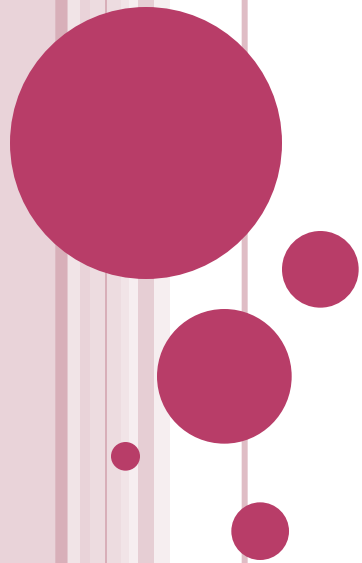


# ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ



# СИГНАЛЫ

Огромную часть информации, которую человек получает из внешнего мира, он получает через сигналы! Обычно под сигналами понимают:

- электрические сигналы,
- речевые сигналы
- видеосигналы.

Все эти виды сигналов, по сравнению с числами и символами (буквами), обладают бОльшим объёмом информации и меньшей степенью абстрагирования.

Звук и изображение являются **самыми оптимальными** для восприятия человеком средствами передачи информации.

- *Сигнал* - любая переменная, которая передает или содержит некий вид информации, и которую можно, например, переносить, выводить на экран или выполнять с ней какие-то действия.



# СИГНАЛЫ

Термин «цифровая обработка сигналов» объединяет ряд специфических алгоритмов обработки численной информации, полученной при аналого-цифровом преобразовании электрических, звуковых, речевых и видеосигналов.

Обработка сигналов лежит в основе задач анализа видео- и фотоизображений, анализа структур при молекулярных и биологических исследованиях, анализа данных сейсмической разведки, обработки радиолокационных и гидроакустических сигналов, обработки и синтеза речи и т.д.



# СИГНАЛЫ

Основными целями обработки сигналов являются:

- Выделение полезного сигнала;
- Спектральный анализ сигнала;
- Классификация и распознавание сигналов;
- Воспроизведение и конструирование сигналов.

Поэтому попытки использовать ЭВМ для обработки сигналов предпринимались с давних пор.

Однако, есть главная проблема – «большой (огромный) объём информации близких к «живым» данным».

Выход – совершенствование технологии СБИС и **применение параллельных (многопроцессорных) систем.**



# СИГНАЛЫ

В 1978 году фирма TI выпустила БИС синтеза речи для детской игрушки «Speak and Spell».

На протяжении последних лет цифровая обработка сигнала (ЦОС, digital signal processing - DSP) оказывает первостепенное и постоянно возрастающее влияние на такие ключевые технологические отрасли как:

- телекоммуникации,
- цифровое телевидение и др. средства информации
- биомедицина
- цифровая звукозапись.

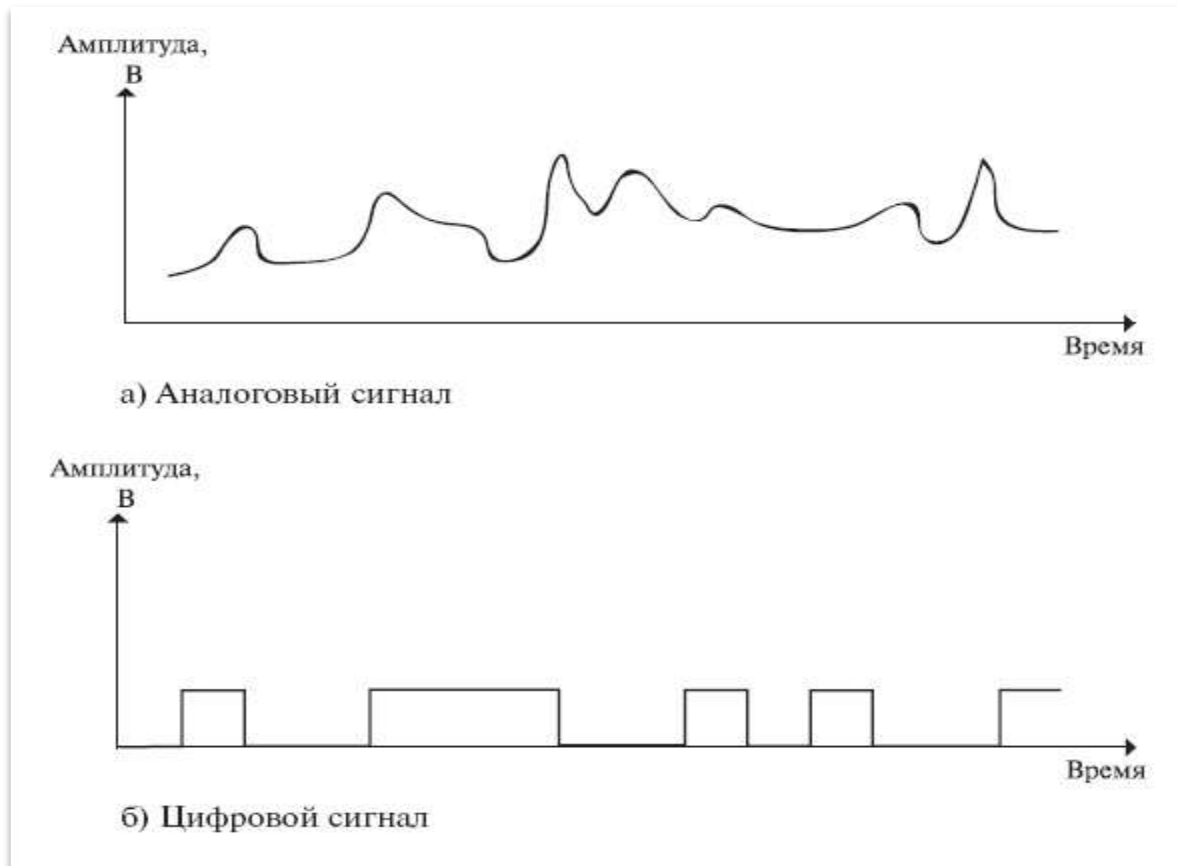
Сегодня ЦОС является ядром множества видов новейших цифровых разработок и различных приложений в информационном обществе (например, цифровая мобильная связь, цифровые видеокамеры, телевидение и системы звукозаписи).



# СИГНАЛЫ

Большинство сигналов, существующих в природе, являются по своей форме аналоговыми (например, звуковые волны).

Сигналы, применяемые в цифровой обработке сигналов (ЦОС), обычно получают из аналоговых сигналов, преобразованных в цифровой вид (*дискретизация по времени и квантование по амплитуде*).



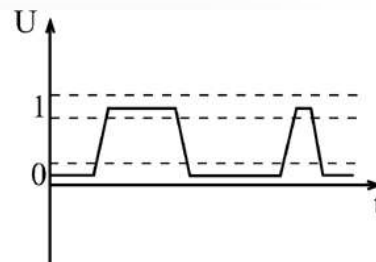
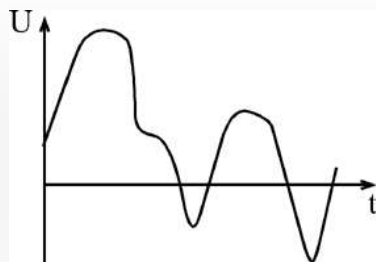
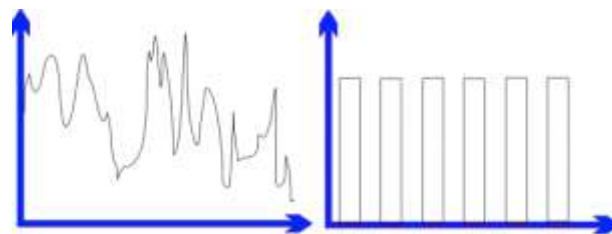
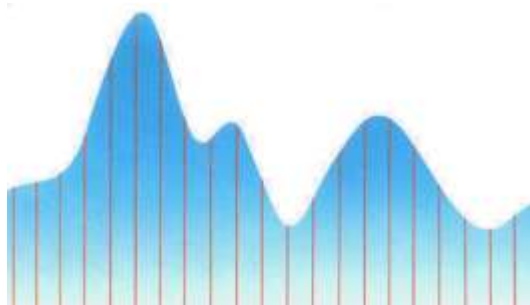
# ДОСТОИНСТВА ЦОС

- *Превосходная производительность*
- *Гарантированная точность*
- *Совершенная воспроизводимость*
- *Большая гибкость*
- Отсутствует искажение характеристик из-за температуры или старости
- Полупроводниковые технологии позволяют повысить надежность, уменьшить размеры, снизить стоимость, понизить энергопотребление и увеличить скорость работы
- В некоторых случаях информация уже может быть записана в цифровом виде, и обрабатывать ее можно только методами ЦОС



# Недостатки ЦОС

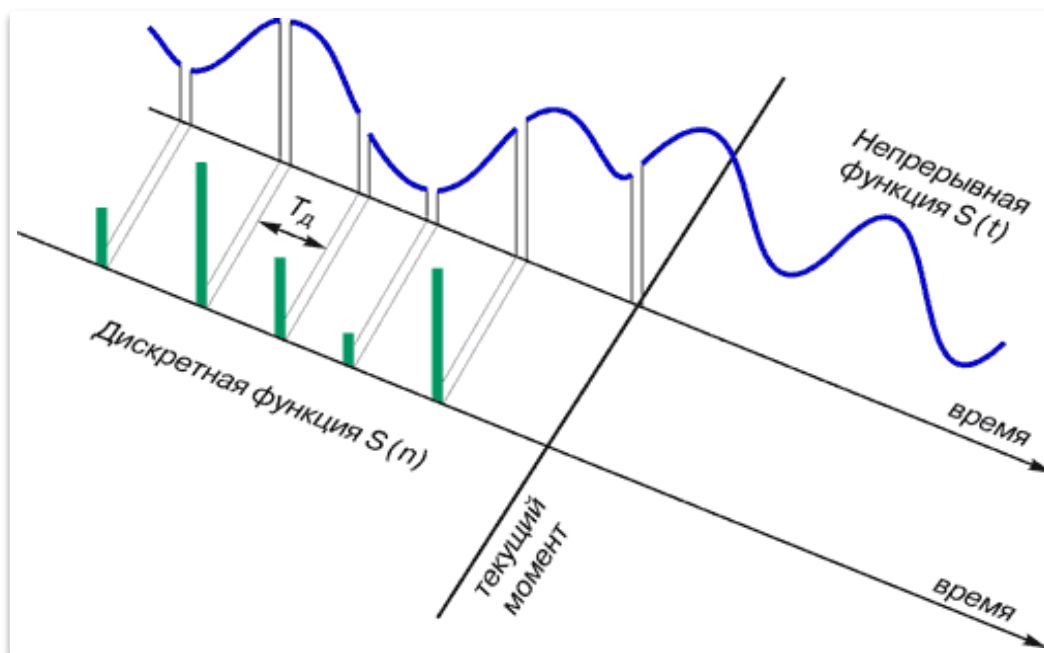
- Производительность/ стоимость (АЦП-ЦАП).
- Время на разработку.
- Проблемы конечной разрядности.





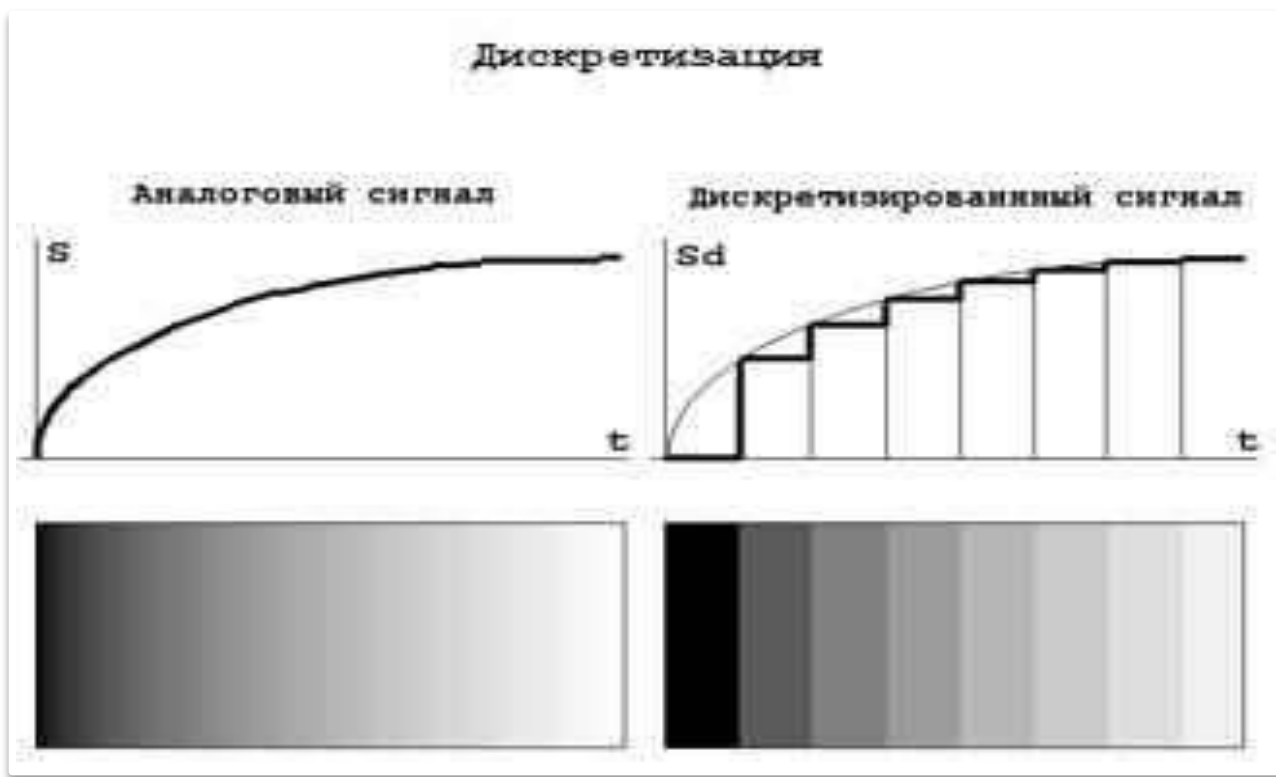
# ДИСКРЕТИЗАЦИЯ

- *Дискретизация* - представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений (отсчетов).
- Эти отсчеты берутся в моменты времени, отделенные друг от друга интервалом, который называется *интервалом дискретизации*.
- Величину, обратную интервалу между отсчетами, называют *частотой дискретизации*.



# ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА

Для дискретизации аналогового сигнала с полным сохранением информации в его цифровом эквиваленте максимальные частоты в аналоговом сигнале должны быть не менее чем вдвое меньше, чем частота дискретизации, то есть  $f_{max} \leq (1/2)f_d$ .



# ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА

Если частотный спектр исходного сигнала  $f(t)$  ограничен некоторым значением  $F$ , то можно точно восстановить сигнал  $f(t)$  при выборке значений через временные интервалы  $T = 1/(2F)$ .

Восстановление исходного сигнала:

$$f(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f(mT) \frac{\sin 2\pi F(t - mT)}{2\pi F(t - mT)}$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ , а  $f(mT)$  – выборочные значения.



# ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА

## ПРИМЕР.

Частотная полоса телефонных сигналов ограничена величиной 4 кГц. Тогда выборку достаточно производить через - 125 мс

Обычно, на практике:

F эл. сигналов —  $10^3$ - $10^4$

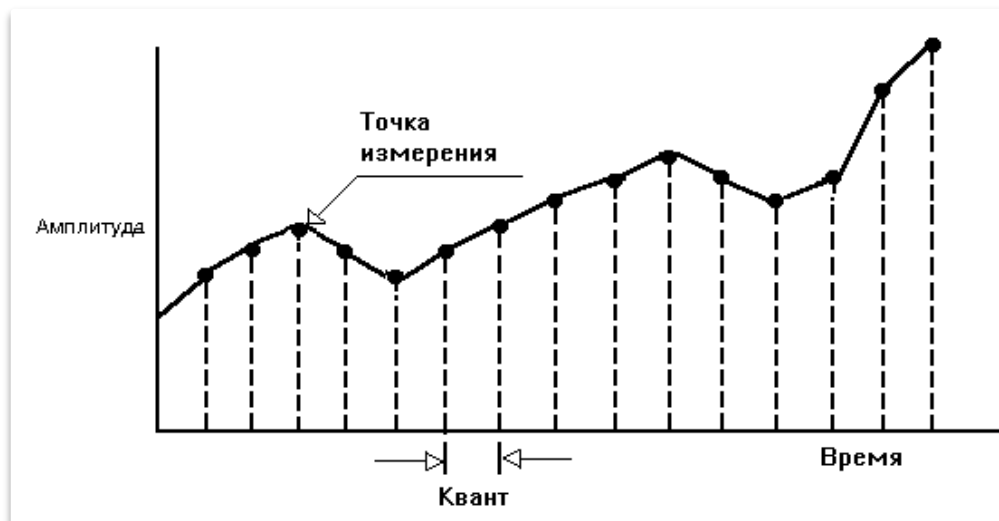
F обр. речи —  $10^4$  - $10^5$

F изображения —  $10^6$  -  $10^8$



# КВАНТОВАНИЕ

- Квантование представляет собой замену величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин - *уровней квантования*. Это позволяет представить его в пределах каждого интервала дискретизации числом, равным порядковому номеру уровня квантования.
- В свою очередь это число можно выразить комбинацией некоторых знаков или символов - *кодом*. Конечная последовательность кодовых символов называется *кодовым словом*. Квантованный сигнал можно преобразовать в последовательность кодовых слов. Эта операция и называется *кодированием*.

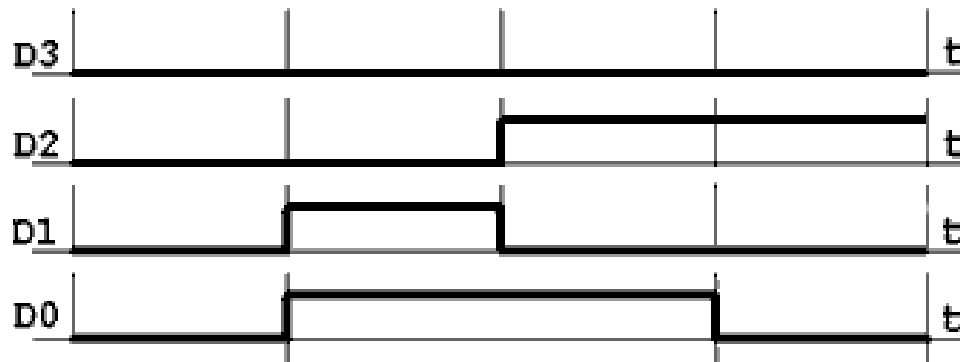


# КВАНТОВАНИЕ

- Кодовые слова можно передавать в параллельной или последовательной формах.



Дискретизированный  
и квантованный  
сигнал



Параллельный  
цифровой поток

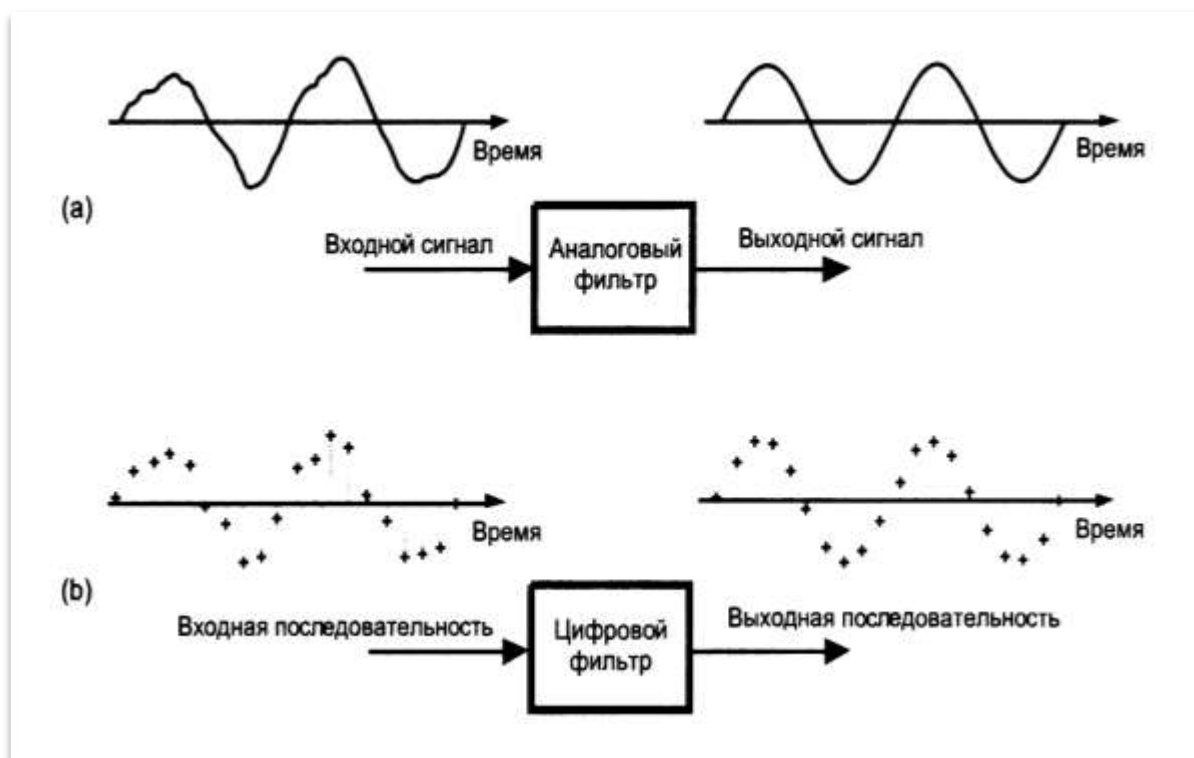


Последовательный  
цифровой поток



# ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ

- *Фильтрация* представляет собой обработку сигнала во временной области, в результате которой спектральный состав исходного сигнала изменяется. Изменения обычно заключаются в ослаблении или подавлении некоторых нежелательных спектральных компонентов входного сигнала.



# ДОСТОИНСТВА ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

- Цифровые фильтры могут иметь характеристики, получить которые на аналоговых фильтрах невозможно;
- В отличие от аналоговых, производительность цифровых фильтров не зависит от изменений среды;
- Если фильтр построен с использованием программируемого процессора, его частотная характеристика может настраиваться автоматически;
- Данные можно сохранить для последующего использования;
- Точность цифровых фильтров ограничена только используемой длиной слова;
- Цифровые фильтры могут использоваться при очень низких частотах.





# НЕДОСТАТКИ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

- Ограничение скорости (ширина полосы сигналов уже АФ)
- Влияние конечной разрядности;
- Значительное время разработки и внедрения.



# Ряд ФУРЬЕ

Любой периодический сигнал  $f(t)$  можно представить в виде суммы бесконечного числа синусоидальных и косинусоидальных членов и одного постоянного члена. Это представление называется рядом Фурье и задается следующим образом:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega T) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega T),$$

где

- $t$  - независимая переменная, которая часто обозначает время, но может обозначать, например, расстояние или любую другую величину;
- $f(t)$  часто обозначает функцию зависимости напряжения от времени, но может обозначать и любой сигнал;



# Ряд ФУРЬЕ

- $\omega = 2\pi/T_p$  называют циклической частотой первой (или основной) гармоники;
- $T_p$  - период повторения сигнала;
- $a_0$  - постоянная, равная усредненному по времени сигналу  $f(t)$  за один период, которая может представлять, например, уровень постоянного напряжения.
- Частоты  $n\omega$  называют  $n$ -ми гармониками частоты  $\omega$ . Следовательно, бесконечный ряд содержит зависящие от частоты синусоидальные и косинусоидальные члены с различными амплитудами  $a_n$  и  $b_n$  на положительных частотах гармоник  $n\omega$ .

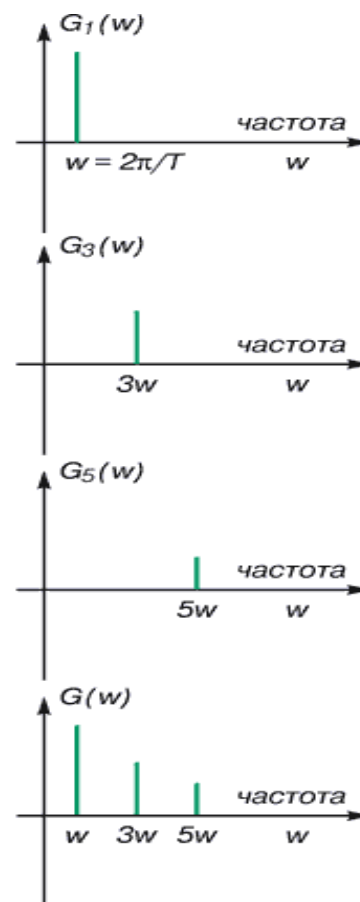
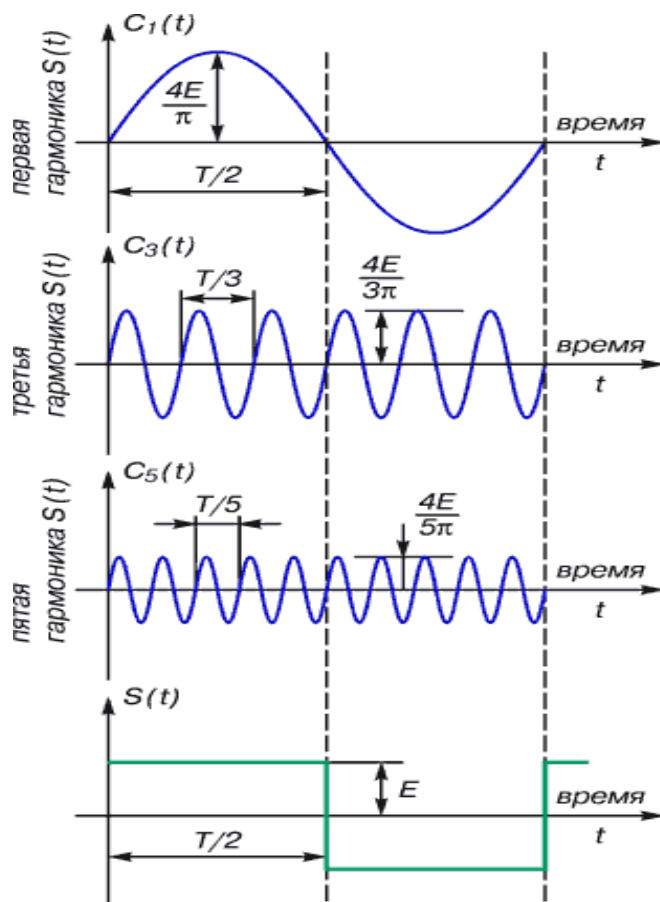
$$a_n = \frac{2}{T_p} \int_{-T_p/2}^{T_p/2} f(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T_p} \int_{-T_p/2}^{T_p/2} f(t) \sin(n\omega t) dt.$$



# ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

- Основная идея преобразования Фурье (ПФ) - почти любую периодическую функцию можно представить суммой отдельных гармонических составляющих (синусоид и косинусоид с различными амплитудами  $E$ , периодами  $T$  и, следовательно, частотами  $\omega$ ).



# ДОСТОИНСТВА ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

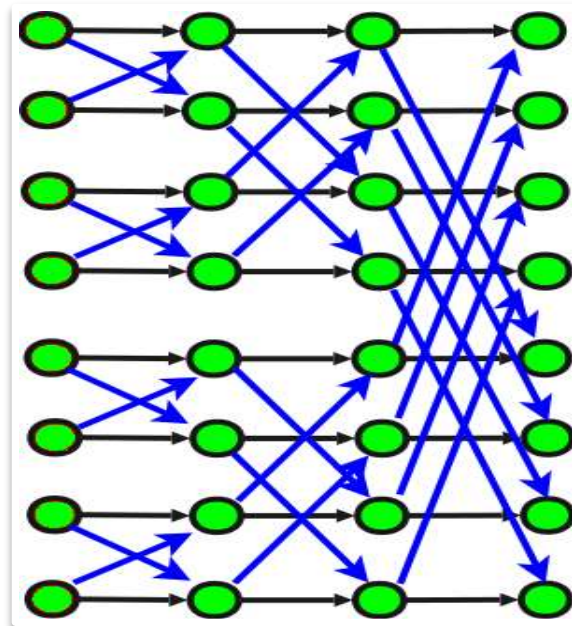
- ДПФ позволяет адекватно описывать в частотных координатах все, кроме самых кратковременных сигналов;
- Усеченные по частоте Фурье компоненты описывают данные более правдоподобно, чем любые другие степенные ряды;
- Отдельные компоненты представляют собой синусоиды и не искажаются при передаче через линейные системы, что позволяет использовать их как хорошие пробные сигналы;
- Быстрое преобразование Фурье можно посчитать «очень быстро».



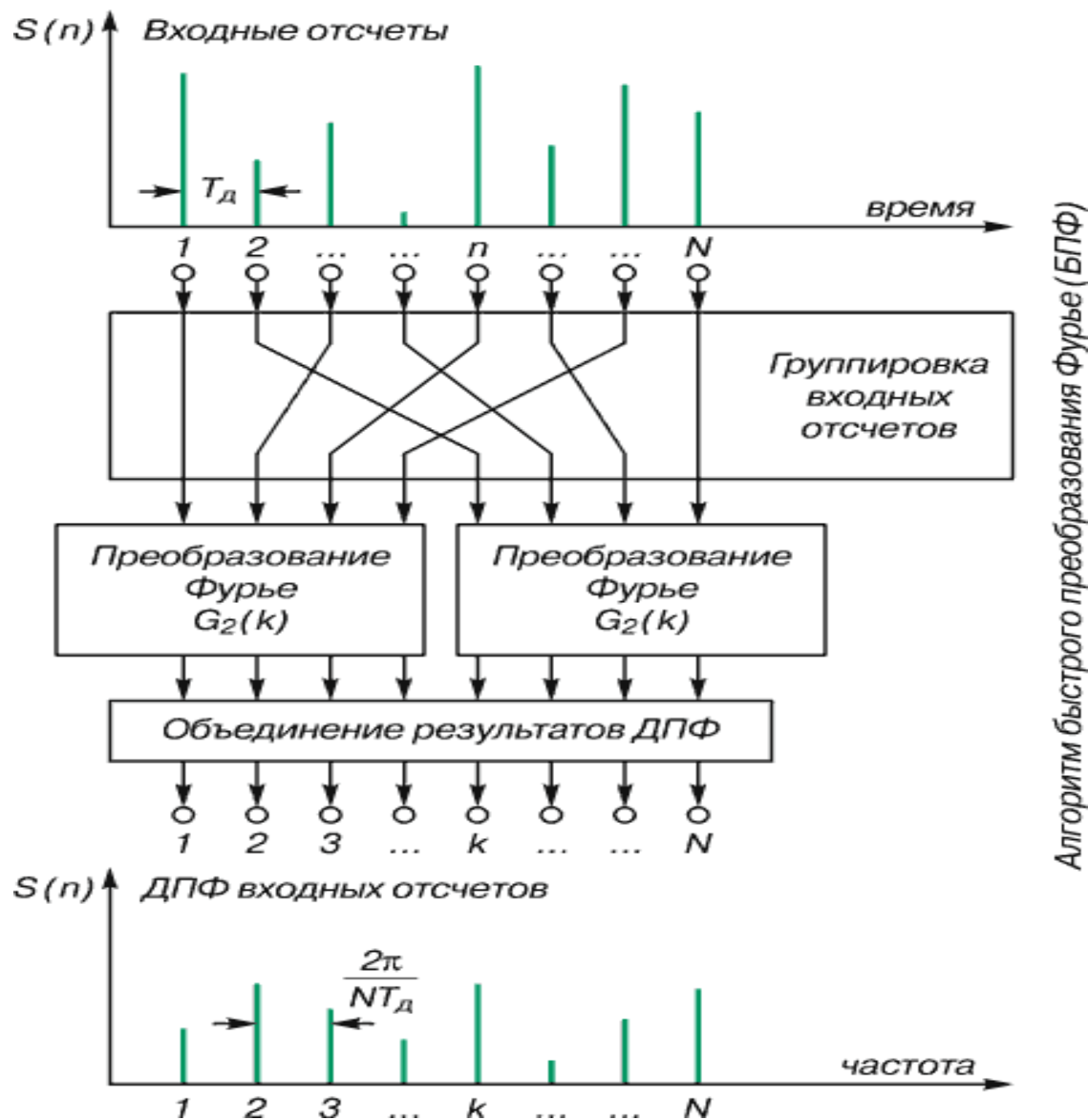
# БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

Существует ряд различных алгоритмов БПФ. Алгоритм *БПФ по основанию 2* – это очень эффективный алгоритм вычисления ДПФ, когда длина ДПФ равна целой степени двойки (то есть количество точек преобразования равно  $N=2^k$ , где  $k$  – это некоторое положительное число).

БПФ по основанию 2 существенно снижает количество необходимых арифметических операций с  $N^2$  до  $N \log_2 N$ .



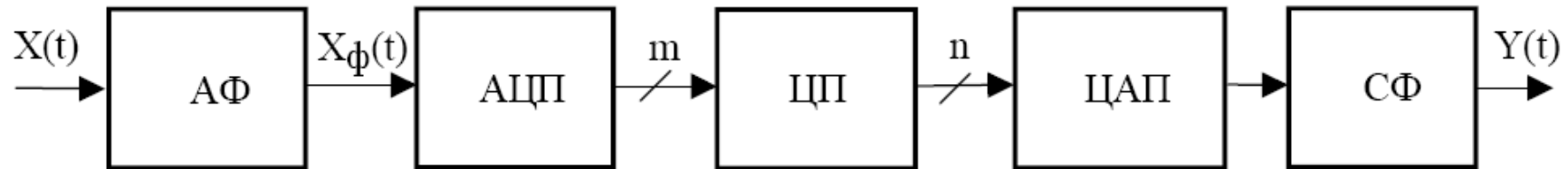
# БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ



# СИСТЕМА ЦОС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Структурная схема цифровой обработки аналогового сигнала  $X(t)$  состоит из:

- антиэлайсингового фильтра (АФ);
- аналого-цифрового преобразователя (АЦП);
- центрального процессора (ЦП);
- цифро-аналогового преобразователя (ЦАП);
- сглаживающего фильтра (СФ).





# ЦОС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

- аналоговый сигнал проходит через цепи нормализации, которые выполняют такие функции, как усиление, ослабление и фильтрацию;
- отфильтрованный аналоговый сигнал  $X_{\phi}(t)$  преобразуется в пропорциональный двоичный  $m$ -разрядный код аналого-цифровым преобразователем;
- на выходе АЦП формируется двоичное представление аналогового сигнала, которое затем обрабатывается арифметически цифровым сигнальным процессором (ЦП);



# ЦОС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

- содержащаяся в сигнале информация преобразуется обратно в аналоговую форму с использованием  $n$ -разрядного цифроаналогового преобразователя (ЦАП);
- Сглаживающий фильтр необходим для преобразования дискретного сигнала в непрерывный.

