

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

А.М. ГОЛИКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО
ЦИФРОВОГО КАБЕЛЬНОГО ТВ-ВЕЩАНИЯ DVB-S2
НА БАЗЕ ПО МАТЛАВ**

Учебно-методическое пособие по лабораторной работе

Томск 2019

Голиков, А. М. Исследование системы высокоскоростного цифрового кабельного ТВ-вещания DVB-C2 на базе по MATLAB: Учебно-методическое пособие по лабораторной работе [Электронный ресурс] / А. М. Голиков. — Томск: ТУСУР, 2019. — 21 с.

В лабораторной работе проводится исследование системы высокоскоростного цифрового кабельного ТВ-вещания DVB-C2 на основе разработки программы для моделирования такой системы в среде MATLAB. Лабораторная работа предназначена для направления подготовки магистров 11.04.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" по магистерским программам подготовки: "Радиоэлектронные системы передачи информации", "Оптические системы связи и обработки информации", "Инфокоммуникационные системы беспроводного широкополосного доступа", "Защищенные системы связи", для направления подготовки магистров 11.04.01 "Радиотехника" по магистерской программе подготовки: "Радиотехнические системы и комплексы", "Радиоэлектронные устройства передачи информации", "Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов", "Видеоинформационные технологии и цифровое телевидение" и специалитета 11.05.01 "Радиоэлектронные системы и комплексы" специализации "Радиолокационные системы и комплексы", "Радиоэлектронные системы передачи информации", "Радиоэлектронные системы космических комплексов", а также бакалавриата направления 11.03.01 "Радиотехника" (Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов), бакалавриата 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (Системы мобильной связи, Защищенные системы и сети связи, Системы радиосвязи и радиодоступа, Оптические системы и сети связи) и может быть полезна аспирантам.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	4
2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	16
ЛИТЕРАТУРА.....	21

1 ВВЕДЕНИЕ

Современные системы цифрового телевизионного вещания стандартов DVB-T2, DVB-S2, DVB-C2 и DVB-H2 являются сложными телекоммуникационными системами, использующими цифровые многоуровневые методы модуляции и систем помехоустойчивого кодирования. Системы обеспечивают высокую помехоустойчивость до BER - $10E-7$ - это означает, что за сутки допускается только одна ошибка.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

DVB-C – стандарт цифрового телевизионного вещания, который производится по кабелю. В основе стандартов DVB-C лежит стандарт кодирования движущихся изображений и звукового сопровождения MPEG-2.

Система цифрового кабельного телевизионного вещания DVB-C.

Система цифрового кабельного телевидения определяется как функциональный

блок оборудования, выполняющий адаптацию ТВ-сигналов к характеристикам кабельного канала. Система DVB-C максимально гармонизирована со спутниковой системой DVB-S и может использовать источник местных ТВ-программ.

В связи с высокой помехозащищенностью кабельных каналов связи в системе DVB-C не используется сверточное кодирование, но применяется многопозиционная QAM-модуляция — от 16-QAM до 256-QAM.

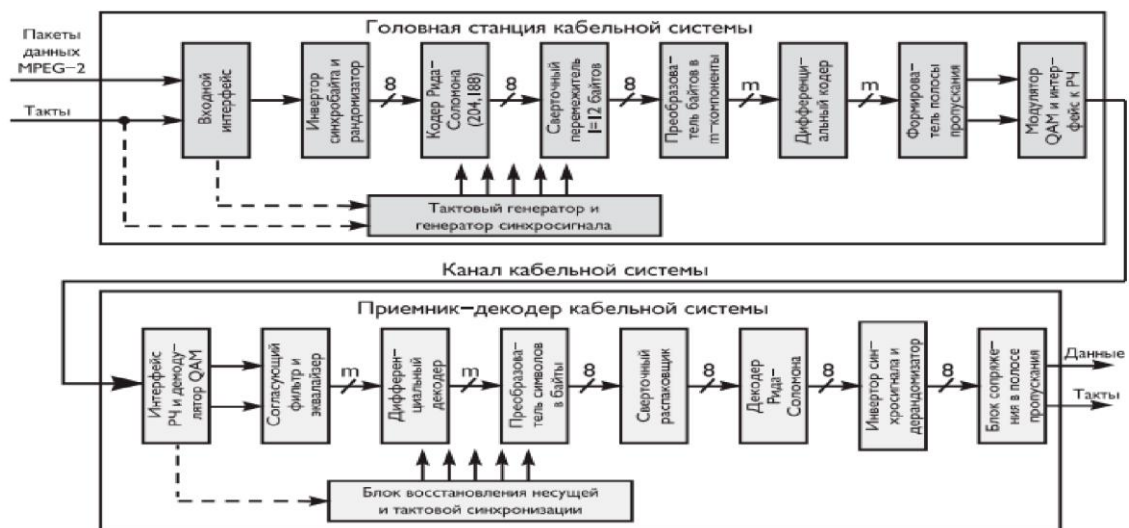


Рис. 1 - Структурная схема системы цифрового кабельного телевидения DVB-C

В качестве входных сигналов на головной станции используются транспортные пакеты MPEG-2, поступающие через входной интерфейс на модуль, и рандомизирующий поток поступающих данных. Схема рандомизатора/дерандомизатора аналогична используемой в стандарте DVB-T.

Вслед за процессом рандомизации распределения энергии выполняется систематическое сокращенное кодирование Рида–Соломона каждого рандомизированного транспортного пакета MPEG-2, при $t = 8$, что обеспечивает возможность корректировки 8 ошибочных байтов в каждом транспортном пакете. Данный процесс добавляет 16 байтов четности к транспортному пакету MPEG-2 для получения кодового слова (204, 188).

Затем следует сверточный перемежитель состоящий из $l = 12$ звеньев, циклически присоединенных к входному потоку байтов с помощью коммутатора. Каждое звено представляет собой регистр FIFO размером $M \cdot j$ ячеек ($M = 17 = N/l$, $N = 204$ — длина защищенного от ошибок кадра, $l = 12$ — глубина перемежения, j — индекс звена). Ячейки FIFO содержат 1 байт, а работа коммутаторов входа и выхода синхронизирована. Притом неинвертированные и инвертированные синхронизирующие байты должны быть всегда адресованы в нулевое звено компоновщика, соответствующее нулевой задержке.

После сверточного перемежения производится точное перекодирование байтов в символы. Перекодирование должно быть основано на использовании границ байтов в системе модуляции. Длина символов $m = \log_2 M$, где M — число позиций QAM – созвездия. Циклическая задача отображения для одного цикла определяется соотношением: $8k = n \cdot m$, (1) где k и n — числа преобразуемых байтов и последовательности двоичных символов, соответственно.

Таблица 1 - Коэффициенты преобразования байтов в последовательности символов.

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

Для устранения потерь из-за скачков фазы несущей применяется дифференциальное кодирование двух старших битов (A_k и B_k) последовательности символов. Эти два старших бит каждого символа должны быть дифференциально закодированы для получения инвариантного относительно фазового сдвига на $\pi/2$ созвездия QAM.

На рис. 2. приведен пример реализации преобразования байтов в символы.

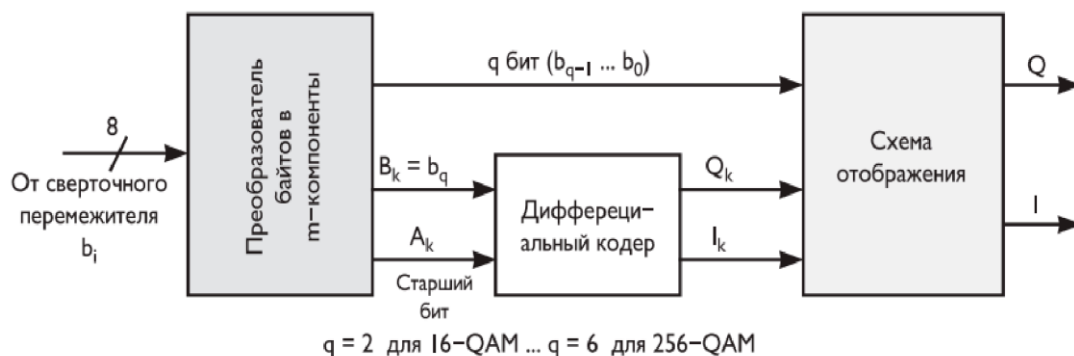


Рис. 2 - Пример реализации преобразования байта в m -мерный вектор и дифференциального кодирования двух старших битов

Квадратурные сигналы I и Q с выхода схемы отображения перед модуляцией подвергаются фильтрации с помощью фильтра, характеристика которого соответствует соотношению при коэффициенте $\alpha = 0,15$.

В табл. 2 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 27,5 Мсим/с, $R = 3/4$.

Таблица 2 - Примеры расчетных значений символьной и информационной скоростей при использовании стандарта DVB-C.

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	64-QAM
31,9	34,61	6,92	7,96	32-QAM
25,3	27,34	6,84	7,86	16-QAM
18,9	20,52	3,42	3,93	64-QAM
16,0	17,40	3,48	4,00	32-QAM
12,8	13,92	3,48	4,00	16-QAM
9,6	10,44	1,74	2,00	64-QAM
8,0	8,70	1,74	2,00	32-QAM
6,4	6,96	1,74	2,00	16-QAM

Система высокоскоростного цифрового кабельного телевизионного вещания DVB-C2.

Стандарт кабельного цифрового телевизионного вещания DVB-C2 максимально

унифицирован с новыми стандартами, обслуживающими спутниковую (DVB-S2) и эфирную (DVB-T2) транспортные среды.

На рис. 3 а–г приводится достаточно подробная структурная схема передающей части DVB-C2. Как в DVB-S2 и DVB-T2, в новом кабельном стандарте внутри одного физического канала предусмотрено выделение транспортных PLP физических каналов, которые могут обрабатывать и переносить обычный поток MPEG-2 TS или использоваться для передачи IP с применением GSE-протокола.

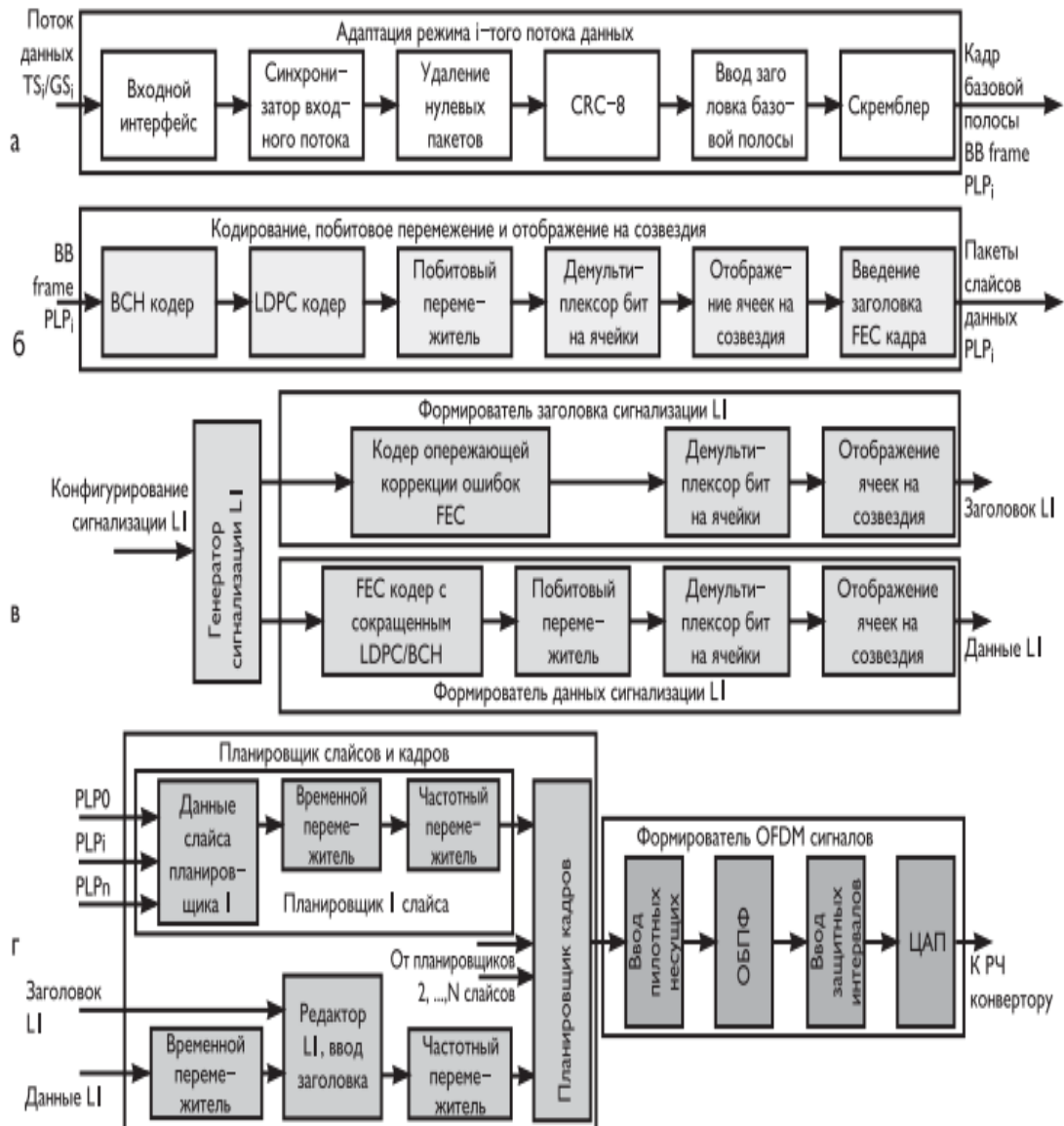


Рис. 3 - Структурная схема передающей части системы DVB-C2

Вход системы DVB-C2 состоит из одного или из множества логических потоков данных. По одной магистрали физического уровня (PLP) передается один логический поток данных. Модули адаптации режима, по отдельности обрабатывающие содержимое каждой PLP, разбивают входной поток данных на

поля данных, которые после адаптации потока должны сформировать кадры базовой полосы (BBFrame). Модуль адаптации режима включает в себя входной интерфейс, за которым следуют три опциональные подсистемы (синхронизатор входного потока, модуль удаления нулевых пакетов и кодер CRC-8), после которых он разбивает входной поток данных на поля данных и выполняет вставку заголовка базовой полосы (BBHeader) в начале каждого поля данных. Подсистема входного интерфейса обеспечивает преобразование входного сигнала во внутренний логически-битовый формат для каждой единичной магистрали физического уровня (PLP, рис.3а). Длина поля данных DFL на выходе интерфейса должна находиться в пределах: $0 < DFL < (Kbch - 80)$, где Kbch — количество битов в поле данных, защищенном кодами BCH и LDPC; 10-байтовый (80 битов) заголовок BBHeader присоединяется к началу поля данных и также защищен кодами LDPC и BCH.

Синхронизатор входного потока формирует поле, состоящее из 2 или 3 байтов (поле ISSY - Input Stream Synchronisation), в котором передается значение счетчика, тактируемого с тактовой частотой модулятора ($1/T$, где $T = 7/64$ мкс или $T = 7/48$ мкс для каналов с полосой пропускания 8 МГц или 6 МГц, соответственно), используемого приемником для восстановления точной синхронизации восстановленного выходного потока. Содержание поля ISSY зависит от формата входного потока и режимов обычной или повышенной эффективности, указанных в заголовке базовой полосы.

Установленные для передачи транспортных потоков требования предусматривают, чтобы скорости битовых потоков на выходе мультиплексора передатчиков и на входе демультимплексора приемников были постоянными на протяжении длительных периодов времени и сквозная задержка также была постоянной. Во входных транспортных потоках может присутствовать большая доля нулевых пакетов для адаптации сервисов с переменной скоростью битового потока в транспортных потоках с постоянной скоростью. В таком случае, во избежание излишних накладных расходов при передаче, нулевые пакеты TS должны быть удалены. Процесс выполняется таким образом, чтобы удаленные нулевые пакеты могли быть повторно вставлены в приемнике в точности на то же самое место, где они находились первоначально.

Кодирование CRC-8, как и в системах DVB-T2 и DVB-S2, применяется для детектирования ошибок на уровне пользовательского пакета, а 10-байтовый заголовок базовой полосы (BBHeader) фиксированного размера вводится перед полем данных для описания формата поля данных.

Перед поступлением на вход системы помехоустойчивого кодирования (см. рис.3б) цифровой поток базовой полосы скремблируется сдвиговым регистром с обратной связью. Порождающий полином последовательности PRBS — $1 + x^{14} + x^{15}$ — с иницируемой в начале каждого кадра BBFrame загрузкой в регистр кода 100101010000000.

Структура формата кадра с опережающей коррекцией ошибок BCH и LDPC для основного размера 64 800 битов и сокращенного размера 16 200 би-

тов могут быть для LDPC кодов — 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 и 9/1 и для LDPC кодов — 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 и 8/9, соответственно.

Сигнал с выхода кодера LDPC подвергается побитовому перемежению, которое состоит из перемежения проверочных битов, за ним следует перемежение со сдвигом начала столбцов в соответствии с правилом системы DVB-C2 (информационные биты не перемежаются). Значения параметра Q_{ldpc} определены в табл. 5.22.

Таблица 3 - Значения Q_{LDPC} для основных и сокращенных кадров

Скорость кода	$N_{ldpc} = 64\ 800$	$N_{ldpc} = 16\ 200$
1/2	–	25
2/3	60	15
3/4	45	12
4/5	36	10
5/6	30	8
8/9	–	5
9/10	18	–

Конфигурация перемежения со сдвигом начала столбцов для каждого формата модуляции определена в табл. 4.

Таблица 4 - Структура побитового перемежителя

Модуляция	Строки N_r		Столбцы N_c
	$N_{ldpc} = 64\ 800$	$N_{ldpc} = 16\ 200$	
16-QAM	8100	2025	8
64-QAM	5400	1350	12
256-QAM	4050	–	16
	–	2025	8
1024-QAM	3240	810	20
4096-QAM	5400	–	12
	–	675	24

При перемежении со сдвигом начала столбцов биты данных u_i с перемежителя проверочных битов последовательно записываются в перемежитель со сдвигом начала столбцов по столбцам, и последовательно считываются по строкам (старший бит заголовка считывается первым). Запись стартовой позиции каждого столбца сдвигается на величину t_c в соответствии с табл. 5.

Таблица 5 - Модуляции DVB-C2

Модуляция	16-QAM		64-QAM		256-QAM		1024-QAM		4096-QAM	
	N_{ldpc} 64 800	16 200	64 800	16 200	64 800	16 200	64 800	16 200	64 800	16 200
Столбцы N_c	8		12		16	8	20		12	24
Сдвиг t_c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0
	2	2	0	2	0	2	0	3	0	2
	3	4	1	2	2	2	1	4	2	2
	4	4	7	3	2	2	7	5	2	3
	5	5	20	4	2	3	20	6	2	4
	6	7	20	4	3	7	20	6	2	4
	7	7	21	5	3	15	21	9	2	5
	8	-	-	5	3	16	-	13	5	5
	9	-	-	7	6	20	-	14	5	7
	10	-	-	8	7	22	-	14	5	8
	11	-	-	9	7	22	-	16	5	9
	12	-	-	-	-	27	-	21	5	-
	13	-	-	-	-	27	-	21	7	-
	14	-	-	-	-	28	-	23	7	-
	15	-	-	-	-	32	-	25	7	-
	16	-	-	-	-	-	-	25	7	-
	17							26	8	-
	18							28	8	-
	19							30	10	-
	20									10
	21									10
	22									10
23									11	

Каждый кадр FECFRAME преобразовывается в кодированный и модулированный FEC блок с опережающей коррекцией ошибок. Для этого входные биты сначала демультиплексируются на параллельные модулирующие значения ячеек, и затем эти модулирующие значения отображаются на значения созвездия. Количество ячеек выходных данных и эффективное количество битов на ячейку η_{mod} заданы в табл. 6.

Таблица 6 - Параметры побитового отображения на созвездия

Длина блока LDPC-кода (N_{ldpc})	Режим модуляции	η_{mod}	Число выходных ячеек данных
64 800	4096-QAM	12	5400
	1024-QAM	10	6480
	256-QAM	8	8100
	64-QAM	6	10 800
	16-QAM	4	16 200
16 200	4096-QAM	12	1350
	1024-QAM	10	1620
	256-QAM	8	2025
	64-QAM	6	2700
	16-QAM	4	4050
	QPSK	2	8100

Битовый поток VDI, от побитового перемежителя демультимплексируется на $N_{\text{substreams}}$ подпотоков (табл. 7).

Таблица 7 - Количество подпотоков в демультимплексоре

Модуляция	N_{ldpc}	Количество подпотоков $N_{\text{substreams}}$
QPSK	Любое	2
16-QAM	Любое	8
64-QAM	Любое	12
256-QAM	64 800	16
	16 200	8
1024-QAM	Любое	20
4096-QAM	64 800	12
	16 200	24

Демультимплексирование определяется как отображение подвергнутых побитовому перемежению входных битов, v_{di} , на выходные биты $b_{e,do}$ на выходе демультимплексора $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$ — число входных битов; $N_{\text{substreams}}$ — число битов в заданном потоке на выходе демультимплексора; e — количество демультимплексированных битовых потоков, ($0 \leq e < N_{\text{substreams}}$), зависящее от d_i).

Каждое модулирующее значение ячеек, поступающее от демультимплексора, модулируется с использованием созвездий одного из типов: QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM или 4096-QAM. Созвездия и детализация применяемого к ним отображения реализуются в соответствии с кодом Грея.

Таблица 8 - Нормирующие множители для ячеек данных

Модуляция	Нормирующие множители
QPSK	$f_q = z_q / \sqrt{2}$
16-QAM	$f_q = z_q / \sqrt{10}$
64-QAM	$f_q = z_q / \sqrt{42}$
256-QAM	$f_q = z_q / \sqrt{170}$
1024-QAM	$f_q = z_q / \sqrt{682}$
4096-QAM	$f_q = z_q / \sqrt{2730}$

Кодирование заголовка сигнализации L1 осуществляется первоначально с помощью кодера Рида – Маллера (32, 16). При этом каждый бит 32-битового кодового слова Рида–Маллера разбивается на две ветви. Затем данные отображаются на созвездие QPSK для устойчивого к ошибкам заголовка кадров FECFrame, или на созвездие 16-QAM для заголовка кадров FECFrame с повышенной эффективностью.

Данные сигнализации L1 подвергаются сокращенному LDPC/VCH – кодированию с последующим побитовым перемежением, демультимплексированием и модуляцией.

На рис. 5.197г изображена структура планировщика слайсов, формирователя кадров и OFDM-сигналов системы DVB-C2.

Один или множество логических каналов PLP организуются в группу PLP, и одна или множество таких групп PLP образуют слайс данных. Система C2 может состоять из одного или множества слайсов данных. Предполагается, что приемник всегда должен иметь возможность принимать одну PLP-данных и связанную с ней общую PLP при ее наличии.

Для канала с шириной полосы 8 МГц максимальное число OFDM-несущих при передаче каждого слайса должно быть не более $n_{KDCmax} - KDCmin$ 3408 при $f_{max} - f_{min} = 7,61$ МГц и длительности символа $TU = 448$ мкс.

Данные слайса от каждого планировщика подвергаются временному и частотному перемежению. Временной перемежитель обычно содержит два банка памяти, в первый из которых осуществляется запись, а из второго производится считывание данных слайса, затем производится переключение режимов работы этих банков. Для реализации частотного перемежения производится изменение порядка считывания символов звездной диаграммы. Данные от планировщиков слайсов поступают на планировщик кадров, на который подаются также специальным образом обработанные данные синхронизации L1.

Структура кадра системы DVB-C2 поясняется рис. 5.198а.

Преамбула кадра включает LP символов (LP1), за ней следует LData символов данных. Преамбула несет информацию о символах блока синхронизации L1 (3408 поднесущих частот в полосе 7,71 МГц). Данные слайсов могут передаваться в произвольной полосе частот, не превышающей полосу частот передачи символов блока L1. Неиспользуемые частоты могут занимать часть всего кадра DVB-C2.

Таблица 9 - Коэффициенты, определяющие положение рассеянных пилотных несущих

Коэффициент защитного интервала	Выделение пилотных несущих (D_X)	Номер символов формирования рассеянных несущих (D_Y)
1/64	12	4
1/128	24	4

Кроме рассеянных пилотных несущих в каждый символ кадра, за исключением преамбулы, вводятся постоянные несущие. Индексы этих несущих локально в пределах блока из $KL1 = 3408$ приведены в табл. 5.33.

Таблица 9 - Индексы постоянных пилотных несущих

96	216	306	390	450	486	780	804
924	1026	1224	1422	1554	1620	1680	1902
1956	2016	2142	2220	2310	2424	2466	2736
3048	3126	3156	3228	3294	3366		

В дополнение к рассеянным и постоянным пилотным несущим вводятся также граничные пилотные несущие, определяющие «края» в каждом символе. Такие пилотные несущие вводятся также на границах областей неиспользуемых частот. Некоторые OFDM-ячейки могут быть зарезервированы для подавления пиковых значений формируемого радиосигнала (PAPR).

Поскольку в системе DVB-S2 применены более эффективные методы помехоустойчивого кодирования по сравнению с системой DVB-S, возможно использование звездных диаграмм OFDM-сигналов более высокой размерности.

Таблица 10 - Параметры OFDM-сигналов для каналов с полосой пропускания 6 МГц и 8 МГц.

Параметр	6 МГц 1/64	6 МГц 1/128	8 МГц 1/64	8 МГц 1/128
Количество OFDM-несущих в блоке сигнализации $L1 - K_{L1}$	3408	3408	3408	3408
Ширина полосы блока сигнализации $L1$	5,61 МГц	5,61 МГц	7,61 МГц	7,61 МГц
Длительность T_U в элементарных периодах T	$4096T$	$4096T$	$4096T$	$4096T$
Длительность T_U в мкс	597,3	597,3	448	448
Частотный интервал между несущими $1/T_U$ в Гц	1674	1674	2232	2232
Длительность T_G в элементарных периодах T	$64T$	$32T$	$64T$	$32T$
Длительность T_G в мкс	9,33	4,66	7	3,5

Таблица 11 - Отношение сигнал/шум при различных параметрах системы DVB-C2.

Параметры LDPC кода	16-QAM	64-QAM	256-QAM	1024-QAM	4096-QAM
2/3	–	13,5 дБ	–	–	–
3/4	–	–	20,0 дБ	24,8 дБ	–
4/5	10,7 дБ	16,1 дБ	–	–	–
5/6	–	–	22,0 дБ	27,2 дБ	32,4 дБ
9/10	12,8 дБ	18,5 дБ	24,0 дБ	29,5 дБ	35,0 дБ

Для сравнения эффективностей использования систем кабельного цифрового телевизионного вещания DVB-C2 и DVB-C в табл.14 приведены допустимые скорости передачи информации при эквивалентной ширине канала 8 МГц.

Таблица 12 - Максимальные скорости передачи информации в системах DVB-C и DVB-C2 при эквивалентной ширине канала 8 МГц

Система		16-QAM	64-QAM	256-QAM	1024-QAM	4096-QAM
DVB-C		25 Мбит/с	38,4 Мбит/с	51,2 Мбит/с	–	–
DVB-C2	2/3	–	31,4 Мбит/с	–	–	–
	3/4	–	–	47,1 Мбит/с	58,9 Мбит/с	–
	4/5	25,1 Мбит/с	37,7 Мбит/с	–	–	–
	5/6	–	–	52,4 Мбит/с	65,4 Мбит/с	78,6 Мбит/с
	9/10	28,3 Мбит/с	41,4 Мбит/с	56,6 Мбит/с	70,7 Мбит/с	84,8 Мбит/с

В отличие от стандартов эфирного вещания, стандарт DVB-C2 может не подчиняться жесткой частотной сетке, поскольку кабельная сеть является закрытой экранированной средой и нет необходимости координировать использование ее спектра с эфирными присвоениями. Напротив, можно гибко адаптировать полосу канала под свои конкретные потребности, что позволяет расширить полосу передаваемого сигнала для размещения в нем большего количества услуг. Чтобы не усложнять и не удорожать абонентское оборудование, реализуется сегментированный прием таких каналов, аналогичный используемому в японской системе эфирного телевидения ISDB-T [8.40]. Приемник со стандартной полосой пропускания извлекает из широкого пакета только необходимую часть спектра, не превышающую, например, 8 МГц.

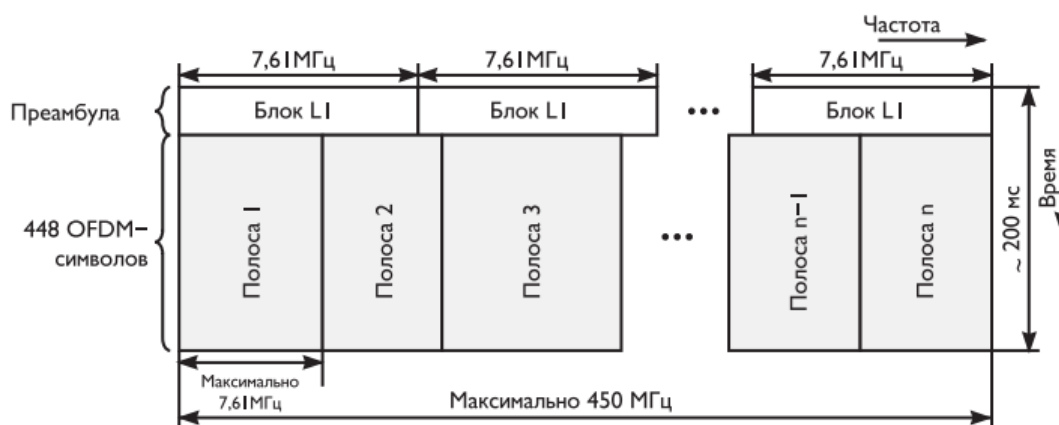


Рис. 4 - Структура кадра DVB-C2 в частотно-временной области.

Структура кадра DVB- C2 показана на рис.5. Каждый кадр C2 начинается с преамбулы, состоящей из одного или более OFDM-символов и выполняющей две основные функции. С одной стороны, она обеспечивает надежную временную и частотную синхронизацию OFDM- сигнала и самой структуры. С другой стороны, преамбула содержит сигнализацию уровня L1, необходимую для декодирования потоков данных и содержащейся в них полезной информации. Преамбула состоит из циклически передаваемых блоков сигнализации L1, повторяющихся в каждой полосе 7,61 МГц широкого канала. Фиксированное расположение блоков L1 и их повторение с шагом 7,61 МГц обеспечивают их прием при настройке тюнера на любые 8 МГц из занимаемого кадром диапазона.

Использование многопозиционной модуляции QAM (Quadrature Amplitude Modulation – квадратурная амплитудная модуляция), а также хорошего отношения S/N, который существенно снижает вероятность ошибок BER (Bit Error Rate – частота ошибочных бит) позволило внедрить цифровое телевидение в системы кабельного телевидения.

3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

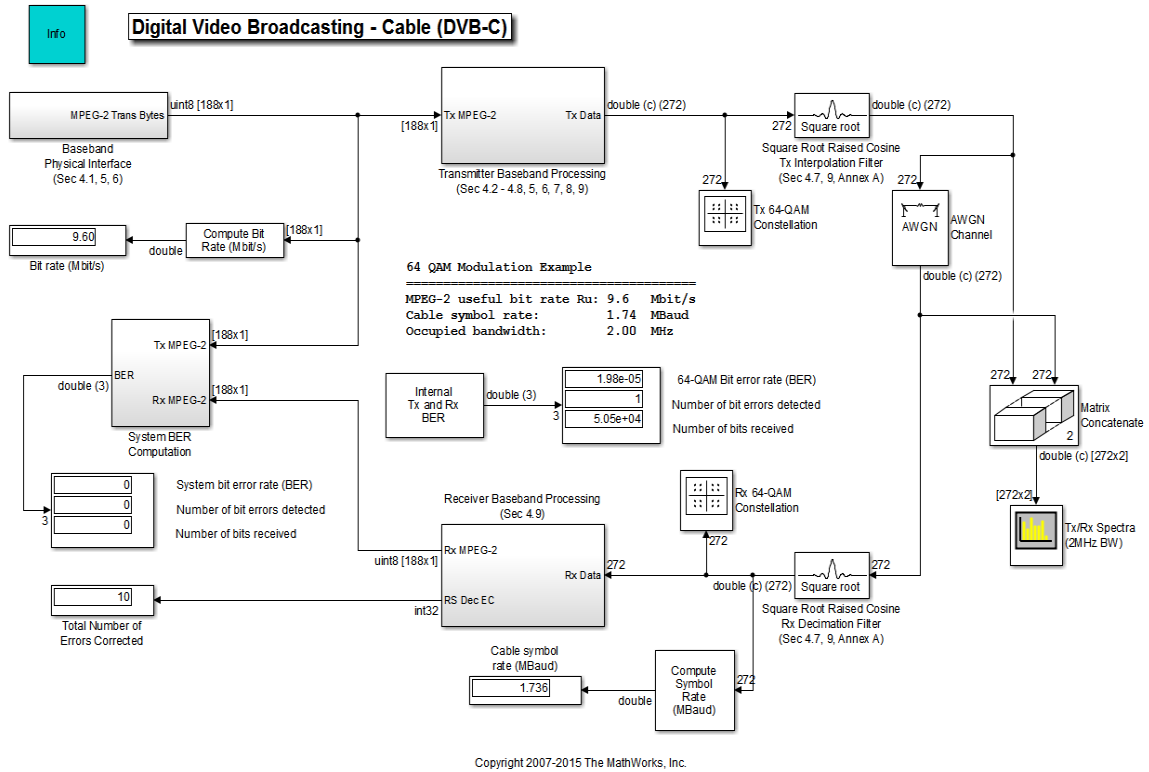


Рис. 5 - Структурная схема системы цифрового кабельного телевидения DVB-C в Simulink MATLAB

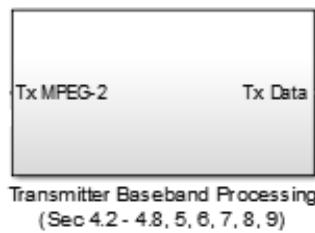


Рис. 6 - Блок имитация потока данных MPEG- 2

Внутри данного блока производится имитация потока данных MPEG- 2. Представленный на рис. блок включает в себя:

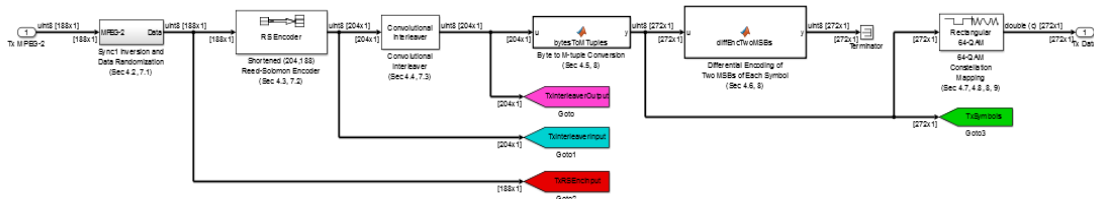


Рис. 7 - Блок передатчика

1. Sync1 Inversion and Randomization

Эта подсистема инвертирует байт, далее производится рандомизация с целью формирования спектра.

2. Кодировщик Рида-Соломона (204, 188).

Добавляет 16 паритетных байтов к MPEG-2.

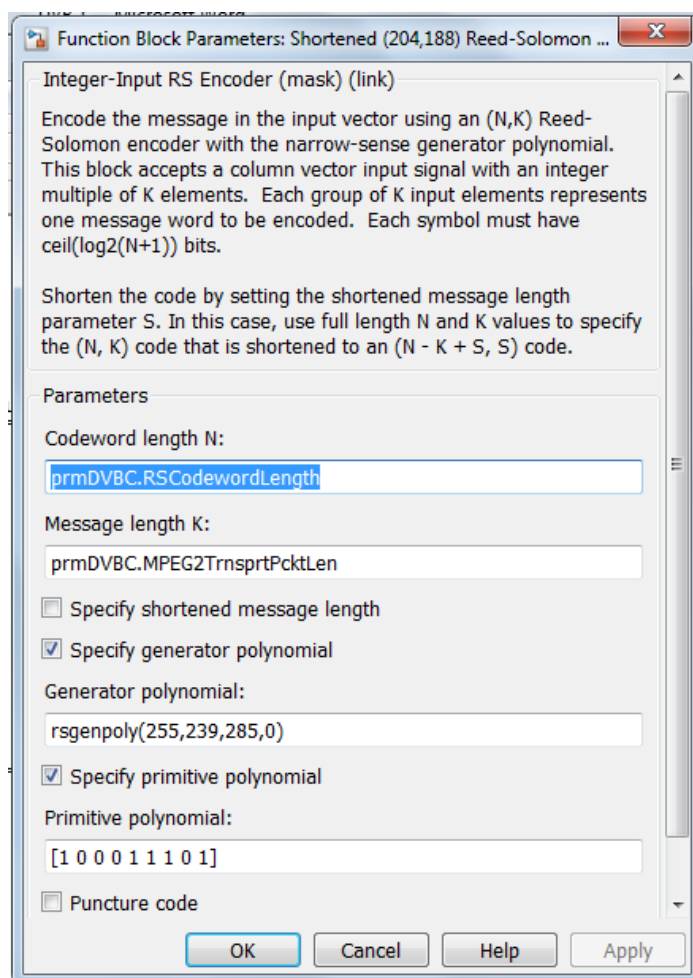


Рис. 8 - Кодировщик Рида-Соломона (204, 188)

3. Сверточный перемежитель.

Процесс перемежения основан на подходе Форни.

4. Байт (8 бит) с M- кортежами (6 -разрядная версия)

Используется, чтобы преобразовать 8-битные байты данных в 6-битные.

5. Дифференциальное кодирование.

6. Отображение 64-QAM созвездия.

Отображает в основной полосе частот значения (I и Q) при передаче.

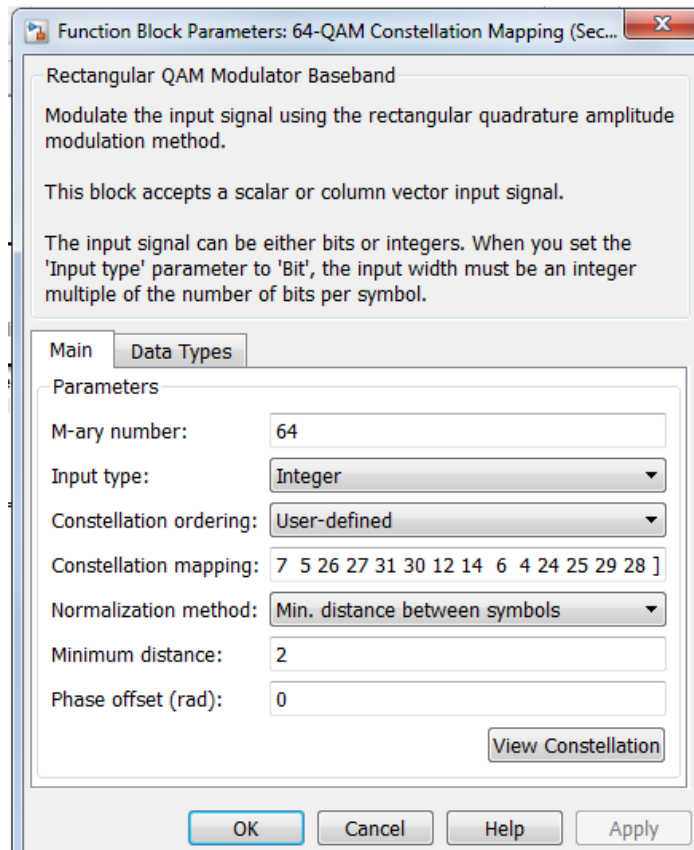


Рис. 9 - Отображение 64-QAM созвездия

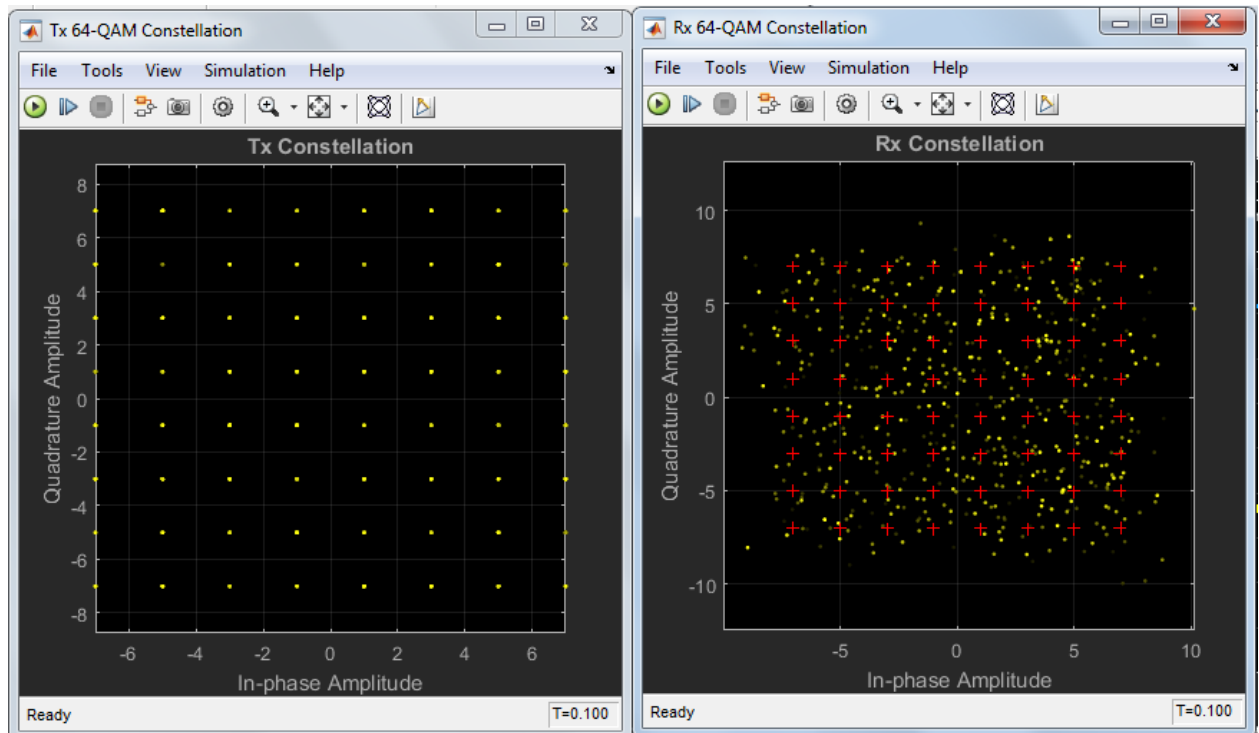


Рис. 10 - Созвездия передатчика и приёмника при SNR 5 дБ

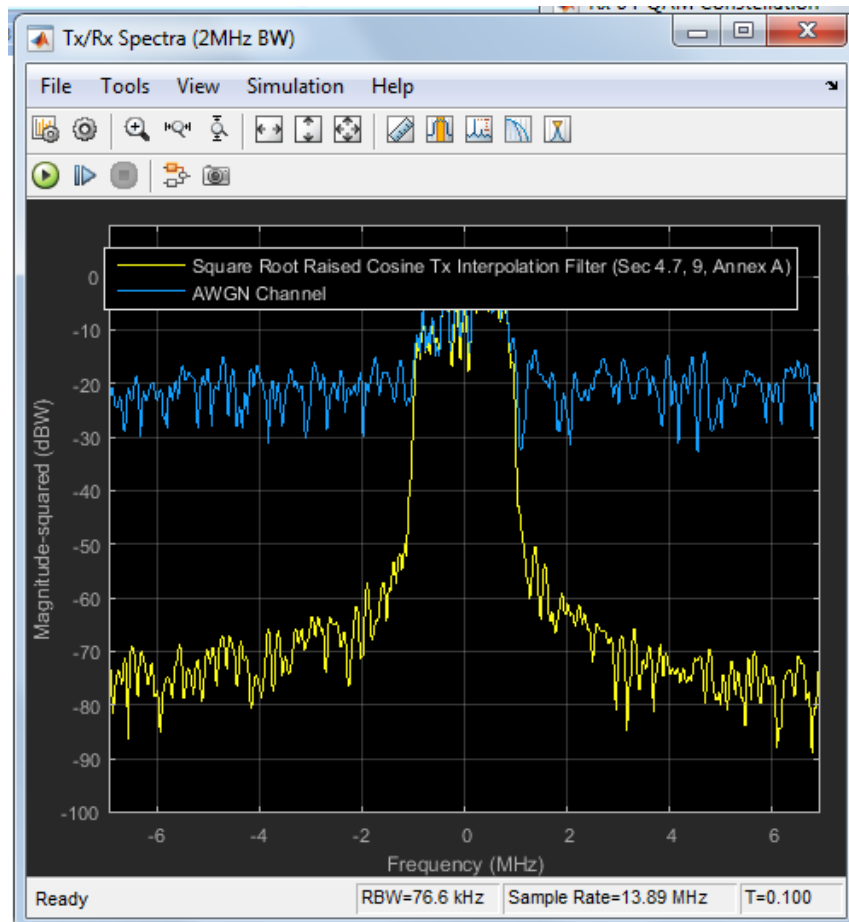


Рис. 11 - Спектр передатчика и приёмника при $E_b/N_0 = 5$ дБ

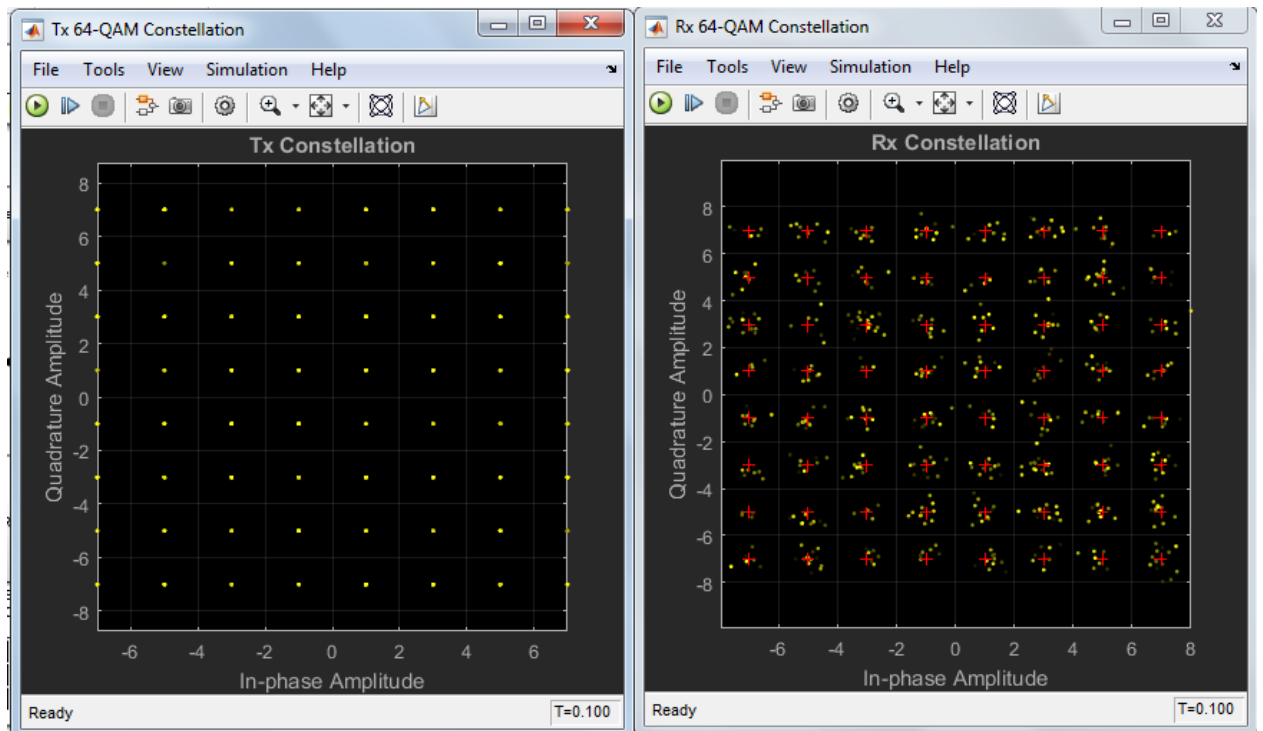


Рис. 12 - Созвездия передатчика и приёмника при SNR 15 дБ

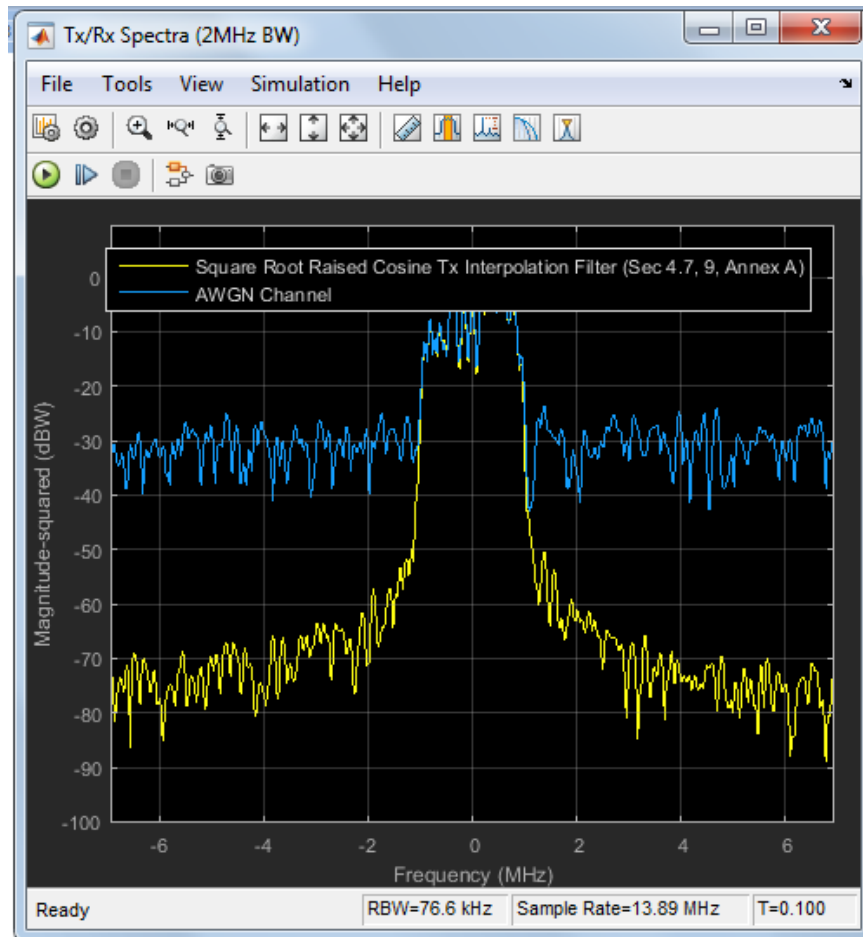


Рис. 13 - Спектр передатчика и приёмника при SNR 15 дБ

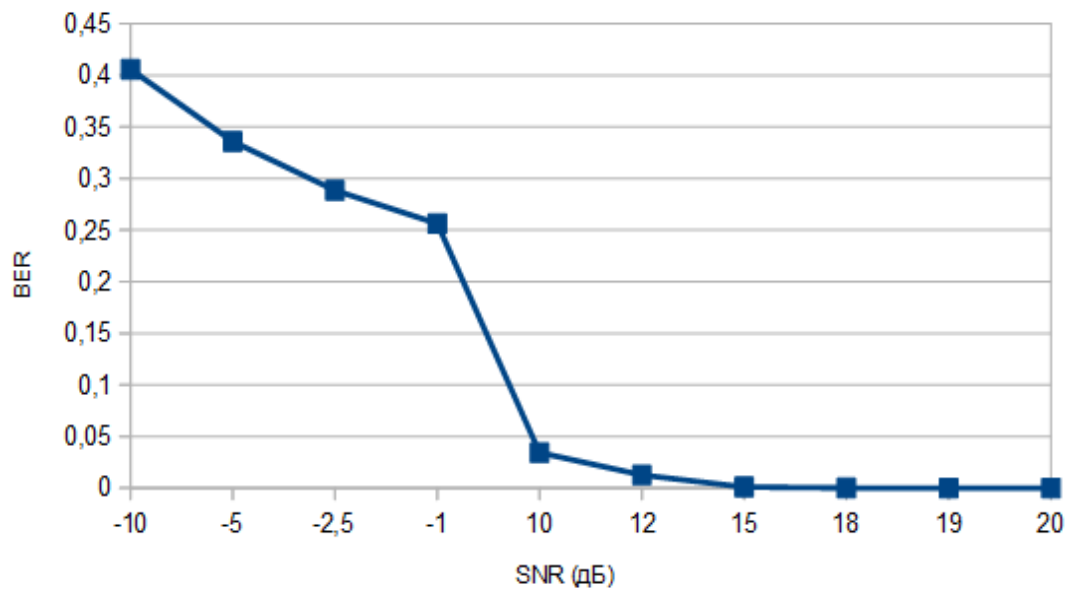


Рис. 14 - Зависимость BER(SNR) для QAM-64

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы: использование многопозиционной модуляции QAM (Quadrature Amplitude Modulation – квадратурная амплитудная модуляция), а также хорошего SNR, который существенно снижает BER (Bit Error Rate – частота ошибочных бит) позволило внедрить цифровое телевидение в системы кабельного телевидения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голиков А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: Учебное пособие / А.М. Голиков. - СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 452с.