

УДК 621.397.13.037.37

Особенности работы цифрового телевидения

Белый А.Н., Апанасевич А.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А. старший преподаватель.

Цифровое телевидение постепенно появляется все в большем количестве стран мира. Аналоговый телевизионный сигнал передается закодированным особым образом.

Кодирование, собственно, – это совокупность операций, выполняемых по определенным правилам и призванных заменить исходный сигнал иным, в данном случае цифровым со стандартизованными параметрами. Основными операциями являются поэлементная дискретизация и квантование.

Дискретизация может быть кадровой (кино), когда производится разбиение непрерывно меняющегося события на последовательность статических изображений. Следующая ступень – строчная дискретизация, когда каждый из кадров разбивается на отдельные строки. Попутно заметим, что телевидению, использующему для транспортировки визуальной информации потребителю одномерные радио и электрические каналы, строчная дискретизация понадобилась для согласования исходного сообщения – двухмерного изображения – с одномерным каналом доставки. Поэлементная дискретизация является наиболее полной и предусматривает дальнейшее разбиение строк на отдельные отсчеты – мгновенные значения аналогового сигнала, берущиеся в определенные моменты времени. Поэлементную дискретизацию, уже в силу специфики воспроизведения, использует, к примеру, цветное телевидение – ведь точки люминофора масочного кинескопа – те же отсчеты.

В результате поэлементной дискретизации аналоговый телевизионный сигнал заменяется последовательностью коротких импульсов (отсчетов), величина которых пропорциональна мгновенному значению телевизионного сигнала в соответствующий отсчету момент времени. Полоса частот, занимаемая телевизионным сигналом, относится к его стандартным характеристикам. Для того чтобы дискретизация не привела к потерям информации, интервалы или частота следования отсчетов должна быть не меньше теоретического предела, равного удвоенному значению верхней граничной частоты полосы сигнала. Для европейского стандарта разложения эта частота составляет около 12,5 МГц. Рекомендация МККР 11/601 стандартизовала частоту 13,5 МГц.

Следующей операцией цифрового кодирования, как отмечалось, является квантование – преобразование непрерывной шкалы уровней каждого отсчета в дискретную. Таким образом, выполняется еще одна операция дискретизации – уровневая. Интервалы, разделяющие два соседних порога, называют шагом квантования. Шаг квантования может быть постоянным (линейная шкала) или переменным (нелинейная шкала). Число порогов квантования – величина стандартизуемая. В Рекомендации МККР 11/ 601 принято число $256 = 2^8$. Каждому порогу приписывается определенный номер. Для записи этих номеров в двоичном исчислении нужны 8-ми разрядные числа. Таким образом, вместо отсчетов мы имеем содержащее 8 позиций кодовое слово, в котором "1" соответствует импульс, "0" - его отсутствие. Эти значащие позиции кодовых слов и называют битами. К битам, несущим информацию об уровне отсчета, добавляются (или могут быть добавлены) служебные, в частности проверочные, для защиты от ошибок, биты.

Чтобы пояснить некоторые специфические особенности цифрового кодирования и соответствующие параметры сигнала, сейчас полезно обратиться к формуле Шеннона. Ее упрощенный вариант, адаптированный к рассматриваемому вопросу, выглядит так:

$$П = О \times \ln(C/Ш),$$

где Π – означает результирующий цифровой поток; O – частота отсчетов сигналов яркости и цветности, передаваемое за секунду; \ln — натуральный (по основанию e) логарифм; C/Π — отношение сигнал/шум.

Квантование сопровождается необратимым искажением сигнала, часто называемым шумом квантования, по уровню сопоставимым с величиной порога (линейной шкалы). Важно, чтобы уровень естественных шумов в канале был близок по уровню к шумам квантования. Если шумы квантования заметно выше естественных, квантование вносит недопустимые искажения и, соответственно, потерю части информации. Напротив, при пороге ниже естественного шума квантование излишне подробно и ведет к соответствующему перерасходу технических средств и вполне материальным потерям. В нашем случае $C/\Pi = 256$ или 48 дБ, что хорошо согласуется с уровнем шумов большинства серийных камер. Существенное улучшение параметров ПЗС матриц и цепей обработки сигналов в камерах в последнее время привело к дальнейшему снижению уровня шумов до 60 дБ или к $C/\Pi = 1000$, а значит потребовало 10-ти разрядного квантования. Поэтому в образцах цифровой аппаратуры последних выпусков ведущие фирмы предусматривают именно эту разрядность квантования.

Вернемся к формуле Шеннона и попробуем разобраться в величине информационного потока, считая в соответствии с Рекомендацией 601, что квантование 8-ми разрядное. В составе телевизионного сигнала вместе с информацией о яркости передается и информация о цвете. Рекомендация 601 устанавливает, что на каждые 4 отсчета яркости должны передаваться по 2 отсчета цветоразностных сигналов, иными словами – поток 4:2:2. И яркостный, и цветоразностные сигналы дискретизируются с одной частотой - 13,5 МГц, а значит $O = 13,5 \times 2 = 27$ МГц. Поэтому, по формуле Шеннона информационный поток составит $\Pi = 27 \times 8 = 216$ Мбит/с. Самая плотная упаковка битами канала передачи соответствует примерно 1,5 бит на один период колебаний электромагнитного поля, а значит, для доставки названного информационного потока необходима полоса не менее 140 МГц. Приведенные расчеты преследуют одну цель – показать центральную проблему, с которой в первую очередь сталкиваются все, кто переходит от аналоговых средств к цифровым средствам.

Итак, за удовольствие перейти к цифровому кодированию в телевидении приходится расплачиваться примерно 20-кратным расширением полосы, занимаемой сигналом. За этим стоит ворох очень не простых проблем. Самая очевидная проблема – быстроедействие. До начала 80-х годов схемы, способные работать со скоростями, нужными для цифрового телевидения, практически отсутствовали. Понадобилась подлинная революция в микроэлектронике, чтобы такие скорости стали доступными. Следующая проблема состояла в резком росте элементной массы аппаратуры. Действительно, там где в аналоговом телевидении мы имеем один отсчет, в цифровом их не менее 8. Рост элементной массы сопровождается очевидным ростом энергопотребления. Добавим к этому понятное снижение надежности, рост эксплуатационных расходов, объема аппаратуры. Перечень малоприятных следствий можно продолжить, но и сказанного достаточно, чтобы понять основные аргументы скептиков начала 80-х и причины, по которым цифровые технологии первоначально получили лишь ограниченное распространение в телевидении.

И все же были, и не в малом количестве, энтузиасты, доказывающие необходимость и неотвратимость перехода к цифре. На что же, способное противостоять столь серьезным аргументам, они опирались? Чтобы пояснить позиции оптимистов, присмотримся к некоторым особенностям цифрового сигнала. Цифровой сигнал – это жестко позиционированный поток импульсов, в котором и наличие импульса, и его отсутствие являются параметрами значащими. При этом форма импульса, строго говоря, значения не имеет. Важно лишь, чтобы в процессе передачи или обработки он не был бы искажен до степени, препятствующей принятию решения об его наличии или отсутствии. Любое искажение формы аналогового сигнала -

ошибка, в цифровом – это несущественно в довольно широких пределах. Более того, каждая операция с цифровым сигналом сопровождается регенерацией импульсов.

Высокая защищенность от помех и искажений в канале – очень серьезный аргумент, все значение которого специалисты оценили сразу же. Укажем только на одно (но далеко не единственное) следствие этого. Лучшее, что удалось достичь в аналоговой магнитной видеозаписи – это 4-5 последовательных копий, а цифровая запись выдерживает сотни копий без видимых потерь качества сигнала. Профессионалам не надо долго рассказывать, насколько серьезно такое преимущество.

Аналоговые сигналы для своей обработки требуют большого числа строго специализированных схем, пригодных для решения только одной, раз определенной задачи, и по этой причине уникальны. В цифровых системах набор используемых операций и соответствующих микросхем невелик. Поясним указанное аналогией с различными системами письма. Иероглифы – символы понятий, действий, аналоги предметного мира, который отражают. Поэтому, соответствующее письмо требует огромного массива в десятки, если не сотни тысяч знаков. Буквенные системы письма, в которых символы полностью абстрагированы от отображаемых понятий и объектов, обходятся относительно небольшим набором символов и, соответственно, операций (правил грамматики), с помощью которых формируется сообщение. В процессе исторического развития именно экономия в символах и операциях позволила буквенному письму одержать, если и не полную, то вполне убедительную победу.

Сопоставляя аналоговые и цифровые технологии, мы сталкиваемся с чем-то подобным. Компьютеры, устройства цифрового телевидения оперируют лишь двумя символами: "0" и "1". При этом полный набор возможных функций (в математике и кибернетике их называют функциями Буля) – 16. Из них реально используются не более 4. В итоге, цифровые устройства, специализированные для решения разных задач, по внутренней архитектуре обычно почти неразличимы, а их специализация чаще всего достигается за счет периферии. Высокая степень универсализации цифровых устройств не только на модульно-блочном, но даже на элементном и операционном уровнях – огромное преимущество. Правда сказалось оно далеко не сразу, впрочем как и буквенное письмо не сразу доказало свои преимущества перед иероглифическим и слоговым.

Интересно сравнивать под микроскопом изображения поверхности аналоговых и цифровых микросхем. В первом случае поражаешься невообразимой путанице соединений и элементов, во втором – наблюдаешь поражающую воображение ритмичную и, впрочем, однообразную картину. Последнее верно даже для специализированных цифровых микросхем. При прочих равных условиях периодические или близкие к периодическим структуры проектировать и изготавливать значительно легче и дешевле, чем структуры с уникальным рисунком. Не так очевидно, но для таких структур технологически достижимы меньшие размеры и для отдельных элементов. Короче говоря, на одном стандартном чипе можно разместить существенно (сейчас на порядок и даже выше) больше активных элементов цифровой микросхемы, чем аналоговой. То же самое можно сказать и об удельном энергопотреблении, рассчитанном на один элемент. Именно в этом и состоит сущность технологической революции, в итоге которой цифровая техника, еще относительно недавно отпугивавшая своими размерами и энергопотреблением, сейчас вписывается в стандартные размеры аналоговой аппаратуры и ее энергопотребление и даже приближается к ней по стоимости.

Литература

1. Резников М.Р. Радио и телевидение вчера, сегодня, завтра. – М.: Связь, 1977. – 95с.
2. Шамшин В.А. Телевидение. // Электросвязь. – 1975. – №9. – С.1.
3. <http://www.mpt.gov.by>
4. <http://www.electroname.com>
5. <http://www.ref.by>