|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  **«Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»** | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
| Кафедра | | | Информатика и вычислительная техника пищевых производств | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
| Направление (Специальность) | | | 09.03.01 – информатика и вычислительная техника | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
| Профиль | | | Искусственные интеллект в управлении технологическими комплексами | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
|  |  | |  |  | |  | |  | **К ЗАЩИТЕ** | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  | **(РЕКОМЕНДОВАНО / НЕ РЕКОМЕНДОВАНО)** | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  | зав. кафедрой | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  | к.ф.-м.н., доцент | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  | *(ученая степень, ученое звание)* | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | | |  | Т.А. Санаева | |
|  |  | |  |  | |  | |  | *(подпись)* | | |  | *(И.О. Фамилия)* | |
|  |  | |  |  | |  | |  | «23» мая 2025 г. | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
| **КУРСОВАЯ РАБОТА** | | | | | | | | | | | | | | |
| *по дисциплине* | | | | | | | | | | | | | |
| *«Информационные системы и технологии»* | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
| на тему: | | Методы сбора и обработки цифровых сигналов | | | | | | | | | | | | |
|  |  |
|  |  | *(тема курсовой работы)* | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
| Обучающийся: | | |  | | «23» мая 2025 г. | | | | | Вовченко М.А. | | | | |
|  |  |  | *(подпись)* | |  |  | |  |  | *(инициалы, фамилия)* | | | | |
|  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
|  | | | |  |  | | группа 24о-090301/ИИ-1 | | | | |  |  | |
|  |  | |  |  |  | |  | | | | |  | *(шифр группы)* | |
| Руководитель | | |  | | «23» мая 2025 г. | | | | | доц, к.т.н, Т.В. Ящун | | | | |
|  |  | | *(подпись)* | |  |  | |  |  | *(уч. степень, уч. звание, инициалы, фамилия)* | | | | |

Москва, 2025 г.

# Реферат

Курсовая работа 34 страницы, 12 рисунков, 2 таблицы, 13 формул, 14 источников.

Ключевые слова: аналоговый сигнал, цифровой сигнал, двоичный код, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь, система сбора данных, комплекс передачи информации, дискретизация сигнала, квантование сигнала, дискретное преобразование Фурье.

Цель работы: изучить понятие цифрового сигнала, его виды и классификации. Познакомиться с методами сбора цифровых сигналов, понятием интерфейса измерительных систем. Исследовать обработку цифровых сигналов. Привести примеры цифровых автоматизированных систем сбора и обработки информации.

Практическая значимость: современные информационно-измерительные системы можно рассматривать как специализированные вычислительные системы, предназначенные для сбора и обработки данных, а также анализа и представления зарегистрированной информации с применением методов автоматизации. Примерами областей, где автоматизация процедур сбора и обработки данных актуальна и широко применяется могут служить гидрофизика, акустика, медицина. Важнейшей задачей является обеспечение научных исследований современными и эффективными аппаратными, алгоритмическими и программными средствами сбора, обработки и анализа данных.

Во многих областях науки наблюдается тенденция повысить степень автоматизации проведения эксперимента, улучшить эффективность обработки данных с помощью цифровых методов обработки сигналов, сократить временные затраты на анализ и систематизацию полученной информации. Все чаще необходимо проводить эксперименты в реальном времени с использованием многоканальных входных потоков данных, что, естественно, предъявляет жесткие требования к производительности вычислительной системы. Для решения таких задач актуальна разработка эффективных алгоритмов обработки сигналов с использованием ресурсов процессоров цифровой обработки сигналов в составе информационно-измерительных комплексов.

В данной работе будут изучены основные составляющие аналого-цифровой последовательности преобразования. Рассмотрены принципы работы, типы и виды данных элементов. Представлены некоторые способы обработки полученного сигнала.

# Содержание

Введение

1 Сигнал. Его виды и представления

1.1 Позиционные системы счисления

1.2 Система сбора данных. Ее виды и типы

2 Аналого-цифровые преобразователи

2.1 Основные характеристики АЦП

2.2 Типы АЦП2

3 Цифро-аналоговые преобразователи.

3.1 Наиболее общие типы электронных ЦАП

3.2 Характеристики ЦАП

4 Системы передачи данных. Режимы и принципы обмена, способы соединения. Метод приема-передачи

5. Квантование сигнала, его виды. Типы преобразования и обработки сигнала

5.1 Виды квантования

5.2 Обработка цифровых сигналов

5.2.1 Преобразования Фурье (ДПФ, БПФ)

5.2.2 Передискретизация. Ее применение на практике

5.2.3 Свёртка. Ее виды. Расчет

5.2.4 Спектральный анализ. Спектральная плотность мощности. Автокорреляция. Оконные функции

5.2.5 Цифровые фильтры. Их виды. Применение

6. Цифровые автоматизированные системы сбора и обработки информации

Заключение

Список используемой литературы

# Введение

Современный этап развития электроники характеризуется появлением микропроцессорных сверхбольших интегральных схем, цифровых сигнальных процессоров, программируемых логических интегральных схем, позволяющих решать задачи обработки сигналов при высоких технико-экономических показателях. Аналоговые технологии стали устаревать и не соответствовать всем требованиям микропроцессорного мира. Цифровая электроника преобразила системы сбора, обработки и передачи информации, но осталась немыслима без аналоговых технологий.

Цифровая обработка информации необходима при контроле состояния сложных объектов, которые могут быть как техническими, так и биологическими. Для получения целостной картины о состоянии объекта контроля, все измерения необходимо проводить одновременно, что достигается применением многоканальных цифровых измерительных систем построенных про принципу временного разделения каналов.

Вместе с цифровыми сигналами стали существовать такие ключевые понятия как: Аналого-цифровые преобразователи (АЦП), обратные им, Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), Преобразования Фурье (ДПФ, БПФ) и двоичный код. Начали свое существование компьютеры, мобильные телефоны, цифровое телевидение и др. детища электроники. Скорости и качества передачи информационных сигналов во много раз превзошли существующих значений.

В настоящее время развитие компьютерных технологий практически невозможно без использования различных интерфейсов (узлы, порты, разъемы), которые обеспечивают согласованность действий оборудования компьютеров, простоту использования и нормальную работу компьютера. В результате чего, интерфейсы активно развиваются и совершенствуются, увеличивая свои функциональные возможности.

# Сигнал. Его виды и представления

Вся информация передается в виде сигналов. Сигнал есть физический процесс, несущий в себе информацию. Сигнал может быть звуковым, световым, в виде почтового отправления и др. Наиболее распространен сигнал в электрической форме в виде зависимости напряжения от времени U(t). По своей природе все сигналы являются аналоговыми, будь то сигнал постоянного или переменного тока, цифровой или импульсный. Тем не менее, принято делать различие между аналоговыми и цифровыми сигналами.

Аналоговый сигнал - сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией времени и непрерывным множеством возможных значений. Такие сигналы описываются непрерывными функциями времени, поэтому аналоговый сигнал иногда называют непрерывным сигналом.

Цифровым сигналом называется двухуровневый сигнал, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией дискретного времени и конечным множеством возможных значений определённым образом обработанный и преобразованный в цифры. Обычно эти цифровые сигналы связаны с реальными аналоговыми сигналами, но иногда между ними и нет связи. В качестве примера можно привести передачу данных в локальных вычислительных сетях (LAN) или в других высокоскоростных сетях.

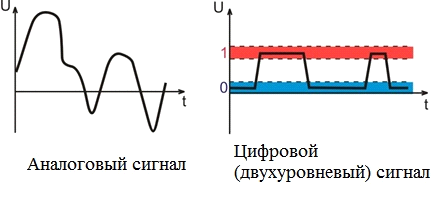


Рисунок 1 - Различия сигналов

Цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Полоса пропускания - это разница между максимальной и минимальной частотой, которая может быть передана по кабелю. Каждое устройство в таких сетях посылает данные в обоих направлениях, а некоторые могут одновременно принимать и передавать. Узкополосные системы передают данные в виде цифрового сигнала одной частоты.[5]

Дискретный цифровой сигнал сложнее передавать на большие расстояния, чем аналоговый сигнал, поэтому его предварительно модулируют на стороне передатчика, и демодулируют на стороне приёмника информации. Использование в цифровых системах алгоритмов проверки и восстановления цифровой информации позволяет существенно увеличить надёжность передачи информации.

Следует иметь в виду, что реальный цифровой сигнал по своей физической природе является аналоговым. Из-за шумов и изменения параметров линий передачи он имеет флуктуации по амплитуде, фазе / частоте поляризации. Но этот аналоговый сигнал (импульсный и дискретный) наделяется свойствами числа. В результате для его обработки становится возможным использование численных методов (компьютерная обработка).

## Позиционные системы счисления

Для понимания систем счисления и принципа передачи цифровых сигналов необходимо коснуться некоторых понятий:

Код - двоичное число, а также метод представления двоичных чисел;

Разрядность кода - количество двоичных разрядов кода (210 = 1 024, 220 = 1 048 576; 230 = 1 073 741 824);

Бит - один разряд двоичного числа (от англ. binary digit);

Байт - восемь двоичных разрядов (битов) - принимает 28 значений: от 0 до 255;

Слово - код, состоящий из нескольких байтов (чаще всего 2 байта - 16 разрядов, 4 байта - 32 разряда, 8 байт - 64 разряда);

Любой цифровой сигнал состоит из так называемого «двоичного кода».

Двоичная система счисления - позиционная система счисления с основанием

2. Благодаря непосредственной реализации в цифровых электронных схемах на логических вентилях, двоичная система используется практически во всех современных компьютерах и прочих вычислительных электронных устройствах. Здесь, за единицы информации используются логический 0 (ноль), и логическая 1 (единица). В цифровых электронных микросхемах за единицы логической 1 и 0, принимают определенный уровень электрического напряжения в вольтах. Так, к примеру, логическая единица будет означать 4,5 вольта, а за логический ноль 0,5 вольт. Естественно для каждого типа цифровых микросхем, значения величины напряжений логического нуля и единицы, разные.

В двоичной системе счисления числа записываются, как уже стало понятно, с помощью двух символов (0 и 1). Чтобы не путать, в какой системе счисления записано число, его снабжают указателем справа внизу. Например, число в десятичной системе 510, в двоичной 1012. Иногда двоичное число обозначают префиксом 0b или символом & (амперсанд), например 0b101 или соответственно &101.

В двоичной системе счисления (как и в других системах счисления, кроме десятичной) знаки читаются по одному. Например, число 1012 произносится «один ноль один».[8]



Рисунок 2 - Пример разбора чисел

Наглядно посмотреть, как преобразуются числа разных систем счислений можно в таблице ниже:

Таблица 1 - Примеры преобразований в 2-ичной системе

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 10-число | 2-число | 10-число | 2-число |
| 0 | 0 | 8 | 1000 |
| 1 | 1 | 9 | 1001 |
| 2 | 10 | 10 | 1010 |
| 3 | 11 | 11 | 1011 |
| 4 | 100 | 12 | 1100 |
| 5 | 101 | 13 | 1101 |
| 6 | 110 | 14 | 1110 |
| 7 | 111 | 15 | 1111 |

Другим примером позиционной системы счисления является Шестнадцатеричная система счисления (шестнадцатеричные числа) -позиционная система счисления по целочисленному основанию 16.

Обычно в качестве шестнадцатеричных цифр используются десятичные цифры от 0 до 9 и латинские буквы от A до F для обозначения цифр от 1010 до 1510, то есть (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F).

Такая система широко используется в низкоуровневом программировании и компьютерной документации, поскольку в современных компьютерах минимальной единицей памяти является 8-битный байт, значения которого удобно записывать двумя шестнадцатеричными цифрами. Такое использование началось с системы IBM/360, где вся документация использовала шестнадцатеричную систему, в то время как в документации других компьютерных систем того времени (даже с 8-битными символами, как, например, PDP-11 или БЭСМ-6) использовали восьмеричную систему.

На рисунке 3 видно, с помощью каких преобразований длинный двоичный код конструируется в удобное для работы 16-ричное представление.

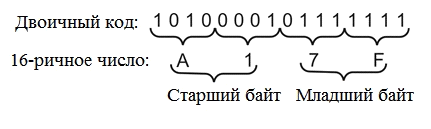


Рисунок 3 - Перевод 2-ичного кода в 16-ричный

Как десятичные числа отображаются в шестнадцатеричном счислении представлено в таблице 2:

Таблица 2 - Примеры преобразований в 16-ричной системе

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 10-число | 16-число | 10-число | 16-число |
| 0 | 0 (0) | 9 | 9 (1001) |
| 1 | 1 (1) | 10 | A (1010) |
| 2 | 2 (10) | 11 | B (1011) |
| 3 | 3 (11) | 12 | C (1100) |
| 4 | 4 (100) | 13 | D (1101) |
| 5 | 5 (101) | 14 | E (1110) |
| 6 | 6 (110) | 15 | F (1111) |
| 7 | 7 (111) | 16 | 10 (10000) |
| 8 | 8 (1000) | 17 | 11 (10001) |

## Система сбора данных. Ее виды и типы

Прежде чем сигнал, а он же информация, поступит на компьютер, он должен пройти первичную обработку, так называемую, подготовку перед передачей. Сбором, первичной обработкой, хранением и последующей передачей занимается отдельная система.

Система сбора данных (ССД) представляет собой набор аппаратных и программных средств, предназначенный для работы с персональным компьютером, либо специализированной ЭВМ и осуществляющий автоматизированный сбор информации о значении физических параметров в заданных точках объекта исследования, первичную обработку, хранение и передачу данных.

По способу сопряжения с компьютером системы сбора данных можно разделить на:

* ССД на основе встраиваемых плат сбора данных со стандартным системным интерфейсом (наиболее распространен интерфейс PCI).
* ССД на основе модулей сбора данных с внешним интерфейсом (RS-232, RS-485, USB).
* ССД, выполненные в виде крейтов (магистрально-модульные ССД - КАМАК, VXI).

Группы цифровых измерительных приборов (ЦИП) или интеллектуальных датчиков. Для их организации применяются интерфейсы: GPIB (IEEE-488), 1-wire, CAN, HART.

По способу получения информации ССД делятся на:

* сканирующие,
* мультиплексные (мультиплексорные, иногда говорят «многоточечные»),
* параллельные,
* мультиплицированные.

Последний тип ССД практически не используется в силу своего исключительно низкого быстродействия. Единственное достоинство ССД этого типа - относительная простота - полностью нивелируется современными технологиями изготовления интегральных схем.

Сканирующий принцип построения ССД используется там, где надо измерить поле распределения параметров: тепловизор, аппарат УЗИ, томограф используют для получения первичной информации именно ССД сканирующего типа.

Параллельными системами сбора данных следует считать ССД на основе т. н. интеллектуальных датчиков (ИД). Каждый ИД суть одноканальная ССД со специализированным интерфейсом. Исторически первыми параллельными ССД были ССД, где у каждого датчика «личным» был только АЦП, а сбор и обработка данных осуществлялась многопроцессорной ЭВМ. В настоящее время для сбора и обработки измерительной информации как правило вполне хватает вычислительных характеристик «обычной» ЭВМ. Параллельные системы пока еще не вытесняют мультиплексорные, в силу своей аппаратурной избыточности. Однако в ряде случаев параллельный принцип привлекателен: когда есть недорогие готовые ИД и недорогой канал связи (например система на интерфейсе 1-Wire) либо при небольшом числе каналов (выпускаются счетверенные сигма-дельта АЦП) и т. п.

Мультиплексная (мультиплексорная) ССД имеет на каждый измерительный канал индивидуальные средства аналоговой обработки сигнала и общий для всех каналов блок аналого-цифрового преобразования (помимо самого АЦП в него обязательно входит «антиалиасинговый» ФНЧ, устройство выборки хранения, опционально - схема защиты и схема формирования знакового разряда). Наибольшее распространение в настоящее время имеют именно мультиплексные системы сбора данных.

Типовая система сбора данных является мультиплексной и содержит в себе следующие узлы: датчики, аналоговый коммутатор, измерительный усилитель, аналого-цифровой преобразователь, контроллер сбора данных, цифро-аналоговым преобразователем, цифровыми линиями ввода-вывода, модуль интерфейса. Преобразование осуществляется с помощью таких компонентов как: усилители, фильтры, схемы выборки и хранения, мультиплексоры.

# Аналого-цифровые преобразователи

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) - устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал). Формально, входной величиной АЦП может быть любая физическая величина - напряжение, ток, сопротивление, емкость, частота следования импульсов, угол поворота вала и т.п. Как правило, аналого-цифровой преобразователь - электронное устройство, преобразующее напряжение в двоичный цифровой код. Тем не менее, некоторые неэлектронные устройства с цифровым выходом, следует также относить к этому виду, например, некоторые типы преобразователей угол-код. Простейшим одноразрядным двоичным преобразователем является компаратор.[1]

## Основные характеристики АЦП

АЦП имеет множество характеристик, из которых основными можно назвать разрешение, частоту преобразования, разрядность и шум квантования.

Разрешение АЦП - минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным прибором - связано с его разрядностью. В случае единичного измерения без учёта шумов разрешение напрямую определяется разрядностью преобразователя.

Частота преобразования обычно выражается в отсчетах в секунду. Современные АЦП могут иметь разрядность до 24 бит и скорость преобразования до миллиарда операций в секунду (конечно, не одновременно). Чем выше скорость и разрядность, тем труднее получить требуемые характеристики, тем дороже и сложнее преобразователь. Скорость преобразования и разрядность связаны друг с другом определенным образом, и мы можем повысить эффективную разрядность преобразования, пожертвовав скоростью.

Разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. В двоичных приборах измеряется в битах, в троичных- в тритах. Например, двоичный 8-ми разрядный преобразователь способен выдать 256 дискретных значений (0…255), поскольку . Троичный 8-ми разрядный способен выдать 6561 дискретное значение, поскольку .

Современные АЦП могут иметь разрядность до 24 бит и скорость преобразования до единиц GigaSPS (конечно, не одновременно). Чем выше скорость и разрядность, тем труднее получить требуемые характеристики, тем дороже и сложнее преобразователь. Скорость преобразования и разрядность связаны друг с другом определенным образом, и можно повысить эффективную разрядность преобразования, пожертвовав скоростью.

Шум квантования - ошибки, возникающие при оцифровке аналогового сигнала. В зависимости от типа аналого-цифрового преобразования могут возникать из-за округления (до определённого разряда) сигнала или усечения (отбрасывания младших разрядов) сигнала.[1]

## Типы АЦП.

Существует множество типов АЦП, однако в рамках данной работы ограничимся рассмотрением только следующих типов:

* АЦП параллельного преобразования (прямого преобразования, flash ADC)
* АЦП последовательного приближения (SAR ADC)
* дельта-сигма АЦП (АЦП с балансировкой заряда)

Существуют также и другие типы АЦП, в том числе конвейерные и комбинированные типы, состоящие из нескольких АЦП с (в общем случае) различной архитектурой. Однако приведенные выше архитектуры АЦП являются наиболее показательными в силу того, что каждая архитектура занимает определенную нишу в общем диапазоне скорость-разрядность.  
 Наибольшим быстродействием и самой низкой разрядностью обладают АЦП прямого (параллельного) преобразования. Например, АЦП параллельного преобразования TLC5540 фирмы Texas Instruments обладает быстродействием 40MSPS при разрядности всего 8 бит. АЦП данного типа могут иметь скорость преобразования до 1 GSPS. Здесь можно отметить, что еще большим быстродействием обладают конвейерные АЦП (pipelined ADC), однако они являются комбинацией нескольких АЦП.



Рисунок 4 - Структурная схема АЦП параллельного преобразования

Среднюю нишу в ряду разрядность-скорость занимают АЦП последовательного приближения. Типичными значениями является разрядность 12-18 бит при частоте преобразования 100KSPS-1MSPS.



Рисунок 5 - Структурная схема АЦП последовательного приближения

Наибольшей точности достигают сигма-дельта АЦП, имеющие разрядность до 24 бит включительно и скорость от единиц SPS до единиц KSPS.



Рисунок 6 - Блок-схема сигма-дельта АЦП

Еще одним типом АЦП, который находил применение в недавнем прошлом, является интегрирующий АЦП. Интегрирующие АЦП в настоящее время практически полностью вытеснены другими типами АЦП, но могут встретиться в старых измерительных приборах.

Проделав долгий путь, претерпев ряд преобразований, информация об измеряемой физической величине попадает на вход обработчика цифрового сигнала. В качестве него могут выступать микроконтроллеры, микропроцессорные системы, персональные компьютеры или специализированные ЭВМ, в зависимости от сложности ССД.[14]

Данный функциональный блок может выполнять широкий спектр задач, таких как:

1. преобразование полученной информации в вид, удобный для отображения на индикаторах и дисплеях;
2. цифровая обработка сигнала, усиление, фильтрация с применением БИХ, КИХ фильтров, преобразованием Фурье;
3. хранение данных во внутренней или внешней памяти;
4. передача данных по тому или иному интерфейсу.

# Цифро-аналоговые преобразователи

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) - устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, напряжение или заряд). Цифро-аналоговые преобразователи являются интерфейсом между дискретным цифровым миром и аналоговыми сигналами.

ЦАП применяется всегда, когда надо преобразовать сигнал из цифрового представления в аналоговое для дальнейшего отображения на дисплеях и анализа.

## Наиболее общие типы ЦАП

Широтно-импульсный модулятор - простейший тип ЦАП. Стабильный источник тока или напряжения периодически включается на время, пропорциональное преобразуемому цифровому коду, далее полученная импульсная последовательность фильтруется аналоговым фильтром нижних частот. Такой способ часто используется для управления скоростью электромоторов, а также становится популярным в Hi-Fi-аудиотехнике;

ЦАП передискретизации, такие как дельта-сигма-ЦАП, основаны на изменяемой плотности импульсов. Передискретизация позволяет использовать ЦАП с меньшей разрядностью для достижения большей разрядности итогового преобразования; часто дельта-сигма ЦАП строится на основе простейшего однобитного ЦАП, который является практически линейным. На ЦАП малой разрядности поступает импульсный сигнал с модулированной плотностью импульсов (c постоянной длительностью импульса, но с изменяемой скважностью), создаваемый с использованием отрицательной обратной связи. Отрицательная обратная связь выступает в роли фильтра верхних частот для шума квантования.

Большинство ЦАП большой разрядности (более 16 бит) построены на этом принципе вследствие его высокой линейности и низкой стоимости. Быстродействие дельта-сигма ЦАП достигает сотни тысяч отсчетов в секунду, разрядность - до 24 бит. Для генерации сигнала с модулированной плотностью импульсов может быть использован простой дельта-сигма модулятор первого порядка или более высокого порядка как MASH (англ. Multi stage noise SHaping). С увеличением частоты передискретизации смягчаются требования, предъявляемые к выходному фильтру низких частот и улучшается подавление шума квантования;

ЦАП взвешивающего типа, в котором каждому биту преобразуемого двоичного кода соответствует резистор или источник тока, подключенный на общую точку суммирования. Сила тока источника (проводимость резистора) пропорциональна весу бита, которому он соответствует. Таким образом, все ненулевые биты кода суммируются с весом. Взвешивающий метод один из самых быстрых, но ему свойственна низкая точность из-за необходимости наличия набора множества различных прецизионных источников или резисторов и непостоянного импеданса. По этой причине взвешивающие ЦАП имеют разрядность не более восьми бит;

ЦАП лестничного типа (цепная R-2R-схема). В R-2R-ЦАП значения создаются в специальной схеме, состоящей из резисторов с сопротивлениями R и 2R, называемой матрицей постоянного импеданса, которая имеет два вида включения: прямое - матрица токов и инверсное -матрица напряжений. Применение одинаковых резисторов позволяет существенно улучшить точность по сравнению с обычным взвешивающим ЦАП, так как сравнительно просто изготовить набор прецизионных элементов с одинаковыми параметрами. ЦАП типа R-2R позволяют отодвинуть ограничения по разрядности. С лазерной подгонкой плёночных резисторов, расположенных на одной подложке гибридной микросхемы, достигается точность 20-22 бита. Основное время на преобразование тратится в операционном усилителе, поэтому он должен иметь максимальное быстродействие. Быстродействие ЦАП единицы микросекунд и ниже (то есть наносекунды);[14]

ЦАП находятся в начале аналогового тракта любой системы, поэтому параметры ЦАП во многом определяют параметры всей системы в целом.

## Характеристики ЦАП

Разрядность - количество различных уровней выходного сигнала, которые ЦАП может воспроизвести. Обычно задается в битах. Разрядность тесно связана с эффективной разрядностью (англ. ENOB, Effective Number of Bits), которая показывает реальное разрешение, достижимое на данном ЦАП.

Максимальная частота дискретизации - максимальная частота, на которой ЦАП может работать, выдавая на выходе корректный результат. В соответствии с теоремой Найквиста - Шеннона (известной также как теорема Котельникова), для корректного воспроизведения аналогового сигнала из цифровой формы необходимо, чтобы частота дискретизации была не менее чем удвоенная максимальная частота в спектре сигнала. [14]

Например, для воспроизведения всего слышимого человеком звукового диапазона частот, спектр которого простирается до 20 кГц, необходимо, чтобы звуковой сигнал был дискретизован с частотой не менее 40 кГц. Стандарт Audio CD устанавливает частоту дискретизации звукового сигнала 44,1 кГц; для воспроизведения данного сигнала понадобится ЦАП, способный работать на этой частоте. В дешевых компьютерных звуковых картах частота дискретизации составляет 48 кГц. Сигналы, дискретизованные на других частотах, подвергаются передискретизации до 48 кГц, что частично ухудшает качество сигнала.

Монотонность - свойство ЦАП увеличивать аналоговый выходной сигнал при увеличении входного кода.+N (суммарные гармонические искажения + шум) - мера искажений и шума вносимых в сигнал ЦАПом. Выражается в процентах мощности гармоник и шума в выходном сигнале. Важный параметр при малосигнальных применениях ЦАП.[14]

Динамический диапазон - соотношение наибольшего и наименьшего сигналов, которые может воспроизвести ЦАП, выражается в децибелах. Данный параметр связан с разрядностью и шумовым порогом.

Статические характеристики:

* DNL (дифференциальная нелинейность) - характеризует, насколько приращение аналогового сигнала, полученное при увеличении кода на 1 младший значащий разряд (МЗР), отличается от правильного значения;
* INL (интегральная нелинейность) - характеризует, насколько передаточная характеристика ЦАП отличается от идеальной. Идеальная характеристика строго линейна; INL показывает, насколько напряжение на выходе ЦАП при заданном коде отстоит от линейной характеристики; выражается в МЗР;
* усиление;
* смещение.

Частотные характеристики:

* SNDR (отношение сигнал/шум+искажения) - характеризует в децибелах отношение мощности выходного сигнала к суммарной мощности шума и гармонических искажений;
* HDi (коэффициент i-й гармоники) - характеризует отношение i-й гармоники к основной гармонике;
* THD (коэффициент гармонических искажений) - отношение суммарной мощности всех гармоник (кроме первой) к мощности первой гармоники.

# Системы передачи данных. Режимы и принципы обмена, способы соединения. Метод приема-передачи

Передача данных - физический перенос данных (цифрового битового потока) в виде сигналов от точки к точке или от точки к нескольким точкам средствами электросвязи по каналу передачи данных, как правило, для последующей обработки средствами вычислительной техники.

Способ передачи информации:

* параллельный;
* последовательный;
* параллельно - последовательный.

Цифровая последовательная передача - это последовательная отправка битов по одному проводу, частоте или оптическому пути. Этот механизм может использоваться на более дальних расстояниях, потому что легко может быть передана контрольная цифра или бит чётности.

В цифровой связи, параллельной передачей называется одновременная передача соответствующих элементов сигнала по двум или большему числу путей. Используя множество электрических проводов можно передавать несколько бит одновременно, что позволяет достичь более высоких скоростей передачи, чем при последовательной передаче.

Принцип обмена информацией:

* асинхронный;
* синхронный.(англ. Asynchronous Transfer Mode - асинхронный способ передачи данных) - сетевая высокопроизводительная технология коммутации и мультиплексирования, основанная на передаче данных в виде ячеек (cell) фиксированного размера (53 байта), из которых 5 байтов используется под заголовок.

Синхронный принцип основывается на синхронизации по времени передающего и принимающего устройства. Стандарты этого принципа определяют характеристики цифровых сигналов, включая структуру фреймов (циклов), метод мультиплексирования, иерархию цифровых скоростей и кодовые шаблоны интерфейсов и т. д.

В отличие от синхронного способа передачи данных, ATM лучше приспособлен для предоставления услуг передачи данных с сильно различающимся или изменяющимся битрейтом.

Сеть ATM строится на основе соединенных друг с другом АТМ-коммутаторов. Допускается совместная передача различных видов информации, включая видео, голос.

Ячейки данных, используемые в ATM, меньше в сравнении с элементами данных, которые используются в других технологиях.

Небольшой, постоянный размер ячейки, используемый в ATM, позволяет:

* Совместно передавать данные с различными классами требований к задержкам в сети, причем по каналам как с высокой, так и с низкой пропускной способностью;
* Работать с постоянными и переменными потоками данных;
* Интегрировать на одном канале любые виды информации: данные, голос, потоковое аудио- и видеовещание, телеметрия и т.п.;
* Поддерживать соединения типа точка-точка, точка-многоточка и многоточка-многоточка.

Технология ATM предполагает межсетевое взаимодействие на трёх уровнях.

Для передачи данных от отправителя к получателю в сети ATM создаются виртуальные каналы, VC (англ. Virtual Circuit), которые бывают трёх видов:

1. постоянный виртуальный канал, PVC (Permanent Virtual Circuit), который создаётся между двумя точками и существует в течение длительного времени, даже в отсутствие данных для передачи;
2. коммутируемый виртуальный канал, SVC (Switched Virtual Circuit), который создаётся между двумя точками непосредственно перед передачей данных и разрывается после окончания сеанса связи;
3. автоматически настраиваемый постоянный виртуальный канал, SPVC (Soft Permanent Virtual Circuit). Каналы SPVC по сути представляют собой каналы PVC, которые инициализируются по требованию в коммутаторах ATM. С точки зрения каждого участника соединения, SPVC выглядит как обычный PVC, а что касается коммутаторов ATM в инфраструктуре провайдера, то для них каналы SPVC имеют значительные отличия от PVC. Канал PVC создаётся путём статического определения конфигурации в рамках всей инфраструктуры провайдера и всегда находится в состоянии готовности. Но в канале SPVC соединение является статическим только от конечной точки (устройство DTE) до первого коммутатора ATM (устройство DCE). А на участке от устройства DCE отправителя до устройства DCE получателя в пределах инфраструктуры провайдера соединение может формироваться, разрываться и снова устанавливаться по требованию. Установленное соединение продолжает оставаться статическим до тех пор, пока нарушение работы одного из звеньев канала не вызовет прекращения функционирования этого виртуального канала в пределах инфраструктуры провайдера сети.

Для маршрутизации в пакетах используют так называемые идентификаторы пакета. Они бывают двух видов:

* VPI (англ. virtual path identifier) - идентификатор виртуального пути (номер канала)
* VCI (англ. virtual circuit identifier) - идентификатор виртуального канала (номер соединения)

Универсальный асинхронный приёмопередатчик (УАПП, англ. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, UART) - узел вычислительных устройств, предназначенный для организации связи с другими цифровыми устройствами. Преобразует передаваемые данные в последовательный вид так, чтобы было возможно передать их по цифровой линии другому аналогичному устройству.

Представляет собой логическую схему, с одной стороны подключённую к шине вычислительного устройства, а с другой имеющую два или более выводов для внешнего соединения. Передатчик может представлять собой отдельную микросхему (например, Intel I8251, I8250) или являться частью большой интегральной схемы (например, микроконтроллера).

Передача данных в UART осуществляется по одному биту в равные промежутки времени. Этот временной промежуток определяется заданной скоростью UART и для конкретного соединения указывается в бодах (что в данном случае соответствует битам в секунду).

Существует общепринятый ряд стандартных скоростей: 300; 600; 1200; 2400; 4800; 9600; 19200; 38400; 57600; 115200; 230400; 460800; 921600 бод. Скорость (S, бод) и длительность бита (T, секунд) связаны соотношением T=1/S . Скорость в бодах иногда называют сленговым словом битрейт.

Помимо собственно информационного потока UART автоматически вставляет в поток синхронизирующие метки, так называемые стартовый и стоповый биты. При приёме эти лишние биты удаляются из потока. Обычно стартовый и стоповый биты обрамляют один байт информации (8 бит), однако встречаются реализации UART, которые позволяют передавать по 5,6,7,8 или 9 бит. Обрамленные стартом и стопом биты являются минимальной посылкой. Некоторые реализации UART позволяют вставлять два стоповых бита при передаче для уменьшения вероятности рассинхронизации приёмника и передатчика при плотном трафике. Приёмник игнорирует второй стоповый бит, воспринимая его как короткую паузу на линии.

Для формирования временных интервалов передающий и приёмный UART имеют источник точного времени (тактирования). Точность этого источника должна быть такой, чтобы сумма погрешностей (приёмника и передатчика) установки временного интервала от начала стартового импульса до середины стопового импульса не превышала половины (а лучше хотя бы четверти) битового интервала. Поскольку синхронизирующие биты занимают часть битового потока, то результирующая пропускная способность UART не равна скорости соединения. Например, для 8-битных посылок формата 8-N-1 синхронизирующие биты занимают 20 процентов потока, что для физической скорости 115 200 бод даёт битовую скорость данных 92160бит/с или 11 520 байт/с.[7]

Примером порта работающего по такому принципу является:



Рисунок 7 - Порт RS-232

- физический уровень асинхронного (UART) интерфейса. Исторически имел широкое распространение в телекоммуникационном оборудовании для персональных компьютеров. В настоящее время всё ещё широко используется для подключения всевозможного специального или устаревшего оборудования к компьютерам, однако в основном он уже вытеснен интерфейсом USB.обеспечивает передачу данных и некоторых специальных сигналов между терминалом и коммуникационным устройством на расстояние до 15 метров.- проводной дуплексный интерфейс. Метод передачи данных аналогичен асинхронному последовательному интерфейсу.

Информация передается по проводам двоичным сигналом с двумя уровнями напряжения. Логическому «0» соответствует положительное напряжение (от +5 до +15 В для передатчика), а логической «1» отрицательное (от −5 до −15 В для передатчика). Для электрического согласования линий RS-232 и стандартной цифровой логики UART выпускается большая номенклатура микросхем драйверов, например MAX232.

Помимо линий входа и выхода данных RS-232 регламентировал ряд необязательных вспомогательных линий для аппаратного управления потоком данных и специальных функций.

Вместо передачи одного бита за раз (как в коде Морзе и Двоичная фазовая манипуляция), распространенные механизмы соединений, как например, фазовая манипуляция, импульсная модуляция и MIMO, посылают несколько бит одновременно. (Каждая такая группа бит называется «символом»). Каждый механизм может быть расширен для отправки байта целиком за раз (256-QAM). Более современные механизмы, такие как OFDM, используются в ADSL для передачи более 224 бит в параллельном режиме, а также в DVB-T для передачи более 6048 бит в параллельном режиме.

Паралле́льный порт - тип интерфейса, разработанный для компьютеров (персональных и других) для подключения различных периферийных устройств. В вычислительной технике параллельный порт является физической реализацией принципа параллельного соединения. Он также известен как принтерный порт или порт Centronics.



Рисунок 8 - LPT-порт(IEEE 1284-A)

Стандарт IEEE 1284 определяет двунаправленный вариант порта, который позволяет одновременно передавать и принимать биты данных.

В основном используется для подключения к компьютеру принтера, сканера и других внешних устройств (часто использовался для подключения внешних устройств хранения данных), однако может применяться и для других целей (организация связи между двумя компьютерами, подключение каких-либо механизмов телесигнализации и телеуправления).

Стандарт позволяет использовать интерфейс в нескольких режимах:

* SPP (Standard Parallel Port) - однонаправленный порт, полностью совместим с интерфейсом Centronics.
* Nibble Mode - позволяет организовать двунаправленный обмен данными в режиме SPP путём использования управляющих линий (4 бит) для передачи данных от периферийного устройства к контроллеру. Исторически это был единственный способ использовать Centronics для двустороннего обмена данными.
* EPP (Enhanced Parallel Port)-разработан компаниями Intel, Xircom и Zenith Data Systems - двунаправленный порт, со скоростью передачи данных до 2Мбайт/сек.(1991).
* ЕСР (Extended Capabilities Port) - разработан компаниями Hewlett-Packard и Microsoft - в дополнение появились такие возможности, как наличие аппаратного сжатия данных, наличие буфера и возможность работы в режиме DMA, также поддерживает симметричный двунаправленный обмен данными со скоростью до 2,5 Мбит/с.

Режим обмена информацией:

* симплексный;
* полудуплексный;
* дуплексный;
* мультиплексный режим обмена.

Для случая связи двух абонентов в симплексном режиме лишь один из двух абонентов может инициировать в любой момент времени передачу информации по интерфейсу. Для случая связи двух абонентов в полудуплексном режиме любой абонент может начать передачу информации другому, если линия связи интерфейса при этом оказывается свободной. Для случая связи двух абонентов в дуплексном режиме каждый абонент может начать передачу информации другому в произвольный момент времени. В случае связи нескольких абонентов в мультиплексном режиме в каждый момент времени связь может быть осуществлена между парой абонентов в любом, но единственном направлении от одного из абонентов к другому.

Весь подключенный интерфейс работает в соответствии с протоколами передачи данных.

Протокол передачи данных - набор соглашений интерфейса логического уровня, которые определяют обмен данными между различными программами. Эти соглашения задают единообразный способ передачи сообщений и обработки ошибок при взаимодействии программного обеспечения разнесённой в пространстве аппаратуры, соединённой тем или иным интерфейсом. Наиболее известные протоколы: HTTP - это протокол передачи гипертекста. Протокол HTTP используется при пересылке Web-страниц с одного компьютера на другой; DTN - протокол, предназначенный для сетей дальней космической связи IPN, которые используются NASA; TCP/IP - набор протоколов передачи данных, получивший название от двух принадлежащих ему протоколов.

# Квантование сигнала, его виды. Типы преобразования и обработки сигнала

Квантова́ние (англ. quantization) - разбиение диапазона значений непрерывной или дискретной величины на конечное число интервалов. Существует векторное квантование - это разбиение пространства возможных значений векторной величины на конечное число областей. Простейшим видом квантования является деление целочисленного значения на натуральное число, называемое коэффициентом квантования.



Рисунок 9 - Квантованный сигнал

Не следует путать квантование с дискретизацией (и, соответственно, шаг квантования с частотой дискретизации). При дискретизации изменяющаяся во времени величина (сигнал) замеряется с заданной частотой (частотой дискретизации), таким образом, дискретизация разбивает сигнал по временной составляющей (на рисунке 10 - по горизонтали). Квантование же приводит сигнал к заданным значениям, то есть, разбивает по уровню сигнала (на рисунке 10 - по вертикали).



Рисунок 10 - Неквантованный сигнал с дискретным временем

Сигнал, к которому применены дискретизация и квантование, называется цифровым.



Рисунок 11 - Цифровой сигнал

Квантование часто используется при обработке сигналов, в том числе при сжатии звука и изображений. [2]

## Виды квантования

Однородное (линейное) квантование - разбиение диапазона значений на отрезки равной длины. Его можно представлять как деление исходного значения на постоянную величину (шаг квантования) и взятие целой части от частного:

 (1)

Квантование по уровню - представление величины отсчётов цифровыми сигналами. Для квантования в двоичном коде диапазон напряжения сигнала от Umin до Umax делится на 2n интервалов. Величина получившегося интервала (шага квантования):

 (2)

Каждому интервалу присваивается -разрядный двоичный код - номер интервала, записанный двоичным числом. Каждому отсчёту сигнала присваивается код того интервала, в который попадает значение напряжения этого отсчёта. Таким образом, аналоговый сигнал представляется последовательностью двоичных чисел, соответствующих величине сигнала в определённые моменты времени, то есть цифровым сигналом. При этом каждое двоичное число представляется последовательностью импульсов высокого (1) и низкого (0) уровня.

## Обработка цифровых сигналов

Цифровая обработка сигналов оперирует с дискретными преобразованиями сигналов и обрабатывающих данные сигналы систем. Математика дискретных преобразований зародилась в недрах аналоговой математики еще в 18 веке в рамках теории рядов и их применения для интерполяции и аппроксимации функций, однако ускоренное развитие она получила в 20 веке после появления первых вычислительных машин. В принципе, в своих основных положениях математический аппарат дискретных преобразований подобен преобразованиям аналоговых сигналов и систем. Однако дискретность данных требует учета этого фактора, и его игнорирование может приводить к существенным ошибкам. Кроме того, ряд методов дискретной математики не имеет аналогов в аналитической математике.

### Преобразования Фурье (ДПФ, БПФ)

Современную технику связи невозможно представить без спектрального анализа. Представление сигналов в частотной области необходимо как для анализа их характеристик, так и для анализа блоков и узлов приемопередатчиков систем радиосвязи. ДПФ широко применяемо в алгоритмах цифровой обработки сигналов (его модификации применяются в сжатии звука в MP3, сжатии изображений в JPEG и др.), а также в других областях, связанных с анализом частот в дискретном (к примеру, оцифрованном аналоговом) сигнале. Такие преобразования часто создаются путём дискретизации (выборки значений из непрерывных функций). Дискретные преобразования Фурье помогают решать дифференциальные уравнения в частных производных и выполнять такие операции, как свёртки. Дискретные преобразования Фурье также активно используются в статистике, при анализе временных рядов. [6]

Преобразования Фурье для цифровых отсчетов сигнала записываются следующим образом:

пара непрерывного преобразования Фурье (интеграл Фурье) имеет вид:

 (3)

 (4)

где S(ω)- спектр сигнала s(t) (в общем случае и сигнал и спектр - комплексные).

Выражения для прямого ДПФ и обратного дискретного преобразования Фурье (ОДПФ) имеют вид:

 (5)

 (6)

где: N - количество значений сигнала, измеренных за период, а также количество компонент разложения;(k) - измеренные значения сигнала (в дискретных временных точках с номерами , которые являются входными данными для прямого преобразования и выходными для обратного);

S(k) - комплексных амплитуд синусоидальных сигналов, слагающих исходный сигнал; являются выходными данными для прямого преобразования и входными для обратного; поскольку амплитуды комплексные, то по ним можно вычислить одновременно и амплитуду, и фазу;

k - индекс частоты. Частота k-го сигнала равна k/T, где T - период времени, в течение которого брались входные данные.

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) - базируется на том, что при вычислениях среди множителей (синусов и косинусов) есть много периодически повторяющихся значений (в силу периодичности функций). Алгоритм БПФ группирует слагаемые с одинаковыми множителями в пирамидальный алгоритм, значительно сокращая число умножений за счет исключения повторных вычислений. В результате быстродействие БПФ в зависимости от N может в сотни раз превосходить быстродействие стандартного алгоритма. При этом следует подчеркнуть, что алгоритм БПФ даже точнее стандартного, т.к. сокращая число операций, он приводит к меньшим ошибкам округления.[2]

### Передискретизация. Ее применение на практике

Передискретизация (англ. resampling) - изменение частоты дискретизации дискретного (чаще всего цифрового) сигнала. Алгоритмы передискретизации широко применяются при обработке звуковых сигналов, радиосигналов и изображений (передискретизация растрового изображения - это изменение его разрешения в пикселах).

Отсчёты сигнала, соответствующие новой частоте дискретизации, вычисляются по уже имеющимся отсчётам и не содержат новой информации.

Повышение частоты дискретизации называется интерполяцией, понижение - децимацией.

При передискретизации отсчёты сигнала, соответствующие одной частоте дискретизации, вычисляются по имеющимся отсчётам этого же сигнала, соответствующим другой частоте дискретизации (при этом предполагается, что обе частоты дискретизации соответствуют условиям теоремы Котельникова). Идеальная передискретизация эквивалентна восстановлению непрерывного сигнала по его отсчётам с последующей дискретизацией его на новой частоте.

Точное вычисление значения исходного непрерывного сигнала в определённой точке производится следующим образом:

 (7)

где x(ti) - i-й отсчёт сигнала, ti - момент времени, соответствующий этому отсчёту, ωd=2πʄd - циклическая частота дискретизации, x(t) - интерполированное значение сигнала в момент времени t.

В жизни интерполяция осуществляется с помощью других фильтров, при этом выражение для неё принимает следующий вид:

 (8)

где h(t) -импульсная характеристика соответствующего восстанавливающего фильтра. Вид этого фильтра выбирается в зависимости от задачи.

Передискретизация применяется как аппаратная (на основе специализированных микросхем или FPGA), так и программная (на базе процессоров общего назначения или сигнальных процессоров).

Обработка изображения:

Изменение разрешения является одной из распространённых операций обработки изображений. Передискретизация, приближенная к идеальной, не всегда является желательной. Наоборот, результаты работы фильтров с частотной характеристикой, далёкой от идеальной, могут визуально восприниматься как хорошие. Выбор фильтра для передискретизации является результатом компромисса между типом и выраженностью артефактов и вычислительной сложностью преобразования (актуальной для приложений реального времени).

Обработка радиосигнала:

При демодуляции цифровых сигналов желательно, чтобы частота дискретизации сигнала была кратна его скорости манипуляции (иначе говоря, чтобы на каждый символ приходилось одинаковое число отсчётов сигнала). Однако частота дискретизации входного сигнала с АЦП, как правило, фиксирована, а скорость манипуляции может меняться. Решением является передискретизация сигнала.

### Свёртка. Ее виды. Расчет

Свёртка последовательностей - это результат перемножения элементов двух заданных числовых последовательностей таким образом, что члены одной последовательности берутся с возрастанием индексов, а члены другой - с убыванием (что и служит основанием для принятого названия данной операции).

Свёртка последовательностей - это частный случай свёртки функций.

Свёртка является линейным преобразованием входящих в неё последовательностей.

Свёртку двух заданных последовательностей можно получить, если, сначала, использовать для каждой последовательности дискретное преобразование Фурье (ДПФ), затем перемножить результаты преобразования и произвести обратное дискретное преобразование Фурье (обратное ДПФ). Это важное свойство находит своё широкое применение в цифровой обработке сигналов.[3]

Различают периодическую и линейную свёртки, которые используются для периодических и конечных последовательностей соответственно.

К традиционным типам свёрток относятся:

* линейная свёртка;
* круговая свёртка (периодическая);
* круговая свёртка (апериодическая);
* свёртка с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

### Спектральный анализ. Спектральная плотность мощности. Автокорреляция. Оконные функции

Спектральный анализ - один из методов обработки сигналов, который позволяет охарактеризовать частотный состав измеряемого сигнала. Важную роль в спектральном анализе играют методы статистики, поскольку сигналы, как правило, имеют случайный характер или зашумлены при распространении или измерении.

Используется спектральный анализ для того, чтобы определить:

* количество гармоник в составе сигнала, а для каждой: амплитуду, частоту, начальную фазу;
* наличие/отсутствие белого шума, а при наличии, его СКО (среднеквадратическое отклонение);
* наличие/отсутствие постоянной составляющей сигнала;

Спектральная плотность мощности (СПМ) - функция, описывающая распределение мощности сигнала в зависимости от частоты, то есть мощность, приходящаяся на единичный интервал частоты.[4]

Спектральная плотность мощности вычисляется по формуле:

 (9)

Автокорреляция - статистическая взаимосвязь между случайными величинами из одного ряда, но взятых со сдвигом, например, для случайного процесса - со сдвигом по времени.

В обработке сигналов автокорреляционная функция (АКФ) определяется интегралом:

 (10)

и показывает связь сигнала (функции f(t)) с копией самого себя, смещённого на величину τ.

Автокорреляционная функция применяется для анализа сложных колебаний, например, электроэнцефалограммы человека. Корреляционные свойства кодовых последовательностей, используемых в широкополосных системах, зависят от типа кодовой последовательности, её длины, частоты следования её символов и от её посимвольной структуры. Изучение АКФ играет важную роль при выборе кодовых последовательностей с точки зрения наименьшей вероятности установления ложной синхронизации.

Автокорреляционная функция вычисляется с помощью быстрого преобразования Фурье и прямо пропорциональна первым  элементам последовательности:

 (11)

Оконное преобразование Фурье - это разновидность преобразования Фурье, определяемая следующим образом:

 (12)

где W(τ - t) - некоторая оконная функция.

В случае дискретного преобразования оконная функция используется аналогично:

 (13)

Результатом оконного преобразования Фурье является не спектр исходного сигнала, а спектр произведения сигнала и оконной функции. Спектр, полученный при помощи оконного преобразования Фурье, является оценкой спектра исходного сигнала и принципиально допускает искажения.

Искажения, вносимые применением окон, определяются размером окна и его формой. Выделяют два основных свойства частотных характеристик окон: ширина главного лепестка и максимальный уровень боковых лепестков. Применение окон, отличных от прямоугольного, обусловлено желанием уменьшить влияние боковых лепестков за счет увеличения ширины главного.

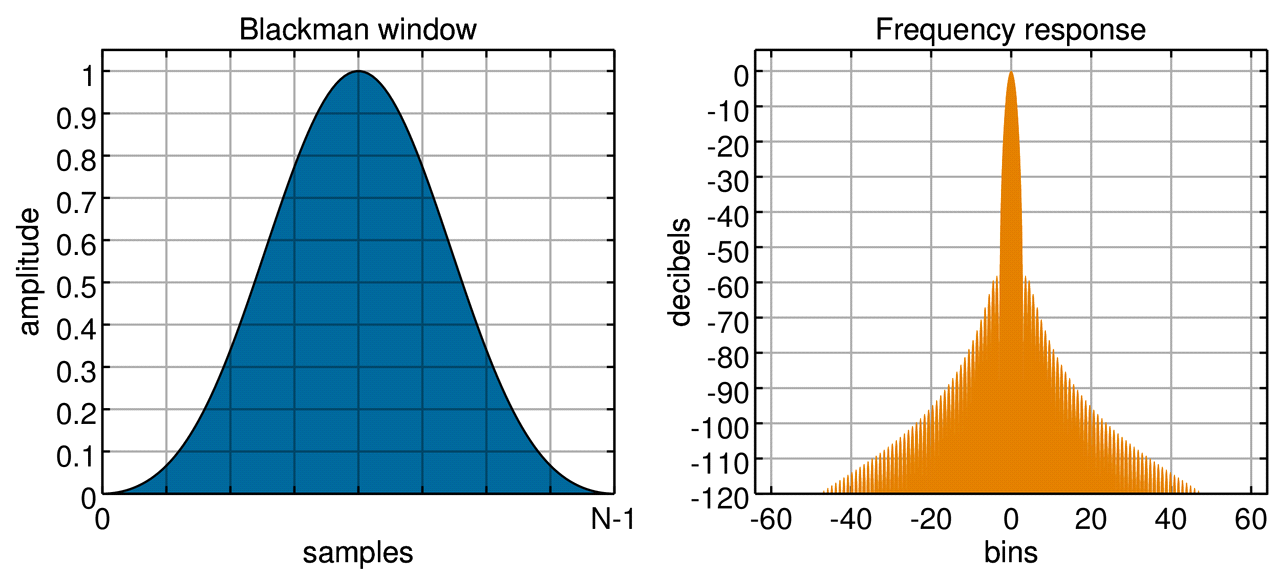


Рисунок 12 - Окно Блэкмана. Уровень боковых лепестков: -58 дБ(α=0,16)

### Цифровые фильтры. Их виды. Применение

Цифровой фильтр - в электронике любой фильтр, обрабатывающий цифровой сигнал с целью выделения и/или подавления определённых частот этого сигнала. Линейный стационарный цифровой фильтр характеризуется передаточной функцией. Передаточная функция может описать, как фильтр будет реагировать на входной сигнал. Таким образом, проектирование фильтра состоит из постановки задачи (например, фильтр восьмого порядка, фильтр нижних частот с конкретной частотой среза), а затем производится расчет передаточной функции, которая определяет характеристики фильтра.

Виды цифровых фильтров:

* Фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры);
* Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры).

Фильтр с конечной импульсной характеристикой (нерекурсивный фильтр, КИХ-фильтр) - один из видов электронных фильтров, характерной особенностью которого является ограниченность по времени его импульсной характеристики (с какого-то момента времени она становится точно равной нулю). Знаменатель передаточной функции такого фильтра - некая константа.[9]

Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (рекурсивный фильтр, БИХ-фильтр) - электронный фильтр, использующий один или более своих выходов в качестве входа, то есть образует обратную связь. Основным свойством таких фильтров является то, что их импульсная переходная характеристика имеет бесконечную длину во временной области, а передаточная функция имеет дробно-рациональный вид. Такие фильтры могут быть как аналоговыми, так и цифровыми.

Различают два вида реализации цифрового фильтра: аппаратный и программный. Аппаратные цифровые фильтры реализуются на элементах интегральных схем, тогда как программные реализуются с помощью программ, выполняемых программируемыми интегральными схемами, процессором или микроконтроллером. Преимуществом программных перед аппаратным является лёгкость воплощения, а также настройки и изменений, а также то, что в себестоимость такого фильтра входит только труд программиста. Недостаток - низкая скорость, зависящая от быстродействия процессора, а также трудная реализуемость цифровых фильтров высокого порядка.

Цифровые фильтры на сегодняшний день применяются практически везде, где требуется обработка сигналов, в частности в спектральном анализе, обработке изображений, обработке видео, обработке речи и звука и многих других приложениях.[11]

# Цифровые автоматизированные системы сбора и обработки информации

Автоматизация процессов сбора и обработки данных достигается путем внедрения алгоритмов сбора и обработки на кристаллы микропроцессоров и микроконтроллеров, такой как цифровой сигнальный процессор (DSP).[10]

Первые микропроцессоры появились в 1970-х годах и применялись в электронных калькуляторах, в них использовалась двоично-десятичная арифметика 4-битных слов. Микропроцессоры и по сей день активно используются в электронике.

Кроме того, существуют различные программно-аппаратные пакеты, осуществляющие контроль работы узлов сбора данных и производимые цифровую обработку сигналов. Пакеты работают на базе ЭВМ с подключенными к ней физическими устройствами.

Уже разработаны нейрочипы, способствующие обмену информацией на очень высоких скоростях между электронными устройствами. Они используются в робототехнике, военной промышленности и т.д., где нужна быстрая и четкая обработка информации. [12]

Современный многопроцессорный элемент, расположенный на одном большом кристалле, обладающий встроенной скоростной базом ввода-вывода, называется транспьютер.[12]

# Заключение

С быстрыми темпами технического развития требования к получению и обработки информации становятся все серьезнее. Скорости и мощности передачи данных нужны все выше, а размеры - мобильней. Для облегчения человеческой жизни и экономии времени создаются новые системы автоматизированного получения и обработки сигнала с большим ресурсом выработки, меньшим энергопотреблением и большей разрешающей точности. Разрабатываются все новые алгоритмы обработки сигнала, для увеличения быстродействия устройств.

В данной работе рассмотрены самые основные понятия, которые необходимы для создания новых цифровых автоматизированных процессов.

В первой главе дано представление о сигнале, как о физическом процессе, который может представляться в двух формах: аналоговой и цифровой. Подробно сказано с помощью чего сигнал представляется в цифровом преображении.

Во второй - сказано с помощью какой системы сигналы собираются и передаются на компьютер для дальнейшей обработки. Представлены виды передаточных элементов.

Какие функции выполняет аналого-цифровой преобразователь, его виды и типы - об этом можно прочесть в третьей главе.

В четвертой же рассмотрен, обратный по принципу работы модуль, цифро-аналоговый преобразователь. Какие у него характеристики и типы можно найти тоже в ней.

В пятой по счету главе говорится о системах передачи данных, из чего они состоят. Представлены примеры двух основных соединительных интерфейсов: для последовательной и параллельной передачи данных. Сказано, каким образом сигнал точно воспринимается считывающим устройством, без путаниц в поступающем длинном цифровом коде.

Некоторые основные виды обработки цифрового сигнала: преобразования Фурье, передискретизация, спектральный анализ, свертка, применение Окон Фурье. Подробно рассказано, какими методами получается цифровой сигнал (квантование и дискретизация). Затронуты цифровые фильтры, которые, в свою очередь, выдают после себя сигнал с определенной, нужной нам частотой - обо всем этом можно найти в шестой главе.

В завершающей, седьмой, главе немного упомянуто про существующие, доведенные до автоматизма, системах сбора и обработки данных. Именно эти системы помогают людям сохранить свое время, выполняя сложные процессы за нас.

Полученные сведения в результате курсовой работы могут быть полезны для студентов физических специальностей при изучении курса «Основы автоматизации эксперимента».

# Список используемых источников

1. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э.Айфичер, Б.Джервис. М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. 992 с.
2. Оппенгейм, А.В. Цифровая обработка сигналов / А.В. Оппенгейм, Р.В. Шафер. М.: Техносфера, 2006. 356 с.
3. Рабинер, Л.Р. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л.Р. Рабинер, Б. Гоулд. М.: Мир, 1978. 848 с.
4. Марпл-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл. М.: Мир, 1990. 584 с.
5. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов / А.Б. Сергиенко. СПб.: Питер, 2006. 751 с.
6. Солонина, А.И. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева, И.И. Гук. СПб.: БХВ - Петербург, 2003. 608 с.
7. Лэй, Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов: практическое руководство / Э. Лэй. М.: Группа ИДТ, 2007. 336 с.
8. Стивен, С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников / С. Стивен. М.: Додэка - XXI, 2008. 720 с.
9. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов. / Р. Лайонс. М.: ООО "Бином-Пресс", 2006. 656 с.
10. Куприянов, М.С. Цифровая обработка сигналов / М.С. Куприянов, Б.Д. Матюшкин. СПб.: Политехника, 2002. 592 с.
11. Каппелини, В. Цифровые фильтры и их применение / В. Каппелини, А. Константинидис и др. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
12. Корнеев, В.В. Современные микропроцессоры. / В.В. Корнеев, А.В. Киселев. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 448 с.
13. Солонина, А.И. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, Л.А. Яковлев. СПб.: БХВ - Петербург, 2001. 464 с.
14. Федорков, Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: Функционирование, параметры, применение / Б.Г. Федорков, В.А. Телец. М.: Энергоатомиздат, 1990. 126 с.