

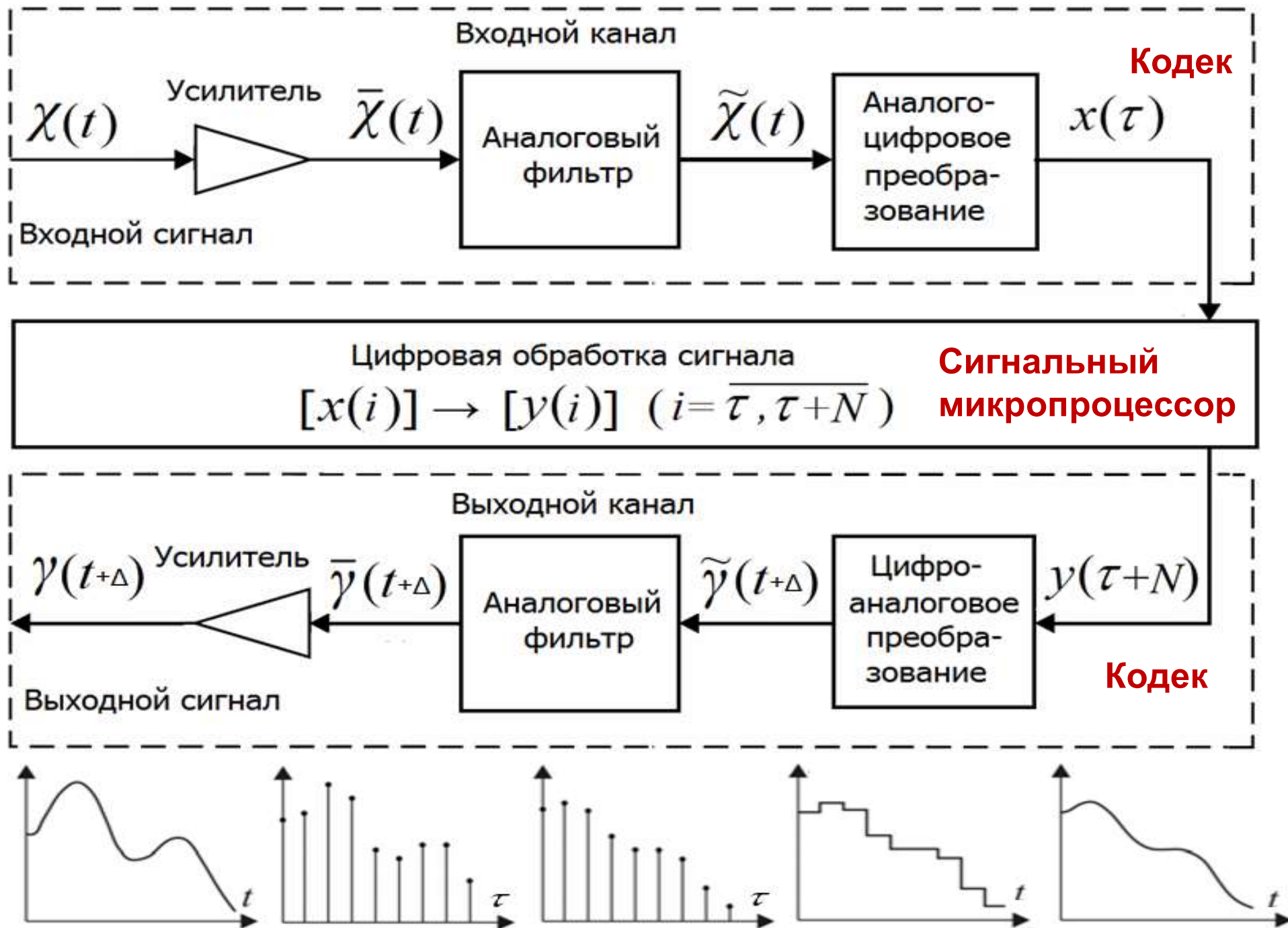


Микропроцессорные устройства обработки сигналов

Лекция L02
«Методы обработки сигналов»

<http://vykhovanets.ru/course67/>

Обработка сигналов



Сигналы

- **Сигнал** – физический процесс, протекающий во времени и отражающий состояние некоторого объекта наблюдения
- **Аналоговый сигнал** – непрерывная функция времени:

$$\chi(t) \in [\chi_{\min}, \chi_{\max}]; \quad t \in [t_{\min}, t_{\max}].$$

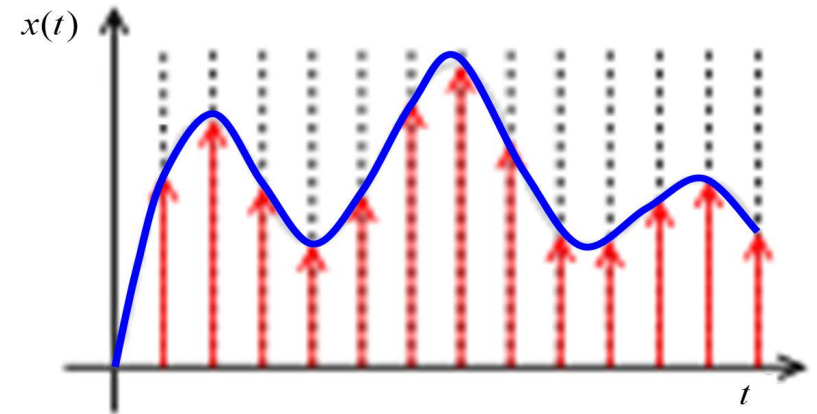
- **Дискретный сигнал** – последовательность отсчетов аналогового сигнала в дискретные моменты времени с дискретными значениями: $x(\tau) \in \overline{0, L-1} \quad (\tau = \overline{0, N-1})$.

Дискретизация

- **Квантование по времени**

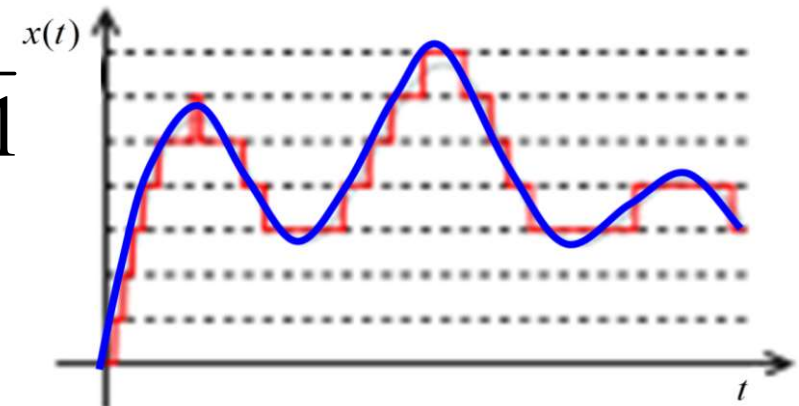
$$\chi(t) \in [\chi_{\min}, \chi_{\max}], \quad t \in [t_{\min}, t_{\max}]$$

$$\Rightarrow \chi(\tau) \in [\chi_{\min}, \chi_{\max}] \quad (\tau = \overline{0, N-1})$$



- **Квантование по уровню**

$$\chi(\tau) \in [\chi_{\min}, \chi_{\max}] \Rightarrow x(\tau) \in \overline{0, L-1}$$

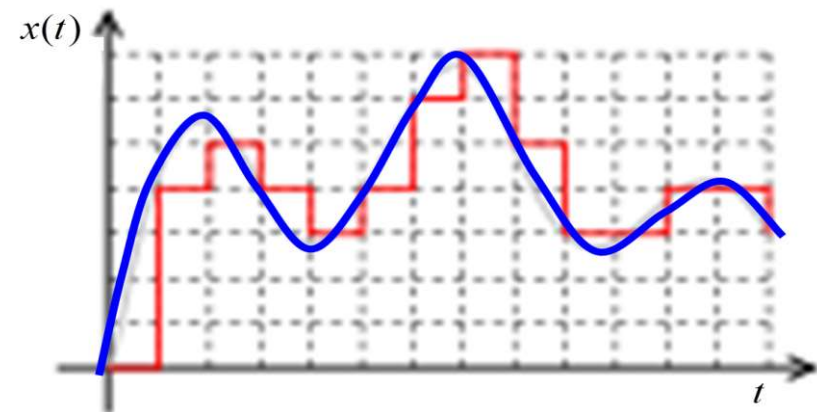


- **Дискретный сигнал**

$$x(\tau) \in \overline{0, L-1} \quad (\tau = \overline{0, N-1})$$

$$t = t_{\min} + \tau T, \quad T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{N}$$

$$\chi = \chi_{\min} + x D, \quad D = \frac{\chi_{\max} - \chi_{\min}}{L}$$



Цифровая обработка

$$x(0), x(1), \dots, x(N-1) \Rightarrow y(0), y(1), \dots, y(M-1)$$

- **Передискретизация** – изменение частоты дискретизации (многоскоростная обработка)
- **Преобразование** – функциональное преобразование сигнала по одному отсчету
- **Корреляция** – проверка степени линейной зависимости сигналов
- **Фильтрация (не)рекурсивная** – нелинейная (линейная) обработка сигнала
- **Фильтрация адаптивная** – фильтрация с изменением характеристик фильтра
- **Спектральная обработка** – обработка сигнала в спектральной области

Передискретизация

$$x(0), x(1), \dots, x(N-1) \Rightarrow y(0), y(1), \dots, y(M-1)$$

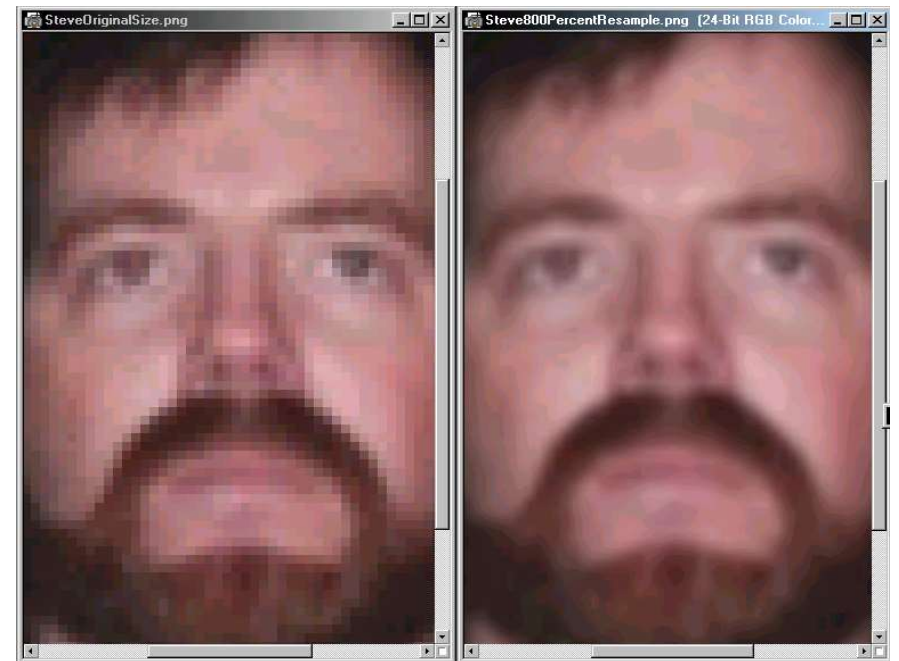


- **Интерполяция** –
увеличение частоты
дискретизации,

$$N < M.$$

- **Децимация** –
уменьшение частоты
дискретизации,

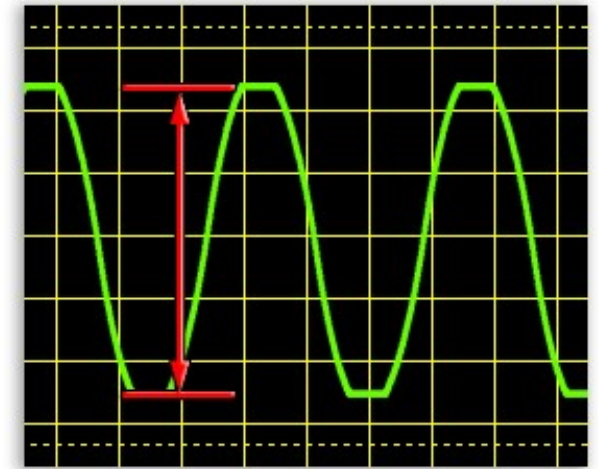
$$N > M.$$



Преобразования

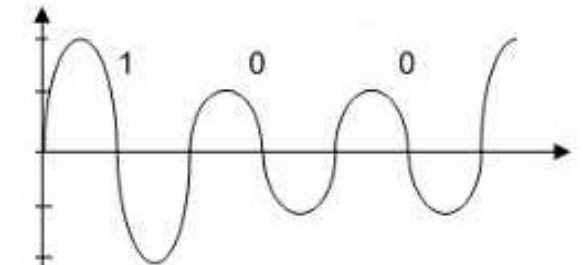
- **Нелинейное преобразование**

$$y(\tau) = f(x(\tau)) \quad (\tau = \overline{0, N-1})$$



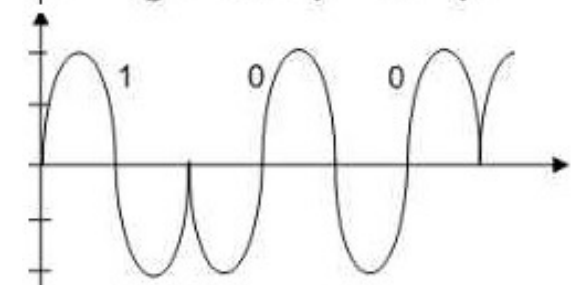
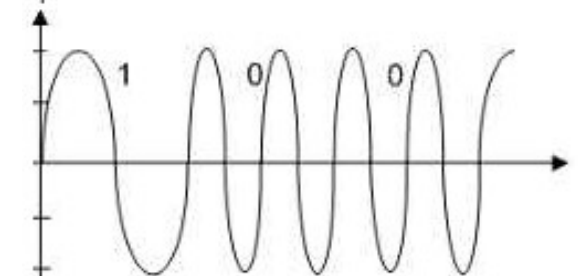
- **Модуляция**

$$y(\tau) = f(x(\tau), m(\tau)) \quad (\tau = \overline{0, N-1})$$



- **Манипуляция**

$$y(\tau) = f(x(\tau), b(\tau)) \quad (\tau = \overline{0, N-1})$$



Корреляция

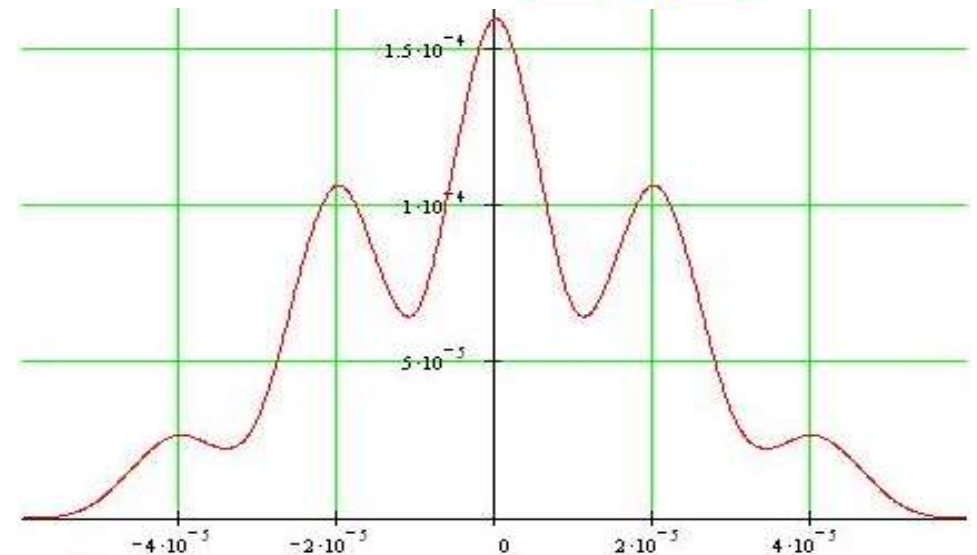
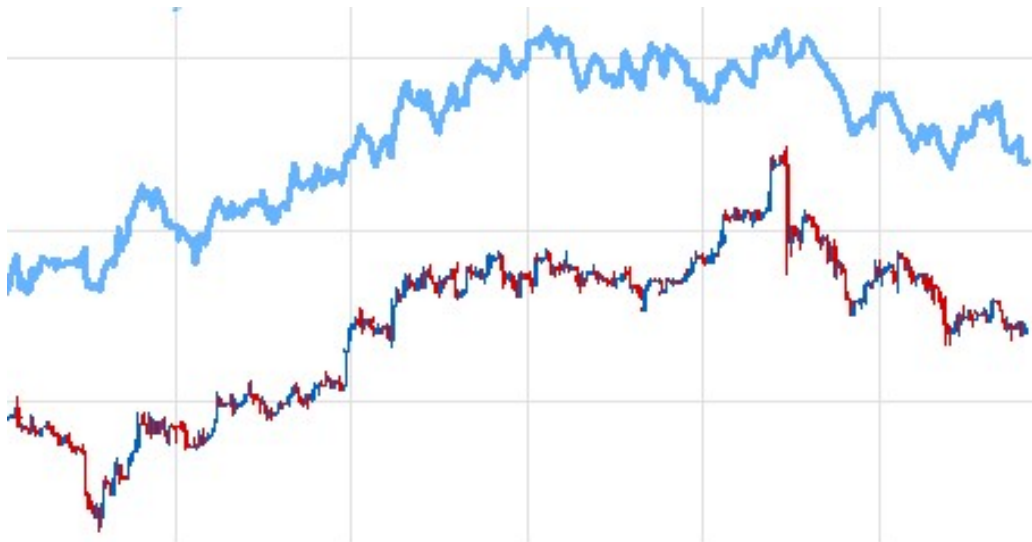
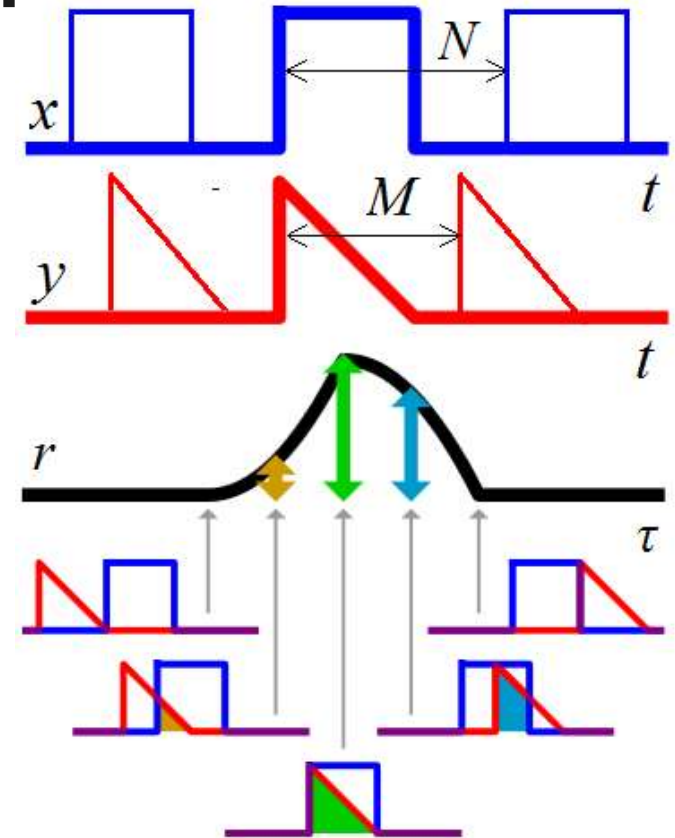
$$r(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{K-\tau-1} x(\tau + k) \times y(k)$$

$$(\tau = \overline{0, K-1})$$

$$K = N + M - 1$$

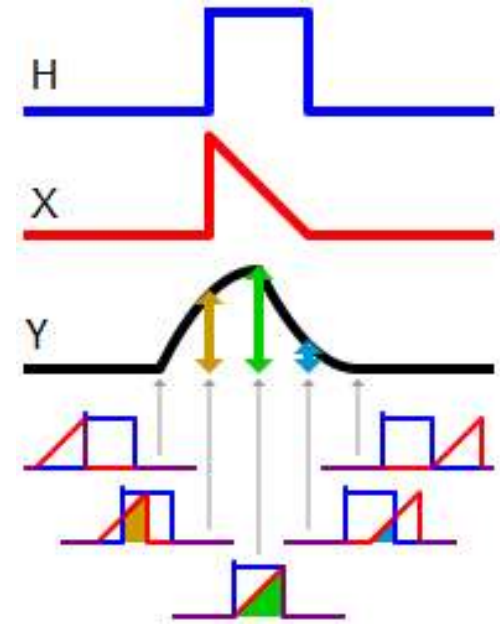
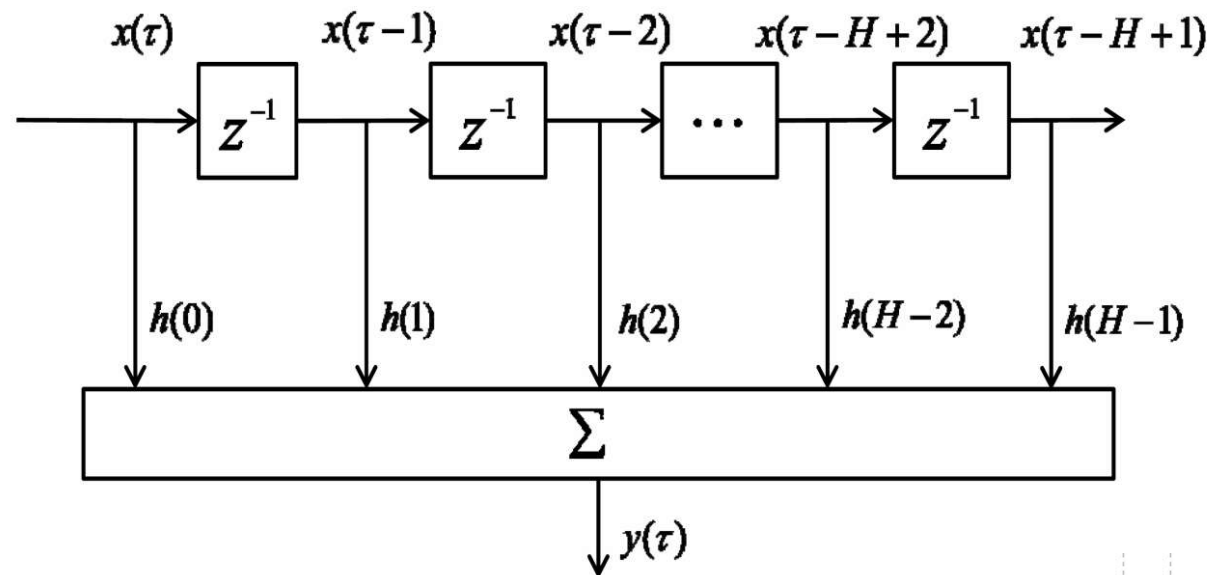
$$x(i \pm N) = x(i) \quad (i = \overline{0, N-1})$$

$$y(j \pm M) = y(j) \quad (j = \overline{0, M-1})$$

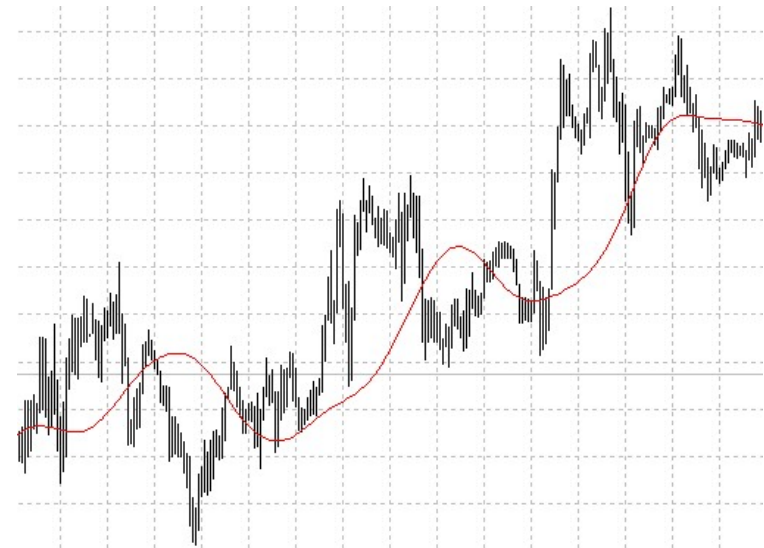
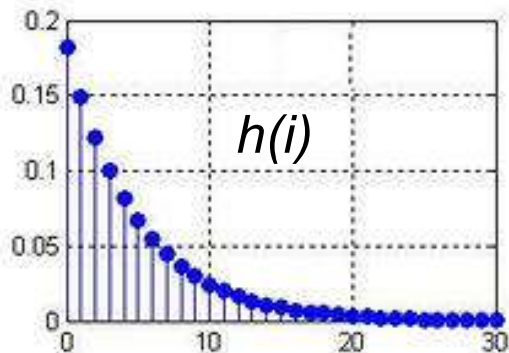


Нерекурсивная фильтрация

$$y(\tau) = \sum_{i=0}^{H-1} h(i) \times x(\tau - i) \quad (\tau = \overline{0, N-1})$$

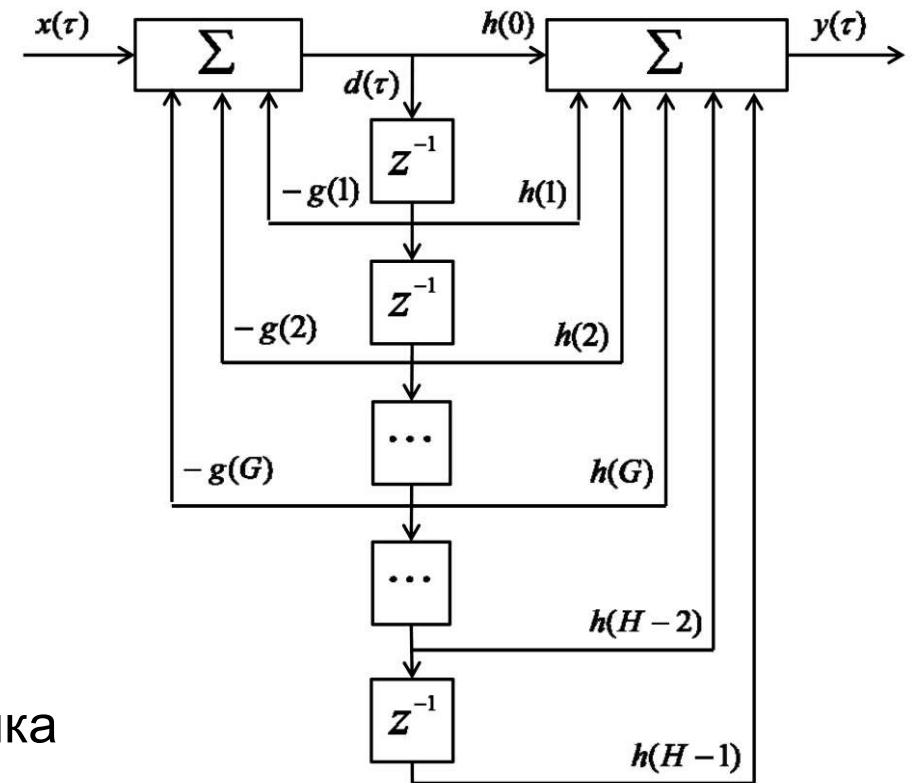
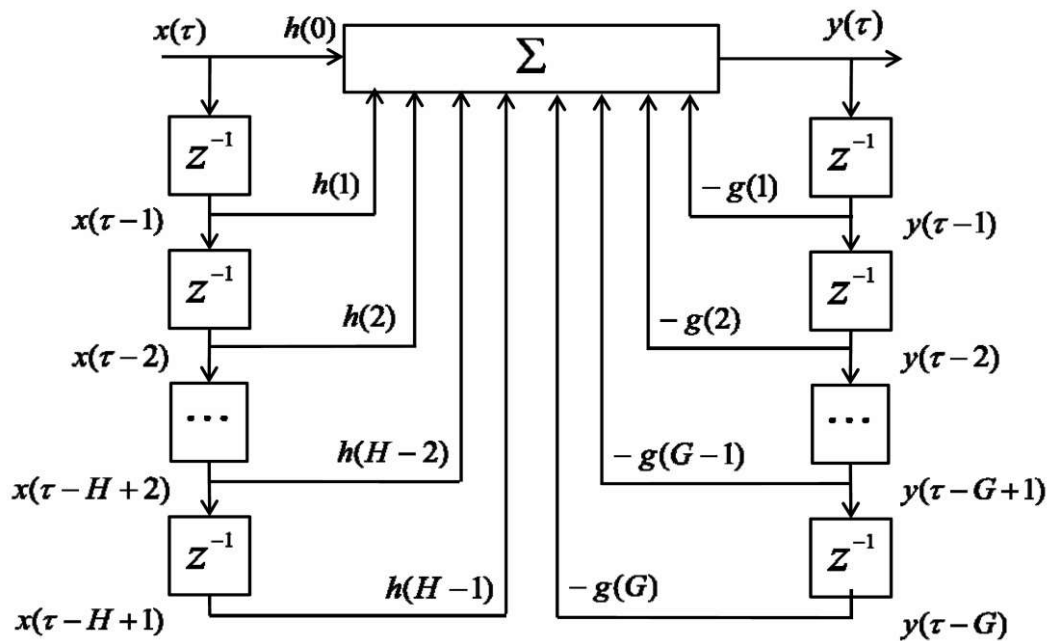


КИХ — конечная импульсная характеристика

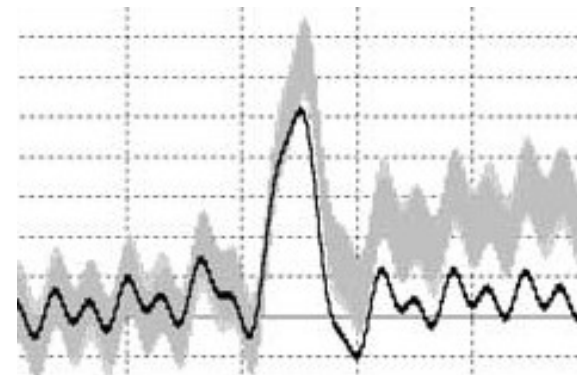
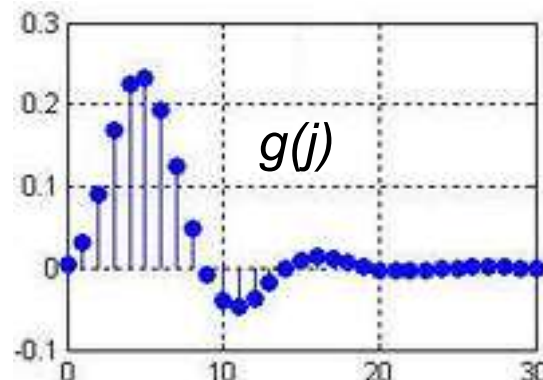
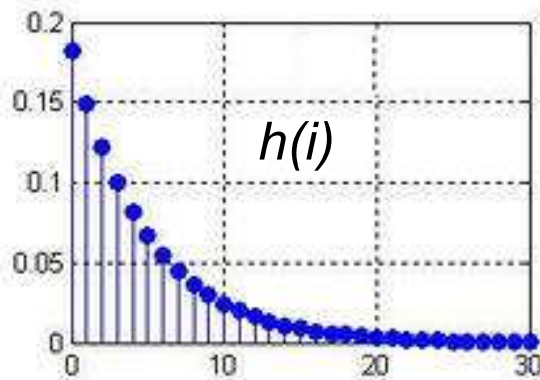


Рекурсивная фильтрация

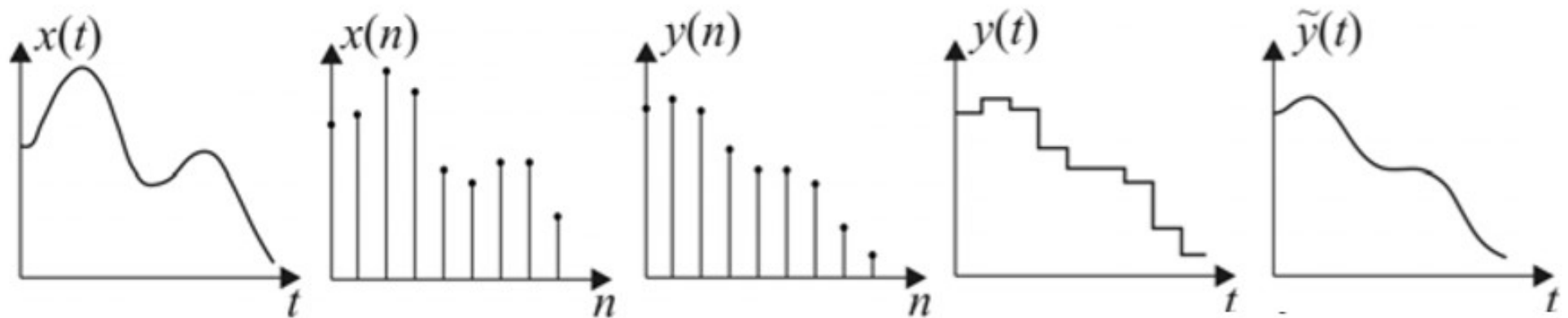
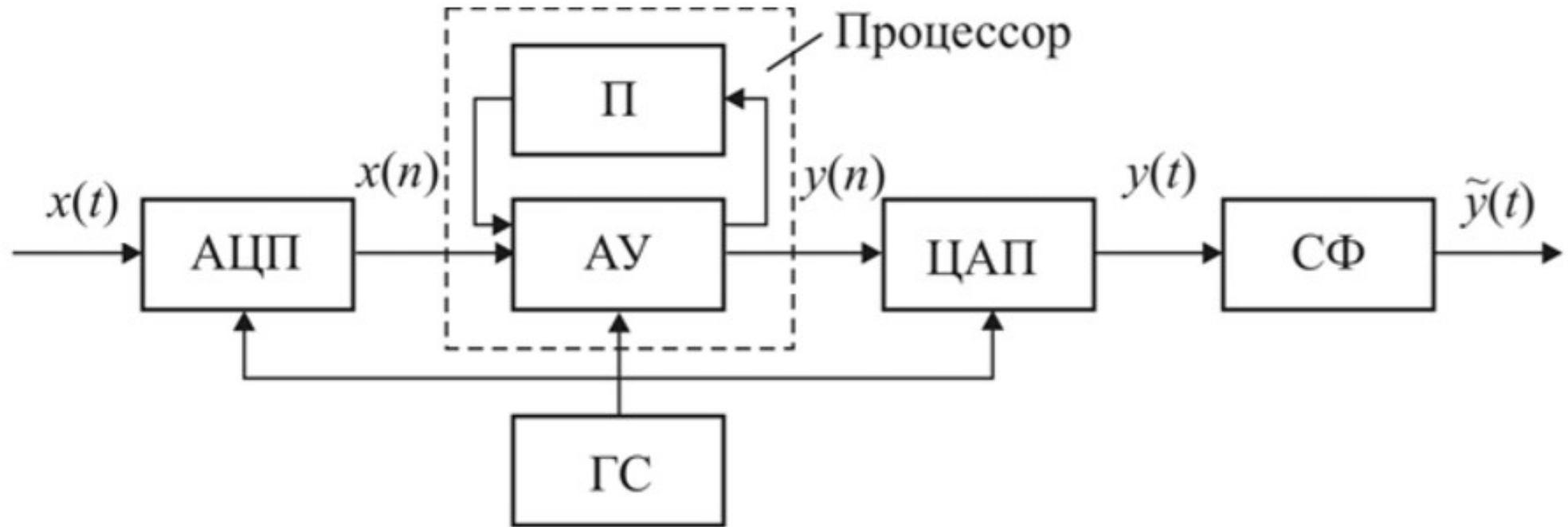
$$y(\tau) = \sum_{i=0}^{H-1} h(i) \times x(\tau - i) - \sum_{j=1}^G g(j) \times y(\tau - j) \quad (\tau = 0, N-1)$$



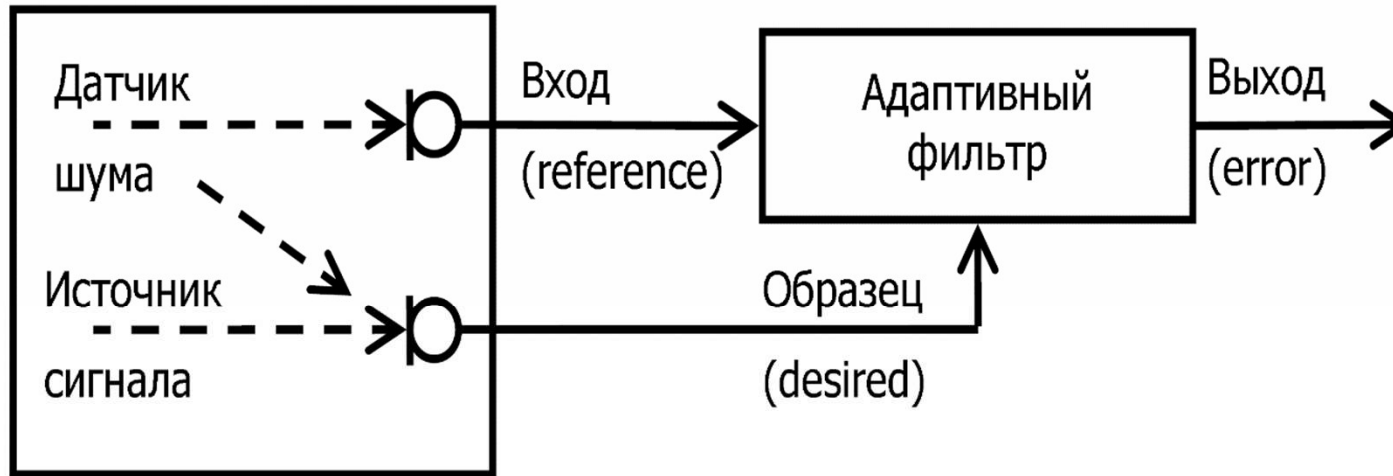
БИХ – бесконечная импульсная характеристика



Цифровой фильтр



Адаптивная фильтрация

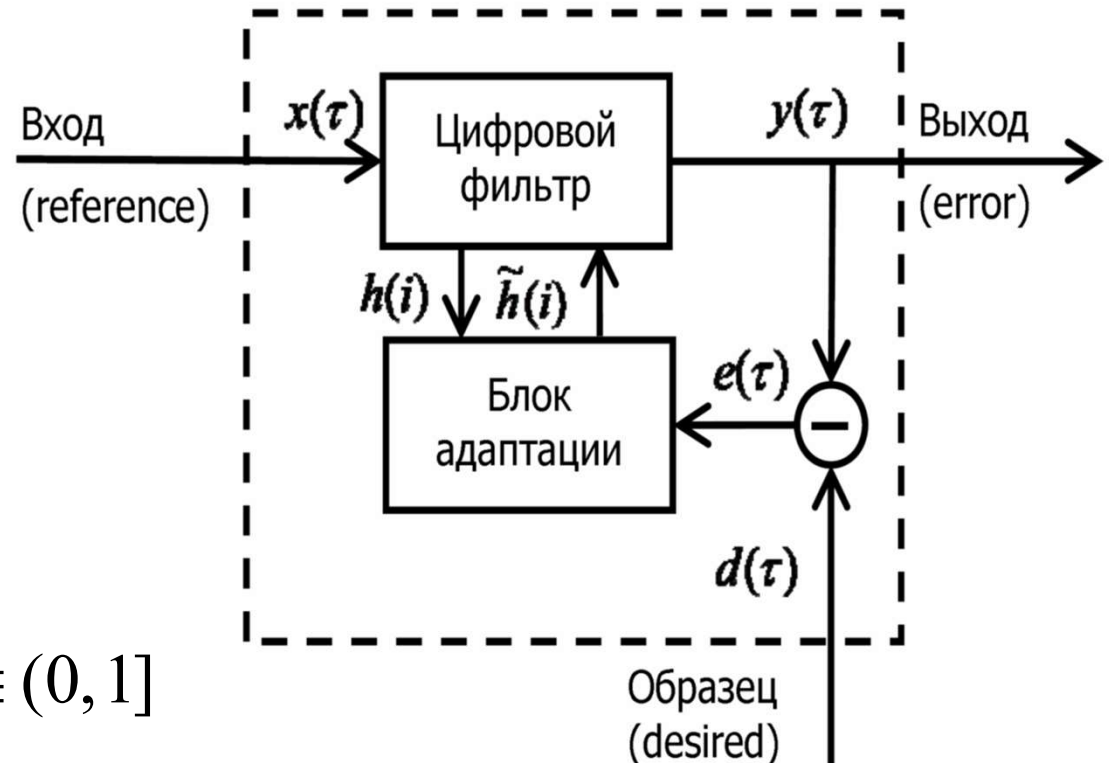


$$y(\tau) = \sum_{i=0}^{H-1} h(i) \times x(\tau - i)$$

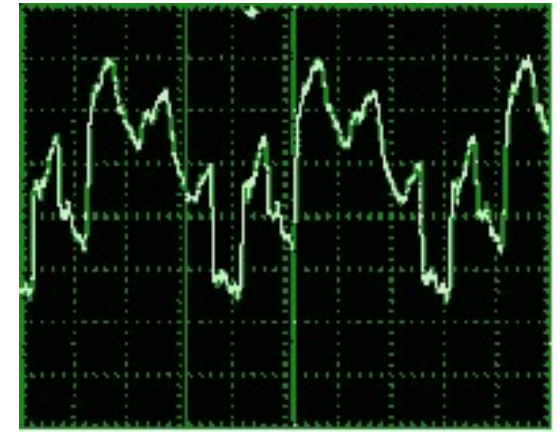
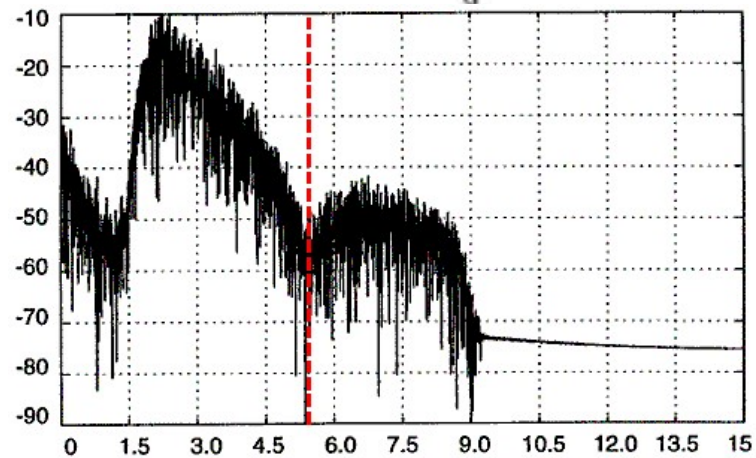
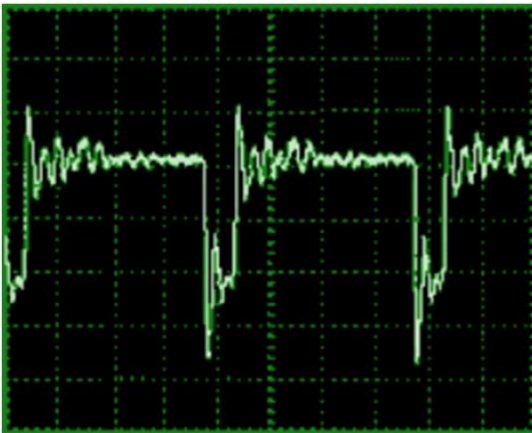
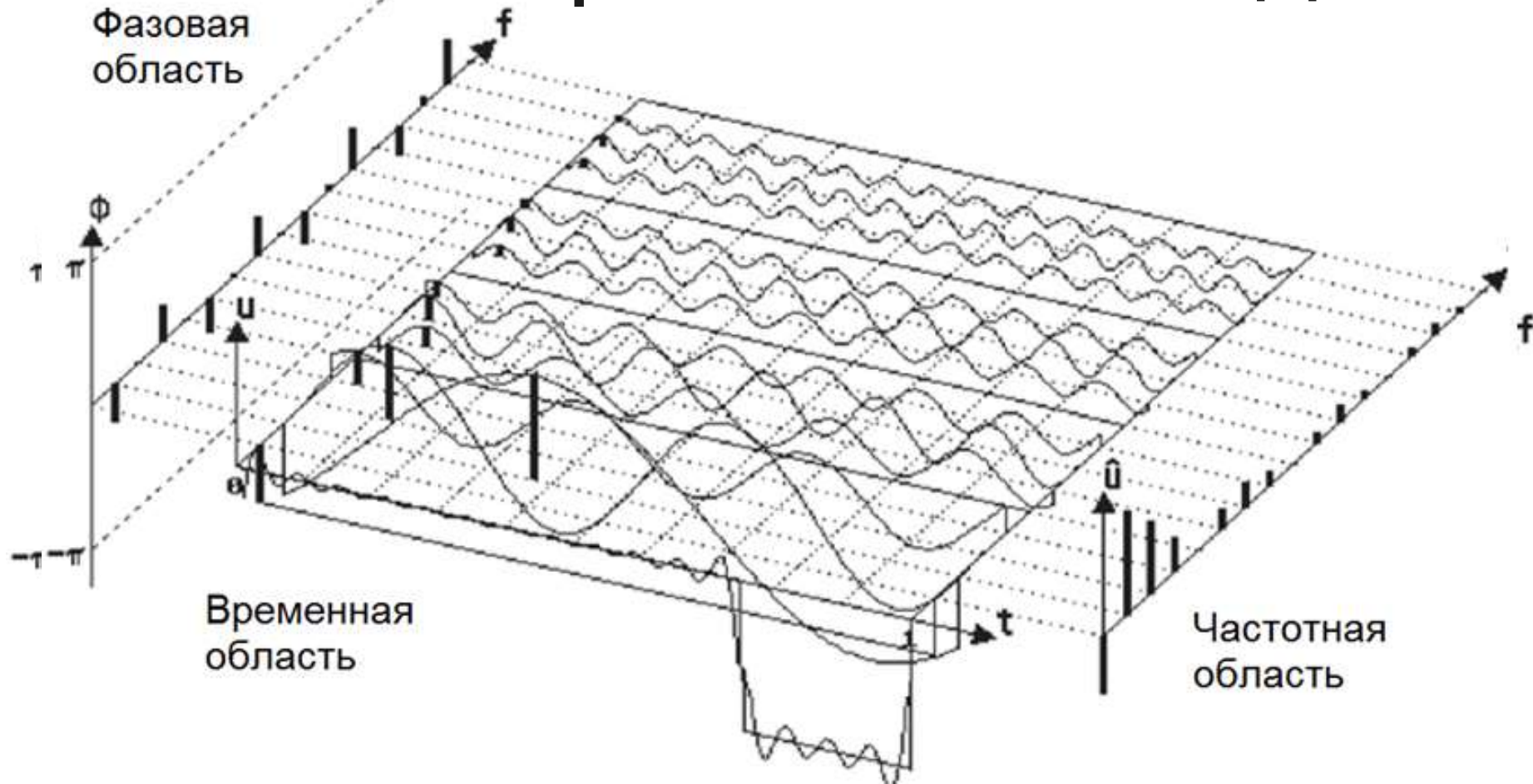
$$e(\tau) = d(\tau) - y(\tau)$$

$$\tilde{h}(i) = h(i) + \mu \times e(\tau) \times x(\tau - i)$$

$$i = \overline{0, H-1} \quad \tau = \overline{0, N-1} \quad \mu \in (0, 1]$$



Спектральный метод



Спектральные преобразования

$$c(i) = \sum_{\tau=0}^{N-1} r_i(\tau) \times x(\tau)$$

$$C = R \times X$$

прямое

$$x(\tau) = \sum_{i=0}^{N-1} s_{\tau}(i) \times c(i)$$

$$X = S \times C$$

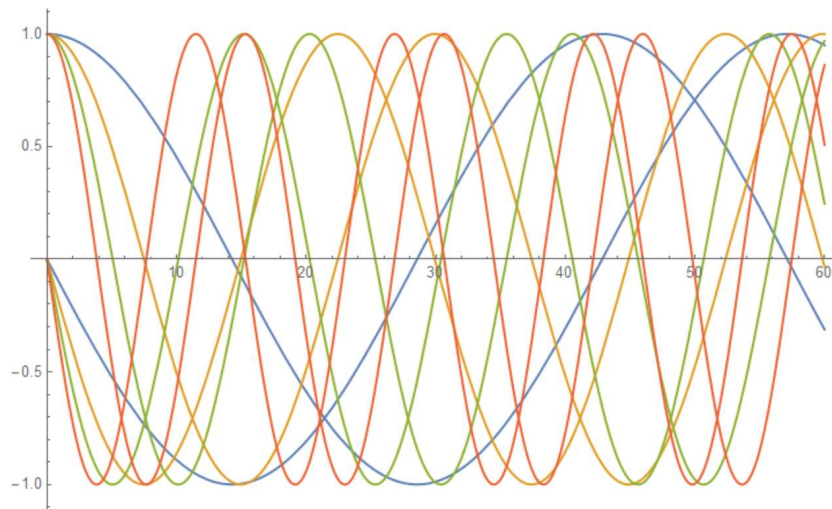
обратное

$$\delta_{i\tau} = \sum_{j=0}^{N-1} r_i(j) \times s_{\tau}(j)$$

$$R \times S = I$$

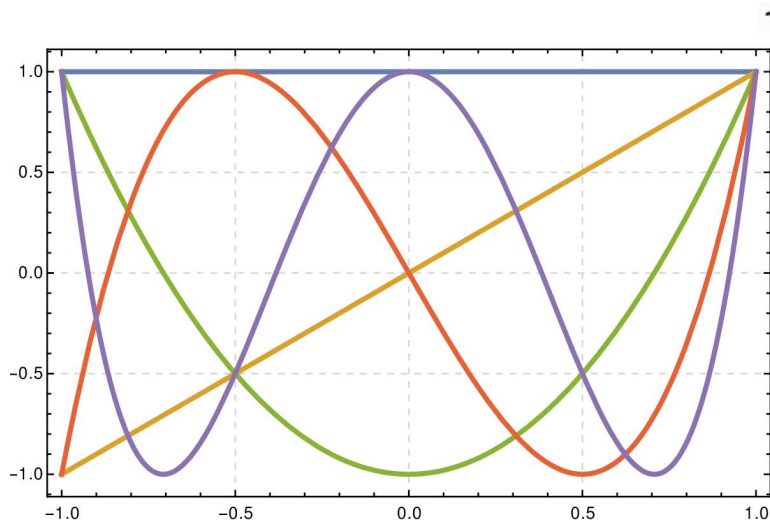
Спектральные функции

Фурье

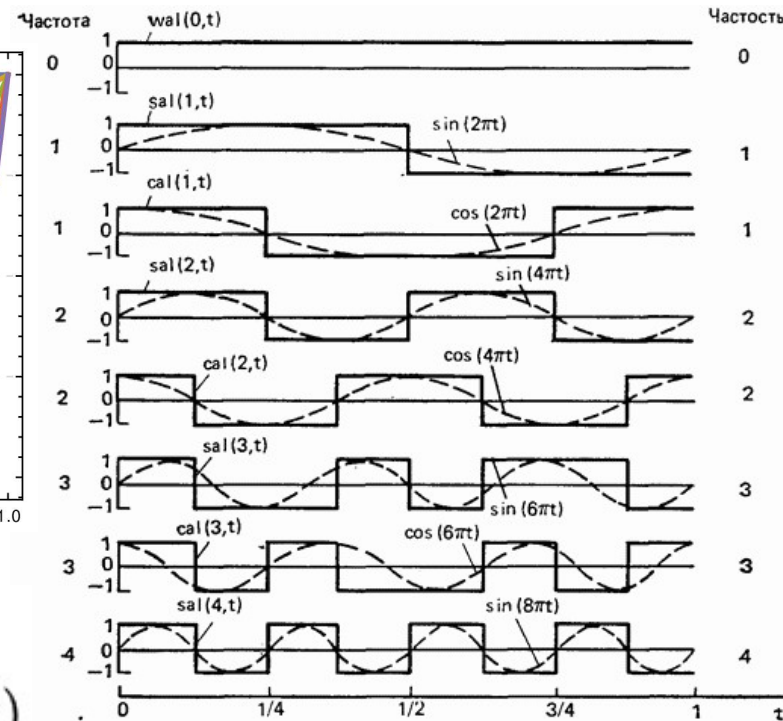


$$r_i(\tau) = \sin(2\pi\tau i/N) + j \cos(2\pi\tau i/N)$$

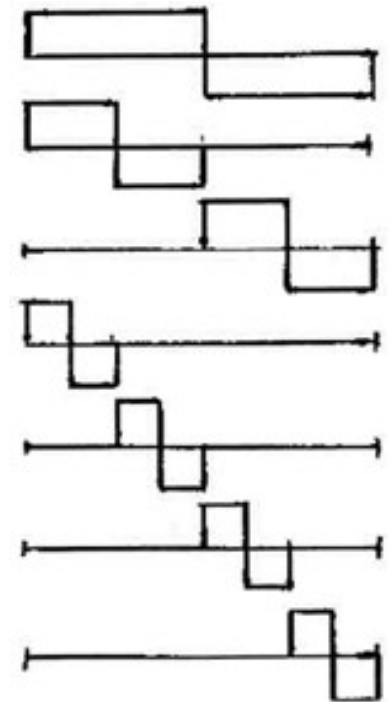
Чебышева



Уолша



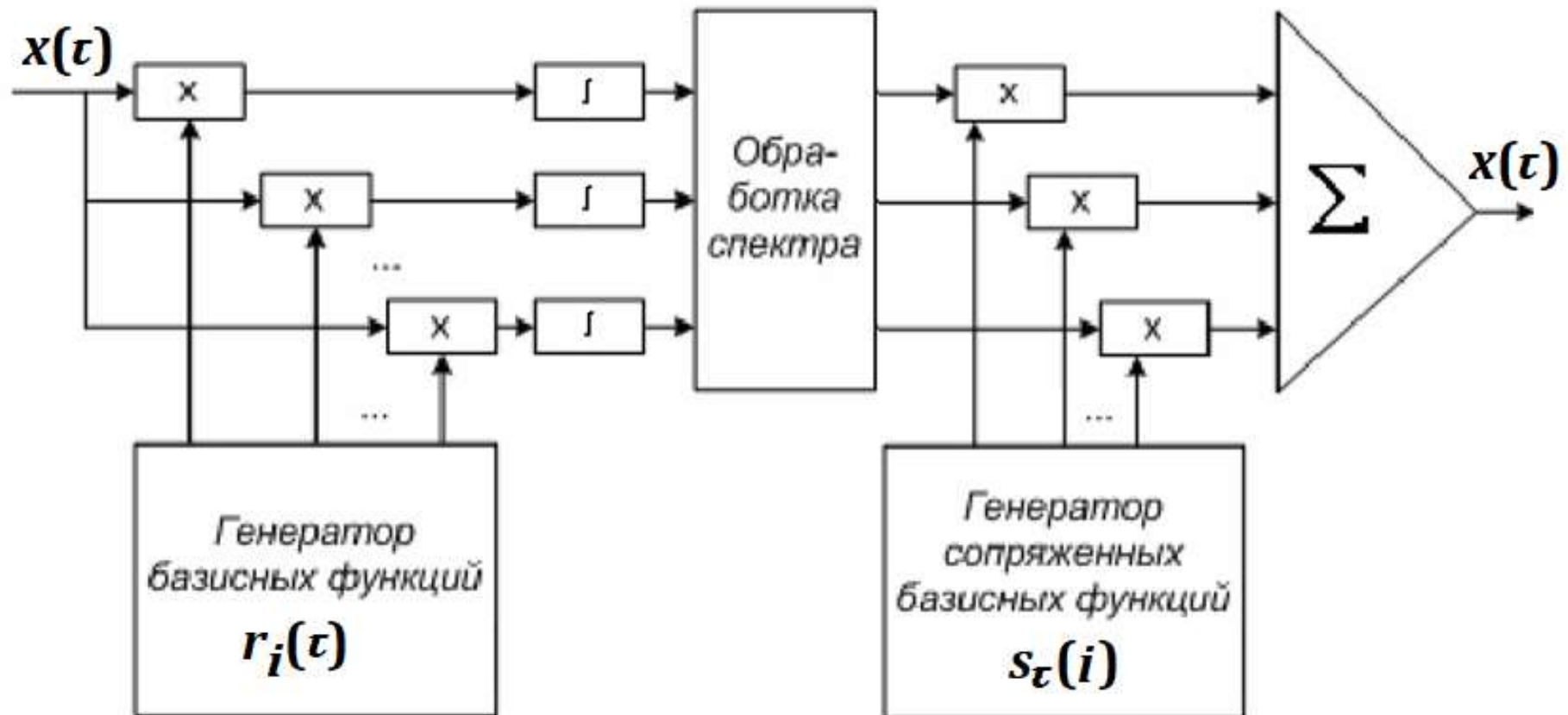
Хаара



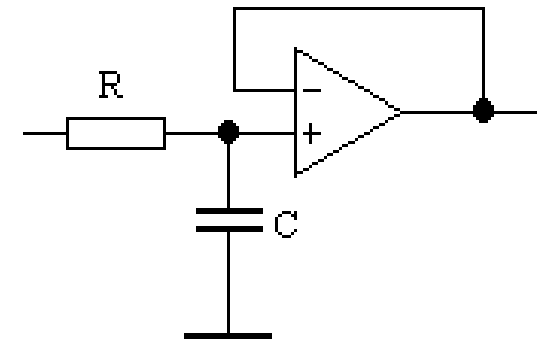
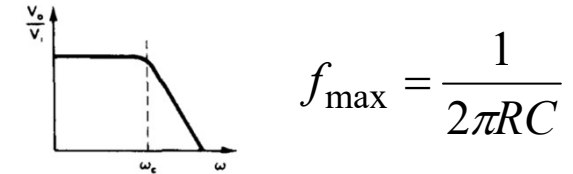
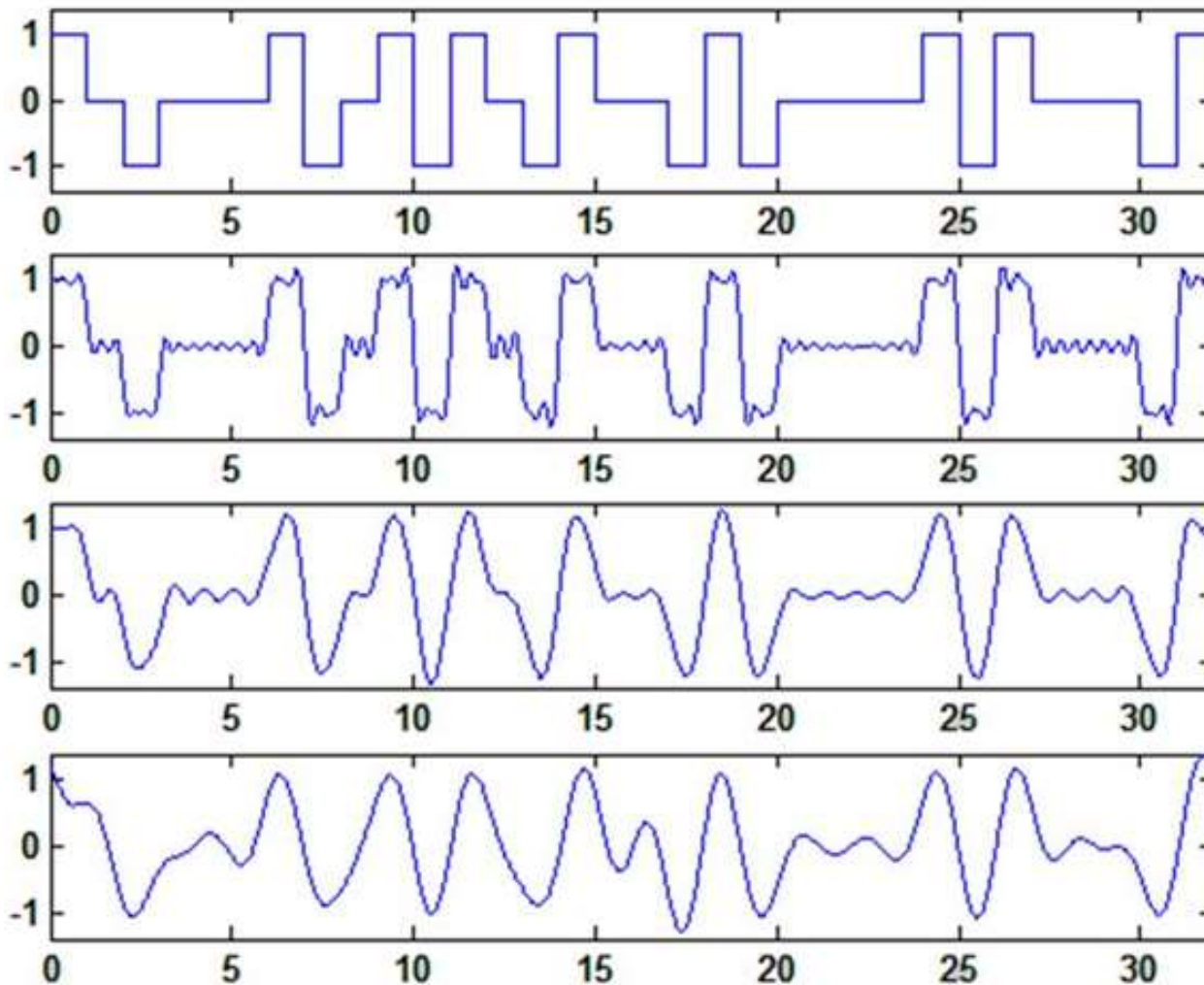
$$T_0(x) = 1 \quad T_1(x) = x$$

$$T_{n+1}(x) = 2x T_n(x) - T_{n-1}(x)$$

Спектральная обработка



Восстановление

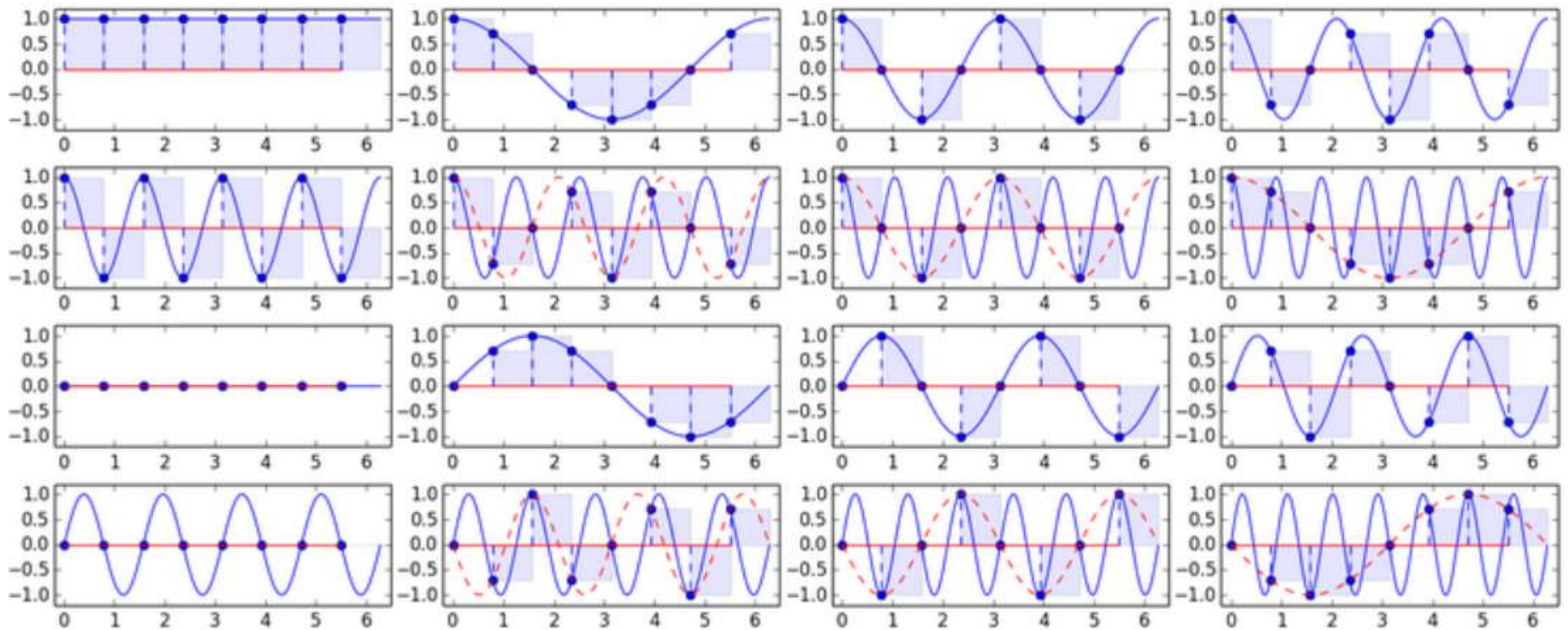
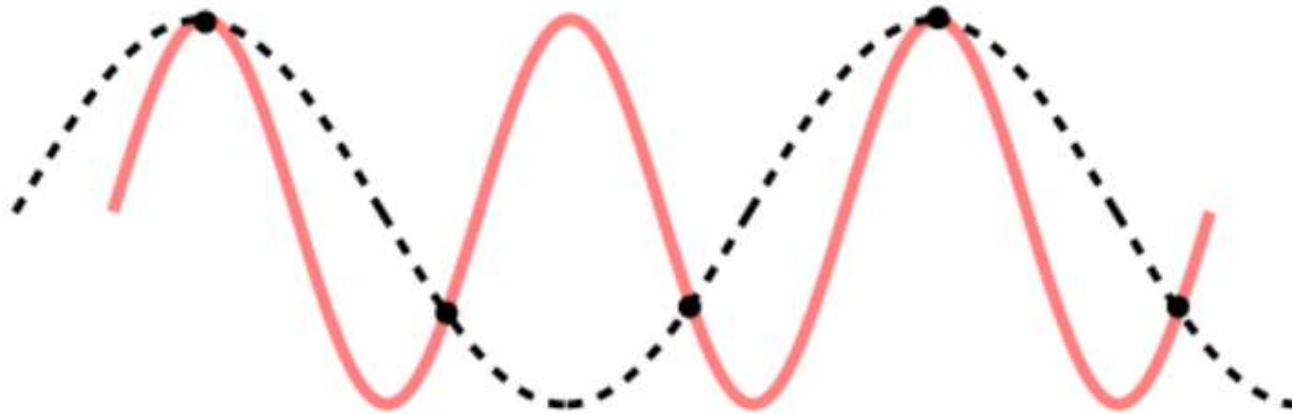


$$T < \frac{1}{2f_{\max}}$$

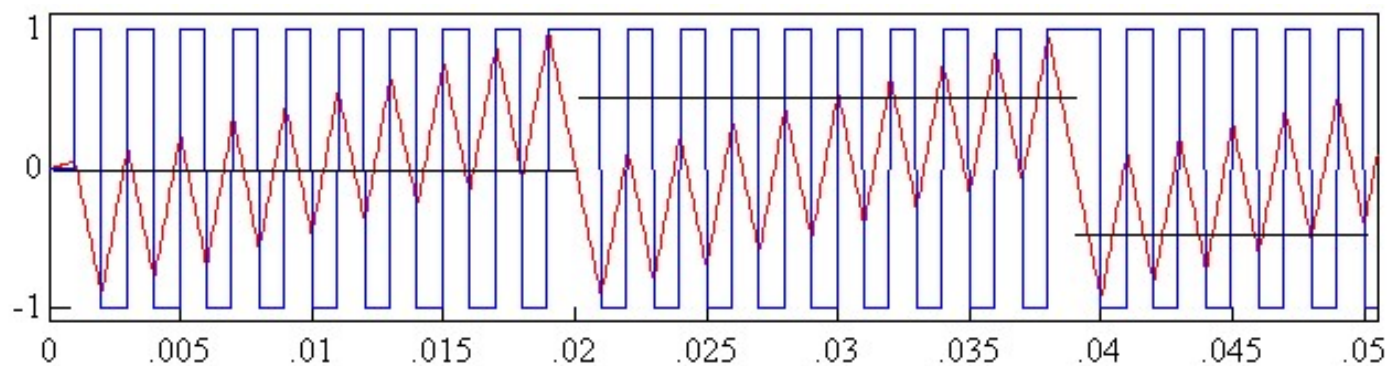
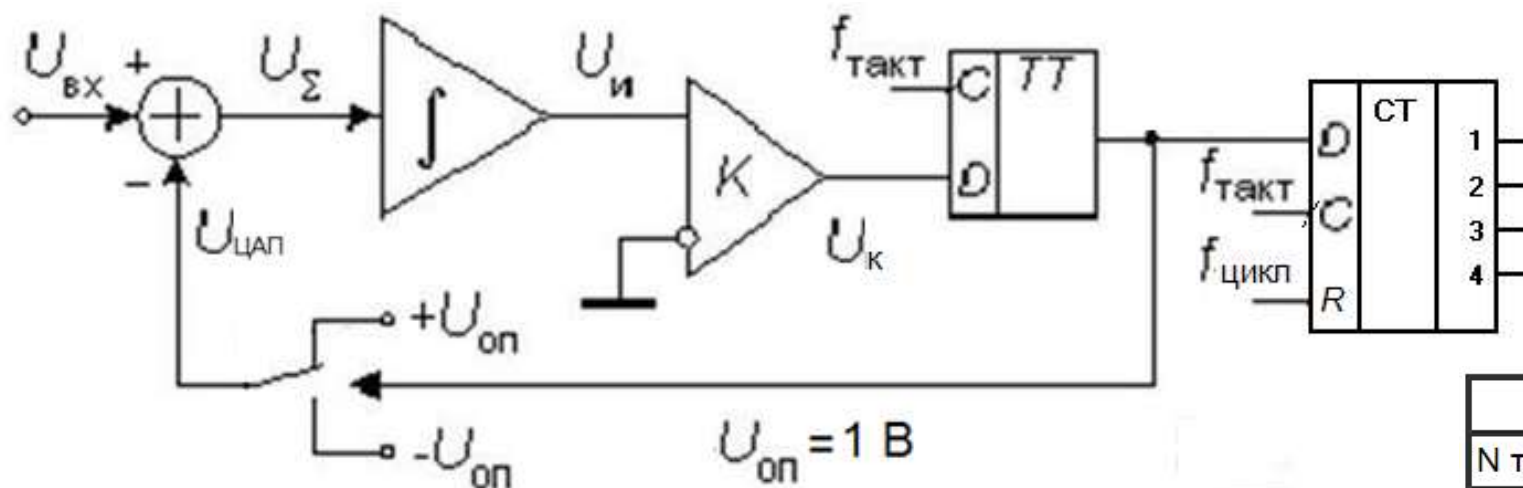
$$T < \frac{\chi_{\max} - \chi_{\min}}{|\chi'(t)|_{\max}}$$

- $|\chi'(t)|_{\max}$ – максимальное значение модуля первой производной аналогового сигнала

Теорема Котельникова



Сигма-дельта АЦП



U _{ВХ} =0,6 В				
N такта	U _Σ , В	U _И , В	U _К , бит	U _{ЦАП} , В
1	0,6	0,6	1	1
2	-0,4	0,2	1	1
3	-0,4	-0,2	0	-1
4	1,6	1,4	1	1
5	-0,4	1,0	1	1
6	-0,4	0,6	1	1
7	-0,4	0,2	1	1
8	-0,4	-0,2	0	-1
9	1,6	1,4	1	1
10	-0,4	1,0	1	1
11	-0,4	0,6	1	1
12	-0,4	0,2	1	1
13	-0,4	-0,2	0	-1
14	1,6	1,4	1	1
15	-0,4	1,0	1	1
16	-0,4	0,6	1	1