

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК621.396.43(076.5)

Левицкий Алексей Валерьевич

Система передачи цифровой информации по кабельным сетям  
стандарта DVB-C/DVB-C2

АВТОРЕФЕРАТ  
на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-38 80 05 Приборы и методы преобразования  
изображений и звука

---

Научный  
руководитель  
Липкович  
Эдуард Борисович  
доцент кафедры СТК

Минск 2015

Библиотека БГУИР

Нормоконтроль

Ткаченко Анатолий Пантелеевич

## ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Передача цифровой информации может осуществляться по каналам спутниковой связи, наземного вещания и кабельным распределительным сетям.

Переход к цифровому стандарту DVB-C связан с рядом преимуществ по таким показателям как рост количества телевизионных программ в стандартной полосе вещания, обеспечение интерактивных услуг, доступ к информационным ресурсам, IP-телефонии и др.

Переход к стандарту DVB-C2 обусловлен ростом требований к пропускной способности кабельных каналов связи. Для этого применяются высокоформатные виды квадратурной модуляции вплоть до 4096-QAM. С целью роста энергетической эффективности сети предлагаются новые методы помехоустойчивого кодирования, в частности блочные коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема (BCH) и коды с низкой плотностью проверок на чётность (LDPC). Энергетический выигрыш от использования нового сочетания кодов по отношению к внешнему коду Рида-Соломона и внутреннему свёрточному коду, принятым в стандарте DVB-C, составляет 2,2...2,5 дБ.

Для обеспечения надлежащего качества предоставляемых услуг необходимо постоянно проводить контроль за показателями в цифровой сети кабельного телевидения, для этого необходимо разработать измерительный приёмник сигналов стандарта DVB-C, позволяющий проводить измерение предписанных в рекомендации международного союза электросвязи параметров сигнала. Также необходимо провести проектирование основных функциональных элементов устройства. С целью выявления преимуществ стандартов DVB-C2 над DVB-C необходимо провести анализ архитектуры построения данных систем, технологий кодирования, оценка спектральной и энергетической эффективности.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Повсеместный переход стран Европы на цифровое наземное вещание стандартов DVB-T/T2 приведёт к необходимости постепенного перехода операторов кабельных сетей к цифровым сетям стандартам DVB-C/DVB-C2. При этом контроль качества предоставляемых услуг становится приоритетной задачей при развёртывании и эксплуатации систем кабельного телевизионного вещания. Именно эти вопросы подлежат рассмотрению в диссертационной работе.

Кроме того, важно получить расчётные соотношения для оценки помехоустойчивости приёмного оборудования при использовании многопозиционных видах модуляции высокого формата.

Целью магистерской диссертации является рассмотрение структуры построения систем кабельного телевидения стандартов DVB-C, DVB-C2, оценка спектральной и энергетической характеристик, разработка измерительного приёмника радиосигналов цифрового телевидения стандарта DVB-C и его основных функциональных элементов: дифференциального декодера и цифрового фильтра Найквиста.

Объект исследования – методы и средства контроля за качеством принимаемых сигналов, а также оценка энергетической эффективности полосносберегающих методов модуляции.

Предметом исследования в диссертации является анализ параметров кабельной сети стандартов DVB-C и DVB-C2.

В диссертационной работе ставятся и решаются задачи связанные с оценкой помехоустойчивостью систем, информационной скоростью в канале связи, числом программ стандартного (SD) и высокого (HD) качества в типовом канале с полосой 8МГц, а также с разработкой основных функциональных устройств цифрового измерительного приёмника.

## БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении описывается состояние систем кабельных сетей телевизионного вещания, даётся краткая характеристика освещённости выбранной темы, обосновывается актуальность, определяется объект и предмет исследования, установлена цель и задачи работы, установлены элементы научной новизны, определяются основные аспекты диссертации, выносимые на защиту.

Первая глава «Анализ состояния и перспектив развития в области систем кабельного вещания» носит теоретический характер и посвящена классификации кабельных систем и состоит из одного подраздела.

В подразделе 1.1 «Классификация кабельных систем по основным техническим показателям» основным выводом является переход кабельных сетей к цифровым методам формирования, обработки и передачи сигналов. Также подробно описана классификация кабельных сетей согласно СТБ 1662-2006 (ГОСТ Р 52023-2003).

Вторая глава «Структура построения и особенности функционирования системы кабельного телевидения стандарта DVB-C» состоит из трёх разделов, рассматриваются основные положения систем кабельного телевидения первого поколения.

В подразделе 2.1 «Основные положения, структура построения и принципы функционирования» отражены основные характеристики сети стандарта DVB-C: принципы построения каналов передачи, методы модуляции,

предоставляемые услуги, структурная схема системы. Подробное рассмотрение структуры кадра данных, расчётные значения символьной и информационной скорости, а также необходимость применения дифференциального кодирования отражаются в подразделе 2.2 «Расчётные значения информационной скорости».

Для устранения потерь информации из-за скачков фазы несущей в системе DVB-C применяется дифференциальное кодирование двух старших разрядов кортежа ( $A_k$  и  $B_k$ ). При этом обеспечивается однозначность выделения требуемого фазового квадранта на квадратурной диаграмме. Менее значащие  $q = m - 2$  битов ( $q = 2$  для 16-QAM, ...,  $q = 6$  для 256-QAM) кортежа определяют номер точки, повторяясь в каждом квадранте, и не подвержены искажениям из-за фазовых скачков на величину, кратную  $\pi/2$ .

Закон дифференциального кодирования старших разрядов определяется следующими логическими формулами:

$$I_k = (\overline{A_k \oplus B_k}) \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) \vee (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

$$Q_k = (\overline{A_k \oplus B_k}) \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) \vee (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

Квадратурные сигналы  $I$  и  $Q$  с выхода маппера перед модуляцией подвергаются формирующей фильтрации с коэффициентом скругления спектра  $\alpha = 0,15$ . Коэффициент передачи формирующего фильтра в области скругления спектра  $0,85f_N \leq |f| \leq 1,15f_N$  соответствует корню квадратному из полной характеристики и может быть выражен следующей формулой:

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sin \left[ \frac{\pi}{2f_N} \left( \frac{f_N - |f|}{\alpha} \right) \right] \right\}^{1/2}$$

Также было установлено, что неравномерность амплитудной характеристики фильтра в полосе прозрачности и на частоте Найквиста не должна превышать 0,4 дБ [1].

Выводы о достоинствах системы DVB-C представлены в подразделе 2.3 «Ключевые достоинства СКТ DVB-C»:

- существенная экономия частотного ресурса;
- увеличение качества, количества передаваемых ТВ программ;
- увеличение количества предоставляемых услуг;
- увеличение зоны обслуживания;
- возможность проводить кодирование информации.

Стандарту второго поколения DVB-C2, его основным параметрам и методам передачи данных посвящена третья глава «Структура построения и принцип функционирования СКТ стандарта DVB-C2».

Структура построения данной главы схожа с предыдущей и включает в себя пять подразделов. Наиболее важными отличиями двух систем являются:

- применение LDPC и BCH кодирования;
- использование COFDM;
- использование QAM модуляции высоких порядков, вплоть до 4096-QAM;
- внедрение нового протокола DOCSIS 3.1.

Основным отличием DVB-C2 от DVB-C является применение OFDM вместо одной QAM- модулированной несущей. Благодаря хорошо известной, проверенной на практике устойчивости к различным видам канальных искажений (например, многолучевым отражениям или узкополосным помехам), OFDM применяется большинством современных одно- и двунаправленных технологий передачи. Что касается семейства DVB, то OFDM вначале было использовано в эфирном стандарте первого поколения DVB-T, а затем его параметры расширили и усовершенствовали в стандарте DVB-T2. Набор COFDM- параметров, использованный в новом эфирном стандарте, вполне соответствует и требованиям передачи в кабеле, поэтому он был перенесен также и в DVB-C2. Благодаря общности COFDM-параметров и значительному количеству других общих блоков, создание чипов, сочетающих функциональность эфирного и кабельного стандартов, не приведет к существенной избыточности по сравнению с одностандартными чипами. В результате DVB-C2 поддерживает позаимствованный в DVB-T2 режим 4K с продолжительностью полезного OFDM-символа 448 мкс и двумя вариантами защитных интервалов — 1/64 и 1/128 [2]. Более того, в DVB-C2 используются те же схемы распределения пилот- сигналов, что позволяет применять в обеих системам единый блок оценки качества канала. В то же время, в отличие от эфирного стандарта, DVB-C2 не должен подчиняться жесткой частотной сетке. Так как кабельная сеть представляет собой закрытую экранированную среду, то нет необходимости координировать использование ее спектра с эфирными присвоениями. Напротив, можно гибко адаптировать полосу канала под свои конкретные потребности. Применение OFDM вместо одной модулированной несущей как раз и является ключевым фактором, обеспечивающим эту возможность. Ширина канала задается выделением ему определенного количества OFDM-поднесущих. А характеристики входного фильтра и системные часы остаются практически неизменными. Такой подход позволяет расширить полосу передаваемого сигнала для размещения в нем большего количества услуг. Чтобы не усложнять и не удорожать абонентское оборудование, предполагается сегментированный прием таких каналов.

Расчётам и компьютерному моделированию посвящена четвёртая глава «Параметры, измеряемые при эксплуатации, измерительный приёмник и разработка основных элементов устройства для системы DVB-C».

Основные из измеряемых параметров в системе DVB-C, согласно ETSI TR 101 290 [3]: BER – коэффициент битовых ошибок, MER – коэффициент ошибок модуляции, SNR – отношение сигнал/шум, QE – квадратурная ошибка, PJ – дрожание фазы, сигнальное созвездие или констелляционная диаграмма, которая представляет собой график расположения символов на амплитудно-фазовой плоскости, формируемый с накоплением за определенное время.

В этой главе разработана структурная схема измерительного приёмника, а также произведено моделирование фильтра Найквиста и построена логическая схема дифференциального декодера этого устройства, в соответствии с требованиями поставленными ETSI EN 300 429 [1]. Моделирование фильтра произведено с помощью программного обеспечения MATLAB. Результаты моделирования полностью удовлетворяют теоретическим расчётам и требованиям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам, полученным в работе, можно сделать следующие выводы:

- выполнен анализ работы системы кабельного цифрового вещания стандарта DVB-C;
- представлена структурная схема и выполнен анализ работы передающего тракта системы стандарта DVB-C2;
- получены расчётные соотношения для определения помехоустойчивости системы при использовании многопозиционной квадратурной модуляции;
- разработана логическая схема дифференциального декодера двух старших разрядов передаваемого кортежа, обеспечивающего однозначность выбора квадранта сигнального созвездия;
- определена формула для расчёта информационной скорости передачи данных с учётом полосы пропускания канала связи, параметров кодирования и относительной длины защитного интервала. Рассчитанные значения сведены в таблицу.
- определено число цифровых программ в типовом канале связи (с полосой 8МГц) при использовании стандартного (SD) и высокого (HD) разрешения, в частности для передачи 100 ТВ-программ

- SD-качества и 20 ТВ-программ HD-качества потребуется при модуляции 4096-QAM восемь каналов при общей полосе 64 МГц;
- разработана структурная схема цифрового приёмника для контроля базовых параметров;
  - разработан цифровой фильтр нижних частот по рекомендации ETSI EN 300 429 [1].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Список использованных источников

- [1] Recommendation ETSI EN 300 429 V1.2.1. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems, 1998-04.
- [2] Дворкович В.П. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) / В.П. Дворкович, А.В. Дворкович – М. : Техносфера, 2012. – 1008 с.
- [3] ETSI TR 101 290 V 1.2.1. Measurement guidelines for DVB system, 2001-05.

### Список публикаций соискателя

- [1-А.] Липкович, Э. Б. Системы условного доступа в сетях цифрового телевизионного вещания / Э. Б. Липкович, А. В. Левицкий // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР (Минск, 18-19 марта 2014 года) : материалы конф. В 2ч. Ч.1 / редкол. : А. А. Кураев [ и др.]. – Минск : БГУИР, 2014. – 539 с. (с. 283).
- [2-А.] Левицкий, А. В. Моделирование фильтра нижних частот в измерительном приёмнике радиосигналов цифрового телевидения стандарта DVB-C / А. В. Левицкий, Э. Б. Липкович // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях. 24-26 марта 2014 г. XVII Республиканская научная конференция студентов и аспирантов – Гомель : Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, 2014.
- [3-А.] Левицкий, А. В. Синтез схемы дифференциального декодера в измерительном приёмнике радиосигналов цифрового телевидения стандарта DVB-C / А. В. Левицкий, Э. Б. Липкович // Современные средства связи. 14-15 октября 2014 г. XIX НТК – Минск : Высший государственный колледж связи, 2014. - 180с. (с. 50-51).