

Телевидение

1. Основные принципы.
2. Аналоговое телевидение,
3. Цифровое телевидение,
4. Стандарты телевидения.
5. Трёхмерное телевидение.
6. Интернет-телевидение.

1. Телев́идение (греч. τήλε — далеко и лат. *video* — вижу; от новолатинского *televisio* — дальновидение) — система связи для трансляции и приёма движущегося изображения и звука на расстоянии.

Основные принципы

Телевидение основано на принципе последовательной передачи элементов ^[1] кадра с помощью развёртки. Частота смены кадров выбирается, в основном, по критерию плавности передачи движения. Для сужения полосы частот передачи применяют чересстрочную развёртку, она позволяет вдвое увеличить частоту кадров (а значит, увеличить плавность передачи движущихся объектов). { {из БСЭ} }

Телевизионный тракт (от света до света) в общем виде включает в себя следующие устройства ^[2]:

1. Видеокамера. Объектив проецирует изображение на светочувствительную поверхность. Схема развёртки по строчкам считывает яркость элементов изображения. Сначала передаются нечётные строки (1-е поле), затем чётные (2-е поле). Информация о цвете передаётся на поднесущей частоте. Так формируется кадр полного цветного телевизионного сигнала (ПЦТС). Для съёмки и передачи документов применяются специализированные документ-камеры.
2. Видеомагнитофон (не обязательно). Записывает и в нужный момент воспроизводит чередование строк и полей.
3. Передатчик. Сигнал радиочастоты модулируется телевизионным сигналом и излучается в эфир (возможна трансляция по кабелю). Звук передаётся на отдельной частоте обычно при помощи частотной модуляции.

4. Приёмник — [телевизор](#). С помощью синхроимпульсов содержащихся в ПЦТС телевизионный кадр разворачивается на экране ([кинескоп](#), [ЖК панель](#), [плазменная панель](#)).

2. Аналоговое телевидение

*Аналоговый сигнал — [сигнал](#), область определения которого есть непрерывное пространство, то есть пространство, **не** являющееся [дискретным](#).*

Различают два пространства сигналов - пространство L (непрерывные сигналы), и пространство l (L малое) - пространство последовательностей. Пространство l (L малое) есть пространство коэффициентов Фурье (счетного набора чисел, определяющих непрерывную функцию на конечном интервале области определения), пространство L - есть пространство непрерывных по области определения (аналоговых) сигналов. При некоторых условиях, пространство L однозначно отображается в пространство l (например, первые две теоремы дискретизации Котельникова).

Аналоговые сигналы описываются [непрерывными функциями времени](#), поэтому аналоговый сигнал иногда называют непрерывным сигналом. Аналоговым сигналам противопоставляются дискретные ([квантованные](#), [цифровые](#)). Примеры непрерывных пространств и соответствующих физических величин:

















- [прямая](#): [электрическое напряжение](#)
- [окружность](#): положение [ротора](#), [колеса](#), [шестерни](#), стрелки аналоговых часов, или [фаза несущего сигнала](#)
- [отрезок](#): положение [поршня](#), [рычага](#) управления, жидкостного [термометра](#) или электрический сигнал, ограниченный по амплитуде

- различные **многомерные пространства**: [цвет](#), [квадратурно-модулированный](#) сигнал.

КАБЕЛЬНОЕ АНАЛОГОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ — это телевидение, к которому привык весь цивилизованный мир, который, условно, делится на две части. Первая ставит себе телевизионную тарелку, вторая - проводит к себе домой кабель. Аналоговое телевидение в современных условиях - это широкий выбор каналов для клиентов. Мы сейчас предлагаем их порядка 59 с хорошим качеством трансляции. Наша компания использует передачу сигнала по специально созданным телевизионным сетям на основе новейшего оборудования западных производителей. Это позволяет передавать телепрограммы с высоким качеством, которое практически не отличается от спутникового телевидения. Аналоговое телевидение и спутниковое - родственные понятия. Аналоговое ТВ также принимает со спутников, мы также формируем единый блок телепрограмм. Просто у Вас

дома нет спутниковой антенны, она Вам не нужна, а нужен только кабель до Вашего телевизора от нашей абонентской точки, которая находится в Вашем подъезде, на Вашем этаже. Намного проще, намного дешевле при высоком качестве, вот что такое аналоговое телевидение сегодня. Огромный выбор - за разумные деньги.

Эфирное аналоговое телевидение

	ICTV		Новый		СТБ		НТН
	1+1		Сити		Киев		УТ 1
	ТРК Украина		Тонис		ТЕТ		М1
	К 1		ИНТЕР		Кино		5 канал

3. Цифровое телевидение

Под **цифровым сигналом** понимается дискретный сигнал, квантованный по амплитуде.

Сигналы представляют собой дискретные электрические или световые импульсы. При таком способе вся емкость коммуникационного канала используется для передачи одного сигнала. Цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Полоса пропускания – это разница между максимальной и минимальной частотой, которая может быть передана по кабелю. Каждое устройство в таких сетях посылает данные в обоих направлениях, а некоторые могут одновременно принимать и передавать. Узкополосные системы (baseband) передают данные в виде цифрового сигнала одной частоты.

Дискретный цифровой сигнал сложнее передавать на большие расстояния, чем аналоговый сигнал, поэтому его предварительно модулируют на стороне передатчика, и демодулируют на стороне приёмника информации. Использование в цифровых системах алгоритмов проверки и восстановления цифровой информации позволяет существенно увеличить надёжность передачи информации.

Цифровое телевидение (от [англ. Digital Television, DTV](#)) — модель передачи [видео-](#) и [аудиосигнала](#) от транслятора к [телевизору](#), использующая цифровую модуляцию и сжатие для передачи данных. Основой современного цифрового телевидения является стандарт сжатия [MPEG](#).

- [DVB](#) — европейский стандарт цифрового телевидения.
- [ATSC](#) — американский стандарт цифрового телевидения.
- [ISDB](#) — японский стандарт цифрового телевидения.

Способы распространения цифрового сигнала

- [Наземное телевидение](#)
- [Спутниковое телевидение](#)
- [Кабельное телевидение](#)

Наземное телевидение — система передачи [телевизионного сигнала](#) к потребителю при помощи инфраструктуры [телевизионных вышек](#) и передатчиков в диапазоне 47—862 [МГц](#). Для приёма сигнала используется внутрикомнатная или наружная антенна.

Кабельное телевидение ([англ. Community Antenna Television, CATV](#) — букв. телевидение с общей [антенной](#)) — модель [телевизионного вещания](#) (а также иногда и [FM-радиовещания](#)), в которой телесигнал распространяется посредством [высокочастотных](#) сигналов, передаваемых через проложенный к потребителю [кабель](#). Кабельное телевидение противопоставляется обычному [наземному](#) и [спутниковому телевидению](#).

Долгое время основой кабельных телесетей является [коаксиальный кабель](#). Успешное развитие технологий оптической передачи данных привело к внедрению [оптического волокна](#) в сети кабельного телевидения в виде так называемых *гибридных*, или *волоконно-коаксиальных* сетей ([англ. HFC — hybrid fibre-coaxial](#)), в которых сочетаются коаксиальные и [волоконно-оптические кабели](#).

Традиционно аналоговая, технология кабельного телевидения успешно осваивает цифровые способы передачи данных, как в традиционном направлении к клиентам ([DVB — цифровое телевидение](#)), так и двусторонние ([DOCSIS](#)), [интерактивные](#).

Спутниковое телевидение — система передачи [телевизионного сигнала](#) от передающего центра к потребителю через [искусственный спутник Земли](#), расположенный на [геостационарной](#) околоземной орбите над [экватором](#).

Спутник связи — [искусственный спутник Земли](#), специализированный для ретрансляции радиосигнала между точками на поверхности земли, не имеющими прямой видимости.

Спутник связи, принимает спектр частот с сигналами наземных станций, направленных на него, усиливает и излучает обратно на Землю.

Зона, в которой возможен прием спутникового сигнала, называется *зоной покрытия*. Зона покрытия определяется положением на орбите, ориентацией и техническими характеристиками спутника.

Применяя различные [модуляции](#), через спутник можно передавать как цифровую информацию, так и аналоговые [сигналы](#).

Большинство спутников имеют несколько [передатчиков](#) — *транспондеров*, каждый из которых покрывает некоторую полосу частот (для *C-диапазона* — 4 или 8 ГГц). Также, транспондеры различаются [поляризацией](#) и диапазоном (C или K_u) с которыми они работают.

Спутники размещаются в трёх зонах, обусловленных существованием [поясов Ван Аллена](#). [Геостационарные](#) спутники возвышаются над Землёй на высоте 35786 км, средневысотные спутники занимают диапазон от 5000 до 15000 километров, для покрытия всей земной поверхности таких спутников требуется около 10, такие спутники нашли применение в системе [GPS](#); завершают классификацию низкоорбитальные спутники, которых для покрытия связью всей Земли нужно не менее пятидесяти.

Стандартный комплект для приема спутниковых каналов состоит из [спутниковой антенны](#), кронштейна (крепление антенны к стене или крыше), [конвертера](#), кабеля и [ресивера](#) (спутникового приемника).

Использование спутникового оборудования позволяет получать изображение цифрового качества, вплоть до [HD](#). Операторы спутникового телевидения, как правило, предоставляют своим клиентам несколько пакетов [телеканалов](#) в зависимости от их вкусов и финансовых возможностей.

Страны мира постепенно переходят на цифровое телевидение. Россия и Китай планируют к [2015 году](#)^[3] полностью перейти на цифровое телевидение.

Главное преимущество цифрового телевидения — более высокое качество изображения и звука по сравнению с аналоговым, есть у него и ряд минусов. Также одно из преимуществ — высвобождение диапазона радиоволн, в котором можно будет создать новую беспроводную сеть.

Недостатки спутниковой связи

- Высокая латентность (задержка) сигнала, обусловленная временем прохождения электромагнитной волны расстояния до орбиты спутника. Например до высокоорбитального спутника на орбите 35786 км, сигнал

идет 199 мс (со [скоростью света](#)), что означает задержку прохождения сигнала между двумя наземными станциями порядка 239 мс (и задержку интерактивного ответа на сигнал — порядка 477 мс)

- Неизбежность периодической [интерференции](#) сигнала при пересечении спутником линии наземная станция — Солнце
- Необходимость слежения наземной станции за спутниками имеющими негеостационарные орбиты.

Sirius, Amos, HotBird, ABS-1, Экспресс-AM2, Ямал 201, НТВ+.

4. Стандaрт телевизионного вещания — система кодирования видеосигнала для его эфирной передачи. Уже в эпоху чёрно-белого телевидения возникло несколько разных систем, отличавшихся числом строк, частотой кадров и другими параметрами. Переход к цветному телевидению умножил число систем, так как на разные чёрно-белые системы накладывались сигналы разных схем кодирования цвета ([NTSC](#), [PAL](#), [SECAM](#)).

Впоследствии часть систем «вымерла»; с другой стороны, распространились многосистемные телевизионные приёмники, так что сейчас разнообразие систем не создаёт проблем для телезрителей.

В настоящее время идёт внедрение [цифрового телевидения](#) и [телевидения высокой чёткости](#).

Число строк

Чем выше число строк, тем качественнее, [чётче](#) изображение и тем больше информации на экране. В то же время чем выше число строк, тем шире должна быть используемая полоса частот (соответственно тем меньше можно создать телеканалов). Считается, что обычному кинокадру на 35 мм плёнке соответствовало бы телевизионное изображение с 900 строками. В реальных системах такое качество не достигается — в Европе используют 625 строк (из которых реально показывается примерно 575), а в Америке 525 строк (из которых показывается примерно 480 — отсюда стандарт [VGA](#)). Во Франции существовала система с 819 строками, но сейчас она уже вымерла (такой канал занимал полосу 14 МГц).

Частота кадров

В большинстве телевизоров кадры показываются с той же частотой, с какой они передаются (поскольку раньше было сложно реализовать что-либо другое). При этом частота кадровой развёртки вдвое выше частоты кадров из-за использования [чересстрочной развёртки](#). На ранних стадиях развития телевидения инженеры боялись, что переменный ток в сети питания будет создавать помехи на экране, поэтому частота кадровой развёртки была

выбрана в точности равной стандартной частоте переменного тока (50 Гц в Европе, 60 Гц в Америке) — чтобы возможные помехи были статическими, а не имели вид дрожания. Эти опасения, впрочем, оказались необоснованными, но после начала массового внедрения телевидения было уже поздно что-то менять.

То, что частота кадров на телевидении (25 или 30 кадров в секунду) отличается от частоты кадров в кино (24 кадра в секунду), создаёт определённые неудобства. В Европе на телевидении фильмы прокручивают чуть быстрее (на 4 %; соответственно и звук становится более высоким); в Америке поступают хитрее: там один кинокадр показывают в течение 3 полукадров, а другой в течение 2 полукадров — в итоге на 4 кинокадра приходится 5 телевизионных кадров.

Соотношение сторон кадра

Во всех «старых» системах высота и ширина кадра относятся как 4:3 — это соответствует первоначальному формату телекадра. В странах центральной и западной европы (Голландия, Германия, Британия и т.д.) в аналоговом и цифровом наземном вещании с конца 90-х годов и началом распространения плоскочастотных телевизоров - используется PalPlus. Это модификация PAL с соотношением сторон телевизионного кадра 16:9.

Аналоговые системы

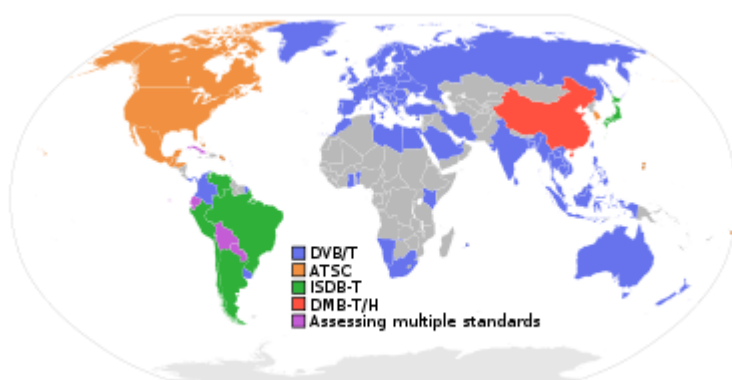
Системы цветного телевидения обозначаются так: например, SECAM-D обозначают сигналы стандарта D, на которые наложены цветные сигналы системы SECAM. Неприменяемые стандарты отмечены серым.

Стандарт	Число строк	Частота кадр. Гц	Полоса, МГц	Полоса сигнала, МГц	Сдвиг		Кодирование видеосигнала	Кодирование <u>звукОВОГО</u> сигнала	Примечания
					г	а			
A	405	25	5	3	-3.5	0.75	Pos.	AM	Великобритания (только ч/б) MB в большинстве стран, MB и ДMB в Австралии (см. G и H)
B	625	25	7	5	+5.5	0.75	Neg.	FM	

C	625	25	7	5	+5.5	0.75	Pos.	AM	старая система МВ, использовавшаяся только в Бельгии
D	625	25	8	6	+6.5	0.75	Neg.	FM	только МВ (см. К)
E	819	25	14	10	± 11.1 5	2.00	Pos.	AM	Старая французская система МВ
F	819	25	7	5	+5.5	0.75	Pos.	AM	Старая система МВ, использовавшаяся только в Бельгии и Люксембурге
G	625	25	8	5	+5.5	0.75	Neg.	FM	только ДМВ (см. В)
H	625	25	8	5	+5.5	1.25	Neg.	FM	только ДМВ (см. В)
I	625	25	8	5.5	$+5.99$ 6	1.25	Neg.	FM	Великобритания , Ирландия , ЮАР , Гонконг
K	625	25	8	6	+6.5	0.75	Neg.	FM	только ДМВ (см. D)
K'	625	25	8	6	+6.5	1.25	Neg.	FM	Заморские владения Франции
L	625	25	8	6	+6.5	1.25	Pos.	AM	Франция: звук на -6,5 МГц только на 1

M	525	29.97	6	4.2	+4.5	0.75	Neg.	FM	полосе МВ Страны Америки, Япония , Филиппины , Южная Корея (все NTSC-M); Бразилия (PAL-M) Аргентина , Боливия , Парагвай , Уругвай
N	625	25	6	4.2	+4.5	0.75	Neg.	FM	

Цифровые системы



Стандарты цифрового телевизионного вещания.

Основное преимущество цифрового телевидения заключается в улучшенном качестве изображения и звука. Кроме того, цифровое телевидение дает широкие возможности для дополнительных сервисов. На одном частотном канале, на котором раньше передавалась одна телевизионная программа, теперь можно передавать сразу несколько.

Передвижная телевизионная станция (ПТС)

Стандартом телевизионного вещания принято называть совокупность числа строк разложения кадра, частоту смены кадров или полей и тип развёртки. Уже несколько десятилетий в мире преобладают три стандарта с чересстрочной развёрткой:

- 525 строк, 59,94 полей в секунду в Америке и Японии (NTSC);
- 625 строк, 50 полей в секунду в Европе (PAL);

- 625 строк, 50 полей в секунду во Франции, России, Китае и некоторых странах Ближнего Востока (SECAM).

Сейчас им на смену приходит [телевидение высокой чёткости](#) (ТВЧ). Есть два стандарта, они могут иметь чересстрочную (с размером кадра 1080 строк) или построчную (прогрессивную, с размером кадра 720 строк) развёртку:

- 720 строк / 50 полей, 60 полей, 30 кадров, 25 кадров, 24 кадра;
- 1080 строк / 50 полей, 60 полей, 30 кадров, 25 кадров, 24 кадра.

Системы телевидения стран мира

Под системой телевидения понимают способ кодирования информации о цвете. Имеется три системы (в порядке разработки):

- [NTSC](#)
- [PAL](#)
- [SECAM](#)

Наземное телевидение — система передачи [телевизионного сигнала](#) к потребителю при помощи инфраструктуры [телевизионных вышек](#) и передатчиков в диапазоне 47—862 [МГц](#). Для приёма сигнала используется внутрикомнатная или наружная антенна.

Стандарт **DVB-T** для цифрового эфирного ТВ-вещания в диапазоне ДМВ для Европы и других стран был принят в 1996 г. — на два года позже аналогичных стандартов для спутниковых (DVB-S) и кабельных (DVB-C) каналов связи. Эта задержка была вызвана необходимостью применения более сложных технических методов передачи цифровой информации при сохранении приемлемой стоимости цифрового эфирного телевизора, а также из-за не очень высокой коммерческой конъюнктуры ввиду отсутствия свободных ТВ-каналов в диапазоне ДМВ для большинства стран Европы. Снизить стоимость цифрового телевизора возможно за счет применения в стандарте DVB-T апробированных технических решений и технологий, разработанных для систем цифрового спутникового и кабельного вещания. Это требует унификации ряда методов обработки цифровых сигналов в указанных системах. Данная задача была решена путем разработки коммерческих требований к цифровой системе эфирного вещания, на основании которых были выбраны необходимые технические решения.

Метод модуляции При цифровом эфирном ТВ-вещании основным разрушающим фактором для цифрового канала являются помехи от многолучевого приема. Этот вид помех весьма характерен для эфирного приема в городах с разноэтажной застройкой из-за многократных отражений радиосигнала от зданий и других сооружений. При многолучевом приеме в декодер поступают две (или более) одинаковые по характеру чередования

символов, но сдвинутые по времени цифровые последовательности. Поскольку анализ переданного значения символа "0" или "1" в декодере обычно производится в середине символа, то в случае, если задержка радиосигнала второго луча становится близкой или больше половины длительности символа, происходит резкий рост цифровых ошибок, вплоть до полного разрушения цифрового канала. При стационарном эфирном ТВ-приеме бороться с многолучевостью можно путем применения остронаправленных многоэлементных ТВ-антенн, что обычно и делается в системах коллективного эфирного приема. Но это не решает проблемы полностью, так как при этом нельзя будет гарантировать уверенный прием цифровых ТВ-программ на переносные и перевозимые ТВ-приемники, в которых используются простые ТВ-антенны. Радикальным решением этой проблемы является применение в эфирных каналах ТВ-вещания модуляции COFDM (Coded Orthogonal Division Multiplexing), которая специально разработана для борьбы с помехами при многолучевом приеме. При COFDM используется ортогональное частотное мультиплексирование совместно с помехоустойчивым канальным кодированием. Сочетание канального кодирования (аббревиатура С) с ортогональным частотным мультиплексированием (аббревиатура OFDM) обозначается как COFDM. Метод COFDM хорошо известен и широко используется в цифровых системах радиовещания (DAB) в Европе, Канаде, Японии и др. При COFDM последовательный цифровой поток преобразуется в большое число параллельных потоков (субпотоков), каждый из которых передается на отдельной несущей. Группа несущих частот, которая в данный момент времени переносит биты параллельных цифровых потоков, называется "символом COFDM". Благодаря тому, что используется большое число параллельных потоков (обычно 1705 или 6817 субпотоков), длительность символа в параллельных потоках получается существенно больше, чем в последовательном потоке данных (соответственно 280 или 1120 мкс — в зависимости от числа используемых субпотоков). Это позволяет в декодере задержать оценку значений принятых символов на время, в течение которого изменения параметров радиоканала из-за действия эхо-сигналов прекратятся, и канал станет стабильным. Таким образом, при COFDM временной интервал символа субпотока T_s делится на две части — защитный интервал D , в течение которого оценка значения символа в декодере не производится, и рабочий интервал символа T_u , за время которого принимается решение о значении принятого символа (рис. 1). Отметим, что для правильной работы системы эхоподавления необходимо, чтобы защитные интервалы находились не в начале, а в конце символов $S_2, S_3 \dots$, то есть в защитном интервале продолжается модуляция несущей предшествующим символом (рис.1б,г). Для обеспечения оптимального обмена между топологией (конфигурацией построения) сети ТВ-вещания и эффективностью использования радиоспектра применяются разные значения защитного интервала. Благодаря этому система может использоваться для вещания как в одночастотной сети с большой зоной покрытия, так и для малых зон, обслуживаемых одним

передатчиком.

Для одночастотной радиосети типичным видом эхо-сигналов являются сигналы от соседних по территориальному размещению радиопередатчиков, передающих одинаковые символы COFDM. Эти сигналы не отличаются от классических эхо-сигналов, и их можно оценивать как эхо-сигналы, если они будут поступать в приемник за время защитного интервала D . Таким образом, выбор длительности защитного интервала будет непосредственно влиять на вид проектируемой одночастотной радиосети. Увеличение длительности защитного интервала позволяет увеличить расстояние между соседними радиопередатчиками. С другой стороны, длительность защитного интервала целесообразно выбирать небольшой, так как, с точки зрения теории информации, защитный интервал не используется для передачи полезной информации и его введение уменьшает объем передаваемой информации.

Групповой спектр радиосигнала OFDM

Такие параметры модема OFDM, как число несущих в групповом спектре, величина их частотного разнеса, длительность защитного и рабочего интервала информационного символа, взаимосвязаны и выбираются путем компромиссных решений. При разработке стандарта DVB-T выбор этих параметров оказался наиболее сложным и дискуссионным вопросом. Частотный разнос Df между соседними несущими $f_1, f_2 \dots f_n$ в групповом радиоспектре OFDM (рис. 2) выбирается из условия возможности выделения в демодуляторе индивидуальных несущих. При этом возможно применение двух методов частотного разделения (демультиплексирования) несущих. Во-первых, с помощью полосовых фильтров и, во-вторых, с помощью ортогональных преобразований сигналов.



В первом случае частотный разнос между модулированными несущими (рис. 2 а) выбирается таким, чтобы их соседние боковые полосы взаимно не перекрывались. Это условие будет выполнено, если величину частотного разнеса выбрать равной $Df = 1/T_u$, где T_u — рабочий интервал информационного символа (см. рис. 1). Однако при этом эффективность

использования радиоспектра будет невысокой. Поэтому в стандарте OFDM выбран ортогональный метод разделения несущих, при котором значение частотного разнеса может быть уменьшено в два раза по сравнению с первым методом, за счет чего в два раза повышается плотность передачи цифровой информации (бит/с)/Гц. В нашем случае две модулированные несущие будут ортогональными, если интеграл от их произведения за время длительности рабочего интервала T_u равен нулю. По этой причине при ортогональном методе демодуляции несущих группового спектра взаимные помехи от соседних несущих будут также равны нулю, несмотря на то, что их соседние боковые полосы взаимно перекрываются. Для выполнения условий ортогональности необходимо, чтобы частотный разнос между несущими был постоянен и точно равен значению $Df = 1/T_u$, то есть на интервале T_u должно укладываться целое число периодов разностной частоты $f_2 - f_1$. Выполнение этого соотношения достигается введением в модем OFDM двух видов сигналов синхронизации: сигналов для синхронизации несущих частот группового спектра и сигналов для синхронизации тактовых частот функциональных блоков демодулятора.

Параметры OFDM

Основные параметры сигналов OFDM приведены в табл. 1. В стандарте эфирного вещания DVB-T предусмотрены два режима модуляции OFDM, названные режимами 8К и 2К, для которых используются два значения рабочих интервалов информационных символов: $T_{u1} = 896$ мкс — для режима 8К и в 4 раза меньшее значение $T_{u2} = 224$ мкс — для режима 2К. Этим рабочим интервалам соответствуют два значения частотного разнеса несущих в групповом спектре OFDM: $Df_1 = 1/896$ мкс = 1116 Гц и $Df_2 = 1/224$ мкс = 4464 Гц (рис. 2б, в), при которых в групповом спектре OFDM содержится $n_1 = 6817$ для первого режима и $n_2 = 1705$ несущих — для второго режима модуляции. Общая ширина спектра группового сигнала в обоих случаях равна 7,61 МГц (рис. 2б, в).

Таблица 1.

Основные параметры системы OFDM

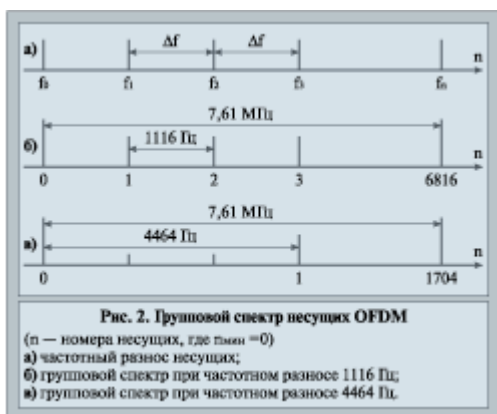
Режим модуляции	8К	2К
Длительность рабочего интервала T_u в мкс,	896	224
в числе периодов T_0 (*)	8192	2048
Частотный разнос несущих $D = 1/T_u$, Гц	1116	4464
Число несущих в спектре группового сигнала, n	6817	1705
Ширина радиоспектра группового сигнала несущих, МГц	7,61	7,61
Относительная длительность защитного интервала, D/T_u	1/4	1/8
	1/16	1/32
	1/4	1/8
	1/16	1/32

Длительность защитного интервала D , в мкс,	224	112	56	28	56	28	14	7
в числе периодов T_0 (*)	2048	1024	512	256	512	256	128	64
Длительность символа сообщения $T_s = D + T_u$, в мкс,	1120	1008	952	924	280	252	238	231
в числе периодов T_0 (*)	10240	9216	8704	8448	2560	2304	2176	2112
Максимальное удаление передатчиков в сети вещания $d = c(**) \times D$, км	67,2	33,6	16,8	8,4	16,8	8,4	4,2	2,1

Примечания: (*) Тактовый период $T_0 = 7/64$ мкс.

(**) Скорость распространения радиоволн $c = 3 \times 10^8$ км/с.

Таким образом, видно, что спектр группового сигнала OFDM можно разместить в эфирном радиоканале аналогового телевидения с полосой пропускания 8 МГц, обеспечивая между соседними радиоканалами защитные частотные интервалы по $\sim 0,39$ МГц. Это важный момент, так как согласованность спектра группового сигнала OFDM с существующими радиоканалами эфирной сети ТВ-вещания упрощает внедрение цифровой системы телевидения.



Стандартом для каждого режима модуляции предусмотрены 4 относительных значения защитных интервалов, равные 1/4; 1/8; 1/16 и 1/32 длительности рабочего интервала. Соответствующие им абсолютные значения длительностей защитных интервалов и информационных символов в мкс и периодах тактовой частоты $T_0 = 7/64$ мкс приведены в табл. 1. В этой же таблице указан максимальный территориальный разнос между ТВ-передатчиками одной ТВ-программы в синхронной одночастотной сети эфирного вещания, который может выбираться при проектировании сети в пределах от 67,2 до 8,4 км и от 16,8 до 2,1 км соответственно для режимов модуляции 8К и 2К. Остановимся на причинах, по которым в стандарте эфирного вещания были приняты два варианта режимов модуляции (8К и

2К), поскольку эти факторы необходимо учитывать при проектировании такой сети вещания. Режим модуляции 8К позволяет в одночастотной сети эфирного вещания использовать территориальный разнос между передатчиками одинаковых ТВ-программ до 67 км. При этом получается большая зона покрытия, приемлемые мощности ТВ-передатчиков и стандартные высоты антенно-мачтовых сооружений. Экономические преимущества такой сети становятся особенно заметными при организации ТВ-вещания в странах с большими территориями, за счет сокращения общего числа передающих ТВ-станций сети. По этим причинам в стандарт был введен режим модуляции 8К. Технически модем 8К реализуется путем выполнения в модуляторе инверсного дискретного преобразования Фурье и прямого дискретного преобразования Фурье — в демодуляторе телевизора, для чего требуются процессоры с двоичной емкостью $2^{13} = 8192 = 8К$. Однако имеющееся в то время первое поколение таких процессоров не подходило для этих целей ни по быстродействию, ни по стоимости, что не позволяло начать одновременно с принятием стандарта разработку аппаратуры с режимом модуляции 8К [2]. По этой причине было принято решение ввести в стандарт второй — технически более простой режим 2К, для которого уже имелись необходимые процессоры с двоичной емкостью $2^{11} = 2048 = 2К$. В итоге был принят общий стандарт с модуляцией 2К и 8К с разным числом несущих. Спецификация стандарта 2К позволяла начать внедрение цифрового эфирного вещания сразу, а спецификация стандарта 8К могла быть реализована позднее, после разработки соответствующего процессора. Отметим, что с появлением процессоров 8К и необходимости построения сети эфирного вещания с большой зоной покрытия, что характерно для Российской Федерации, предпочтение необходимо отдать режиму модуляции 8К и использовать его при создании отечественной сети цифрового эфирного вещания.

Модуляция несущих в групповом сигнале OFDM

Стандартом предусмотрено, что в модеме OFDM могут быть использованы следующие виды модуляции несущих группового сигнала: квадратурная фазовая модуляция (4-ФМ), 16- и 64-уровневая квадратурная амплитудная модуляция (16-КАМ или 64-КАМ) с равномерным или неравномерным расположением вершин векторов сигнала в кодовом пространстве сигналов. Выбор конкретного вида модуляции из указанных производится в зависимости от требуемой скорости передачи данных с учетом избыточности, необходимой для их помехоустойчивого кодирования. Эту избыточность легко оценить, исходя из того, что при помехоустойчивом кодировании в модеме используются сверточные коды с относительными скоростями: $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$, в результате чего скорость цифрового потока после помехоустойчивого кодирования увеличится в число раз, равное единице, деленной на относительную скорость кода. То есть, например, при использовании сверточного кода $3/4$, скорость цифрового потока возрастает в $4/3=1,33$ раза. Данные, необходимые для выбора вида модуляции в зависимости от требуемой скорости цифрового потока для

различных значений относительной скорости сверточного кода и относительной длительности защитного интервала в информационном символе, приведены в табл. 2. Данные этой таблицы не зависят от режима модуляции 8К или 2К, так как при переходе от режима 8К к режиму 2К с уменьшением числа несущих в 4 раза одновременно в 4 раза увеличивается скорость передачи данных на каждой несущей. В табл. 2 также указаны необходимые значения отношения сигнал/шум в эфирном радиоканале для двух случаев эфирного приема — на стационарную, многоэлементную ТВ-антенну и на простую антенну переносного телевизора. Приведенные значения отношения сигнал/шум обеспечивают получение коэффициента ошибок 2×10^{-4} на выходе декодера сверточного кода. Окончательный выбор перечисленных параметров системы цифрового вещания делается путем анализа нескольких альтернативных вариантов.

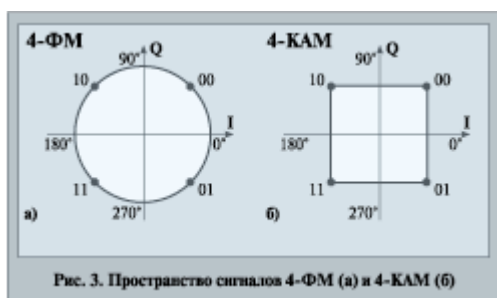
Таблица 2.

Скорость передачи данных при неиерархической модуляции 8К и 2К

Вид модуляции	Скорость кода	Отношение сигнал/шум радиоканале, дБ		Полезная скорость, Мбит/с			
		Стационарная антенна (F1)	Переносная антенна (P1)	D/Tu=1	D/Tu=1	D/Tu=1/	D/Tu=1/
				/4	/8	16	32
4-ФМ	1/2	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
4-ФМ	2/3	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
4-ФМ	3/4	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
4-ФМ	5/6	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
4-ФМ	7/8	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16-КАМ	1/2	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-КАМ	2/3	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16-КАМ	3/4	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16-КАМ	5/6	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-КАМ	7/8	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-КАМ	1/2	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64-КАМ	2/3	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-КАМ	3/4	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
64-КАМ	5/6	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
64-КАМ	7/8	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

Пространство сигналов

При квадратурной фазовой (4-ФМ) и амплитудной модуляции (16-КАМ и 64-КАМ) сигнал несущей получается путем модуляции и суммирования двух квадратурных сигналов: $\cos\omega t$ и $\sin\omega t$. Эти сигналы при анализе систем квадратурной модуляции удобно представлять в виде двух квадратурных векторов I и Q, полагая, что вектор I совпадает с осью абсцисс и называется синфазным вектором, а вектор Q совпадает с осью ординат и называется квадратурным вектором. При этом фаза вектора I принимается за нулевую фазу и относительно нее производится оценка фазовых положений векторов модулированного сигнала. Поскольку при математическом анализе квадратурно модулированных сигналов используются комплексные функции, в которых сигнал $\cos\omega t$ является действительной частью функции, а сигнал $\sin\omega t$ — мнимой частью функции и, кроме того, общепринятым считается, что по оси абсцисс откладываются действительные числа, а по оси ординат — мнимые, то в системе координат I и Q вектору I соответствует сигнал $\cos\omega t$, а вектору Q — сигнал $\sin\omega t$. Пространство сигналов модулированной несущей представляет собой дискретные положения вершин суммарного вектора (I+Q) в системе координат I и Q.



В системе OFDM при использовании модуляции 4-ФМ вектора I и Q имеют одинаковые и постоянные амплитуды, дискретно меняются только фазы, которые могут принимать значения 0° или 180° — для вектора I и 90° или 270° — для вектора Q. При этом вершины суммарного вектора (I+Q) при переходе от одного фазового положения в другое описывают окружность (рис. 3а). По сравнению с 4-ФМ применение КАМ позволяет увеличить скорость передачи данных в 2 раза — для 16-КАМ и в 4 раза — для 64-КАМ. При применении КАМ вектора I и Q принимают указанные выше фиксированные значения фазы, что и при 4-ФМ, и, кроме того, дискретно модулируются по амплитуде. При этом в стандарте предусмотрены два вида дискретизации амплитуд векторов I и Q — с равномерным и неравномерным шагом дискретизации амплитуды.

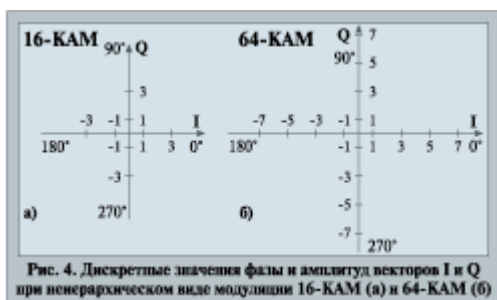


Рис. 4. Дискретные значения фазы и амплитуд векторов I и Q при иерархическом виде модуляции 16-КАМ (а) и 64-КАМ (б)

Первый случай называется неиерархическим режимом модуляции, и он обеспечивает одинаковую помехоустойчивость для всех передаваемых кодовых комбинаций. В этом режиме модуляции амплитуды векторов I и Q принимают по 4 фиксированных значения, равных (-3; -1; +1; +3) шагов дискретизации амплитуды — для 16-КАМ (рис. 4а) и по 8 — фиксированных значений, равных (-7; -5; -3; -1; +1; +3; +5; +7) шагов дискретизации амплитуды — для 64-КАМ. Отметим сходство модуляции 4-ФМ с КАМ. При 4-КАМ вершины суммарного вектора (I + Q) лежат в вершинах квадрата (см. рис. 3б), который вписывается в окружность 4-ФМ (см. рис. 3а), т.е. пространства сигналов 4-ФМ и 4-КАМ совпадают. Таким образом, если выбрать одинаковые манипуляционные коды, то сигналы 4-ФМ и 4-КАМ можно будет формировать и демодулировать одними и теми же устройствами, что полезно использовать при создании унифицированного модема OFDM для нескольких видов модуляции. Применение иерархического метода модуляции позволяет повысить живучесть системы цифрового вещания при неблагоприятных условиях эфирного приема (например, прием при низкой напряженности радиополя, наличие помех от других радиослужб, прием на комнатную антенну и т.п.). В этом случае передаваемый цифровой поток разбивается на два потока. Скорость первого потока выбирается равной: 1/2 при 16-КАМ и 1/3 при 64-КАМ от скорости основного потока. (При этом скорость 2-го потока составит, соответственно, 1/2 или 2/3 от скорости основного потока.) Первый поток кодируется с более высокой помехоустойчивостью, и в нем передается наиболее значимая часть информации, например, старшие разряды видео- и звукоданных. Второй поток кодируется с меньшей помехоустойчивостью и используется для передачи менее значимой части информации. При этом разница в отношении сигнал/шум для пороговых точек демодуляции первого и второго потока выбирается в пределах 10 ... 15 дБ. При иерархической модуляции целесообразно использовать более высокие профили стандарта MPEG-2, т.е. вместо основного профиля стандарта MPEG-2 применить профиль с масштабируемым отношением сигнал/шум или специально масштабируемый профиль, при которых живучесть системы при неблагоприятных условиях приема повышается за счет снижения отношения сигнал/шум и четкости ТВ-изображения.

В итоге при неблагоприятных условиях, когда не удастся демодулировать второй цифровой поток, ТВ-изображение на экране телевизора сохраняется,

хотя и воспроизводится с ухудшенным качеством (повышенным уровнем шумов и пониженной четкостью). С улучшением условий приема качества изображения полностью восстанавливается. Пространство сигналов 16- и 64-КАМ при иерархической модуляции Переход к иерархической модуляции осуществляется за счет применения двух значений шага дискретизации при дискретизации амплитуд векторов I и Q. Меньшее значение шага дискретизации d_1 остается таким же, как и при неиерархической модуляции, а большее значение шага дискретизации d_2 выбирается в 2 или 4 раза больше d_1 , т.е. $d_2 = a \times d_1$, где $a = 2$ или 4 . Пространство сигналов 16- или 64-КАМ строится следующим образом. Первые от начала координат точки по положительным и отрицательным направлениям осей I и Q имеют фиксированные амплитуды, равные $d_2/2$. Остальные точки на указанных осях имеют фиксированные значения амплитуд, следующих с шагом дискретизации d_1 .

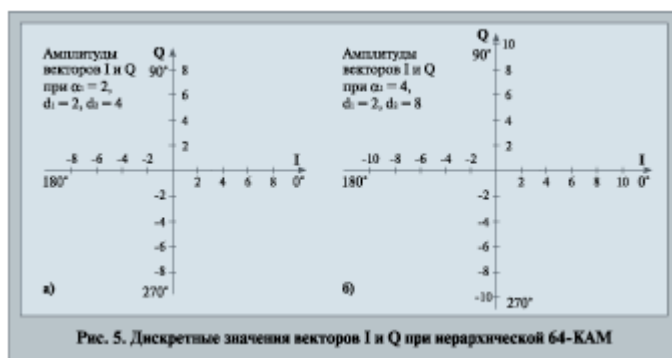


Рис. 5. Дискретные значения векторов I и Q при иерархической 64-КАМ

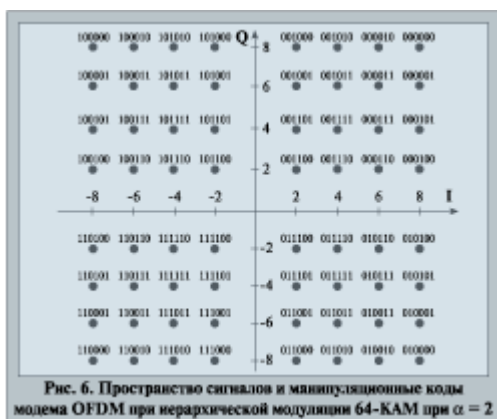
На рис. 5 показаны дискретные значения амплитуд векторов I и Q при иерархической 64-уровневой КАМ. Каждый вектор может иметь 8 фиксированных амплитуд равных или $(-8, -6, -4, -2, +2, +4, +6, +8)$ шагов дискретизации d_1 при $a = 2$, или $(-10, -8, -6, -4, +4, +6, +8, +10)$ шагов дискретизации d_1 при $a = 4$. В случае 16-уровневой КАМ число фиксированных значений амплитуд векторов I и Q уменьшается до 4, и эти дискретные значения будут совпадать с вышеуказанными на интервалах от $(-4, -2, +2, +4)$ при $a = 2$ и от $(-6, -4, +4, +6)$ при $a = 4$. При модуляции амплитуды векторов I и Q могут в произвольном порядке принимать одно из 4 (при 16-КАМ) и одно из 8 (при 64-КАМ) указанных фиксированных значений. В итоге в пространстве сигналов 16/64-КАМ будут присутствовать 16 или 64 суммарных вектора $(I + Q)$, расстояние между вершинами которых будет максимальным при значениях амплитуд векторов (I, Q) равных: $(2, 2)$; $(2, -2)$; $(-2, 2)$; $(-2, -2)$ — для случаев 16/64-КАМ $a = 2$, и $(4, 4)$; $(4, -4)$; $(-4, 4)$; $(-4, -4)$ — для случаев 16/64-КАМ $a = 4$. Эти кодовые комбинации будут обладать максимальной помехоустойчивостью, и их необходимо использовать при передаче наиболее значимой части информации.

Структура кадра OFDM

При выборе структуры кадра необходимо обеспечить, во-первых, быстрое вхождение в синхронизм демодулятора цифрового телевизора, с тем чтобы

не вызывать чувства раздражения у телезрителей в моменты переключения телевизора с одной программы на другую. Во-вторых, формат кадра OFDM должен быть согласован с форматом транспортного пакета MPEG-2 (длительность пакета 204 байта), с тем чтобы взаимные преобразования этих форматов в модеме могли быть выполнены простыми техническими средствами.

В результате учета этих требований в стандарте OFDM была принята двухступенчатая структура передачи данных в виде супер-кадра, состоящего из 4 кадров OFDM. При этом в одном супер-кадре содержится целое число транспортных пакетов MPEG-2, что позволяет производить взаимные преобразования форматов транспортных пакетов и супер-кадра OFDM без введения в модем OFDM стаффинг-синхронизации. В то же время наличие в супер-кадре 4 кадров повышает в 4 раза скорость передачи сигналов синхронизации, за счет чего обеспечивается приемлемое время вхождения в синхронизм демодулятора телевизора.



Структура кадра OFDM показана на рис. 7. Кадр состоит из 68 символов OFDM, которым присвоены номера от 0 до 67. Длительность кадра равна $TF=68TS$, а значения TS (длительности информационных символов) для различных режимов работы приведены в табл.1. Кадр содержит для режимов модуляций 8К и 2К, соответственно, 6817 и 1705 несущих. Для работы приемного устройства необходимо совместно с информационными символами передавать опорные сигналы, во-первых, сигналы для фазовой автоподстройки опорных частот демодулятора, во-вторых, — сигналы тактовой синхронизации функциональных блоков демодулятора, в-третьих, — сигналы для оценки состояния эфирного радиоканала, в-четвертых, — сигналы управления демодулятором, содержащие информацию о используемых режимах модуляции. Для этих целей в каждом символе OFDM для режимов модуляции 8К и 2К выделено, соответственно, 769 и 193 опорных несущих, которые по сравнению с информационными несущими передаются с повышенной на 2,5 дБ мощностью.

Для фазовой автоподстройки опорной сетки когерентных частот

демодулятора используются так называемые фиксированные опорные несущие, частотные позиции которых в каждом символе OFDM постоянны.

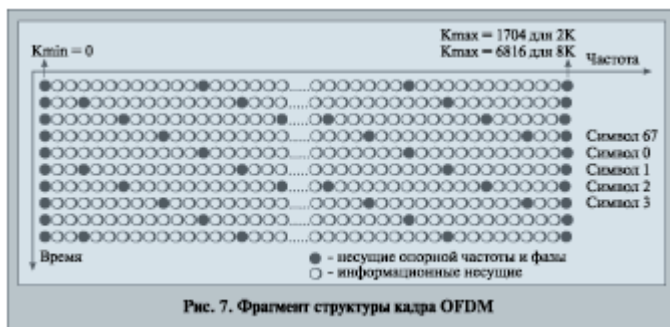


Рис. 7. Фрагмент структуры кадра OFDM

Всего для этой цели в режимах 8К и 2К используется соответственно 177 и 45 фиксированных несущих. Фиксированные несущие модулируются опорной псевдослучайной последовательностью. Для повышения живучести системы OFDM и снижения числа цифровых ошибок в демодуляторе ведется оценка текущего состояния амплитудно-частотной характеристики сквозного радиоканала модема, на основании чего производится расчет текущей переходной характеристики радиотракта и выбирается оптимальный временной интервал ("временное окно") для декодирования информационных сигналов. Для этой цели используются так называемые рассредоточенные опорные несущие, частотные позиции которых смещаются при переходе от одного символа OFDM кадра к другому символу OFDM (см. рис. 7). Причем эти изменения номеров рассредоточенных несущих производятся с периодом 4 символа OFDM, т.е., например, частотные позиции рассредоточенных несущих в символе OFDM с номером 0 и номером 3 совпадают. В результате такого периодического сдвига частот рассредоточенных опорных несущих происходит более точное частотное сканирование сквозной АЧХ радиотракта модема. Для этой цели используются в режимах 8К/2К соответственно 524 и 131 рассредоточенных опорных несущих, которые модулируются опорной псевдослучайной последовательностью.

Кроме того, для передачи сигналов управления демодулятором в режимах 8К и 2К используются соответственно 68 и 17 рассредоточенных несущих, положения которых в кадре OFDM заданы в виде таблицы.

Канальное кодирование

Канальное кодирование используется для повышения помехоустойчивости системы цифрового эфирного вещания и согласования форматов передачи данных кадра OFDM и транспортных пакетов MPEG-2. Канальный кодек включает в себя систему внешнего и внутреннего кодирования модема. Такая структура кодека позволяет унифицировать ряд его функциональных узлов для эфирных, спутниковых и кабельных систем цифрового вещания за счет того, что общие для этих систем вещания операции по обработке данных выполняются во внешней системе кодирования, а дополнительная обработка

данных, зависящая от вида модуляции и среды передачи, выполняется в составе внутренней системы кодирования модема. Такая унификация дает экономический эффект и сокращает сроки внедрения, так как в этом случае для создания аппаратуры цифрового эфирного вещания можно использовать новые технологии и специализированные интегральные схемы, разработанные для систем спутникового и кабельного цифрового вещания. По этой причине в стандарте эфирного цифрового вещания было принято, что используемые во внешней системе канального кодирования модема OFDM структура цикла обработки данных, методы скремблирования, помехоустойчивого кодирования кодом Рида-Соломона и сверточного перемежения данных остаются такими же, как и в системах цифрового спутникового и кабельного вещания. Кроме того, во внутренней системе канального кодирования модема OFDM используется тот же метод сверточного кодирования, который принят в системе цифрового спутникового вещания. Кратко поясним выполняемые ими функции в модеме OFDM.

Внешнее канальное кодирование

Цикл обработки данных в системе внешнего канального кодирования модема OFDM синхронен с частотой передачи транспортных пакетов MPEG-2 и включает в себя группу из 8 транспортных пакетов по 188 байтов каждый. Для введения сигнала цикловой синхронизации в первом транспортном пакете цикла производится инверсия символов стартовой синхрогруппы пакета. В остальных семи транспортных пакетах цикла стартовые синхрогруппы не инвертируются. Скремблирование вводится для устранения длинных серий "0" или "1" в транспортных пакетах MPEG-2, за счет чего обеспечивается устойчивая работа системы тактовой синхронизации приемного устройства. При этом, чтобы не нарушить в демодуляторе цикловую синхронизацию, стартовые синхрогруппы транспортных пакетов скремблированию не подвергаются. Помехоустойчивое кодирование транспортных пакетов MPEG-2 выполняется совместно со стартовыми синхрогруппами пакетов и производится кодом Рида-Соломона, что позволяет скорректировать 8 пакетов цифровых ошибок размером по 1 байту. После такого кодирования длительность транспортного пакета возрастает с 188 до 204 байтов. Перемежение данных вводится для защиты от пакетов цифровых ошибок размером больше 1 байта. С этой целью производится перестановка двух соседних байтов транспортного пакета на глубину перемежения 12 байтов. При этом, чтобы не нарушить в демодуляторе цикловую синхронизацию, стартовые синхрогруппы в транспортных пакетах перемежению не подвергаются и остаются на своих временных позициях.

Внутреннее канальное кодирование

Внутреннее канальное кодирование модема OFDM вводится с целью защиты передаваемой информации, во-первых, от селективных замираний несущих в групповом сигнале OFDM при работе в синхронной одночастотной сети ТВ-вещания. Во-вторых, для защиты от помех при многолучевом приеме в

переносных ТВ-приемниках, работающих с простыми домашними дипольными антеннами. Кроме того, эта система помехоустойчивого кодирования должна снизить коэффициент цифровых ошибок на выходе демодулятора с $10^{-1} \dots 10^{-2}$ до уровня 2×10^{-4} , что необходимо для нормальной работы указанной выше унифицированной внешней системы кодозащиты модема OFDM. Для повышения помехоустойчивости цифровой поток с выхода внешней системы кодозащиты модулятора проходит сверточное кодирование. Необходимо отметить, что заимствованный из системы цифрового спутникового вещания сверточный код не является полностью оптимальным для условий приема демодулятора OFDM. По этой причине при разработке стандарта предлагались и другие коды. Однако сравнительные оценки корректирующих способностей различных кодов и такие же оценки стоимости создания новых технологий и специализированных интегральных схем для реализации новых методов кодирования показали целесообразность унификации и стандартизации сверточного кодирования для эфирного и спутникового вещания, что и было сделано в стандарте. Дальнейшая обработка данных при внутреннем кодировании вводится для защиты от селективных замираний несущих группового спектра OFDM, для чего производится побитное и побайтовое перемежение данных вводится для защиты от пакетов цифровых ошибок размером больше 1 байта. С этой целью производится перестановка двух соседних байтов транспортного пакета на глубину перемежения 12 байтов. При этом, чтобы не нарушить в демодуляторе цикловую синхронизацию, стартовые синхрогруппы в транспортных пакетах перемежению не подвергаются и остаются на своих временных позициях.

Внутреннее канальное кодирование
Внутреннее канальное кодирование модема OFDM вводится с целью защиты передаваемой информации, во-первых, от селективных замираний несущих в групповом сигнале OFDM при работе в синхронной одночастотной сети ТВ-вещания. Во-вторых, для защиты от помех при многолучевом приеме в переносных ТВ-приемниках, работающих с простыми домашними дипольными антеннами. Кроме того, эта система помехоустойчивого кодирования должна снизить коэффициент цифровых ошибок на выходе демодулятора с $10^{-1} \dots 10^{-2}$ до уровня 2×10^{-4} , что необходимо для нормальной работы указанной выше унифицированной внешней системы кодозащиты модема OFDM. Для повышения помехоустойчивости цифровой поток с выхода внешней системы кодозащиты модулятора проходит сверточное кодирование. Необходимо отметить, что заимствованный из системы цифрового спутникового вещания сверточный код не является полностью оптимальным для условий приема демодулятора OFDM. По этой причине при разработке стандарта предлагались и другие коды. Однако сравнительные оценки корректирующих способностей различных кодов и такие же оценки стоимости создания новых технологий и специализированных интегральных схем для реализации новых методов

кодирования показали целесообразность унификации и стандартизации сверточного кодирования для эфирного и спутникового вещания, что и было сделано в стандарте. Дальнейшая обработка данных при внутреннем кодировании вводится для защиты от селективных замираний несущих группового спектра OFDM, для чего производится побитное и побайтовое перемежение данных с тем, чтобы соседние биты и байты не передавались на соседних несущих. Эти процедуры описаны в стандарте соответствующими алгоритмами, на основании которых аппаратно-программным способом они могут быть реализованы.

DVB-C - стандарт цифрового телевизионного вещания по кабелю.

В основе стандартов DVB (в том числе и стандарта DVB-C) лежит стандарт кодирования движущихся изображений и звукового сопровождения MPEG-2 (см. табл.1). В настоящее время используется основной профиль без масштабирования.

Таблица 1.

Уровень	Профиль				
	Простой (Simple)	Основной (Main)	Масштабирование по S/N (SNR Scalable)	Пространственный (Spatially Scalable)	Высокий (High)
High 1920×1152	-	80 Мбит/с	-	-	100 Мбит/с
High-1440 1440×1152	-	60 Мбит/с	-	60 Мбит/с	80 Мбит/с
Main 720×576	15 Мбит/с	15 Мбит/с	15 Мбит/с	-	20 Мбит/с
Low 352×280	-	4 Мбит/с	4 Мбит/с	-	-
Кодирование компонентов	4:02:00	4:02:00	4:02:00	4:02:00	4:2:0 или 4:02:02
В-кадры	Нет	Есть	Есть	Tcm	-
Масштабируемость	Нет	Нет	По S/N	По пространственному разрешению и по S/N	По пространственному разрешению и по S/N

Уровень High-1440 (1440×1152 элементов) соответствует телевидению высокого разрешения (высокой четкости) с форматом экрана 4:3 (стандартный экран), а уровень High (1920×1152 элементов) - телевидению

высокого разрешения (HDTV) с форматом экрана 16:9 (широкоформатное изображение). Вертикальные столбцы таблицы соответствуют новой градации (т.е. MPEG-2) цифровых телевизионных систем – профилям. С переходом на более высокие профили, т.е. при продвижении по таблице направо, увеличивается количество используемых методов кодирования, появляются новые свойства телевизионной системы, но, естественно, усложняется аппаратура и алгоритмы обработки сигналов. Как видно из таблицы, на главном уровне (Main), соответствующем телевидению обычного разрешения, скорость передачи двоичных символов в канале связи достигает 15 Мбит/с. Сравнив эту величину с исходной величиной 216 Мбит/с, соответствующей параллельному стыку по Рекомендации 601 МККР, можно видеть, что осуществляется сжатие потока информации примерно в 15 раз. Режим “Main Profile@Main Level (MP@ML)” в настоящее время широко используется в системах DVB (Стандарт DVB-C). На более высоких уровнях главного профиля, соответствующих HDTV, скорость передачи в канале связи возрастает до 60 или 80 Мбит/с. Следует подчеркнуть, что для всех уровней разрешения данного профиля используется один и тот же набор методов кодирования. В этом заключается совместимость разных уровней. На более высоких уровнях кодеры и декодеры должны иметь большее быстродействие и больший объем ЗУ. Аппаратура более высоких уровней разрешения может работать на более низких уровнях разрешения. Высшие профили стандарта MPEG-2 характеризуются наличием масштабируемости, которая была упомянута выше. Кроме того, на высших профилях возможно применение компонентного кодирования сигналов не только через строку (4:2:0), но и в каждой строке (4:2:2). Предусмотрен также специальный профиль (4:2:2, в табл.1 не показан), предназначенный для студийного оборудования, в частности для видеомонтажа.

Особенности передачи цифровых сигналов по сетям кабельного телевидения

Ожидаемое внедрение цифрового телевидения в системы кабельного телевидения (СКТ) ставят вопрос об их пригодности для этой цели и об оценке необходимых усовершенствований и доработок. В силу того, что в правильно спроектированной СКТ довольно высокое отношение сигнал/шум – S/N (по ГОСТ Р 52023-2003 не менее 43 dB), но в то же время значительно уже полоса канала в сравнении со спутниковой системой, в связи с чем наиболее оптимальным является использование многопозиционной модуляции QAM (Quadrature Amplitude Modulation – квадратурная амплитудная модуляция). Хорошее S/N согласно теореме Шеннона снижает вероятность ошибок BER (Bit Error Rate – частота ошибочных бит) и позволяет обойтись одной ступенью помехоустойчивого кодирования. Однако пакетные ошибки не исключены, поэтому перемежение остается составной частью помехоустойчивого кодирования. Анализ помех и искажений, типичных для линейного тракта, позволяет

предположить, что цифровые сигналы окажутся менее чувствительными к интермодуляционным искажениям (CSO и CTB), чем аналоговые, благодаря значительно меньшему требуемому защитному отношению S/D (цифровой сигнал/цифровая помеха) в совпадающем и соседних каналах и более гладкому спектру. В то же время цифровые QAM сигналы более чувствительны к амплитудным и особенно фазовым искажениям в тракте, поэтому вопросы согласования, коррекции характеристик остаются достаточно острыми. В литературе еще не достаточно данных о взаимном влиянии большого числа цифровых потоков в кабельной сети, т.к. благодаря эффективному сжатию, в одном частотном канале удается передать до 4-6 ТВ программ, и после перевода на цифровой формат даже очень загруженная сеть с 25-35 транслируемыми программами переходит в категорию сетей с 5-7 реально занятыми физическими каналами, в которых проблемы взаимных помех не столь актуальны. В построении головных станций (ГС) переход на цифровой формат предъявляет новые требования к аппаратуре обработки и формирования сигналов. Появляется возможность формировать многопрограммные цифровые потоки, не декодируя принятые MPEG-2 сигналы, а выделяя на них нужные компоненты на уровне транспортного потока и ремультимплексируя эти компоненты в новый транспортный поток. Также на уровне транспортного потока при этом могут решаться вопросы скремблирования, смены системы условного доступа. Принятый в стандартах DVB единый подход к каналному кодированию существенно облегчает обработку и преобразование сигналов DVB, т.к. число дополнительных операций при преобразованиях оказывается минимальным. В этом смысле стандарт DVB-C достаточно близок к спутниковому стандарту DVB-S.

Структура системы DVB-C (Стандарт DVB-C) максимально гармонизирована со структурой спутниковой системы DVB-S, но в качестве типа модуляции в ней используется не QPSK, а M-QAM с числом позиций M от 16 до 256 (т.е. от 16 QAM до 256 QAM). На рис.1 показана структура как оборудования ГС кабельной линии, так и абонентского приемника-декодера для такой линии.

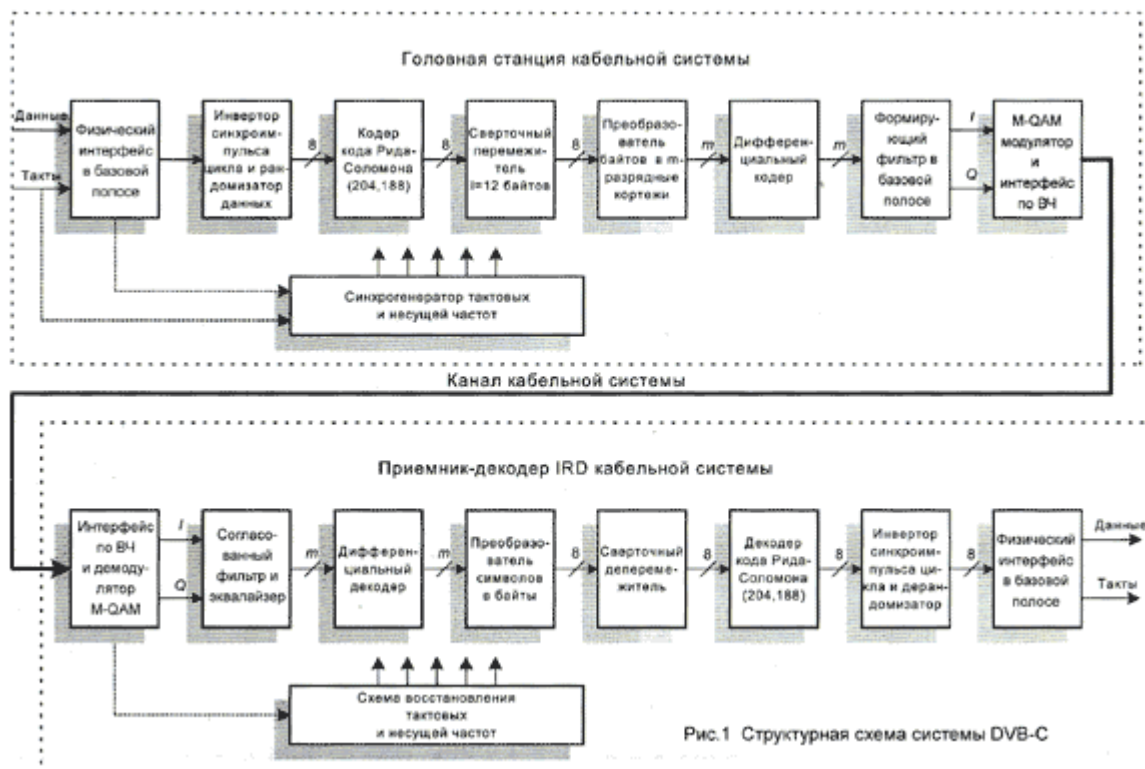


Рис.1 Структурная схема системы DVB-C

Входными сигналами на ГС являются транспортные пакеты MPEG-2 и такты, получаемые через интерфейс в основной полосе от: спутниковой линии, технологических линий, локальных программных источников и т.п. Методы инверсии каждого восьмого байта для цикловой синхронизации, рандомизации, перемежения и кодирования RS-кодом не имеют отличий от аналогичных методов и устройств в системах DVB-S и DVB-T. Преобразователь байтов и кортежи (короткие последовательности битов, равные значности моделирующего кода) осуществляет формирование битовых структур, удовлетворяющих условию последующего получения символов QAM. С целью получения созвездия, не зависящего от вращения несущей, к двум старшим разрядам каждого символа QAM применяется дифференциальное кодирование. На этом формирование кортежей заканчивается и осуществляется найквистовская согласованная фильтрация для формирования спектра в квадратурных каналах I и O. Затем сигналами I и O моделируются квадратурные несущие, и сигнал QAM переносится по спектру в полосу рабочего кабельного канала, для сопряжения с которым служит физический интерфейс. На приеме в соответствующем порядке выполняются обратные операции по демодуляции и декодированию сигнала в цифровой приставке Set-Top-Box (STB). Характерной особенностью рассмотренного тракта адаптации является отсутствие внутреннего сверточного кодера и наличие формирования спектра в основной полосе. Защита от пакетированных ошибок производится исключительно за счет перемежения на выходе кодера Рида-Соломона. После сверточного перемежения непрерывную последовательность байтов необходимо разделить на короткие последовательности битов, каждая из которых соответствует символу QAM, т.е. определенной точке на квадратурной диаграмме модулированного сигнала. Такие последовательности двоичных

символов называются кортежами. Длина кортежа $m = \log_2(M)$, где M – число позиций сигнала M - QAM (т.е. 2^m QAM). Циклическая задача отображения байтов в кортежи для одного цикла может быть выражена формулой: $8k = n \cdot m$, где: k – число преобразуемых байтов по 8 бит; n – число кортежей длиной m бит. Различным вариантам модуляции M - QAM соответствуют значения коэффициентов, показанные в табл.2.

Таблица 2.

Модуляция	m	n	k	$8k = n \cdot m$
16QAM	4	2	1	8
32QAM	5	8	5	40
64QAM	6	4	3	24
128QAM	7	8	7	56
256QAM	8	11	1	8

Минимальный цикл преобразования в 1 байт соответствует видам модуляции 16 QAM и 256 QAM. При 256 QAM байты и кортежи совпадают. В табл.3 приведены примеры расчетных значений символьной и информационной скоростей при разных кратностях модуляции в канале с полосой 8 МГц. Максимальная скорость достигает 38,1 Мбит/с, что соответствует пропускной способности ствола спутникового ретранслятора с полосой 33 МГц в типовом режиме $F_{\text{симв}} = 27,5$ Мсимв/с, $CR = 3/4$.

Таблица 3.

Полезная информационная скорость (транспортный уровень MPEG-2), Мбит/с	Общая скорость, включая RS (204, 188), Мбит/с	Кабельная символьная скорость, Мбод/с	Занимаемая полоса частот, МГц	Вид модуляции
38,1	41,34	6,89	7,92	64QAM
31,9	34,61	6,92	7,96	32QAM
25,3	27,34	6,84	7,86	16QAM
18,9	20,52	3,42	3,93	64QAM
16	17,4	3,48	4	32QAM
12,8	13,92	3,48	4	16QAM
9,6	10,44	1,74	2	64QAM
8	8,7	1,74	2	32QAM
6,4	6,96	1,74	2	16QAM

Что несет с собой стандарт DVB-C?

Такой вопрос наиболее часто задают кабельные операторы при переходе на цифровые технологии. При внедрении стандарта DVB-C реализуются следующие преимущества:

- Существенная экономия частотного ресурса. Действительно, если в одном физическом канале размещаются 4-8 ТВ программ, то это означает, что для

передачи 60-ти программ (где взять такой контент?) потребуется всего около 10-ти каналов. Такой частотный выигрыш особенно ощутим при внедрении стандарта DVB-C на устаревших сетях с пропускной способностью до 240...300 МГц. В таких сетях легко размещаются свыше 100 цифровых каналов, а при активизации реверсного канала – и услуги интерактивного сервиса.

□ Существенно повышается качество транслируемых программ. Действительно, трансляция аналоговых сигналов неизбежно влечет за собой снижение их качества в части неизбежного накопления искажений (шумы, интермодуляционные искажения, фоновая помеха, наводимые сигналы, кросс-модуляция и т.д.). Цифровые же сигналы (DVB-C) сохраняют свое качество вне зависимости от протяженности магистрали. Для них достаточно превышения требуемого уровня сигнала (что всегда выполняется на практике в силу более высокой чувствительности STB в сравнении с телевизором) и порогового значения C/N , которое много ниже регламентируемых 43 dB согласно ГОСТ Р 52023-2003.

□ При использовании стандарта DVB-C появляется возможность значительно увеличить зону обслуживания СКТ за счет более низкого шумового порога (не более 36 dB). Расчеты показывают, что при использовании стандарта DVB-C возможно увеличение зоны обслуживания в 10 и более раз. Причем, такое увеличение зоны охвата наиболее эффективно именно на устаревших сетях с верхней частотой 240...300 МГц. На таких частотах погонные потери коаксиального кабеля почти в 2 раза меньше, чем на частоте 862 МГц, с которой проектируются современные СКТ. При меньших погонных потерях требуется меньшее число усилителей, что и гарантирует поддержание высокого значения S/N . Более того, снижение числа физических каналов снижает энергетическую нагрузку самой СКТ, что эквивалентно значительному улучшению S/N , СТБ и CSO. Появляется возможность эффективного кодирования пакетов программ сформированным по тем или иным экономическим соображениям, что позволяет операторам СКТ получать дополнительные прибыли за счет формирования платных каналов. При использовании DVB-C так же облегчается и возможность использования фильтров пакетирования за счет снижения физических каналов и появления частотных пробелов, которые и необходимы при использовании фильтров пакетирования.

DVB-S

Спутниковое ТВ (SAT) вещание было и остается самым быстрым, надежным и экономичным способом подачи ТВ сигнала высокого качества в любую точку обширного пространства. Все вещательные искусственные спутники Земли (ИСЗ) размещаются на так называемой геостационарной орбите (ГО) – круговой орбите высотой ~36000 км в плоскости экватора. Находясь на ГО, спутник неподвижен относительно

поверхности Земли, т.к. вращается с той же угловой скоростью, что и Земля. Зона видимости геостационарной ИСЗ – около одной трети земной поверхности.

Для SAT вещания выделены специальные участки радиочастотного спектра в сантиметровом диапазоне волн, где допускается повышенная плотность потока мощности с ИСЗ. Наиболее освоен участок КУ-диапазона с частотами 11,7...12,5 ГГц. Вещательную мощность ИСЗ в данной точке приема принято характеризовать эквивалентной изотропно излучаемой мощностью (Р ЭИИМ), представляющей собой произведение выходной мощности передатчика ИСЗ на коэффициент усиления передающей антенны в данном направлении. Р ЭИИМ обычно выражается в дБВт (dBW) и обычно составляет 45...60 dBW. В соседних диапазонах 10,7...11,7 ГГц и 12,5...12,75 ГГц вещают спутники так называемой фиксированной спутниковой службы с типовыми значениями Р ЭИИМ 38...52 dBW.

Одной из особенностей применения ИСЗ является ограниченность энергетического потенциала спутникового ретранслятора, в силу чего в SAT вещании традиционно используют методы обработки, требующие минимального отношения несущая/шум (C/N) на входе демодулятора в обмен, например, на полосу частот сигнала. В аналоговом вещании это был выбор частотной модуляции (вместо аналоговой), а в цифровом вещании приходится применять мощное каскадное помехоустойчивое кодирование и модуляцию с невысокими кратностями (например, QPSK вместо более высокоскоростной 16 QAM). Дополнительной особенностью цифрового SAT вещания является тот факт, что многопрограммное вещание осуществляется за счет мультиплексирования в цифровом потоке, а работа передатчика ИСЗ осуществляется только на одной несущей в нелинейном режиме, что позволяет повысить его выходную мощность на 2,5...4 dB. Такое повышение энергетики эквивалентно уменьшению диаметра рефлектора приемной антенны в 2 раза в сравнении с приемом сигналов аналогового вещания. В 1994г. в рамках консорциума DVB Project был создан Европейский стандарт спутниковой цифровой системы многопрограммного ТВ вещания - стандарт DVB-S, работающий в полосе частот 11/12 ГГц (European Standard EN 300 421 v.1.1.2, 1997-08). Для целей SAT вещания выделены полосы частот в диапазонах 12, 29, 40 и 85 ГГц. В диапазонах 40 ГГц и 85 ГГц выделен спектр частот шириной в 2 ГГц. В октябре 1996г. был принят проект Рекомендации по общим функциональным требованиям к многопрограммным системам SAT вещания в полосе частот 11/12 ГГц, а уже в октябре 1999г. был выработан проект новой Рекомендации, учитывающей, что в мире существуют четыре схожие по архитектуре системы: стандарт DVB-S (Система А), DSS (Система В), G1-MPEG-2 (Система С) и ISDB-S (Система D).

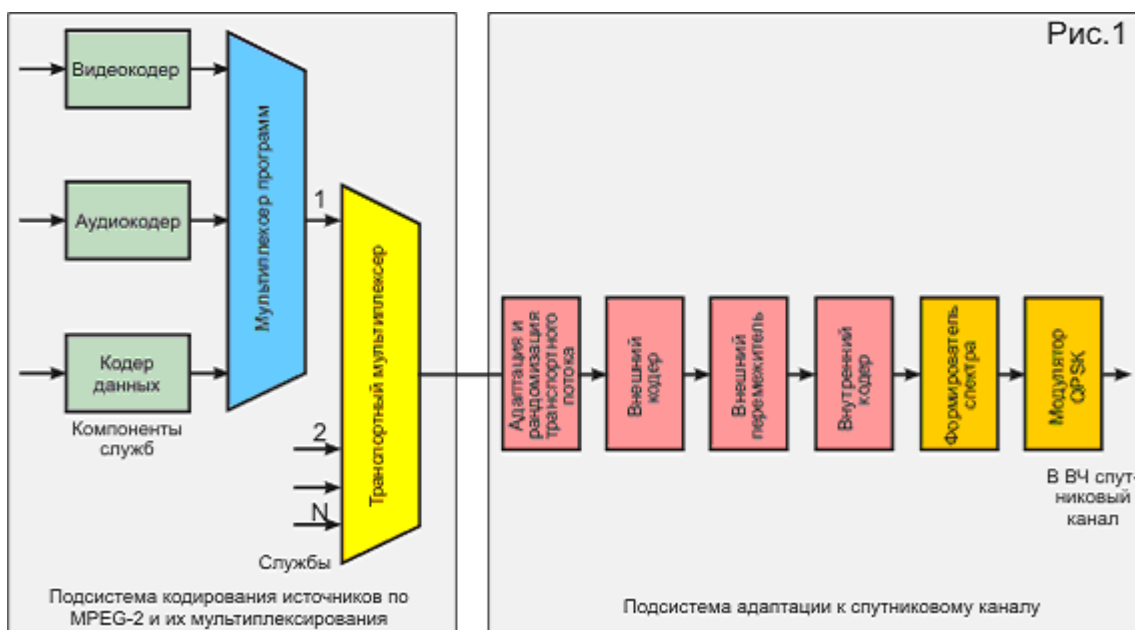
Система А (стандарт DVB-S) разработана европейским консорциумом DVB Project и предназначена для доставки служб многопрограммного ТВ вещания или ТВЧ в частотных диапазонах фиксированной и радиовещательной SAT служб (10,7...12,75 ГГц) с их непосредственным приемом на домашние интегральные приемники-декодеры, а также на приемники, подключенные к системам с SAT коллективными ТВ антеннами SMATV (Satellite Master Antenna TV), и систем кабельного телевидения (СКТ) при первичном и вторичном распределениях программ ТВ вещания. В настоящее время практическое все цифровое SAT ТВ вещание на все пять континентов осуществляется по стандарту DVB-S.

Существует два основных способа цифровой передачи SAT сигналов:

- передача N сжатых цифровых сигналов на N несущих;
- мультиплексирование N сжатых цифровых сигналов и их передача на одной несущей.

Число программ ТВ вещания, которое можно передавать с помощью одного спутникового транспондера, зависит от требуемой скорости передачи информации, компонентного или композитного формата кодирования для источника сигнала, качества и разрешающей способности исходного изображения, критичности алгоритма сжатия к некоторым видам изображений и требуемого качества восстановленного изображения.

Достижения в области сжатия данных позволяет организовать большое количество цифровых высококачественных ТВ каналов с относительно низкими скоростями (менее 1 Мбит/с, что эквивалентно 20-25 ТВ каналов в стандартной полосе SAT канала величиной 27 МГц). Во многих случаях допустима и скорость в 400 кбит/с, что эквивалентно не менее 60 ТВ каналов с одного транспондера.



Структурная схема передающей части стандарта DVB-S показана на рис.1. На передающей стороне выполняются следующие преобразования потока данных для его адаптации к каналу:

транспортное мультиплексирование и рандомизация для дисперсии энергии; внешнее кодирование с помощью кода Рида-Соломона (RS); сверточное перемежение и внутреннее кодирование с использованием выколотого сверточного кода; формирование сигнала в основной полосе частот и его модуляция.

Для SAT систем ТВ вещания характерны ограниченная мощность передаваемого сигнала и, следовательно, повышенная чувствительность к воздействию шумов и интерференционных помех. Совместное использование энергетически эффективной квадратурной фазовой модуляции QPSK и каскадного кодирования для канала на базе укороченного кода RS и сверточного кода в сочетании с алгоритмом декодирования Витерби с мягким решением обеспечивает высокую помехоустойчивость системы в условиях воздействия шумовых и интерференционных помех, а также нелинейности бортового ретранслятора (т.е. возможности работы при повышенной мощности). Благодаря согласованной фильтрации и прямому исправлению ошибок, высокое качество приема достигается даже в экстремальных условиях, когда уровень минимального сигнала близок к значениям, соответствующим пороговым значениям отношений несущая/шум (C/N) и несущая/интерференционная помеха (C/I). При этом гарантируется не более одной ошибки в час, что эквивалентно вероятности ошибок около 10^{-10} ... 10^{-11} на входе демультимплексера MPEG-2 в приемнике-декодере.

Для согласования передаваемого сигнала с полосой и энергетическими характеристиками конкретного транспондера устанавливается требуемое соотношение BW/R_s , где BW – полоса транспондера по уровню – 3 dB, R_s – скорость передаваемых символов. Так, для модуляции QPSK, скорости сверточного кода R и скорости RS-кода 188/204, соответствующая скорость передачи информационных символов составит:

$$R_U = R(2R_s)(188/204) = 1,843 R R_s.$$

Для данной скорости символов R_s может быть выбрано одно из 5 значений кодовой скорости внутреннего сверточного кода, что соответственно изменяет полученную скорость символов R_U и спектральную эффективность системы $C_U = R_U/BW$. Возможные варианты соотношения скоростей передачи R , R_s , R_U и эффективности C_U от полосы транспондера при $BW/R_s = 1,28$ для QPSK модуляции приведены в табл.1.

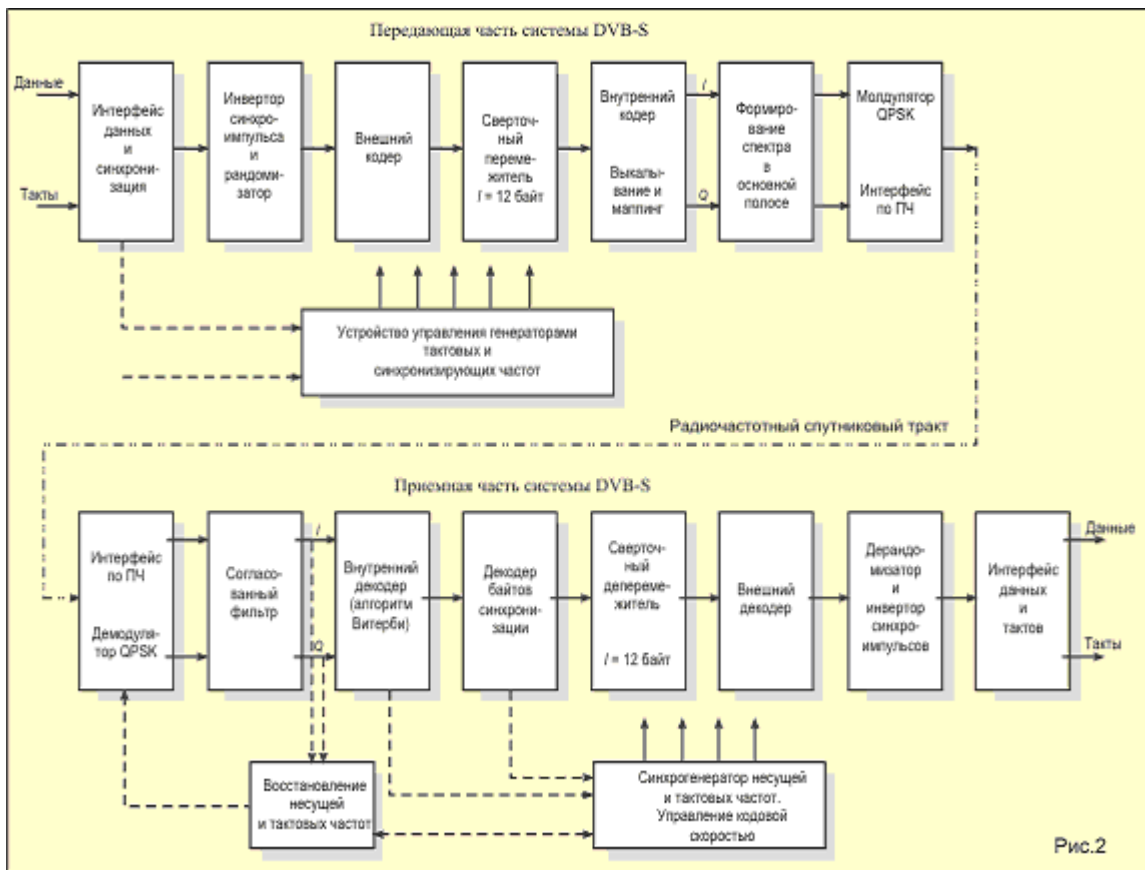


Таблица 1.

В	Rs, MГц м/с	R = 1/2		R = 2/3		R = 3/4		R = 5/6		R = 7/8	
		R _U , т/с	C _U , Гц	R _U , т/с	C _U , Гц	R _U , т/с	C _U , Гц	R _U , т/с	C _U , Гц	R _U , т/с	C _U , Гц
54	42,2	38,9	0,72	51,8	0,96	58,3	1,08	64,8	1,2	68	1,26
46	35,9	33,1	0,72	44,2	0,96	49,7	1,08	55,2	1,2	58	1,26
40	31,2	28,8	0,72	38,4	0,96	43,2	1,08	48	1,2	50,4	1,26
36	28,1	25,9	0,72	34,6	0,96	38,9	1,08	43,2	1,2	45,4	1,26
33	25,8	23,8	0,72	31,7	0,96	35,6	1,08	39,6	1,2	41,6	1,26
30	23,4	21,6	0,72	28,8	0,96	32,4	1,08	36	1,2	37,8	1,26
27	21,1	19,4	0,72	25,9	0,96	29,2	1,08	32,4	1,2	34	1,26
26	20,3	18,7	0,72	25	0,96	28,1	1,08	31,2	1,2	32,8	1,26

Структурная схема блоков адаптации к каналу стандарта DVB-S на передающей и приемной сторонах показаны на рис.2. Как уже отмечалось выше, основным видом модуляции в стандарте DVB-S принята QPSK (в отечественной литературе иногда именуется как ФМ-4), хотя в отдельных случаях могут использоваться 8 PSK (ФМ-8) и даже 16 QAM (КАМ-16). Применение помехоустойчивого кодирования позволяет значительно снизить

требуемое для работы демодулятора с QPSK отношение E_b/N_0 (отношение энергии в одном байте информации к мощности шума, см. рис.3), а для модуляции большей кратности пороговое значение E_b/N_0 оказывается несколько выше (табл.2).

Таблица 2.

Модуляция	Скорость внутреннего кода	Спектральная эффективность, бит/Гц	Запас реализацию модема, dB	E_b/N_0 на (2×10^{-4})
QPSK	1/2	0,92	0,8	4,5
	2/3	1,23	0,8	5
	3/4	1,38	0,8	5,5
	5/6	1,53	0,8	6
	7/8	1,61	0,8	6,4
	2/3	1,84	1	6,9
8PSK	5/6	2,3	1,4	8,9
	8/9	2,46	1,5	9,4
16QAM	3/4	2,76	1,5	9
	7/8	3,22	2,1	10,7

DVB-H

В декабре 2004 г. Европейская Ассоциация по Телекоммуникационным Стандартам (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) окончательно утвердила спецификации DVB-H (Digital Video Broadcast Handheld, DVB "ручной, портативный") и признала его основным стандартом для мобильных TV-сервисов Европы.

DVB-H один из нескольких стандартов мобильного телевидения, конкурирующих на рынке медиа услуг, на который сегодня возлагает большие надежды бизнес мобильной индустрии. Прошедший в 2006 году чемпионат мира по футболу подтвердил прогнозы относительно перспективной востребованности этого вида услуг и сильно подстегнул активность соответствующих деловых кругов, начиная от топ менеджеров до создателей бизнес моделей и ТВ-программного спецконтента, а также, конечно, и производителей оборудования.

DVB-H обладает несомненными преимуществами в смысле возможностей мультиадресации и по качеству воспроизведения перед используемыми для аналогичных целей сетей мобильной связи GPRS и, до введения в эксплуатацию мобильных сетей третьего поколения 3G. Система телевидения в стандарте DVB-H для мобильных терминалов уже

существует не первый год и успешно развивается. В первую очередь технология DVB-H стремится занять свою нишу в уже существующих эфирных сетях, например стандарта DVB-T, как его эволюция. Оба эти стандарта образуют систему с симбиозом цифрового телевидения и мобильной связи.

При этом используются следующие особенности стандарта DVB-H, отличающие его от базового стандарта DVB-T и позволяющие получить необходимое качество, согласующееся с возможностями мобильного приемного терминала:- уменьшенная разрешающая способность (320x240 пикселей), поскольку нет смысла на небольшом экране пытаться воспроизвести картинку с хорошим разрешением, поэтому можно передавать в 10-15 раз больше телепрограмм, чем при DVB-T;- стандарт DVB-H отличается от DVB-T тем, что он оптимизирован для мобильного приёма с помощью технологии временных интервалов: программа передаётся на терминал не постоянно, а короткими пакетами с плотной упаковкой данных, затем приёмник на время выключается и идёт воспроизведение сигнала из буфера. Таким образом экономится энергия батарей, а сама система становится менее чувствительной к помехам. более помехоустойчивый код R-S (255,191);- учитываются проблемы, не возникающие в стационарных ресиверах, а именно искажения, вносимые т.н. эффектом Доплера, возникающие при использовании переносных устройств, например, в движущемся транспорте, а также импульсные помехи от других компонентов мобильного аппарата;- предусмотрена возможность использования DVB инкапсулятора для работы со стандартным IP каналом с более простой организацией обратного канала;- более оптимальный для мобильного приема режим 4K;Сигнал ТВ потока DVB-H вводится в общий канал в режиме 4k дополнительно к 2k и 8k уже имеющимся для DVB-T.

Сигналу DVB-H присваивается высокий приоритет – High Priority (HP), а DVB-T - Low Priority (LP) низкий приоритет. Поток с HP-приоритетом идёт на мобильные терминалы, а поток с LP-приоритетом – это поток с HP + дополнительные сведения об изображении, которые позволяют доставить на стационарные приёмники качественное изображение с хорошим разрешением.

Данное технологическое решение обеспечивает сосуществование в одном ТВ радиоканале составляющих DVB-H/DVB-T, поступающих в мобильные терминалы через общий передатчик стандарта DVB-T, что позволяет избежать недостатка эфирных частот при устойчивом приёме обоих видов вещательных сигналов, обеспечивает примерно равные зоны покрытия, учитывая малые размеры приёмной антенны мобильного терминала.

Телевизионные стандарты

Обычно, телевизионный сигнал является композитным, то есть составным. В него входят три составляющих, сигнал яркости – Y , и два цветоразрастных сигнала называемыми U и V . Прежде чем продолжать, необходимо сделать небольшое отступление, об особенностях человеческого зрения. Большинству читателей, безусловно известно, что любые цвета, которые видит человек, могут быть получены комбинацией трёх цветов, красного (RED), зелёного (GREEN) и синего (BLUE), которые называются опорными. Поэтому, именно эти три цвета (RGB) и используются для формирования цвета в электронной технике. Вооружённые этим знанием, рассмотрим составные телевизионного сигнала поподробнее.

Сигнал яркости, Y . Указывает яркость точки, от чёрной до белой. То есть, он полностью формирует чёрно-белое изображение, и только его воспринимают чёрно белые приёмники.

Цветоразрастные сигналы, U и V . В сочетании с Y сигналом, они позволяют восстановить исходные RGB цвета. Делается это достаточно просто

Y сигнал формируется из RGB сигнала по следующей формуле:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

U и V сигналы формируются так:

$$U = R - Y, \text{ а } V = B - Y$$

При приёме сигнала происходит обратный процесс:

Красный сигнал восстанавливается так:

$$R = Y + U,$$

Синий так:

$$B = Y + V,$$

И зелёный так:

$$G = Y - 0.509U - 0.194V$$

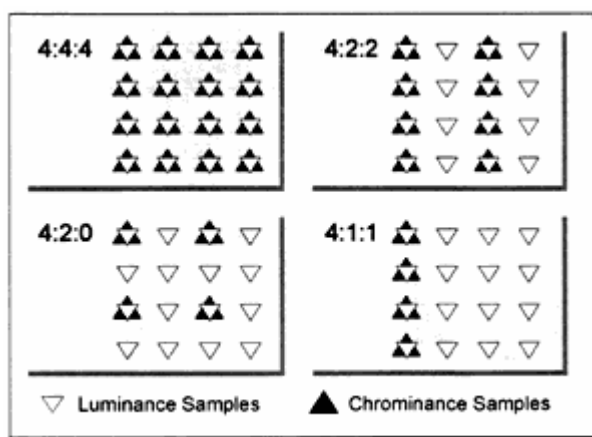
Примечание: цветоразнастные сигналы получили своё название потому, что их можно получить и простым вычитанием яркости из цвета, $R-Y$ для U и $B-Y$ для V

Есть две основные причины, почему были придуманы эти сложности. Во первых, такая схема сохраняет совместимость со старыми чёрно-белыми приёмниками (что было одной из задач, когда разрабатывались принципы по которым работает цветное телевидение). Они просто отображают яркостный сигнал, и выкидывают все остальные. Во вторых, так можно сэкономить пропускную полосу сигнала. Дело в том, что из за особенностей человеческого зрения, изменения цвета не так заметны, как изменения яркости, что даёт возможность передавать U и V сигналы в половинном, по сравнению с Y сигналом, разрешении без сколько-нибудь заметных потерь в качестве. Кроме YUV , в телевизионный сигнал входят так называемые синхроимпульсы, которые сообщают о том что одна строка закончилась, и началась следующая, когда закончился один кадр, и

начался другой. Эти особенности видеосигнала обуславливаются тем, как формируется изображение на телевизоре.

Цветность

Как уже говорилось, человеческий глаз менее чувствителен к изменению цвета, чем к изменению яркости. Поэтому, в большинстве телевизионных сигналов цвет передаётся в меньшем разрешении, чем сам сигнал. Внутри компьютера эти сигналы представлены в цифровом виде, и эти особенности аналоговых сигналов вылились в несколько возможных форматов цвета. Формат цвета у цифрового сигнала обозначается набором из трёх цифр, например 4.2.2, или 4.2.0. Эти странные цифры часто ставят в тупик новичков, и о том, что они означают, многие имеют самое общее представление. Несмотря на то, что некоторые знают (или читали где-нибудь), что они показывают насколько меньшее разрешение имеет сигнал цветности, как именно это происходит, часто остаётся непонятым. На самом деле, всё достаточно просто. С тем, что обозначают цифры, можно ознакомиться на схеме:



Светлыми треугольниками обозначены точки, на которых происходит изменение яркостного сигнала, что всегда происходит в полном разрешении, а чёрными треугольниками точки, на которых меняется сигнал цветности, для которого возможны варианты. Как видно из схемы, первая цифра относится к яркостному сигналу, и именно поэтому она 4 практически во всех реально используемых форматах, ведь обычно, как уже говорилось, яркостный сигнал передаётся в полном разрешении. Каждая следующая цифра отвечает за две строчки, 1 и 3, или 2 и 4. А значение этой цифры определяет, сколько точек в каждой из линии меняют своё значение. 4 означает, что меняются по 4 точки в каждой из линий; 2 означает, что меняются только 2 точки (то самое половинное разрешение, про которое говорилось выше), а 1 означает, что меняется всего одна точка в каждой из строк. Наиболее популярным форматом на сегодня является 4.2.2, потому что при его использовании человеческий глаз почти не в состоянии отличить картинку от 4.4.4.

Изображение на телевизионном экране формируется в результате свечения люминофора, обстреливаемого электромагнитными пушками, точно так же, как и на любом CRT устройстве. Всего их три, по одной на каждый из опорных цветов. Картинка на телевизоре рисуется построчно, причём за один проход рисуются чётные строки, а за второй нечётные. Опять же, из-за особенностей человеческого зрения, его инерционности, и времени послесвечения люминофора, это незаметно, и картинка воспринимается как единое целое. Тем не менее, на самом деле, каждый полный кадр делится пополам, на два

полукадра, называемых полями. Одно поле состоит из чётных строк, другое их нечётных. Такое изображение называется *черезстрочным* или *interlaced*. Именно устройствами с *черезстрочной* развёрткой являются подавляющее большинство телевизионных приёмников, которые можно встретить в домах уважаемых читателей.

Кроме *черезстрочных* устройств вывода изображения, есть устройства с *прогрессивной* развёрткой, коими являются, например, компьютерные мониторы. В отличие от *черезстрочных* устройств, *прогрессивные* устройства выводят весь кадр целиком, что является, безусловно, более правильным. И первые телевизионные приёмники, и телевизионные сигналы, которые передавались на заре телевидения были именно *прогрессивными*. Но изображение, показанное на CRT экране с частотой обновления 25-30 герц, мерцает настолько сильно, что заметит это даже слепой. Уровень техники в то время не позволял эффективно бороться с этим печальным явлением, поэтому разработчикам пришлось просто разделить один телевизионный кадр на два, и пускать по очереди половинку каждого кадра. Таким образом, получалась частота регенерации в 50-60 герц, что смотрелось уже гораздо лучше. Только теперь, с развитием электронной техники появились и возможности обрабатывать *черезстрочное* изображение в реальном времени, и устройства для вывода изображения с только *прогрессивной* развёрткой (плазменные или LCD панели). Но мы несколько отвлеклись.

Сегодня есть несколько видов сигналов, в которых может подаваться телевизионный сигнал, и которые могут вам встретиться. Это:

Композитный сигнал. Именно он присутствует в VHS, VHS-C, Video-8, и именно его мы получаем через телевизионную антенну, именно с его помощью вещают в эфире. Это один единственный составной видеосигнал, в котором совмещены и яркостный сигнал, оба цветоразностных, и синхроимпульсы. Для подачи такого сигнала надо всего два провода. Из плюсов этого сигнала можно отметить его стандартность (есть практически везде), и наименьшие требования к пропускной способности канала, по сравнению с другими сигналами. Из минусов – наихудшее качество изображения из всех, что обусловлено тем, что сигналы, из которых он состоит, ограничиваются по ширине полосы. А это приводит к снижению чёткости изображения, реальное разрешение получается в районе 230 - 280 ТВЛ

S-Video. Этот сигнал используется в S-VHS, S-VHS-C и Hi-8. Здесь уже подаётся два сигнала, яркостный (Y), в который входят и синхроимпульсы, и цветности (Chrominance, или C), в который входят оба цветоразностных. Такие сигналы используются, как правило, на видеовоспроизводящей аппаратуре хорошего качества. Требования к пропускной способности канала здесь гораздо либеральнее (ведь через эфир его подавать не надо), поэтому, сигналы не ограничиваются по ширине, и качество изображения получается очень хорошее, реальное разрешение в районе 400 - 500 ТВЛ. Внешне разъёмы для этого сигнала выглядят, обычно, как miniDIN, на 4 или, что реже, на 7 ножек.,

RGB+Sync. Все четыре сигнала подаются по отдельности. Иногда сигнал синхронизации добавляется к G сигналу. Такой сигнал подаётся на SCART выход. Это такой длинный разъём на 21 контакт, который есть на многих современных телевизорах. Кроме этого, RGB выход может иметь вид маленькой фишки (минижек) с 8 ножками. С его помощью можно добиться максимально возможного качества изображения. Формат изображения подаваемый через RGB всегда 4:4:4. Из других плюсов такого сигнала можно отметить, что он не обрабатывается встроенным в телевизор тюнером, а сразу подаётся на экран. Это благотворно влияет на качество изображения, но имеет и обратную сторону. Из за такой схемы на многих телевизорах, при работе с RGB сигналом изображение не

регулируется средствами самого телевизора. Источником для RGB сигнала может служить либо компьютер, либо DVD плеер, или другая техника подобного класса, потому что в домашних условиях больше нигде найти источник сигнала такого качества. К сожалению, современный компьютер нельзя просто так подключить к телевизору по RGB, несмотря на то, что на выходе видеокарты компьютера можно найти все те же сигналы, отдельно R, G, B и Sync. Главная проблема в том, что компьютер работает на слишком высоких частотах, и со слишком большим разрешением. Большинство современных телевизоров просто физически не способны показать такую картинку.

Что такое ТВЛ? Если без излишних подробностей, то это количество строк, которые реально показывается на телевизоре. Ведь теоретические значения недостижимы, во многих случаях даже в теории. Основной причиной этого являются ограничения по пропускной способности сигнала. К примеру, на композитный сигнал формата VHS приходится всего-навсего 3 МГц, во что физически, в самых идеальных условиях, невозможно впихнуть больше 300 строк. Для S-Video частота поднимается до 5-6 МГц, поэтому и реальная разрешающая способность получается выше, в такую полосу можно «впихнуть» и 500 линий, в идеальных условиях

Все вышеперечисленные сигналы передают старый добрый YUV, который состоит из трёх независимых сигналов, яркостного сигнала Y с синхроимпульсами и двух независимых цветоразностных сигналов, U и V. Для YUV сигнала уже не существует понятия системы, в которой он кодирован, PAL, SECAM, NTSC или что-то ещё. Именно YUV сигнал получается в телевизионных приёмниках в результате декодирования любого другого сигнала, закодированного по любой системе. Качество YUV сигнала считается профессиональным, и именно с YUV сигналом работает профессиональная видеоаппаратура. И компьютер. Таким образом, почти любые сигналы, которые описаны выше, легко переводятся один в другой, для чего не надо никакой дополнительной аппаратуры. Разве что пара конденсаторов или сопротивлений, чтобы привести электрические характеристики сигнала в соответствии с тем, что должно быть на соответствующих входах. Но, само собой, любые трансформации сигнала не приведут к тому, что результат станет лучше исходника. Однако, обычно телевизор пропускает сигнал через встроенный в него тюнер, и не работает с YUV сигналом напрямую. Исключение составляет только RGB+Sync. Во всех остальных случаях, сигнал, подаваемый на телевизор, должен соответствовать тому или иному стандарту.

Телевидение развивалось очень быстро и, в какой то степени, спонтанно, поэтому сегодня существует множество разных телевизионных стандартов, которые хоть и основаны на абсолютно одинаковых общих принципах, но имеют весьма существенные различия. При работе с видео на компьютере Вам придётся сталкиваться с одним или другим стандартом, а то и с несколькими, поэтому рассмотрим их поподробнее. Наиболее распространёнными являются всего три:

NTSC

Это первый формат цветного телевидения который получил широкое распространение. Полностью стандарт был сформулирован 17 Декабря 1953 года в Соединённых Штатах Америки Федеральной Коммуникационной Комиссией (FCC), и регулярные трансляции в этом формате начались 23 Января 1954 года. За разработку NTSC мы должны быть благодарны National Television System Committee (NTSC), аббревиатура которой и дала название стандарту, в который входили крупнейшие, на то время, электронные компании, такие как RCA, General Electric, и многие другие. Одной из задач, которая ставилась при разработке NTSC. являлась совместимость с существовавшим на то время форматом

чёрно белого вещания. Это и определило разрешение в 525 строк с частотой 30 кадров, или 60 полей в секунду. Из за особенностей большинства телевизионных приёмников, на самом деле, обычно, видится всего 480 строк.

Основой формата является яркостный, Y сигнал, который формируется из RGB цветов по следующей формуле:

$$Y (\text{luma}) = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

Как вы уже поняли, именно этот сигнал воспринимается старыми чёрно-белыми приёмниками (совместимость с которыми была одним из обязательных условий при разработке формата), и именно он формирует изображение. Для передачи цвета в NTSC используются I (зелёно-фиолетовый) и Q (оранжево-цианитовый) сигналы, которые формируются так:

$$I = 0.737U - 0.268V$$

$$Q = 0.478U + 0.413V$$

Сделано это для того, чтобы уменьшить ширину канала, необходимого для передачи цветовой информации, даже по сравнению с YUV сигналом. Обратной стороной этого является то, что из за некоторых особенностей формирования сигнала при использовании NTSC формата, при обратном декодировании не удаётся полностью разделить сигнал на составляющие, цветковые сигналы смешиваются с яркостным. Это приводит к тому, что в зависимости от яркости участка изображения, оно несколько меняет свой цветовой тон. В настоящее время NTSC используется практически во всех странах Северной и Южной Америки, а так же в Японии, Южной Корее и на Тайване.

PAL

Сложно, если вообще возможно, назвать день, когда этот стандарт сформировался окончательно. С 1953 по 1967 год в Европе параллельно развивались несколько чёрно-белых телевизионных стандартов, которые работали в 625 строках с частотой 25 кадров, или 50 полей в секунду. Как и в случае с NTSC, особенности большинства телевизионных приёмников приводят к тому, что реально мы видим всего 576 строк. Вещание с использованием Phase Alternation Line (так расшифровывается PAL) формата началось в 1967 году в Германии и Великобритании, причём несмотря на одинаковое название, системы несколько различались. Так осталось и поныне, только вариантов PAL систем стало ещё больше. Для решения проблем с разделением сигнала на составляющие, через строку меняется знак амплитуды сигнала U. Поэтому, колебания яркостного сигнала влияют только на небольшое изменение цветовой насыщенности. Эта методика, по сути, вдвое снижает вертикальное разрешение. Впрочем, это несколько компенсируется большим количеством строк, по сравнению с NTSC. PAL система используется в большинстве стран Западной Европы, Африки, Азии, в Австралии и Новой Зеландии.

SECAM

Sequential Couleur Avec Memoire (SECAM), или Секвенсный Цветной с Памятью формат был разработан во Франции, и регулярное вещание с его использованием началось в том 1967 году, во Франции и СССР. Так же как и PAL, SECAM работает в 625 строках с частотой 25 кадров, или 50 полей в секунду. И так же как и в PAL, из за особенностей большинства телевизионных приёмников, реально видно всего 576 строк. Но, в SECAM

другой метод кодирования цвета. Цветовая информация передаётся поочередно, одна линия R-Y, и следующая B-Y. В декодере данные восстанавливаются путём простого повторения строк. Как и в случае с PAL, это вдвое снижает вертикальную чёткость. Зато SECAM позволяет полностью отделить цветовые сигналы от яркостного, что позволяет добиться более правильной цветопередачи. Используется SECAM в Франции, Монако и Люксембурге, в странах бывшего СССР, Восточной Европе, в некоторых арабских странах, и некоторых странах Африки. В общем, в основном в тех странах, где влияние СССР было особенно сильно. В настоящее время многие из этих стран либо рассматривают возможность перехода в PAL систему, либо уже перешли в неё. Причём, причина этого вовсе не политические игры, а в том, что гораздо проще найти обученный персонал и аппаратуру для работы в PAL системе, что обусловлено широчайшей распространённостью этого стандарта.

Конечно, на самом деле всё гораздо сложнее, ведь есть ещё и звук, есть возможность передавать множество телевизионных программ одновременно, и многое другое. Да и видов и вариаций телевизионных стандартов гораздо больше. Но это выходит за рамки этой статьи, поэтому не буду забивать голову читателя излишними подробностями. Но, как видно даже из столь скудного описания, наибольшие проблемы всегда вызывало именно кодирование цвета. Действительно, если яркостный сигнал (Y) везде кодируется практически одинаково, и формируется по уже знакомой вам формуле ($Y (luma) = 0.299R + 0.587G + 0.114B$), то цветоразностные сигналы кодируются по разному. Это обуславливает то, что даже при использовании аппаратуры не поддерживающей тот или иной стандарт, обычно удаётся увидеть хотя бы чёрно-белую картинку. Впрочем, вряд ли читателям придётся серьёзно страдать из-за этой проблемы, каким бы способом они не выводили видео с компьютера, у них почти гарантировано будет возможность выбрать как минимум из двух форматов, PAL или NTSC. То же самое касается и телевизоров, на которые подаётся сигнал, если в телевизоре есть вход, куда можно подать сигнал, то почти наверняка он поддерживает хотя бы один из этих двух стандартов. Клинические случаи, вроде старых советских телевизоров, 15-20 лет от роду можно не рассматривать, всё равно на них нет фишек нормального формата, к которым можно подключиться. А про то, какие фишки всё-таки бывают, и как к ним подключаться (особенно когда фишка на компьютере совсем не такая, как на телевизоре), мы поговорим в следующий раз.

5. Трёхмерное телевидение



Одна из первых фотографий экрана 3d телевизора

В настоящее время появляются телевизоры, позволяющие видеть глубокое объёмное изображение, не используя стереоскопические или иные очки. В

будущем такие телевизоры смогут появиться в домах и будут предназначены для трансляции телеканалов, а сейчас редкие экземпляры используются в основном для рекламы.

По состоянию на [август 2009](#) г. только японский телеканал [BS11 3D](#) (принадлежит компании [Nippon BS](#)), вещает передачи, поддерживающие трёхмерное изображение (работает с [2008](#) г.).[\[1\]](#)

Виды трёхмерных мониторов

- Стереоскопические 3D-дисплеи формируют отдельные изображения для каждого глаза. Такой принцип используется в стереоскопах, известных ещё с начала XIX века.
- Автостереоскопические 3D-дисплеи воспроизводят трёхмерное изображение без каких-либо дополнительных аксессуаров для глаз или головы (таких как стереочки или шлемы виртуальной реальности).
- Голографические 3D-дисплеи имитируют пространственное размещение световых волн в таком виде, как они располагались бы при отражении света от реального трёхмерного объекта.



Экран 3d телевизора

- Объёмные дисплеи используют различные физические механизмы для показа светящихся точек в пределах некоторого объёма. Такие дисплеи вместо пикселей оперируют вокселями. Объёмные дисплеи строятся на разных принципах. Например, могут состоять из множества плоскостей, формирующих изображение, которые расположены одна над другой, или плоских панелей, создающих эффект объёмности за счёт своего вращения в пространстве.

6. Телевидение межсетевого протокола ([англ.](#) Internet Protocol Television, сокращённо [IPTV](#)) - система, использующая двухсторонний цифровой сигнал радиопередачи, который посылается через переключенную телефонную или кабельную сеть посредством широкополосного подключения. Оно базируется на декодировании видео IP и преобразовании его в стандартные телевизионные сигналы.

Введение

Интернет-телевидение вышло на новый уровень развития. Если до недавних пор оно казалось простому обывателю диковинкой, то теперь интернет-телевидение приобретает колоссальные масштабы. Пользователей прельщают большой выбор возможностей применения телевизионного [контента](#), которые до последнего времени были практически неосуществимы на традиционном [телевидении](#).

Возможности интернет-телевидения

IPTV [система](#) позволяет реализовать:

1. Управление пакетом подписки каждого [пользователя](#)
2. Защиту содержания телевидения на любом уровне
3. Трансляцию каналов в формате MPEG-2, MPEG-4
4. Представление телевизионных программ
5. Функцию регистрации телевизионных передач
6. Поиск прошлых телевизионных передач для просмотра
7. Функцию паузы для телеканала в режиме реального времени
8. Индивидуальный пакет телеканалов для каждого пользователя

Joost и Babelgum

Одним из широко известных проектов, который находится на стадии бета-тестирования, является [Joost](#) разработанный создателями [Skype](#) и [Kazaa](#) Янусом Фрисом и Николасом Зенстромом. В отличие от обычного телевидения, которое передаёт изображение по [радио](#) и [кабельным](#) сетям, в Joost трансляция ведётся на основе [пиринговой](#) технологии.

Благодаря широкополосному соединению в бета-версии [продукта](#) имеется возможность просмотра передач эфирных, кабельных и спутниковых телеканалов, дающих качественную картинку. Каналы Joost выступают в качестве плейлистов, которые составлены из видеофайлов со списками передач. Полноэкранный [интерфейс](#) достаточно прост и удобен в применении.

Но качественное изображение и простота использования не является пределом потенциала: в Joost присутствует возможность просмотра передач с комментариями, т.е. пользователь имеет возможность комментировать видеоролики, просматривать комментарии других, вывешивать рейтинги передач и присваивать контенту [теги](#).

Онлайн-сервис Joost имеет ряд конкурентов. Среди них европейский peer-to-peer [сервис](#) интернет-ТВ - [Babelgum](#), который также находится на стадии тестирования и швейцарский сервис [Zattoo](#).

Сеть децентрализованного ([пирингового](#)) телевидения Babelgum была разработана Сильвио Скалья (Silvio Scaglia). Она, как и Joost, работает в режиме бета-версии. Идея данной телесети, впервые реализованная Янусом Фрисом и Николасом Зенстромом в проекте Joost, состоит в том, что видеопоток передаётся по частям со множества компьютеров, а сама программа работает как приёмник и передатчик. Babelgum берёт за основу идею разработчиков Joost, но помимо этого добавляет возможность пользователю создавать свои каналы на базе существующего контента.

Столь высокий интерес к онлайн-телевидению объясняется целым рядом причин: во-первых, это удобство пользования, во-вторых минимум [рекламы](#), в-третьих, нужную передачу можно скачать сразу после просмотра и, наконец, существенную роль играет интерес к новым технологиям.