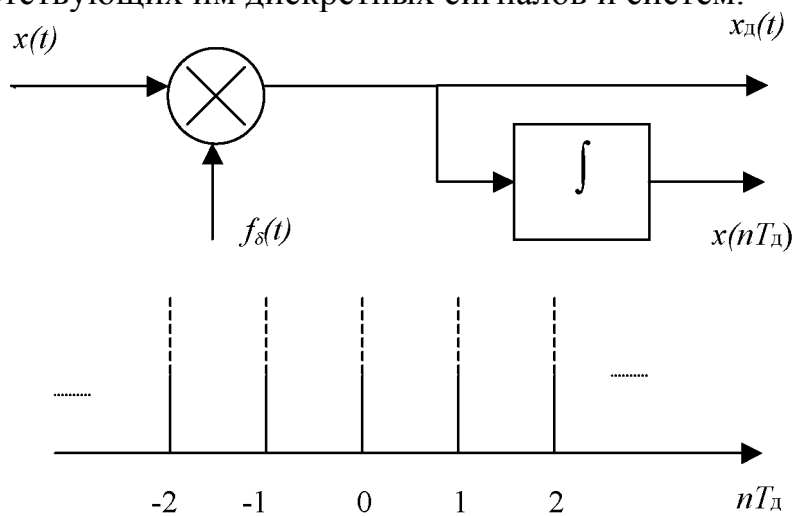


Рис. 1.4. Эквивалентная схема дискретизации сигнала по времени