

ЦИФРОВЫЕ РЕЗЕРВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

А.А. Зотов¹, Ю.В. Коршунков²

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ТГТУ (1);

Тамбовский областной радиотелевизионный передающий центр (2)

Представлена членом редколлегии профессором Ю.Л. Муромцевым

Ключевые слова и фразы: видеосигнал; дискретизация; квантование; кодирование; помехоустойчивость; стандарты кодирования; телевизионное изображение, цифровое телевидение; цифровой поток.

Аннотация: Анализируется цифровой задел аналогового телевидения, связанный с проблемами создания единой телевизионной системы высокой и стандартной четкости. Рассматриваются пути перехода от аналогового к цифровому телевидению с учетом преимуществ цифровых методов, на реализации которых цифровая техника стоит пока у порога.

Аббревиатуры

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
ВНИИТ – Всесоюзный научно-исследовательский институт по телевидению;
ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи;
DVB – Digital Video Band (полоса цифрового видеосигнала);
ЕАСС – единая автоматизированная система связи;
ЗССС – земная станция спутниковой связи;
ИСЗ – искусственный спутник земли;
МККР – международный консультативный комитет по радиосвязи;
МЛА – многолучевая антенна;
MPEG – Moving Picture Expert Group (экспертная группа движущихся изображений);

МШУ – маломощный усилитель;
НКТС (NTSC) – National Television System Committee (Национальный комитет телевизионных систем);
ПАВ – поверхностная акустическая волна;
ПАЛ (PAL) – Phase Alternative Line (строка с переменной фазой);
РРЛ – радиорелейная линия;
СЕКАМ (SECAM) – Sequence de Couleur Aver Memoire (последовательная цветная система с памятью);
ТВ – телевизионный (ая, ые);
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;
ЭЛТ – электронно-лучевая трубка.

Цифровой задел аналогового телевидения

Первые опыты цифрового телевидения относятся к 50-м годам, когда во ВНИИТе была разработана эксплуатационная установка, позволившая проводить дискретизацию широкополосного видеосигнала вещательного аппарата с частотой 12 МГц и квантовать его на 32 уровня [1].

Однако ни в нашей стране ни за рубежом цифровое телевидение развития не получило. Причина заключалась не в громоздкости технических решений, не в элементной базе, хотя тогдашнему кодеру на ЭЛТ было далеко до нынешних серийно выпускаемых АЦП и ЦАП. Дело в том, что к тому времени не вызрели за-

дачи, для решения которых требовался бы переход от аналоговых к цифровым представлениям и обработке ТВ сигналов. Задачи того периода успешно решались радиорелейными и кабельными аналоговыми каналами связи.

Систематические исследования вопросов, относящихся к цифровому телевидению, способствовали развитию надлежащей элементной базы и на ее основе определения задач нового поколения техники, после чего можно было приступить к интенсивному развитию цифровых методов в телевидении. Это произошло в 70-е годы. При этом из всех ТВ цифровых задач на первый план вышли задачи цифровых преобразований самих изображений, к которым относятся следующие:

- измерения параметров ТВ изображения (координаты, яркость, размеры изображения и т.д.);
- цифровая фильтрация, включая цифровое накопление, для повышения чувствительности ТВ системы;
- автоматический контроль на основе цифрового анализа видеосигнала;
- распознавание зрительных образов;
- синтез ТВ изображений;
- моделирование проектируемых ТВ систем;
- свето- и цветокоррекция ТВ изображений;
- высокоточная коррекция аббераций электрооптических устройств и растровых искажений.

Уже тогда не было сомнений, что переход от аналогового к цифровому телевидению – одно из главных направлений развития ТВ техники. Этот переход будет происходить при опережающем развитии элементной базы, основанной на микросхемах высокого уровня интеграции. В настоящее время проблемы разработки технических средств для цифрового ТВ вещания встают во всей своей многогранности и значимости.

На всероссийском семинаре – совещании [2] заложены основы технической политики в развитии современного ТВ вещания в России. Об актуальности цифровых ТВ проблем и необходимости сосредоточения научно-технических усилий в этой сфере говорит тот факт, что из 24-х докладов в 12-ти так или иначе затрагивались вопросы цифрового телевидения, а 8 из них посвящены специально какому-то назревшему цифровому ТВ вопросу.

С уверенностью можно констатировать, что уже состоялось, пусть не освоение, но открытие ТВ цифрового космоса. В числе действующих находятся программы ТВ компаний «ТВ-Центр», «Рен-ТВ», «СТС», «МУЗ-ТВ», которые транслируются через технические средства управления «Космическая связь» в цифровом режиме. В одном транспортном потоке с телевидением в цифровом режиме транслируются программы звукового вещания «Радио России», «Маяк», «Юность», «Голос России». Всего через наземные технические средства транслируется 27 ТВ программ, из них 16 в цифровом режиме. «Космическая связь» представляет часть ресурса стволов ИСЗ для трансляции региональных программ ТВ в цифровом режиме для ТВ компаний Южно-Сахалинска, Салехарда, Нарьян-Мара и Таджикистана. Обеспечивается работа распределительных систем звукового вещания (ЗВ) в цифровом режиме («Рабита») через ИСЗ «Стационар-5/7», «Экспресс 6/16» и «Стационар 16/7».

Уже этот перечень свидетельствует о наличии существенных технических резервов для цифрового перспективного телевидения.

Цифровое телевидение – это область ТВ техники, в которой операции обработки, консервации и передачи ТВ сигнала связаны с его преобразованиями в цифровую форму.

Цифровыми нитями, в первую очередь, пронизываются земные станции спутниковой связи (ЗССС). Цифровой частью в составе приемной ЗССС, реализующей удовлетворение основного требования к передаче ТВ сигналов – обеспечение минимальных искажений, является приемник-декодер. Помехоустойчивость передачи цифрового ТВ сигнала зависит от вида модуляции и кода, используемого для передачи цифровой информации по каналу, а также от алгоритма декодирования сигнала. Непрерывный аналоговый ТВ сигнал несет информацию об отдельных элементах изображения и может принимать любое значение от нуля до максимума. В цифровом ТВ сигнале каждому элементу изображения соответствует большая групп импульсов, принимающих только два значения: 0 или 1. Отсюда вытекает главное преимущество цифровой формы представления – высокая помехоустойчивость, которая обуславливается тем, что на приемной стороне искажение отдельных импульсов не имеет существенного значения, важно лишь обнаружить передачу сигнала в заданный момент времени. Решить эту задачу легче, чем добиться передачи неискаженной формы аналогового сигнала.

В зависимости от количества принимаемых программ число приемников – декодеров в составе станции может быть от 2 до 4-х, включая резервный. В числе последующих требований к приемникам-декодерам уже сейчас можно отнести: возможность формирования композитного сигнала изображения стандарта SECAM; двух аналоговых стереосигналов звукового сопровождения и сигналов цифровых данных; тестирование, программирование и рабочий прогон.

Кроме приема и декодирования мультиплексированных ТВ и радиосигналов, они могут принимать цифровые данные, распространяемые в составе транспортного потока, например MPEG-2 (Moving Picture Experts Group) стандарта DVB-S (Digital Video Band) через геостанционные ИСЗ в диапазоне с (3,40... 5,25 и 5,725...7,076 ГГц) (табл.1).

Таблица 1

Телевизионные спутниковые диапазоны

Название диапазона	Границы диапазона
L –диапазон	1,432...1,55; 1,61...1,21; ГГц
S-диапазон	1,93...2,70 ГГц
C-диапазон	3,40...5,25; 5,725...7,075 ГГц
X-диапазон	7,25...8,40 ГГц
Ku-диапазон	10,70...12,75; 12,75...14,80 ГГц
Ka-диапазон	15,40...26,50; 27,00...50,20 ГГц
R-диапазон	84,00...86,00 ГГц
G-диапазон	40...50 ГГц

Цифровые заделы имеются и в других диапазонах. Так, в составе оборудования создаваемых спутников американской системы Spaceway EXP для работы в Ka-диапазоне планируется использовать многолучевые узконаправленные антенны (МЛА), цифровые процессоры для коммутации трафика по лучам МЛА и межспутниковую связь. Ожидается, что скорость передачи на линии «абонентский терминал-спутник» достигнет 6 Мбит/с. Кроме того, профессиональные маломощные усилители (МШУ) – конверторы, соответствующие по своим параметрам требованиям приема цифрового телерадиосигнала, могут обеспечить усиление входного сигнала и его преобразование из диапазона «С» в диапазон «L».

Понятие ТВ тракта ассоциируется с понятием тракта изображения, который определяется как комплекс технических средств для передачи ТВ изображения от входного зрачка объектива передающей ТВ камеры до экрана телевизора. Пока тракт цифрового телевидения является лишь промежуточным звеном тракта передачи изображения. На вход тракта цифрового телевидения поступает аналоговый ТВ сигнал. В кодирующем устройстве (кодере) ТВ сигнал преобразуется в цифровую форму и поступает на передающее устройство и далее в линию связи. После длительных исследований и экспериментальной передачи цифрового телевидения чешскими специалистами-разработчиками в области формирования сигнала и российскими специалистами-разработчиками синтезаторов частоты начато внедрение в производство новых ТВ передатчиков. Передатчик будет иметь возбуждатель с амплитудно-фазовым корректором искажений, ПАВ –фильтр и синтезатор частоты, перестраиваемый во всем рабочем диапазоне с точностью, достаточной для компенсации любого смещения частоты.

Освоение технологии цифрового телевидения повлекло за собой необходимость не только создания принципиально новых устройств, но и пересмотр требований по всем элементам системы, включая передатчик. Специфика требований к передатчикам для цифрового эфирного вещания определяется исключительно свойствами используемых сигналов. Эти сигналы характеризуются практически полным отсутствием детерминированных компонентов в спектре выходного колебания, сравнительно большим значением пик-фактора и высокими требованиями к уровню внеполосных составляющих спектра. Появился новый тип оборудования – передатчики для цифрового вещания. Впервые в России цифровой ТВ сигнал был излучен в эфир 2 июля 2000 г. в стандарте DVB-T в Нижнем Новгороде. В январе 2001 г. аналогичный комплекс был запущен в Санкт-Петербурге и в настоящее время с его помощью проводятся исследования особенностей цифрового вещания.

Результаты испытаний в Нижнем Новгороде и Санкт-Петербурге показали возможность использования отечественной аппаратуры в системах цифрового телевидения и подтвердили основные расчетные соотношения по зоне обслуживания и в части взаимного влияния между цифровыми и аналоговыми каналами.

Новые технические средства передачи сигналов цифрового телевидения внедряются также при модернизации радиорелейных линий. Переход к цифровому ТВ вещанию включает решение двух основных задач:

- 1) создание сетевой базы для внедрения цифрового телевидения;
- 2) обеспечение непосредственного цифрового ТВ вещания путем установки в сети цифрового ТВ оборудования и установка приемников цифрового телевидения населению.

Внедрение на существующих РРЛ цифровых методов передачи ТВ программ с одновременной организацией передачи цифровой телефонии позволит предоставить потребителям такие виды услуг, как цифровое ТВ вещание, Интернет, мультимедиа и т.д.. Большие возможности открывает использование обратных ТВ стволов для организации интерактивных каналов от абонентов к студии. Это требует оснащения действующих радиорелейных каналов оборудованием, обеспечивающим совместную передачу компрессированных ТВ сигналами и сигналами многоканальной цифровой телефонии и Интернет в ТВ стволах действующих аналоговых РРЛ. Аппаратурный комплекс совместной цифровой передачи телевидения, телефонии и Интернет включает:

- 1) кодеки цифровой передачи ТВ сигналов (по числу передаваемых ТВ программ);
- 2) мультиплексер для объединения цифровых сигналов ТВ программ на различных участках тракта передачи;

3) модема для передачи суммарного цифрового потока со скоростью 34,368 Мбит/с по РРЛ;

4) оптического модема для передачи объединенного потока по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС);

5) терминала интерактивного ТВ канала.

Гибкая структура комплекса в составе цифрового потока 34,368 Мбит/с позволяет передать сочетание цифровых ТВ программ и потоков данных 2,048 Мбит/с, например, 2 программы цифрового телевидения и потоков данных $8 \times 2,048$ Мбит/с, либо полностью занять объем цифрового потока 4-мя программами цифрового телевидения. Комплекс содержит так называемые инверсные мультиплексоры. При этом варианте компрессированный цифровой ТВ сигнал разбивается на передающей стороне на составные потоки (2,048 Мбит/с), передается по линиям связи и собирается в единый поток на приемной стороне. Комплекс осуществляет цифровую передачу ТВ сигналов SECAM/PAL/NTSC.

Перечисленные цифровые заделы в телевидении не исчерпывают всех достижений цифровой ТВ техники. Важнее другое, возникли новые задачи и обернулись другой стороной старые проблемы.

О единой системе телевидения высокой и стандартной четкости

Предыдущий цифровой ТВ задел и тенденции его развития дают основание для создания и внедрения единой системы телевидения высокой и стандартной четкости [6, 7]. В ряду этих тенденций достаточно приоритетно обозначилась возможность создания унифицированного видеоборудования, которое использует единый стандарт цифрового кодирования, что в перспективе вытеснит многочисленные несовместимые между собой стандартные системы цветного телевидения SECAM, PAL, NTSC. Решения этой проблемы можно добиться при помощи цифро-аналогового преобразователя для получения стандартных ТВ сигналов указанных систем. Ясно, что все цифровые сигналы должны обрабатываться по единой технологии, что повысит как стабильность параметров оборудования, которое работает в бесподстроечном режиме, так и качество ТВ изображения, особенно при цифровой видеозаписи с применением электронного монтажа. Внедрение единого стандарта цифровой видеозаписи значительно облегчает международный обмен ТВ программами, расширяет номенклатуру спецэффектов; допускает электронный монтаж из фрагментов нескольких кадров, замену объектов в кадре, геометрические преобразования изображений и т.д. Частично эти решения реализованы в некоторых фильмах («Терминатор-2», «Маска» и др.).

Центральной проблемой цифрового телевидения остается уменьшение скорости передачи символов цифрового сигнала. Дело в том, что для обеспечения высокого качества цифрового кодирования ТВ сигнала со стандартной шириной полосы $f = 6$ МГц необходимо передавать вдвое больше отсчетов N (по теореме Котельникова $N = 2f = 2 \cdot 6 = 12$ млн отсчетов в секунду). Каждый отсчет передается с помощью восьми импульсов, т.е. по каналу передается почти 100 млн импульсов в секунду (100 Мбит/с). Следовательно, требуется ширина полосы канала 100 МГц. Как правило, частота дискретизации несколько превышает удвоенную максимальную частоту ТВ сигнала, при этом скорость передачи цифрового кода получается равной 100...120 Мбит/с.

Согласно известной рекомендации МККР цифровой поток на выходе преобразователя должен составлять 216 Мбит/с. Полоса частот, требуемая для передачи такого потока, в общем случае, зависит от канального кодирования. Непосредст-

венная же передача указанного потока потребует на порядок более широкую полосу, чем в современных стандартах аналогового цветного телевидения, а в телевидении высокой четкости эта проблема будет еще более значимой. Уменьшение скорости передачи цифрового потока может быть осуществлено за счет устранения избыточности, имеющейся в ТВ сигнале, и использованием эффективных методов модуляции. Различают структурную, статистическую и физиологическую избыточность ТВ сигнала [3]. Структурная избыточность определяется законом разложения ТВ изображения и создается в основном гасящими интервалами. Статистическая избыточность вызывается корреляционными связями между элементами сигнала в одной строке, в смежных строках и соседних кадрах. Физиологическая избыточность заключается в той части информации, которая не воспринимается глазом человека. Поскольку зрительное восприятие человека согласовано со статистическими свойствами изображений, провести четкую грань между статистической и физиологической избыточностью трудно.

Некоторые рекомендации по сокращению скорости передачи подсказывает сама практика цифрового телевидения. Так, сокращение до 140 Мбит/с, т.е. примерно в полтора раза по сравнению с исходным потоком на выходе цифровой студии, может быть рекомендовано, например, для соединительных линий телецентра. При этом гарантируется высокое качество изображений после декодирования и возможность реализации вторичных цифровых преобразований. Сокращение до 34 Мбит/с (в шесть раз) допустимо для передачи на дальние расстояния по третичным каналам ЕАСС. При уплотнении существующих систем спутниковой связи с сохранением хорошего качества изображений возможно сокращение скорости цифрового потока до 24 Мбит/с, с пониженным качеством изображения до 17 Мбит/с, например, для репортажных установок.

Все возрастающие требования предъявляются к выбору кодов. Используемые в цифровом телевидении коды условно разделяют на четыре группы [4], а именно: коды для кодирования ТВ сигнала; коды для эффективной передачи по каналу связи; коды, обеспечивающие удобство декодирования и синхронизации при приеме; коды для цифрового телевидения. Процессы кодирования ТВ сигнала, передачи информации по каналу связи и декодирования ее на приеме могут быть независимыми и даже несовместимыми. Это значит, что коды, удобные для цифрового представления ТВ сигнала, могут оказаться непригодными для передачи по каналу связи, а коды, удовлетворяющие кодированию ТВ сигнала и помехоустойчивой передаче по каналу, могут декодироваться лишь весьма сложными методами. Поэтому в цифровом телевидении часто приходится решать задачу преобразования кодов.

Суммарный цифровой поток получается путем объединения потоков яркости E_Y и двух цветоразностных сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} . При частоте дискретизации 13,5 МГц (108 Мбит/с), для яркостного канала и $2 \cdot 6,75$ МГц ($2 \cdot 54 = 108$ Мбит/с) для двух цветоразностных сигналов получим стандарт цифрового телевидения 13,5:6,75:6,75 (условно 4:2:2), в сумме после кодирования $108 + 54 + 54 = 216$ Мбит/с. Для получения более высокого качества изображения необходим стандарт кодирования с использованием широкополосных сигналов основных цветов с той же частотой дискретизации 13,5 МГц. Скорость цифрового потока при этом составит $108 + 108 + 108 = 324$ Мбит/с (условно 4:4:4). Стандарт более низкого уровня может быть 2:1:1 (частота дискретизации 6,75 и 3,375 МГц соответственно). Таким образом, создается иерархия совместимых стандартов цифрового кодирования для обеспечения различного качества ТВ изображений. Тем самым обеспечивается выполнение требования совместимости семейства стандартов цифрового кодирования путем сравнительно простого перехода от одного стандарта к другому: например, 4:4:4 к 4:2:2 и т.д.

Развитие ТВ вещания и переход к телевидению высокой четкости предполагают дальнейшее усовершенствование существующих стандартов для повышения качества передаваемого изображения. Промышленность ведущих стран – производителей ТВ техники предложила широкоформатные телевизоры (16:9), которые в большей степени соответствуют физиологическому восприятию визуальной информации. Перед специалистами ТВ вещания возникли, таким образом, новые проблемы, связанные с изменением стандарта на сигналы вещания и его совместимостью со старым парком телевизоров. Суть проблемы заключается в следующем. При воспроизведении на экране телевизора с форматом кинескопа 4:3 широкоэкранный фильм в верхней и нижней частях изображения получают черные полосы, в результате число строк, приходящихся на изображение, уменьшается, и теряется вертикальная четкость. Действительно, каждое поле ТВ изображения содержит 312,5 строк. На активную часть поля (без интервала обратного хода) приходится 287 строк. Широкоэкранные фильмы передают в формате 16:9, что соответствует уменьшению размера изображения по вертикали до $\frac{9}{16} : \frac{3}{4} = \frac{3}{4}$ от первоначального. При этом число активных строк сокращается до 215.

Сравнительно простым способом преобразования является следующий. На вход кодера с датчика изображения поступает цифровой сигнал формата 16:9 с тактовой частотой 13,5 МГц, частотой строк 625 (576 активных), частотой полей 50 Гц при чересстрочной развертке, на четыре такта сигнала яркости приходится по два такта цветоразностных сигналов (625/50/2:1/4:2:2). В кодере такой сигнал преобразуется в два сигнала: урезанный сверху и снизу широкоформатный и в так называемый сигнал вертикальной поддержки, который в приемнике позволяет восстановить вертикальную четкость изображения. На этом принципе западноевропейские и российские специалисты разрабатывают усовершенствованные системы PAL и SECAM соответственно. Реализуются также варианты на микросхемах.

В рамках статьи не охватить всех заделов и тенденций цифрового телевидения. Подводя итог изложенному, можно отметить следующие преимущества цифрового телевидения, на реализации которых цифровая техника стоит пока у порога:

- возможность большого числа обработок цифрового сигнала с сохранением высокого качества передачи ТВ сигналов по цифровым линиям связи большой протяженности, благодаря значительному уменьшению накопления искажений по сравнению с аналоговыми, и применению кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки;
- упрощение обмена ТВ программами при разных стандартах телевидения;
- высокие качественные показатели систем записи и воспроизведения изображения за счет снижения уровня нелинейных искажений;
- высокая стабильность тракта, возможность длительного бесподстрочного режима работы.

Список литературы

1. Техника средств связи. Серия «Техника телевидения». Выпуск 1. Сборник статей. Центральный отраслевой орган НТИ «ЭКОС (ЦОО НТИ «ЭКОС»», 1986. – 94 с.
2. Техническая политика в развитии современного телевизионного вещания в России. Тезисы докладов семинара-совещания. Министерство РФ по связи и информатизации. Учебно-научный центр «Содействие», Сочи, 5–8 июня 2001 г. – 150 с.

3. Левченко В.Н. Спутниковое телевидение в вашем доме. – СПб.: Полигон, 1997. – 222 с.
 4. Цифровое телевидение. Под ред. М.И. Кривошеева. – М.: Связь, 1980 – 204 с.
 5. Симонов М.М. Перспективные спутниковые системы Ка-диапазона // Техника и средства связи. № 6. – М.: Гротек, 1999. – С. 56–59.
 6. Новаковский С.В. Эффективные направления развития телевидения в XXI в. // Broadcasting, № 2. – М.: Гротек, 1999. – С. 3–6.
 7. Зотов А.А, Зотов В.А. О единой системе телевидения // V научная конференция ТГТУ. Краткие тезисы докладов. – Тамбов: ТГТУ, 2000. – С. 264.
-

Digital Reserves of Television

A.A. Zotov, Yu.V. Korshunkov

*Department "Designing of Radio-Electronic and Microprocessor Systems", TSTU (1);
Tambov Regional TV and Radio Broadcasting Center (2)*

Key words and phrases: video signal; discretion; quantization; coding; noise immunity; coding standards; TV vision; digital TV; digital flow.

Abstract: Digital aspect of analog TV connected with the problems of creating single TV system of high and standard sharpness is analyzed. The ways of transition from analog to digital TV taking into account the advantages of digital methods is considered but digital equipment necessary for their realization hasn't been created yet.

Digitalreserven des Fernsehens

Zusammenfassung: Es wird die mit den Problemen der Schaffung des einheitlichen TV-Systems der Hoch- und Standarddeutlichkeit verbundene Ziffernreserve des Analogfernsehens analysiert. Es werden die Etappen des Übergangs von Analog- bis Digitalfernsehens mit Berücksichtigung der Vorteile der bis zu heute noch nicht breit verwendenden Digitalmethoden betrachtet.

Réserves numériques de la télévision

Résumé: On analyse l'aspect numérique de la télévision analogique lié aux problèmes de la création du système unique télévisé de la haute fréquence standardisé. On examine les voies du passage de la télévision analogique à la télévision numérique compte tenu des avantages des méthodes numériques, la réalisation desquelees attend la technique numérique.
