

## СТАНДАРТЫ СПУТНИКОВОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

### DVB-S и DVB-S2

#### 5.3 Стандарт DVB-S2

##### 5.3.1 Общая характеристика стандарта

Стандарт второго поколения DVB-S2 удовлетворяет требованиям основных спутниковых вещательных приложений: телевизионное вещание стандартного (SDTV) и высокого разрешения (HDTV); доступ в Интернет; профессиональные приложения (репортажные услуги, доставка ТВ-программ до наземных передатчиков) и др.

Основными преимуществами стандарта DVB-S2 перед DVB-S являются:

- увеличенная на 30% пропускная способность (для пользователей спутникового интернет это означает уменьшение тарифов, для ТВ - увеличение числа каналов + улучшение качества изображения);
- высокая гибкость (система спутникового ТВ остается работоспособной при любых параметрах ныне действующих транспондеров, предоставляя выбор сигналов с различной спектральной эффективностью);
- способность передачи любого формата входного цифрового потока, включая один или несколько транспортных потоков MPEG, непрерывные битовые потоки, пакеты IP и ATM;
- более высокая стабильность и помехоустойчивость.

В этом стандарте применены последние разработки в области канального кодирования в сочетании более широким выбором видов модуляции сигналов (QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK), что позволяет увеличить скорость передачи при сохранении необходимого высокого уровня защиты от ошибок [8-11]. .

В зависимости от выбранной скорости кода и типа модуляции система способна работать при отношении несущей к шуму (C/N) от -2,4 дБ (QPSK 1/4) до 16 дБ (32APSK 9/10), в предположении канала с аддитивным гауссовским шумом и идеального демодулятора. В результате можно получить

увеличение емкости на 20-35% по сравнению с DVB-S при одинаковых условиях передачи и на 2-2,5 дБ улучшение при приеме при той же спектральной эффективности.

### 5.3.2 Особенности преобразования цифровых потоков в передающих и приемных системах стандарта DVB-S

Структурная схема передающей части стандарта DVB-S2 показана на рис.5.7.



Рисунок 5.7 – Структурная схема передающей части системы спутникового цифрового телевидения стандарта DVB-S2.

Процесс рандомизации практически аналогичен реализованному в стандарте DVB-S. Различие заключается только в длине фрейма. Принципы же внешнего и внутреннего кодирования существенно отличаются.

Коррекция ошибок – это ключевой инструмент для достижения наилучших характеристик спутникового канала передачи информации в

условиях высокого уровня шумов и интерференции. Для каналов со случайным характером ошибок (обычно с аддитивными помехами типа «белого шума») практический интерес представляют три вида кодов: сверточные, Рида-Соломона, турбокоды с низкой плотностью проверки на четность (Low Density Parity Check codes – LDPC). Сочетание нескольких схем помехоустойчивого кодирования позволяет учесть различные условия эксплуатации. Так, сверточный код обычно используется для передачи речевого трафика, когда вероятность ошибки на бит может быть достаточно большой, но не критичной для восприятия и понимания передаваемой информации. При передаче данных, когда требуется более высокая надежность, применяются так называемые каскадные коды, в которых внешним обычно является код Рида-Соломона, а внутренним – сверточный.

В процессе выбора кодов для нового стандарта проводилось компьютерное моделирование, в результате которого победителем была выбрана система, в качестве **внешнего кода** *BCH код* (Bose-Chaudhuri-Nosquenghem – Боуза-Чоудхури-Хоквингема), а в качестве **внутреннего** – *LDPC код*, и которая позволяет максимально близко подойти к пределу Шеннона для каналов с адаптивным «белым» (гауссовским) шумом. Выбранные LDPC коды нечувствительны к задержкам, поскольку используют очень длинные блоки по 64800 бит. При этом доступны следующие скорости кодирования –  $1/4$ ,  $1/3$ ,  $2/5$ ,  $1/2$ ,  $3/5$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $4/5$ ,  $5/6$ ,  $8/9$  и  $9/10$ , которые определяются типом модуляции и надежностью канала передачи. Скорости  $1/4$ ,  $1/3$ ,  $2/5$  предназначены для работы с модуляцией QPSK на ненадежных линиях, когда уровень сигнала близок к уровню шума.

### 5.3.3 Методы модуляции и помехоустойчивого кодирования в стандарте DVB-S2

Стандарт DVB-S2 предусматривает использование четырех типов модуляции – QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK. Первые два используются в вещательных сетях. Там передатчики транспондеров работают в нелинейных

режимах, близких к насыщению. Два другие используются, как правило, в профессиональных приложениях, но могут использоваться также и для целей вещания. Правда, в этом случае требуется более высокое соотношение сигнал/шум на приеме, а на передающей стороне должно использоваться предискажение сигнала, чтобы компенсировать нелинейность транспондера. И хотя эти типы модуляций требуют больших затрат мощности, зато они дают большую эффективность по использованию спектра. Созвездия 16APSK и 32APSK оптимизированы для работы через нелинейный транспондер путем размещения точек на окружностях. Однако при работе через линейный тракт их характеристики сравнимы с 16-QAM и 32-QAM соответственно.

Выбирая тип модуляции и скорость кодирования, можно менять эффективность использования спектра от 0,5 до 4 бит на символ. При этом надо учитывать характеристики используемого транспондера.

DVB-S2, в отличие от DVB-S, имеет три значения коэффициента сглаживания (roll-off factor), которые устанавливают разную степень эффективности использования спектра:  $\alpha = 0,35$ ; 0,25; и 0,20. Более низкие значения коэффициента обеспечивают большую крутизну фронтов несущей, что позволяет размещать соседние несущие плотнее друг к другу и, соответственно, эффективнее использовать спектр.

Рассмотрим особенности внешнего и внутреннего канального кодирования в стандарте DVB-S2.

Каждый групповой кадр ( $K_{bch}$  бит) обрабатывается подсистемой FEC кодирования. Проверочные биты BCH внешнего кодирования добавляются после входного группового фрейма, а биты контроля четности внутреннего LDPC кодирования добавляются после BCH FEC поля (рис.5.8) [8].

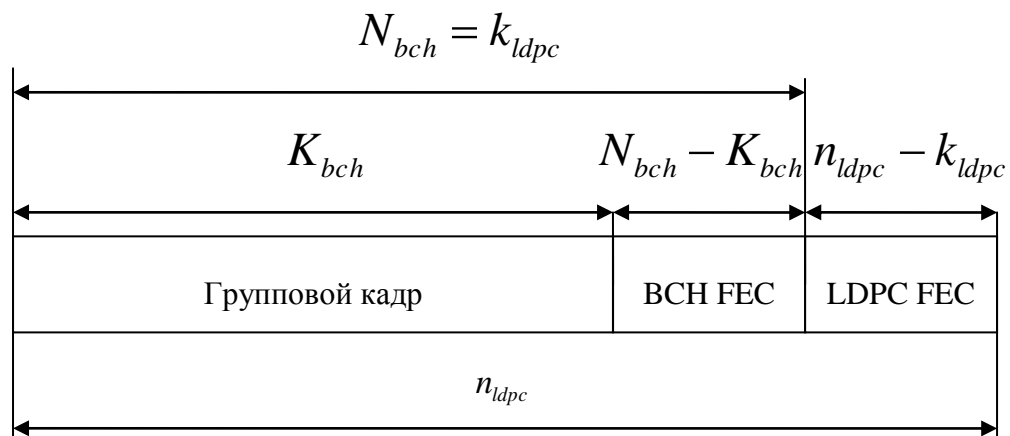


Рисунок 5.8 – Структура потокового FEC-кадра стандарта DVBS2

В табл.5.2 представлены параметры кодирования для нормального FEC фрейма ( $n_{ldpc} = 64800$  бит), а в табл.5.3 для укороченного FEC фрейма ( $n_{ldpc} = 16200$  бит).

Таблица 5.2 – Параметры FEC кодирования для нормального FEC фрейма

LDPC код	Блок $K_{bch}$	ВСН блок $N_{bch}$	ВСН коррекция ошибок	LDPC блок $n_{bch}$
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21 600	12	64800
2/5	25 728	25 920	12	64800
1/2	32 208	32 400	12	64800
3/5	38 688	38 880	12	64800
2/3	43 040	43 200	10	64800
3/4	48 408	48 600	12	64800
4/5	51 648	51 840	12	64800
5/6	53 840	54 000	10	64800
8/9	57 472	57 600	8	64800
9/10	58 192	58 320	8	64800

Таблица 5.3 – Параметры FEC кодирования для укороченного FEC фрейма

LDPC код	Блок $K_{bch}$	ВСН блок $N_{bch}$	ВСН коррекция ошибок	LDPC блок $n_{bch}$
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21 600	12	64800
2/5	25 728	25 920	12	64800
1/2	32 208	32 400	12	64800
3/5	38 688	38 880	12	64800
2/3	43 040	43 200	10	64800
3/4	48 408	48 600	12	64800
4/5	51 648	51 840	12	64800
5/6	53 840	54 000	10	64800
8/9	57 472	57 600	8	64800
9/10	58 192	58 320	8	64800

Код ВСН ( $N_{bch}, K_{bch}$ ) применяется к каждому групповому фрейму для генерации защищенных от ошибок пакетов. Образующие полиномы кода ВСН представлены в табл.5.4 для  $n_{ldpc} = 64800$  и в табл.5.5 для  $n_{ldpc} = 16200$  [8].

Таблица 5.4– ВСН полиномы для классического FEC фрейма  $n_{ldpc} = 64800$  .

$g_1(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^{16}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^4 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{16}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_4(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14} + x^{16}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{16}$
$g_6(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{15} + x^{16}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{15} + x^{16}$
$g_8(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_9(x)$	$1 + x^5 + x^7 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^5 + x^6 + x^7 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{16}$

Таблица 5.5 – ВСН полиномы для укороченного FEC фрейма  $n_{ldpc} = 16200$  .

$g_1(x)$	$1 + x + x^3 + x^5 + x^{14}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_3(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_4(x)$	$1 + x^4 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{14}$
$g_5(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_6(x)$	$1x^3 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{13} + x^{14}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_8(x)$	$1 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{14}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1 + x^3 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^4 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{13} + x^{14}$

ВСН кодирование информационных бит

$$m = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0) \quad (5.2)$$

в кодовое слово

$$c = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0, d_{n_{bch}-k_{bch}-1}, d_{n_{bch}-k_{bch}-2}, \dots, d_1, d_0) \quad (5.3)$$

достигается следующим образом:

умножением полинома

$$m(x) = m_{k_{bch}-1}x^{k_{bch}-1} + m_{k_{bch}-2}x^{k_{bch}-2} + \dots + m_1x + m_0 \text{ на } x^{n_{bch}-k_{bch}}; \quad (5.4)$$

делением  $x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x)$  на образующий полином  $g(x)$  и получения остатка

$$d(x) = d_{n_{bch}-k_{bch}-1}x^{n_{bch}-k_{bch}-1} + \dots + d_1x + d_0; \quad (5.5)$$

формированием полинома кодовой комбинации

$$c(x) = x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x) + d(x). \quad (5.6)$$

LDPC кодер кодирует информационные блоки размером

$$k_{ldpc}, i = (i_0, i_1, \dots, i_{k_{ldpc}-1}) \quad (5.7)$$

в кодовое слово размером

$$n_{ldpc}, c = (i_0, i_1, \dots, i_{k_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \dots, p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}). \quad (5.8)$$

Передача кодового слова начинается с  $i_0$  и заканчивается  $p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}$ .

Конфигурация для каждого блочного перемежителя для каждого формата модуляции определена в табл.5.6.

Таблица 5.6 – Конфигурация блочного перемежителя

Модуляция	Строки для $n_{dpc} = 64800$	Строки для $n_{dpc} = 16200$	Колонки
8PSK	21600	5400	3
16APSK	16200	4050	4
32APSK	12960	3240	5

При перемежении информация последовательно записывается в колонный перемежитель и последовательно считывается построчно (рис.5.7) [8,9].

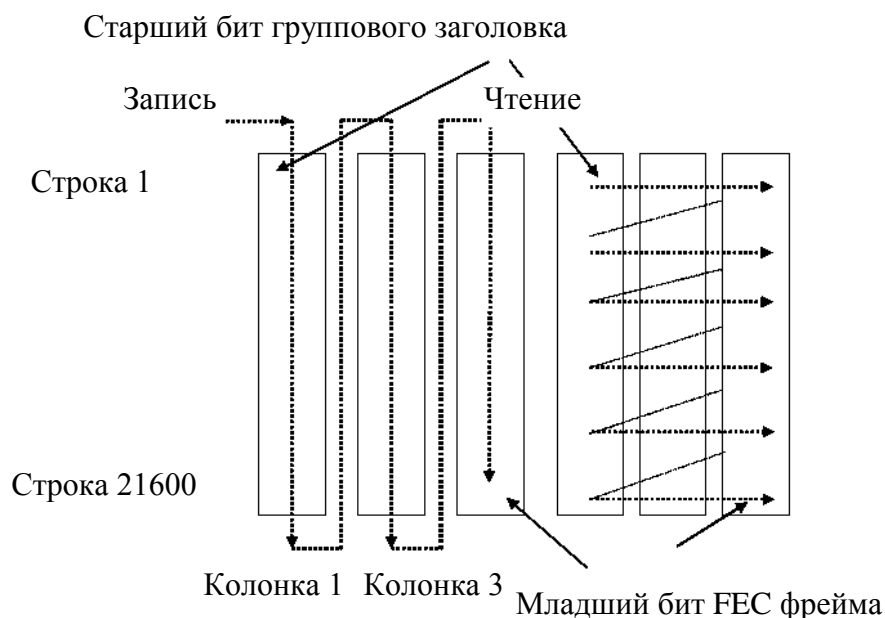


Рисунок 5.7 – Схема бит перемежения для 8PSK и классического FEC кадра (фрейма)

Каждый FEC кадр (с последовательностью 64800 бит для нормального FEC кадра и 16200 бит для укороченного) преобразовывается в параллельный код, уровень параллельности  $\eta_{MOD}$  равен 2 для QPSK, 3 для 8PSK, 4 для 16APSK и 5 для 32APSK. Каждая параллельная последовательность отображается в созвездие, образующие (I,Q) последовательности разной длины, которая зависит от выбранной эффективности модуляции  $\eta_{MOD}$ . Входная



последовательность FEC фрейм, выходная последовательность XFEC фрейм, состоящий из  $64800 / \eta_{MOD}$  или  $16200 / \eta_{MOD}$  символов модуляции.

Для 8PSK система применяет отображение битов в созвездии представленное на рис.5.8. Биты  $3i, 3i+1, 3i+2$  из выхода перемежителя определяют  $i^{th}$  PSK-8 символ, где  $i = 0, 1, 2, \dots, (N/3) - 1$  и  $N$  является размером LDPC кодированного блока.

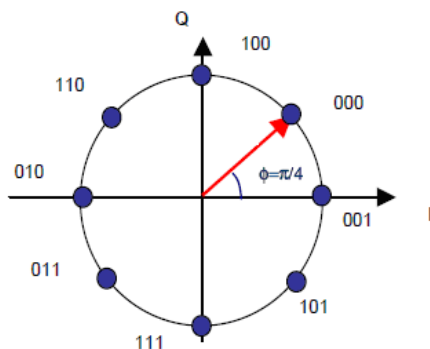


Рисунок 5.8– Отображение бит в 8PSK - созвездии

16APSK созвездие состоит из двух колец с равномерно расставленными 4 и 12 PSK точками, во внутреннем радиусе  $R_1$  и внешнем радиусе кольца  $R_2$  (рис.5.9). Отношение внешнего радиуса круга к внутреннему ( $\gamma = R_2 / R_1$ ) представлены в табл.5.7. Биты  $4i, 4i+1, 4i+2, 4i+3$  с выхода перемежителя определяют  $i^{th}$  8PSK символ, где  $i = 0, 1, 2, \dots, (N/4) - 1$ .

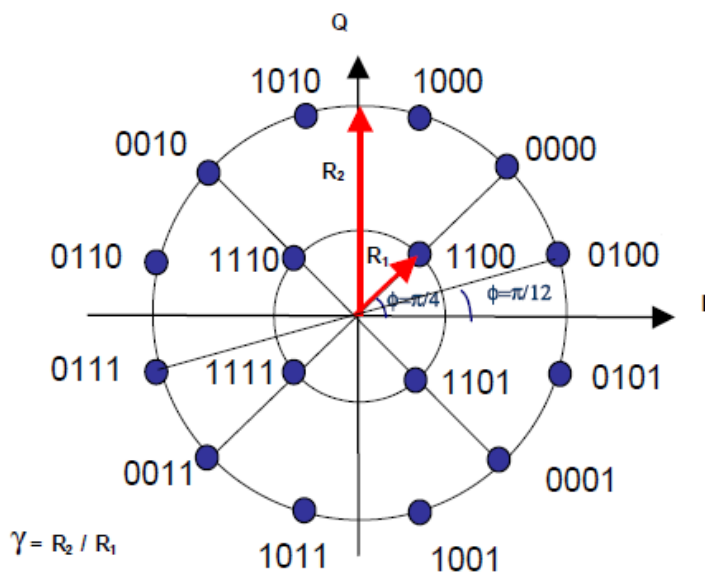


Рисунок 5.9– Отображение бит в 16PSK - созвездии

Таблица 5.7 – Оптимальное отношение радиусов  $\gamma$  для 16APSK

Кодовая скорость	Спектральная эффективность модуляции/кодирования	$\gamma$
2/3	2,66	3,15
3/4	2,99	2,85
4/5	3,19	2,75
5/6	3,32	2,70
8/9	3,55	2,60
9/10	3,59	2,57

Созвездие 32APSK состоит из трех колец с равномерно расставленными 4, 12 и 16 PSK точками, с внутренним радиусом  $R_1$ , средним  $R_2$  и внешнем  $R_3$  (рис.5.10). В табл.5.8 определены значения для  $\gamma_1 = R_2 / R_1$  и  $\gamma_2 = R_3 / R_1$ . Биты  $5i, 5i + 1, 5i + 2, 5i + 3, 5i + 4$  из выхода перемежителя определяют  $i^{th}$  PSK-8 символ, где  $i = 0, 1, 2, \dots, (N/5) - 1$  и  $N$  является размером LDPC кодированного блока [8-11].

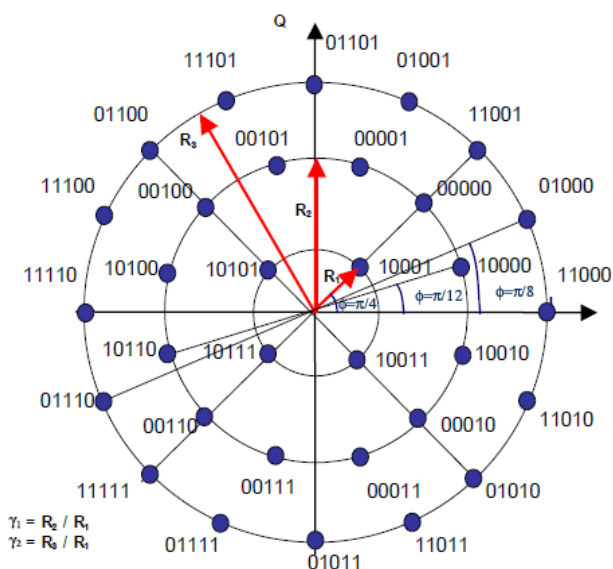


Рисунок 5.10 – Отображение бит в 32PSK - созвездии

Таблица 5.8 – Оптимальное отношение радиусов  $\gamma_1, \gamma_2$  для  
APSK-32

Кодовая скорость	Спектральная эффективность модуляции/кодирование	$\gamma_1$	$\gamma_2$
3/4	3,74	2,84	5,27
4/5	3,99	2,72	4,87
5/6	4,15	2,64	4,64
8/9	4,43	2,54	4,33
9/10	4,49	2,53	4,30

В табл.5.9 представлены сравнительные характеристики между DVB-S и DVB-S2 вещанием, посредством спутникового транспондера с полосой пропускания 36 MHz, при использовании 60 см приемной антенны. Как видно из таблицы, при идентичном отношении сигнал/шум полоса пропускания DVB-S2 транспондера более чем на 30% процентов увеличена, относительно DVB-S транспондера. Что позволяет вещать от 21 до 26 (AVC) каналов стандартной четкости и 5-6 (AVC) каналов высокой четкости каждым DVB-S2 транспондером [8-11].

Таблица 5.9 – Характеристики стандартов DVB-S и DVB-S2

EIRP, дБВт	51		53.7	
	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Стандарт	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	PSK-8 2/3
Модуляция и кодирование	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	PSK-8 2/3
Символьная скорость, МБод	27.5	30.9	27.5	29.7
Отношение сигнал/шум, дБ	5.1	5.1	7.8	7.8
Скорость передачи информационных битов, Мбит/с	33.8	46	44.4	58.8
Количество программ стандартной четкости	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Количество программ высокой четкости	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

В зависимости от выбранной кодовой скорости и модуляции, система может функционировать с отношением сигнал/шум выше 5,1 дБ, используя

QPSK с кодовой скоростью  $2/3$  или  $3/4$ , и выше 7.8 дБ при QPSK с кодовой скоростью  $7/8$  или 8PSK кодовой скоростью  $2/3$ .

Большое количество установленных приемников DVB-S стандарта значительно затрудняет вещателям процесс перехода на новый стандарт. Особенно когда приемники субсидируются самими вещателями, а также на общественных сетях, работающих в открытом режиме (free-to-air). В таких случаях обратная совместимость может потребоваться на некий переходный период, когда установленные приемники DVB-S будут работать по-прежнему, а новые приемники получают новые сервисы и возможности от нового стандарта. В конце переходного периода, когда завершится смена приемников, транслируемый сигнал будет переведен из режима обратной совместимости и обеспечит клиентов всеми возможностями DVB-S2. Режимы обратной совместимости подразумевают передачу двух транспортных потоков в одном спутниковом канале. Эти потоки имеют разные приоритеты – высокий и низкий. Первый поток, имеющий высокий приоритет, совместим как с приемниками DVB-S2, так и с приемниками DVB-S. Второй поток, с низким приоритетом, поддерживается только приемниками DVB-S2. Передача этих потоков осуществляется через использование иерархической модуляции. Иерархическая модуляция позволяет комбинировать два потока синхронно в одном модуляционном символе неоднородного созвездия 8PSK. DVB-S2 совместимый поток низкого приоритета кодируется кодами LDPC/VCH со скоростями свертки  $1/4$ ,  $1/3$ ,  $1/2$  или  $3/5$ . После этого преобразователь координат генерирует неоднородное созвездие 8PSK, в котором два бита потока DVB-S высокого приоритета определяют точку созвездия QPSK, в то время как один бит из кодера DVB-S2 LDPC смещается на угол  $\pm$  перед подачей в канал. Таким образом, результирующий сигнал имеет квазипостоянную форму и может быть передан через один транспондер, работающий в режиме, близком к насыщению.

## 5.4 Распределения поляризационно-частотных ресурсов спутниковых ретрансляторов

В качестве примера рассмотрим частотный план транспондеров спутника Hot Bird 8 диапазона. Данный спутник запущен на геостационарную орбиту с точкой стояния  $13^\circ$  восточной долготы 4 августа 2006 и имеет на борту 64 транспондера  $K_u$  диапазона. Схема распределения поляризационно-частотных ресурсов спутника Hot Bird 8 представлена на рис.5.1 в виде спектра транспондеров [6].

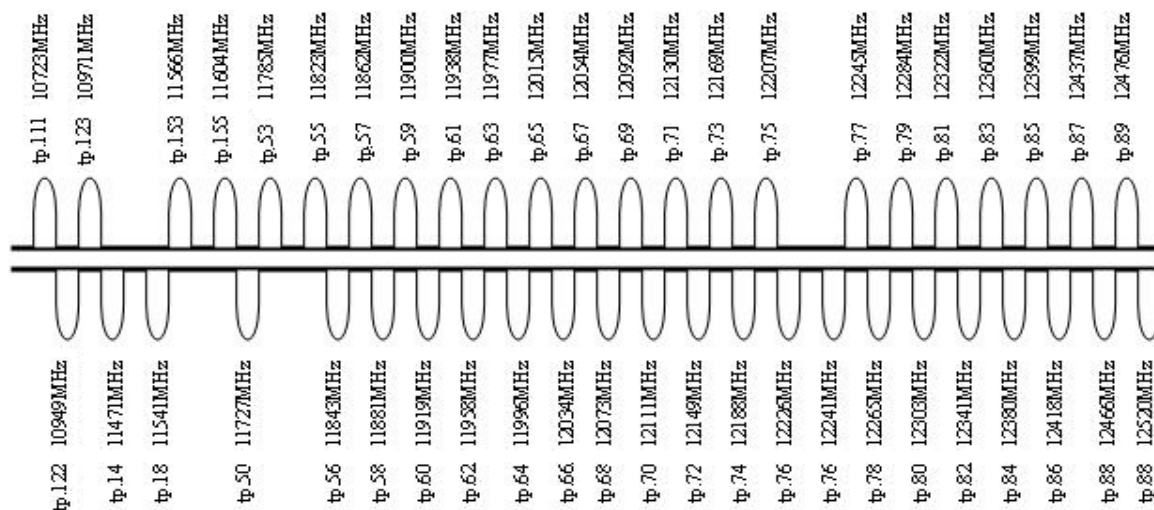


Рисунок 5.11 – Спектр транспондеров спутника Hot Bird 8

Символьная скорость передачи  $R_s$  может быть подобрана для конкретного транспондера, для достижения максимальной скорости передачи информации с приемлемым уровнем сигнала, представлены параметры полезной битовой скорости  $R$  доступные на спутниковых транспондерах с полосой пропускания  $\Delta F$ , соответствующей  $\Delta F / R_s = 1,28$  представлены в табл.5.10.

Таблица 5.10– Взаимосвязь битовой скорости  $b$  полос пропускания транспондера

Полоса пропускания (3дБ), МГц	Полоса пропускания (-1дБ), МГц	$R_s$ , МБод	$R$ (QPSK 1/2), Мбит/с	$R$ (QPSK 2/3), Мбит/с	$R$ (QPSK 3/4), Мбит/с	$R$ (QPSK 5/6), Мбит/с	$R$ (QPSK 7/8), Мбит/с
54	48,6	42,2	38,9	51,8	58,3	64,8	68,0
46	41,4	35,9	33,1	44,2	49,7	55,2	58,0
40	36	31,2	28,8	38,4	43,2	48,0	50,4
36	32,4	28,1	25,9	34,6	38,9	43,2	45,4
33	29,7	25,8	23,8	31,7	35,6	39,6	41,6
30	27	23,4	21,6	28,8	32,4	36,0	37,8
27	24,3	21,1	19,4	25,9	29,2	32,4	34,0
26	23,4	20,3	18,7	25	28,1	31,2	32,8

Для удобства учета вида поляризации спутникового сигнала при его преобразовании на промежуточную частоту 950 – 2150 MHz (весь диапазон частот входных ТВ сигналов Ku диапазона 10,7 – 12,75 ГГц) условно делится на четыре диапазона: HL (horizontal low), HH (horizontal high), VL (vertical low) и VH (vertical high), рис.5.12.

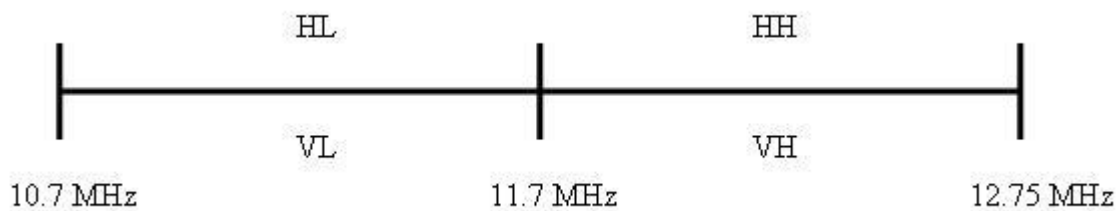


Рисунок 5.12 – Учет вида поляризации при преобразовании сигнала

## Вопросы для самоконтроля

1. На какой орбите размещаются вещательные ИСЗ. Назовите основные параметры этой орбиты.
2. Почему в спутниковом вещании используются методы обработки, требующие минимального отношения несущая/шум на входе демодулятора.
3. Какие методы модуляции применяются в системах спутникового вещания и почему.
4. Дайте характеристику методам модуляции и помехоустойчивого кодирования предусмотренных стандартом DVB-S.
5. Изобразите структурную схему передающей части системы спутникового цифрового телевидения стандарта DVB-S.
6. Дайте общую характеристику стандарта DVB-S2. Назовите его основные отличия от стандарта DVB-S.
7. Изобразите структурную схему передающей части системы спутникового цифрового телевидения стандарта DVB-S2.
8. Дайте характеристику методам модуляции и помехоустойчивого кодирования предусмотренных стандартом DVB-S2.
9. Поясните особенности распределения поляризационно-частотных ресурсов спутниковых ретрансляторов.

## Список литературы

1. Richharia M. Satellite Communication Systems: Desighn Principles. MACMILLAN PRESS LTD, London, 1999, – 484 с.
2. Сочилина А.С., Киладзе Р.И. и др. Каталог орбит геостационарных спутников. С.-Петербург, 1996. 104 с.
3. Спутниковые сети связи : Учеб. пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. — М.: «Альпина Паблишер», 2004. - 536 с: ил.

4. Харченко В.Н., Лаврут А.А. Особенности энергетического расчета спутниковых радиолиний // Космічна наука і технологія.– 2001.– № 2/3.– С. 33-34.

5. Sun Z. Satellite Networking. Principles and Protocols / University of Surrey, UK. John Wiley & Sons Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA, 2005.

6. Пескин А. Е., Смирнов А. В. Цифровое телевидение. От теории к практике. — М.: Горячая линия-Телеком, 2005. С. 349.

7. M.Eroz, F.-W Sun and L.-N. Lec: “DVB-S2 Low Density Parity Check Codes with near Shannon Limit Performance”, International Journal on Satellite Communication Networks, 2004. – С. 22.

8. ETSI TR 102 376 v1.1.1 (2005-02): Digital Video Broadcasting (DVB); User guidelines for the second generation system for Broadcasting; Interactive Services; News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2).

9. Morello A., Mignone V. DVB-S2: The Second Generation Standard for Satellite Broad-band Services. Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 1, January, 2006.

10. Sheriff R. E., Fun Y. H. Mobile Satellite Communication Networks. – John Wiley & Sons, Ltd Baffins Lane, Chichester, West Sussex, PO19 1UD, England, 2001.

11. Breynaert D., D'Oreye M. Analysis of the bandwidth efficiency of DVB-S2 in a typical data distribution network [Електр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newtec.eu/>

12. Breynaert D. What's next after DVB-S2. Newtec Newsletter - September 2012 [Електр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newtec.eu/>