

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиотехники и электродинамики

наименование кафедры

Способы кодирования информации в цифровых системах

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента **4** курса **4032** группы

направления 03.03.03 «Радиофизика»

код и наименование направления

института физики

наименование института

Колесова Никиты Олеговича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

Доцент кафедры радиотехники и электродинамики

Гребенюк Константин Александрович

подпись, дата

Зав. кафедрой радиотехники и электродинамики

Глухова Ольга Евгеньевна

подпись, дата

Саратов 2022

ВВЕДЕНИЕ

Кодирование информации – это процесс формирования определенного представления информации. В более узком смысле под термином «кодирование» часто понимают переход от одной формы представления информации к другой, более удобной для хранения, передачи или обработки.

В современной технике наиболее предпочтительной формой представления информации часто оказывается цифровая форма. В связи с широким распространением персональных компьютеров не только как средств обработки информации, но также как оперативных средств коммуникации (электронная, телефаксная почта), а также других цифровых устройств, появилось много различных способов кодирования, позволяющих представить данные в цифровой форме. Однако в рассмотренной литературе [1-20] отсутствует достаточно полная общая классификация этих способов. Это определяет высокую степень актуальности моей работы.

Целью работы является составление классификации способов кодирования информации в цифровых системах. В связи с поставленной целью необходимо решение следующих задач:

- изучить теоретические основы представления и кодирования информации;
- проанализировать виды и способы кодирования информации в цифровых системах;
- на основе проведенного анализа составить классификацию этих способов.

СПОСОБЫ КОДИРОВАНИЯ

В ходе изучения способов кодирования были рассмотрены и изучены основные виды цифровой модуляции, а также составлена классификация этих видов (Рис 1). Основным способом кодирования является импульсно-кодовая модуляция и подразделяется еще на несколько подвидов, которые будут

рассмотрены далее. Вдобавок, приведены такие способы как дельта-модуляция и дифференциально-импульсную модуляция, которые можно считать разновидностями ИКМ, но для упрощения схемы, данные модуляции выведены как отдельные единицы. К тому же для них существуют адаптивные формы, которые имеют свои отличительные черты.

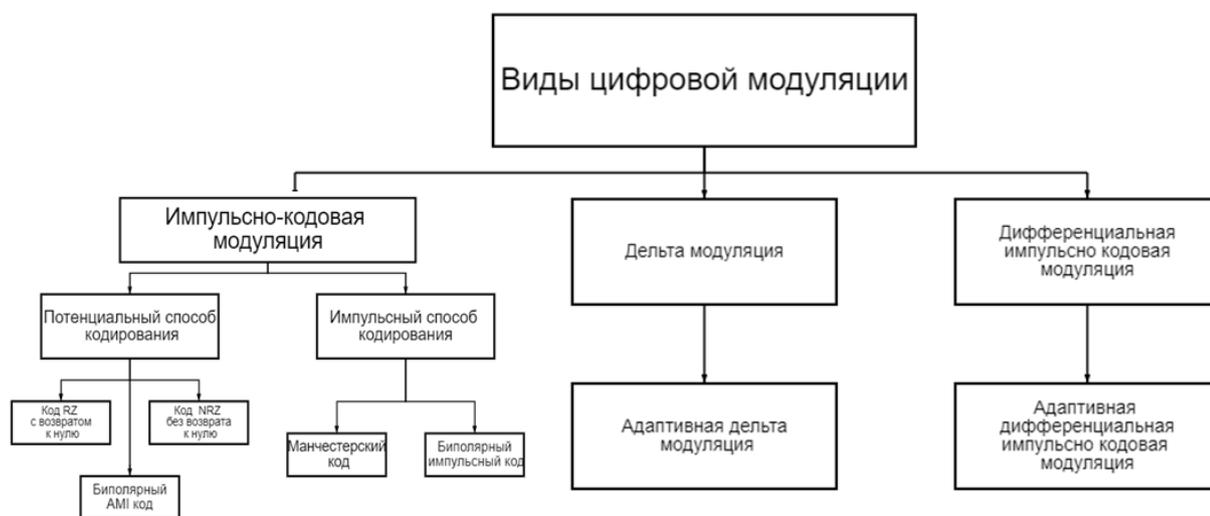


Рис. 1 Виды цифровой модуляции.

ИМПУЛЬСНО-КODOВАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Преобразование непрерывного первичного аналогового сигнала в цифровой код называется импульсно-коддовой модуляцией (ИКМ). В телекоммуникациях в качестве основания кода выбрана двоичная последовательность, реализуемая с наименьшими аппаратными затратами.

Принципы аналого–цифрового преобразования на основе ИКМ были предложены в 1940 г. Французским инженером А. Ривсом. В ИКМ аналоговый первичный сигнал подвергается преобразованию в цифровую форму с помощью трех операций:

- дискретизации по времени;
- квантования по амплитуде (уровню);
- кодирования.

Таким образом, аналого – цифровой преобразователь (АЦП) ИКМ должен содержать дискретизатор, квантователь и кодирующее устройство.

Импульсно-кодовая модуляция – это цифровизация аналогового сигнала, то есть, представление аналогового сигнала, вернее его квантованных значений, в цифровой форме. По линии связи при этом передаётся последовательность нулей и единиц (битов), которая представляет собой двоичное число, равное значению уровня квантования в момент квантования.

Важной характеристикой ИКМ является разность между значением дискретизированного напряжения (выборки) и уровнями квантования, с которыми оно сравнивается. Чаще всего входные напряжения не будут совпадать с уровнями квантования. Как упоминалось выше, ИКМ кодер присваивает выборке значение ближайшего уровня квантования. При этом квантованное значение выборки отличается от действительного, а разность между ними называется ошибкой квантования.

Другой важной характеристикой ИКМ систем является тактовая частота кодера, определяющая частоту дискретизации.

ВИДЫ ИМПУЛЬСНО-КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды.

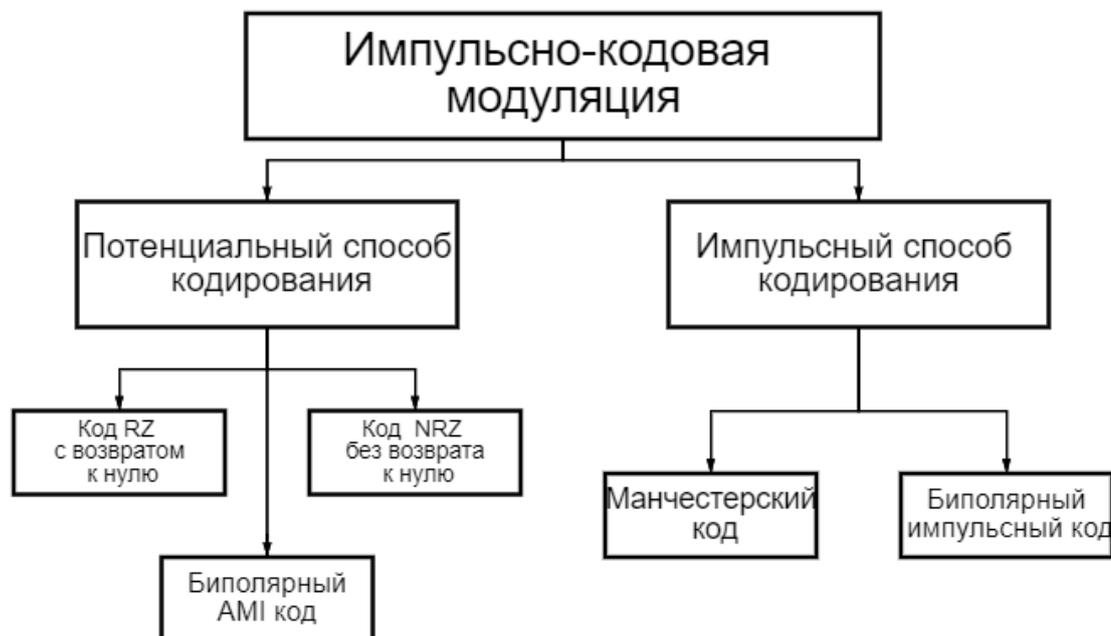


Рис. 2. Таблица "Классификация ИКМ"

В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются.

Преимуществом данного способа является простая реализация, наиболее упрощенная реализация. К тому же потенциальное кодирование характеризует малое затухание сигнала и довольно низкая частота. Еще одним достоинством можно считать возможность распознавания ошибок кодов, зашифрованных потенциальным способом. Главными недостатками этого способа, несомненно, признают отсутствие самосинхронизации появление в коде длинной постоянной составляющей.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ КОДИРОВАНИЯ

ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ БЕЗ ВОЗВРАЩЕНИЯ К НУЛЮ. Код NRZ

Код NRZ (Non Return to Zero – без возврата к нулю) – это простейший код, представляющий собой обычный цифровой сигнал. Логическому нулю

соответствует высокий уровень напряжения в кабеле, логической единице – низкий уровень напряжения (или наоборот, что не принципиально). Уровни могут быть разной полярности (положительной и отрицательной) или же одной полярности (положительной или отрицательной). В течение битового интервала (bittime, BT), то есть времени передачи одного бита никаких изменений уровня сигнала в кабеле не происходит.

Преимуществами кода NRZ являются его довольно простая реализация (исходный сигнал не надо ни специально кодировать на передающем конце, ни декодировать на приемном конце), а также минимальная среди других кодов пропускная способность линии связи, требуемая при данной скорости передачи. Самый большой недостаток кода NRZ – это возможность потери синхронизации приемником во время приема слишком длинных блоков (пакетов) информации.

ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ С ВОЗВРАТОМ К НУЛЮ

Код RZ (Return to Zero – с возвратом к нулю – этот трехуровневый код получил такое название потому, что после значащего уровня сигнала в первой половине битового интервала следует возврат к некоему "нулевому", среднему уровню (например, к нулевому потенциалу). Переход к нему происходит в середине каждого битового интервала. Логическому нулю, таким образом, соответствует положительный импульс, логической единице – отрицательный (или наоборот) в первой половине битового интервала.

Важным достоинством кода RZ является простая временная привязка приема, как к началу последовательности, так и к ее концу. Приемник просто должен анализировать, есть изменение уровня сигнала в течение битового интервала или нет. Первый битовый интервал без изменения уровня сигнала соответствует окончанию принимаемой последовательности бит. Поэтому в коде RZ можно использовать передачу последовательностями переменной

длины.

Недостаток кода RZ состоит в том, что для него требуется вдвое большая полоса пропускания канала при той же скорости передачи по сравнению с NRZ (так как здесь на один битовый интервал приходится два изменения уровня сигнала). Например, для скорости передачи информации 10 Мбит/с требуется пропускная способность линии связи 10 МГц, а не 5 МГц, как при коде NRZ.

Другой важный недостаток – наличие трех уровней, что всегда усложняет аппаратуру как передатчика, так и приемника.

Код RZ применяется не только в сетях на основе электрического кабеля, но и в оптоволоконных сетях.

БИПОЛЯРНЫЙ КОД АМІ

Одной из модификаций метода NRZ является метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией (Bipolar Alternate Mark Inversion, АМІ). В этом методе используются три уровня потенциала - отрицательный, нулевой и положительный. Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а логическая единица кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей

Код АМІ частично ликвидирует проблемы постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду NRZ. Это происходит при передаче длинных последовательностей единиц. В этих случаях сигнал на линии представляет собой последовательность разнополярных импульсов с тем же спектром, что и у кода NRZ, передающего чередующиеся нули и единицы, то есть без постоянной составляющей и с основной гармоникой $N/2$ Гц (где N - битовая скорость передачи данных). Длинные же последовательности нулей также опасны для кода АМІ, как и для кода NRZ - сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды. Поэтому код АМІ требует дальнейшего улучшения, хотя задача упрощается — осталось справиться только

с последовательностями нулей.

ИМПУЛЬСНЫЕ СПОСОБЫ КОДИРОВАНИЯ

Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо частью импульса - перепадом потенциала определенного направления.

В отличие от потенциального способа импульсное кодирование обладает самосинхронизацией, этот признак и является главным преимуществом этого способа. Также в импульсном коде отсутствуют постоянные составляющие. Существенным недостатком же признают высокую частоту передачи сигнала.

БИПОЛЯРНОЕ ИМПУЛЬСНОЕ КОДИРОВАНИЕ

Кроме потенциальных кодов в сетях используются и импульсные коды, когда данные представлены полным импульсом или же его частью — фронтом. Наиболее простым случаем такого подхода является биполярный импульсный код, в котором единица представлена импульсом одной полярности, а ноль — другой.

Каждый импульс длится половину такта. Такой код обладает отличными самосинхронизирующими свойствами, но постоянная составляющая может присутствовать, например, при передаче длинной последовательности единиц или нулей. Кроме того, спектр у него шире, чем у потенциальных кодов. Так, при передаче всех нулей или единиц частота основной гармоники кода будет равна N Гц, что в два раза выше основной гармоники кода NRZ и в четыре раза выше основной гармоники кода AMI при передаче чередующихся единиц и нулей. Из-за слишком широкого спектра биполярный импульсный код используется редко.

Биполярный импульсный код имеет большое преимущество, по сравнению с предыдущими кодами, - он самосинхронизирующийся. Но наряду с этим биполярные импульсные коды имеют широкий спектр сигнала, и

поэтому очень медленные. Кроме этого, есть еще один его существенный недостаток биполярного кодирования - использование трех уровней. Из-за своего слишком широкого спектра биполярный импульсный код используется редко.

МАНЧЕСТЕРСКИЙ КОД

В манчестерском коде для кодирования нулей и единиц используется перепад потенциала, то есть кодирование осуществляется фронтом импульса. Перепад потенциала происходит на середине тактового импульса, при этом единица кодируется перепадом от низкого потенциала к высокому, а нуль — наоборот. В начале каждого такта в случае появления нескольких нулей или единиц подряд может возникать служебный перепад потенциала.

Из всех рассмотренных нами кодов манчестерский обладает лучшей самосинхронизацией, поскольку перепад сигнала происходит как минимум один раз за такт.

Манчестерский код (или код Манчестер-II) получил наибольшее распространение в локальных сетях.

Манчестерский код используется как в электрических, так и в оптоволоконных кабелях (в последнем случае один уровень соответствует отсутствию света, а другой – его наличию).

Основное достоинство манчестерского кода – постоянная составляющая в сигнале (половину времени сигнал имеет высокий уровень, другую половину – низкий). Постоянная составляющая равна среднему значению между двумя уровнями сигнала.

ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИЯ

Тип модуляции, где частота дискретизации намного выше и в которой размер шага после квантования имеет меньшее значение, такая модуляция называется дельта-модуляцией.

Фактически, дельта-модуляция представляет собой разновидность другого, более известного, способа преобразования — импульсно-кодовой модуляции (ИКМ), в которой число уровней квантования равно двум. При ДМ по каналу связи передаётся не абсолютное значение сигнала, а разность между исходным аналоговым сигналом и аппроксимирующим напряжением (сигнал ошибки). По сравнению со своими вечными конкурентами, ИКМ и АДИКМ, дельта-модуляция характеризуется меньшей сложностью технической реализации, более высокими помехозащищённостью и гибкостью изменения скорости передачи. В простейшем случае принцип простой дельта-модуляции можно пояснить на осциллограммах.

Преимущество дельта-модуляции по сравнению, например, с ИКМ, которая также генерирует бинарный сигнал, заключается не столько в реализуемой точности при заданной частоте дискретизации, сколько в простоте реализации.

Основной недостаток дельта-модуляции состоит в том, что дельта-кодер не успевает отслеживать быстрые изменения уровня сигнала, вследствие чего возникает перегрузка по крутизне. Существует большое число разновидностей дельта-модуляций, в которых задействуются различные механизмы устранения этого вида искажений. Большинство из них основаны на использовании мгновенного или инерционного компандирования аналогового сигнала либо адаптивного изменения ступеньки аппроксимирующего напряжения в соответствии с крутизной входного сигнала.

«Дельта-модуляция (ДМ) является еще одним способом аналого-цифрового преобразования, основанном на корреляции между отсчетам в речевом сигнале. Систему связи ДМ предложил советский инженер Л. А. Коробков (1949 г.), за рубежом система была предложена Де Ягером в 1952 г. Дельта - модуляция фактически есть особый случай ДИКМ, когда используется только один разряд на разность отсчетов. Этот единственный разряд определяет полярность разности и указывает, увеличивался или уменьшился сигнал за

время после последнего отсчета. Поскольку характер изменений входного сигнала передается однобитовой комбинацией, то требуется более высокая чистота дискретизации, чем в системе с ИКМ или многоразрядной ДИКМ. Здесь частота дискретизации численно равна скорости передачи». [6]

АДАПТИВНАЯ ДМ (АДМ)

Частоту дискретизации при ДМ можно значительно снизить, если использовать неравномерное квантование, при котором шаг квантования изменяется в зависимости от крутизны изменения сигнала. Чем выше уровень сигнала, тем шаг квантования больше, чем ниже уровень, тем меньше. Этот эффект достигается в системах с АДМ, в схему кодека которых вводятся элементы управления работой ИНТ, изменяющие величину шага квантования формируемого ИНТ аппроксимирующего ступенчатого сигнала.

«Изменение шага квантования осуществляется преобразователем шага (ПШ), управляемым выпрямленным напряжением входного сигнала. Поэтому входное напряжение выпрямляется в выпрямителе (Вып), подается на суммирующее устройство (Сум) и, следовательно, поступает на выход кодера, затем с помощью ФНЧ выделяется и подается на ПШ. Чем больше напряжение входного сигнала, тем больше постоянная составляющая поступает на ПШ и тем больше шаг квантования. Фильтр на входе кодера не пропускает постоянную составляющую входного сигнала. Шагом квантования декодера управляется постоянная составляющая линейного цифрового сигнала». [5] Осуществляется это с помощью ПШ и ФНЧ, включаемых перед ИНТ. Применение АДМ позволило снизить частоту дискретизации до 50кГц, вместо 150...200кГц при ЛДМ. При этом параметры канала сравнимы с параметрами каналов систем ИКМ с восьмиразрядным кодированием.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ИМПУЛЬСНО-КODOВАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ДИКМ).

При передаче дискретизированных во времени непрерывных аналоговых

сигналов с ограниченным спектром, отсчеты сигналов в соседних точках дискретизации с большой вероятностью мало отличаются друг от друга. Поэтому можно вместо кодирования и дальнейшей передачи отсчетов передавать по каналу связи кодированные значения разности соседних отсчетов, по которым на приемной стороне восстанавливаются значения отсчетов сигнала с АИМ-2. Такой метод и называется дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ).

Схема декодера ДИКМ состоит из декодера ИКМ, интегратора и ФНЧ. На выходе декодера ИКМ, получают сигнал, соответствующий разности соседних отсчетов. Эти отсчеты интегратор преобразует в ступенчатое напряжение, а ФНЧ "сглаживает" его, в результате чего опять получают непрерывный сигнал. В случае ДИКМ, как и при ИКМ, основным источником шумов является квантование. Но в отличии от ИКМ при этом методе отсутствуют шумы ограничения, поскольку результат процесса кодирования, не зависит от абсолютного значения входного сигнала, но зато возможно появление другого вида искажений - перегрузки по крутизне, когда приращение сигнала за тактовый интервал чрезмерно велико.

При ДИКМ кодируется не значение отсчетов сигнала, а разность соседних отсчетов. ДИКМ целесообразно применять при передаче телевизионных и видеотелефонных сигналов, когда возможны резкие изменения напряжения сигнала, соответствующего границам между темными и яркими деталями изображения.

АДАПТИВНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ИМПУЛЬСНО-КОДОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Эффективность ДИКМ может быть повышена, если предсказание и квантование сигнала будут выполняться не на основе некоторых средних его характеристик, а с учетом их текущего значения и изменения во времени, т.е. адаптивно. Так, если скорость изменения сигнала стала большей, можно

увеличить шаг квантования, и, наоборот, если сигнал стал изменяться гораздо медленнее, величину шага квантования можно уменьшить. При этом ошибка предсказания уменьшится и, следовательно, будет кодироваться меньшим числом бит на отсчет. Такой способ кодирования называется адаптивной ДИКМ, или АДИКМ. Сегодня такой способ и широко используется при сжатии РС в междугородных цифровых системах связи, в цифровых бесшнуровых телефонах и т.д. Использование АДИКМ со скоростью кода 4 бита/отсчет или 32 кбит/с обеспечивает такое же субъективное качество речи, что и 64 кбит/с ИКМ, но при вдвое меньшей скорости кода. Существует два основных способа управления адаптивным квантованием с адаптацией по входу и по выходу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось составление классификации способов кодирования информации в цифровых системах. В ходе работы были рассмотрены и изучены основные виды цифровой модуляции, а также составлена классификация этих видов (Рис 1).

В результате работы можно сделать вывод о том, что основным способом кодирования в цифровых системах является импульсно-кодовая модуляция, которая подразделяется еще на несколько подвидов, которые были рассмотрены в тексте работы. Вдобавок, приведены такие способы как дельта-модуляция и дифференциально-импульсную модуляция, которые можно считать разновидностями ИКМ, но для упрощения схемы, данные модуляции выведены на рис. 1 как отдельные единицы. К тому же для них существуют адаптивные формы, которые имеют свои отличительные черты.

Составленная классификация имеет методическую ценность и может быть использована в учебном процессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адаптивное аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование сигналов звукового диапазона // Материалы 9-ой международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение – 2007», Москва, ИПУ РАН, 2007.
2. Беляев М. А. Основы информатики: учебник для студентов вузов/ М. А. Беляев// – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 352 с.
3. Венедиктов М.Д. Дельта-модуляция. Теория и применение/ М. Д. Венедиктов// - М.: Связь, 1976. – 271 с.
4. Волк В. К. Информатика: учебное пособие для вузов/ В. К. Волк// - Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 207 с.
5. Котович Г.Н., Ламекин В.Ф. Проектирование дельта-преобразователей речевых сигналов/ Г. Н. Котович, В. Ф. Ламекин// - М.: Радио и связь, 1986. – 190 с.
6. Майер Р.В . Информатика: Кодирование информации. Принципы работы ЭВМ. Учебн. пособ. для вузов/ Р. В. Майер// - Глазов: ГИЭИ филиал ИжГТУ, 2004. - 249 с.
7. Многоканальные системы связи. Часть 2. Конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальностей 380240-Многоканальные телекоммуникационные системы, 050719-Радиотехника, электроника и телекоммуникации). – Алматы: АИЭС, 2005. – 86с.
8. Цифровая система передачи информации: учеб.-метод. пособие / В. Н. Фомичев, И. О. Жигалин// - Гомель : БелГУТ, 2018. – 100 с.
9. Чуфаров И. Г. Компенсация эффектов, связанных с уменьшением разрядности квантования при сжатии объёма данных аудиосигналов/ И. Г. Чуфаров // Труды кыштымского филиала ЮУрГУ, 2008.
10. Чуфаров И. Г., Светлов А. Ю. Компенсация эффектов, связанных со сжатием объёма данных аудиосигналов/ А.Ю.Светлов, И.Г.Чуфаров.// Материалы 16-ой международной научно-технической конференции

- «Информационные средства и технологии», 2008.
11. Чуфаров И. Г. Высококачественная цифровая звукозапись на основе сигма-дельта модуляции/ И. Г. Чуфаров// - Москва, Цифровая обработка сигналов, №1, 2009. – 63-68 с.
 12. Венедиктов М.Д., Женовский Ю.П., Марков В.В., Эйдус Г.Г. Дельта-модуляция. Теория и применение
 13. Джесси Рассел. Сигма-дельта-модуляция
 14. Стил Р. Принципы дельта-модуляции
 15. Гоноровский И.С. Частотная модуляция и её применения. «Связьиздат», 1948. – 285 с.
 16. Дахнович А.А. Радиотехнические цепи и сигналы.
 17. Сергиенко А.Б. ЦОС (Цифровая обработка сигналов)
 18. Санников в.г. Цифровая передача непрерывных сообщений на основе дифференциальной импульсно-кодовой модуляции
 19. Булавкин И.А. // Технологии и средства связи 2006. IW2. С. 104–108.
 20. Швец В., Нищирет Ю. // Архитектура сигма-дельта АЦП и ЦАП // Chip News 1998. №2.