

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
по дисциплине «Цифровая обработка радиотехнических сигналов» (ЦОРС)

- 1 Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов - СПб.: Питер, 2003. - 608 с.: ил.
- 2 Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов – СПб.: БХВ, 2005. – 768с.
- 3 Фйфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. : Пер с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с. : ил.
- 4 Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов - М.: Мир, 1977. - 839 с.: ил.
- 5 Гольденберг Л.М. Цифровая обработка сигналов: Справочник – М.: Радио и связь, 1985г. – 312 с., ил.
- 6 Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. - 592 с.: ил.
- 7 Сато Ю. Без паники! Цифровая обработка сигналов: Пер с яп. – М.: Издательский дом «Додэка-21», 2010. – 176 с. : ил.
- 8 Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986.

ЦОРС. Лекция 1

1.2 Основные сведения по ЦОРС

ЦОРС – достаточно сложная дисциплина и для овладения ее основами необходимы значительные усилия и систематические занятия. Сложность заключается, прежде всего, в насыщенности математическими методами, требующих навыков, умения и часто абстрактного взгляда на суть вещей. Но как раз подготовка специалиста и заключается в числе прочего в выработке этих качеств! Важно научиться выбирать математические методы, адекватные решаемой задаче, выявить, как работают эти методы при решении конкретных задач. Полезно видеть тесную связь математического описания с физической стороной рассматриваемого явления, уметь составлять математические модели изучаемых процессов.

В основном лекции будут построены следующим образом:

- 1) физическая суть задачи и содержательная постановка;
- 2) решение задачи с привлечением математических методов;
- 3) обсуждение результатов;
- 4) примеры по наиболее важным темам.

Конечно, в процессе обучения у любознательных возникнет много непонятных моментов, но это должно побуждать стремление выяснить суть дела и устранить непонимание.

Освоение курса лекций невозможно без знания основных положений базовых учебных дисциплин: «Математика», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Цифровые устройства».

И цифровая обработка напрямую использует идеи и методы аналоговой обработки сигналов и они тесно между собой переплетены. Поэтому мы достаточно подробно рассмотрим аналоговую обработку сигналов.

Сигналом, называется изменяющаяся физическая величина, или процесс, с которым связана определенная информация.

Итак: *Сигналом, называется физический процесс, с параметрами которого связана информация.*

Примеры сигналов:

- акустические колебания воздуха при разговоре или воспроизведении музыки;

- электрическое напряжение в телефонном проводе, позволяющее нам разговаривать друг с другом на расстоянии;
- электромагнитная волна, передающая изображение на экран телевизора или компьютера;
- биомедицинские сигналы, формируемые живыми организмами и воспринимаемые нами для определения состояния этих организмов;
- свет, излучаемый пультом дистанционного управления;
- наличие или отсутствие напряжения в данном элементе цифровой системы.

Напряжение в силовой электрической сети 220 В не является сигналом, так как мы не связываем с ним никакой информации. Но если мы его измеряем, то это напряжение уже есть сигнал.

Сигналы очень широко используются в нашей жизни и область их применения все время расширяется. Это видно хотя бы из рассмотренных примеров.

Если физическая величина выражена в виде цифрового кода, такой сигнал называется цифровым. Итак: *цифровым сигналом называется физическая величина, несущая информацию и выраженная в виде цифрового кода.*

Цифровой обработкой сигналов (ЦОС) называется область науки и техники, в которой изучаются общие принципы, методы и алгоритмы обработки сигналов средствами цифровой вычислительной техники.

Вернемся к сигналам. Как мы говорили, сигналы несут информацию. Рассмотрим биологическую аналогию. Когда мы разговариваем друг с другом, то каждый звук – это сотрясение воздуха. Если записать это сотрясение во времени, то мы получим просто колебательный процесс, и никаких сообщений мы там не увидим. Однако, слыша эти колебания, мы не только различаем слова, но и можем определить, кто говорит: мужчина или женщина, наш знакомый или посторонний человек и можем выявить другие данные. Кроме того, нам не мешают общаться посторонние звуки: шум автомобилей на улице, разговор соседей и т. д. Конечно, при некотором пороге шума мы уже не в состоянии воспринимать информацию. Как это происходит? Как мы обрабатываем сигналы на фоне помех, как мы извлекаем из сигналов информацию? Подобные вопросы актуальны и в технике передачи и обработки сигналов. К сожалению, в технике пока не достигнуто такого уровня извлечения информации из сигналов, но зато расшифровываются сигналы радиолокационных станций, сигналы от удаленных космических станций и многое другое, недоступное прямо человеку. Мы не будем изучать эти интересные, но сложные проблемы, мы рассмотрим только основы науки, занимающейся обработкой сигналов.

ЦОС – одна из быстро развивающихся областей современной электроники. Вот основные области применения:

1) обработка речевых сигналов и музыки. Речь идет, прежде всего, об очистке от помех, распознавание речи, выравнивание уровня, кодирование, выдача в реальном времени;

1) обработка видео и теле изображений. Это улучшение изображения, распознавание образов, машинное зрение, анимация, двумерная обработка сигналов;

2) усиление и передача биомедицинских сигналов. Мониторы критического состояния и интенсивной терапии, цифровая рентгенография, анализаторы ЭКГ, создание медицинских изображений;

3) распознавание объектов в сигналах радаров;

4) обработка сигналов в автомобилях;

5) сотовые телефоны, цифровое телевидение и так далее.

Мы будем рассматривать сигналы, как числа, изменяющиеся во времени или в зависимости от других переменных, например, частоты. То есть, мы будем рассматривать сигналы, как функции того или иного аргумента.

Любое цифровое устройство работает циклически. Когда мы решаем задачу на ЭВМ, то это происходит следующим образом: ввод исходных данных, решение задачи, вывод

результата. Системы ЦОС работают аналогично, но в них циклы следуют один за другим, непрерывно, причем время цикла (оно называется периодом) должно быть согласовано с работой другого оборудования. Такой режим работы называется «режим реального времени». Итак: *Системы ЦОС обычно должны работать в режиме реального времени. Это значит, что цифровое устройство циклически воспринимает информацию, обрабатывает ее и выдает сигналы в темпе с работой другого оборудования, то есть согласованно с работой другого оборудования.* Это накладывает определенные требования к системам ЦОС. Прежде всего, задается время цикла работы. Устройство ЦОС в начале цикла должно воспринять сигнал, затем его обработать, после чего выдать для дальнейшего использования до того, когда наступит время следующего восприятия сигнала (Солонина, с. 11).

1.3 Преимущества и недостатки ЦОС

Большинство сигналов, существующих в природе, являются по своей форме аналоговыми, то есть эти сигналы непрерывно изменяются во времени. Исключение составляют сигналы, отражающие появление событий. Поэтому вполне естественно применять аналоговую обработку сигналов, до появления хороших цифровых устройств так и делалось. Использовались LRC-фильтры, аналоговые электронные усилители, в том числе операционные усилители, и все это работало и сейчас работает, особенно в высокочастотном диапазоне. При цифровой обработке производится преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму, затем – обработка информации, результат часто вновь преобразуется в аналоговый сигнал. Почему так делается? Это делается благодаря существенным преимуществам ЦОС. Рассмотрим эти преимущества.

Основные преимущества ЦОС:

1) *Гарантированная точность.* Точность определяется только числом задействованных битов представления сигналов (разрядностью). Чем больше бит, тем точнее обработка, точность при этом предсказуема и гарантирована.

2) *Совершенная воспроизводимость.* Сколько бы мы не вычисляли один и тот же цифровой сигнал, мы получим одинаковый результат. Можно многократно копировать цифровые записи без ухудшения качества. Это очень важное преимущество. Только благодаря этому ...

3) *Отсутствие искажений сигналов из-за дрейфа характеристик.* Старение, температура и другие подобные факторы не влияют на работу ЦОС.

4) *Большая гибкость.* Алгоритмы обработки в большинстве ЦОС защиты в виде программ. Следовательно, системы ЦОС можно запрограммировать для выполнения самых разных задач и легко перепрограммировать под другие задачи.

5) *Возможность реализации сложных алгоритмов.* Например, можно получить линейную фазовую характеристику фильтра или использовать сложные алгоритмы адаптации, недостижимые аналоговыми средствами.

Это – существенные преимущества, однако нельзя считать, что в ЦОС сплошные преимущества. Есть и недостатки.

Основные недостатки ЦОС:

1) *С ростом скорости работы резко возрастают затраты на средства ЦОС.* При работе в режиме реального времени с ростом ширины спектра сигналов при заданной точности их обработки резко растет стоимость систем ЦОС. Сигналы с шириной спектра порядка более 200 МГц вообще пока не могут быть обработаны средствами ЦОС и для них все еще используют аналоговые устройства.

2) *Значительное время на разработку.* Разработка специализированного средства ЦОС требует значительного времени. Начальное освоение методов и средств ЦОС также сопряжено с временными затратами.

3) Для ЦОС характерна проблема конечной разрядности цифровых сигналов. По техническим и экономическим соображениям число бит представления цифровых сигналов ограничено, особенно для скоростных устройств. Это может существенно снизить качество работы средств ЦОС.

Благодаря новым технологиям значение этих недостатков снижается.

1.4 Методы и средства ЦОС

Методами ЦОС являются математические соотношения или алгоритмы, в соответствии с которыми выполняются вычислительные операции над цифровыми сигналами. К ним относятся алгоритмы цифровой фильтрации, спектрально-корреляционного анализа, модуляции и демодуляции сигналов, адаптивной обработки и др. Алгоритмы ЦОС, в отличие от других вычислений на ЭВМ, предусматривают, как правило, их выполнение *в реальном масштабе времени*. (О мат. описании сигналов – Баксаков, с. 12)

Средствами реализации ЦОС являются жесткая логика, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), микропроцессоры общего назначения, микроконтроллеры, персональные компьютеры (компьютерная обработка сигналов), одноплатные компьютеры и цифровые сигнальные процессоры (ЦСП). Последние аппаратно и программно оптимизированы на задачи ЦОС и образуют ее специализированную элементную базу. *Совокупность аппаратных средств, осуществляющих цифровую обработку сигналов, называют процессором ЦОС.*

Исторически ЦОС как новое научное и техническое направление начала формироваться в начале 60-х гг. XX в. Она опиралась на достижения цифровой вычислительной техники и известные задолго до этого в математике Z-преобразование, преобразования Лапласа, Фурье, линейные разностные уравнения и др. Фундаментальными для ЦОС стали проведенные в 30–40-е гг. прошлого века работы по теории дискретизации и восстановления сигналов Котельникова–Шеннона–Найквиста. Большую роль в развитии ЦОС сыграли исследования Кайзера по цифровой фильтрации и предложенные в 1965 г. Кули и Тьюки алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ). Содержание теоретического курса ЦОС включает ее такие направления, как цифровая фильтрация, спектрально-корреляционный анализ, специальные методы и приложения, методы и средства аппаратно-программной реализации.

1.5 Общая схема цифровой обработки сигналов

Будем рассматривать наиболее общий случай, когда исходный сигнал аналоговый и выдать после цифровой обработки нужно также аналоговый сигнал. Все другие схемы структурно проще.

В ЦОС можно выделить три основных этапа:

- 1) Формирование цифрового сигнала $x_y(nT)$ из исходного аналогового сигнала $x(t)$.
- 2) Преобразование входного для ЦОС цифрового сигнала $x_y(nT)$ в выходной цифровой сигнал $y_y(nT)$.
- 3) Формирование результирующего аналогового сигнала $y(t)$ из цифрового сигнала $y_y(nT)$.

Здесь T – период дискретизации ЦОС, n – текущий такт преобразования.

В обобщенной схеме ЦОС этим этапам соответствуют три функциональных устройства: кодер, устройство ЦОС, декодер.

Схема ЦОС представлена на рисунке 1.1. На этой же схеме показаны и временные диаграммы работы схемы. Как видно, кодер состоит из аналогового фильтра низких

частот (входной ФНЧ) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Декодер также включает в себя два узла: цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и сглаживающий фильтр (выходной ФНЧ).

Схема работает следующим образом.

Аналоговый входной ФНЧ предназначен для ограничения спектра $X(j\omega)$ входного сигнала $x(t)$. Необходимость ограничения вытекает из теоремы Котельникова, которую мы рассмотрим позже. Этот фильтр еще называют «антилайзинговый фильтр». На выходе фильтра имеем сигнал с ограниченным спектром $\tilde{x}(t)$. Этот ФНЧ обычно собран из RLC-звеньев и элементов непрерывной электроники.

АЦП формирует цифровой сигнал $x_y(nT)$ посредством дискретизации по времени и квантования по уровню сигнала $\tilde{x}(t)$.

Дискретизация по времени представляет собой процедуру взятия мгновенных значений (отчетов) аналогового сигнала с интервалом времени, равным периоду T . Значения отчетов $x(nT)$ совпадают со значениями сигнала в моменты $t=nT$, то есть $x(nT) = \tilde{x}(t)_{t=nT}$.

Совокупность отчетов $x(nT)$, $n = 0, 1, \dots$ называется дискретным сигналом.

Квантование по уровню это представление отчетов $x(nT)$ в виде чисел двоичного кода определенной разрядности $x_y(nT)$. Для этого весь диапазон изменения сигнала $x(nT)$ разбивается

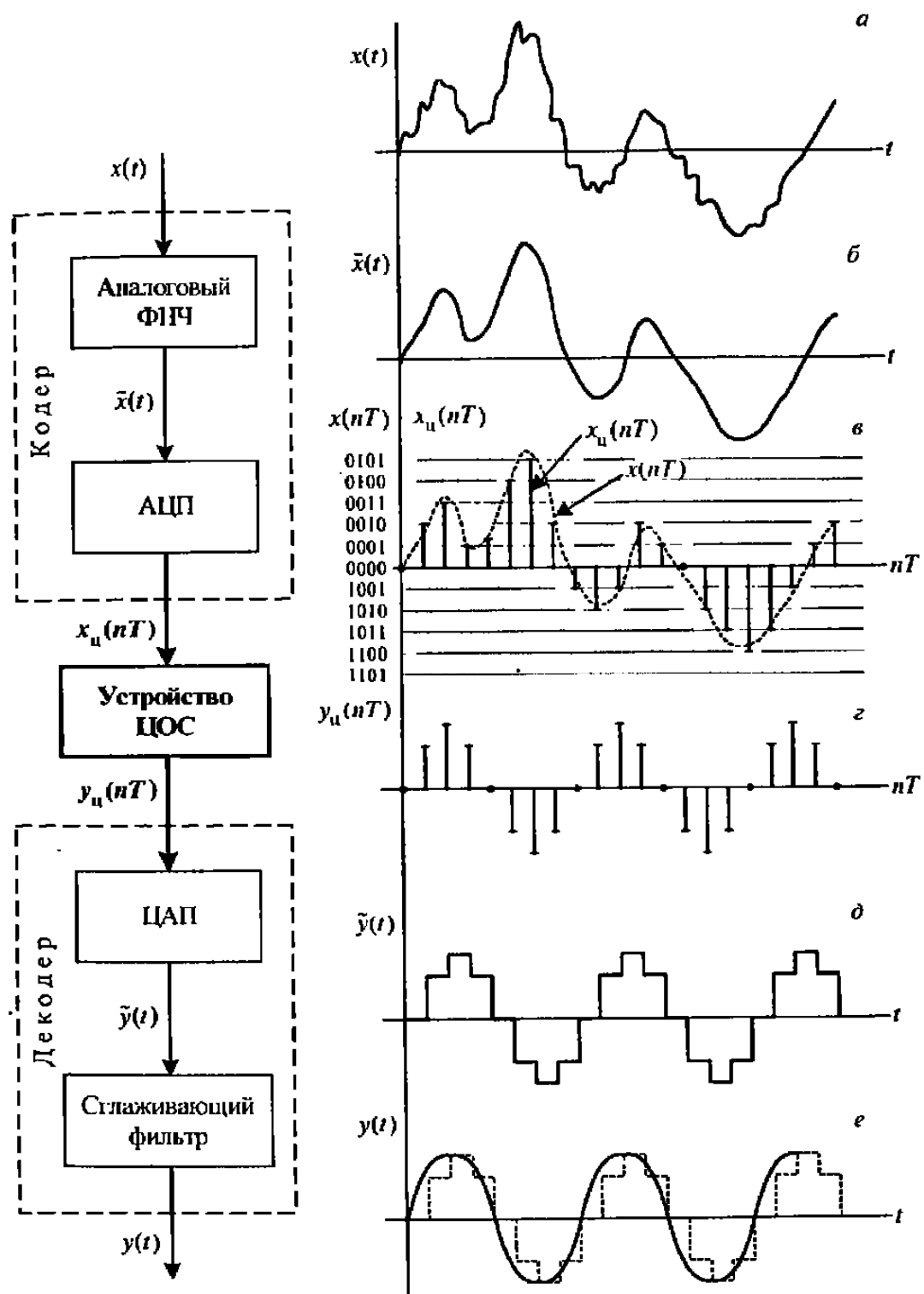


Рис. 1.1. Обобщенная схема цифровой обработки сигнала

на определенное количество уровней $m = 2^b$, где b – разрядность АЦП и каждому отчету присваивается значение ближайшего уровня. Этому уровню соответствует цифровой код $x_u(nT)$.

Совокупность квантованных сигналов $x_u(nT)$, $n = 0, 1, \dots$ называется цифровым сигналом.

Устройство ЦОС преобразует входной цифровой сигнал $x_c(nT)$ в свой выходной цифровой сигнал $y_c(nT)$ по заданному алгоритму. Это алгоритмы фильтрации, обнаружения, сжатия, распознавания сигналов и др. Алгоритмы ЦОС обычно реализовываются программно, хотя несложные алгоритмы можно реализовать и аппаратно, в виде набора цифровых микросхем, соединенных между собой определенным образом.

ЦАП формирует из цифрового сигнал $y_c(nT)$ ступенчатый аналоговый сигнал $\tilde{y}(t)$.

Сглаживающий выходной фильтр (выходной ФНЧ) устраняет ступеньки выходного сигнала ЦАП $\tilde{y}(t)$. На его выходе получаем результирующий сигнал $y(t)$.

В дальнейшем в основном мы будем рассматривать алгоритмы ЦОС.