

**Расчетно-математическая
модель модулятора-
демодулятора OFDM сигналов**

Цель и задачи

Цель: анализ и исследование расчетно-математической модели модулятора-демодулятора OFDM сигналов для случая когерентного приёма.

Задачи:

- Изучение литературы по теме курсовой работы.
- Обзор современных стандартов цифровой передачи информации на основе OFDM.
- Выбор наиболее перспективного и актуального стандарта.
- Изучение стандарта и приведение структурной схемы системы.
- Построение и изучение структурной схемы модулятора-демодулятора OFDM.
- Математический расчет модулятора-демодулятора OFDM.
- Изучение основ среды Matlab.

Технология OFDM

Ортогональное частотное мультиплексирование, обозначаемое аббревиатурой OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), обеспечивает значительное увеличение полосы пропускания радиоканала за счет улучшения спектральной эффективности.

Особенности:

- Применение OFDM позволяет увеличить скорость передачи без увеличения занимаемой полосы частот или уровня модуляции.
- OFDM сигнал объединяет множество узкополосных субканалов, каждый из которых может модулироваться на достаточно низкой скорости: низкая символьная скорость делает возможным использование защитного интервала между символами, что позволяет справляться с временным рассеянием и устранять межсимвольные искажения.
- В технологии OFDM поток передаваемых данных распределяется по множеству частотных ортогональных друг другу подканалов и передача ведется параллельно на всех подканалах. Ортогональность несущих сигналов гарантирует частотную независимость каналов друг от друга и, следовательно, отсутствие межканальной интерференции.

Стандарты, использующие технологию OFDM

- Стандарт цифрового видеовещания DVB-T: Digital Video Broadcasting
- Стандарт цифрового видеовещания 2-го поколения DVB-T2: Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial
- Стандарт цифрового радиовещания DRM, DRM+: Digital Radio Mondiale
- Технология мобильной передачи данных LTE: 3GPP Long Term Evolution
- Беспроводные локальные сети Wi-Fi и WiMAX: Wireless Local Area Network
- Универсальная Мобильная ТК Система UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

Ключевые особенности стандартов DVB-T/DVB-T2

Название стандарта	DVB-T	DVB-T2
Год ратификации	1997	2007
Диапазон частот (МГц)	174–230 470–862	–
Ширина полосы канала, B (МГц)	6, 7, 8	1.7, 5, 6, 7, 8, 10
Размер БПФ ($k=1024$)	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Количество задействованных поднесущих, N	Режим 2К: 1,705 Режим 8К: 6,817	853–27,841 (от 1К до 32К)
Схема модуляции поднесущих	QPSK, 16QAM или 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Длина символа, T_U (нс)	Режим 2К: 224 Режим 8К: 896	112–3,584 (от 1К до 32К для канал 8МГц)
Защитный интервал, T_G	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4

Ключевые особенности стандартов DVB-T/DVB-T2 (продолжение)

Название стандарта	DVB-T	DVB-T2
Частотный разнос между поднесущими,	Режим 2К: 4,464 Режим 8К: 1,116	279–8,929 (от 32К до 1К)
Скорость передачи данных (Мбит/с)	4.98–31.67 (типично 24.13)	Типично 35.4
Спектральная эффективность, R/B ((бит/с)/Гц)	0.62–4.0 (типично 3.0)	0.87–6.65
Внутренний корректирующий код	Свёрточный код 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	Низкоплотностный код 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Внешний корректирующий код	Код Рида-Соломона	Код Боуза-Чоудхури-Хоквингема

Структурная схема модулятора-демодулятора OFDM

Передатчик.

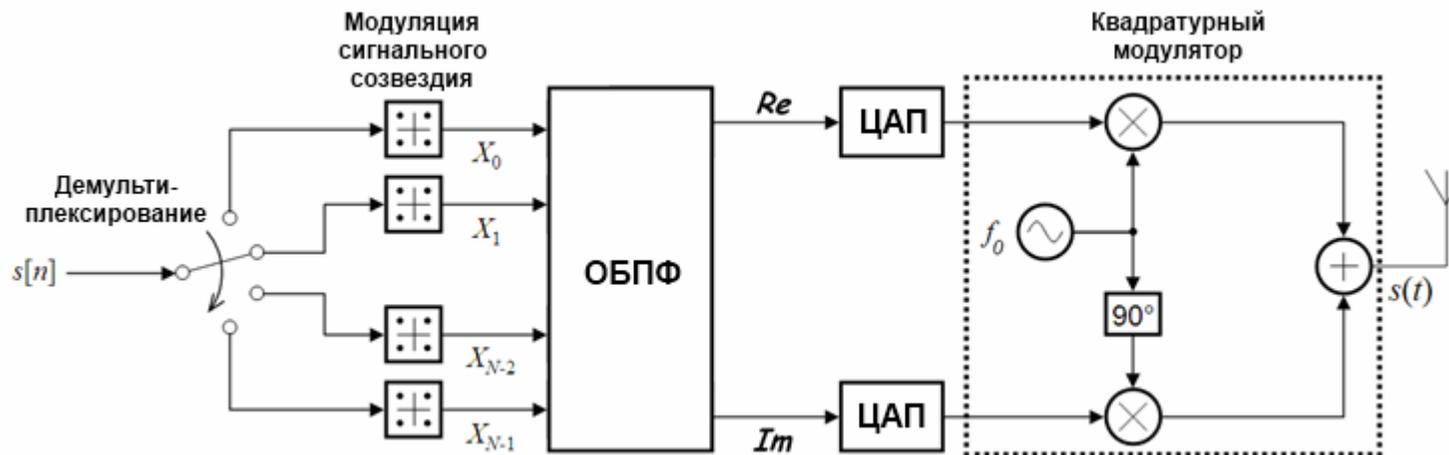


Схема идеального OFDM-модулятора

Структурная схема модулятора-демодулятора OFDM

Приёмник.

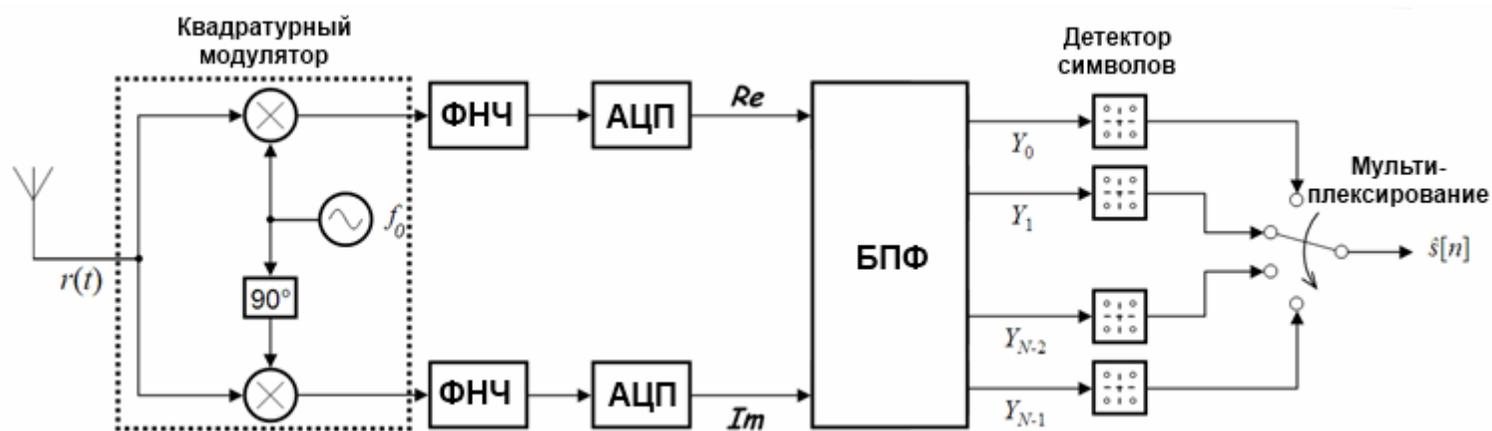
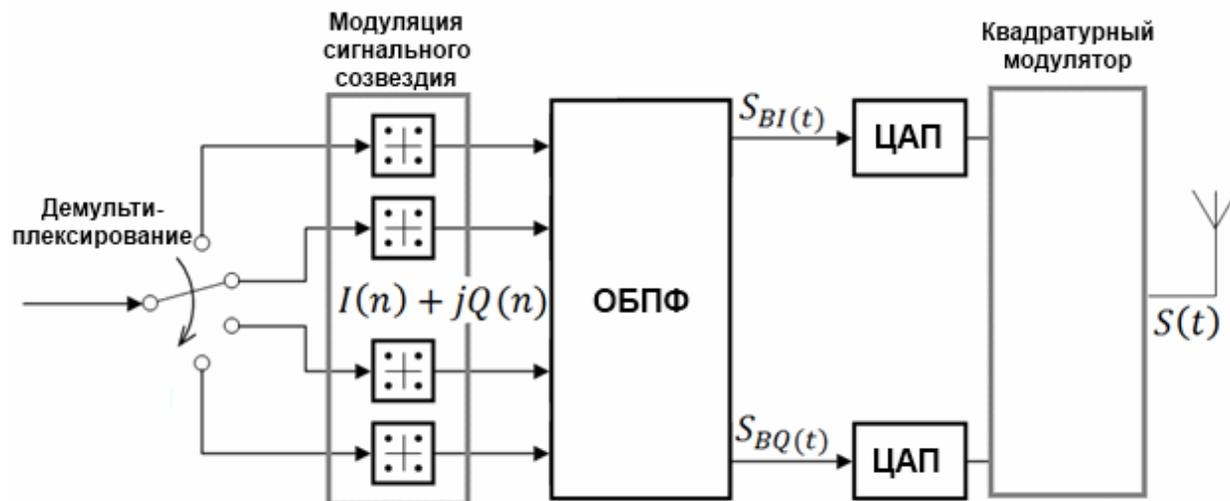


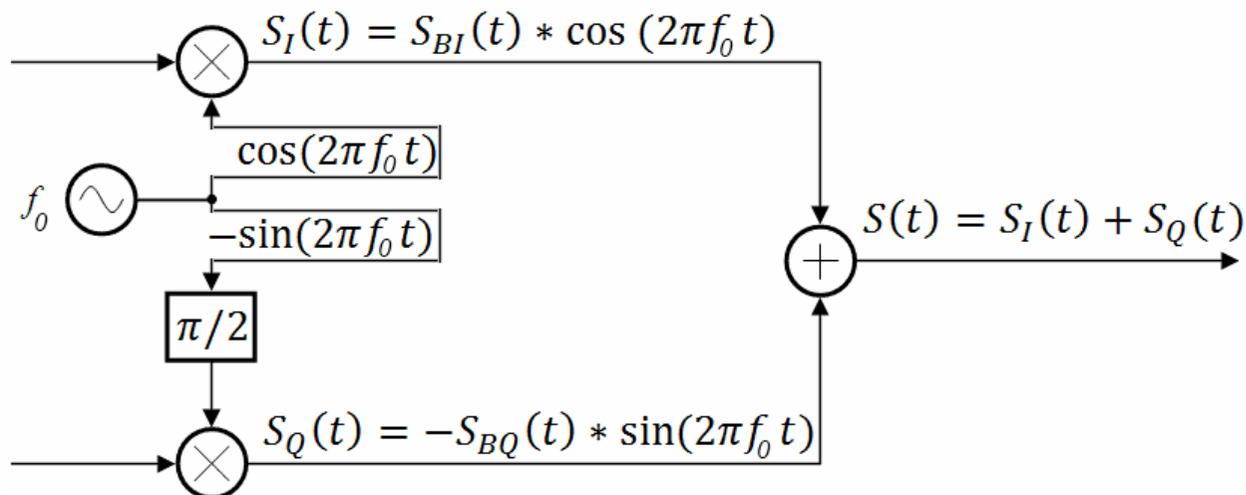
Схема идеального OFDM-демодулятора

Математическое описание модулятора-демодулятора OFDM

Модулятор OFDM
сигнала



Квадратурный
модулятор



Математическое описание модулятора-демодулятора OFDM

$$S(n) = I(n) + jQ(n) \quad (1)$$

Потоковый сигнал данных $S_B(t)$ является выходом обратного быстрого преобразования Фурье.

$$S_B(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} \{I(n) + jQ(n)\} * e^{j2\pi n f_c t} \quad (2)$$

$$S_B(t) = S_{BI}(t) + jS_{BQ}(t) \quad (3)$$



$$\left\{ \begin{array}{l} S_{BI}(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} \{I(n) \cos(2\pi n f_c t) - Q(n) \sin(2\pi n f_c t)\} \quad (4) \\ S_{BQ}(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} \{Q(n) \cos(2\pi n f_c t) + I(n) \sin(2\pi n f_c t)\} \quad (5) \end{array} \right.$$

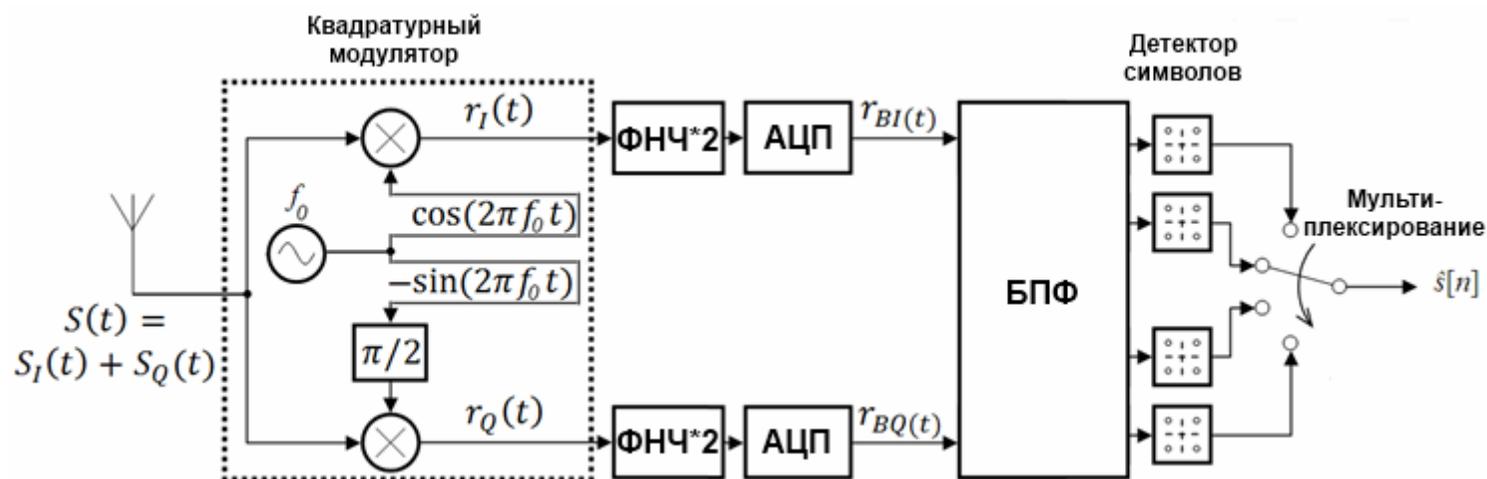
Математическое описание модулятора-демодулятора OFDM

Остается сложить два сигнала: $S_I(t)$ и $S_Q(t)$. В результате суммирования частоты взаимно исключаются, и получается следующее:

$$S(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} [I(n)\cos(2\pi(nf_c + f_0)t) - Q(n)\sin(2\pi(nf_c + f_0)t)] \quad (6)$$

Математическое описание модулятора-демодулятора OFDM

Демодулятор OFDM сигнала.



Входной сигнал раскладывается на составляющие посредством квадратурного модулятора.

Квадратурные составляющие сигнала получаются путем умножения входного сигнала $S(t)$ на косинус и минус-синус $2\pi f_0 t$:

$$r_I(t) = S(t) \cos(2\pi f_0 t) \quad (7)$$

$$r_Q(t) = -S(t) \sin(2\pi f_0 t) \quad (8)$$

Математическое описание модулятора-демодулятора OFDM

ФНЧ нужен для того, чтобы обрезать $2\pi(nf_c + 2f_0)t$ составляющие в сигналах $r_I(t)$ и $r_Q(t)$. Пропустив сигналы через ФНЧ*2, на выходе получаем:

$$r_{BI}(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} \{I(n) \cos(2\pi f_c t) - Q(n) \sin(2\pi f_c t)\} \quad (9)$$

$$r_{BQ}(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} \{Q(n) \cos(2\pi f_c t) - I(n) \sin(2\pi f_c t)\} \quad (10)$$

Сигнал после ФНЧ:

$$r_B(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} [\{I(n) + jQ(n)\} * \{\cos(2\pi f_c t) + j\sin(2\pi f_c t)\}] \quad (11)$$

Математическое описание модулятора-демодулятора OFDM

Используя формулу Эйлера, преобразуем сигнал после ФНЧ к виду:

$$r_B(t) = \sum_{n=-K_c}^{K_c} \{I(n) + jQ(n)\} e^{j2\pi n f_c t} \quad (12)$$

Проделав преобразование Фурье, получим $I(n)$ и $Q(n)$ исходного сигнала:

$$S(n) = I(n) + jQ(n) \quad (13)$$

Библиографический список

Основная литература.

- В. Лебедев, «Модуляция OFDM в радиосвязи», 2008 г.
- В. А. Серов, «Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H», БХВ-Петербург, 2010 г.
- К. Гласман, «Методы передачи данных в цифровом телевидении».
- И. Шахнович, «DVB-T2 – новый стандарт цифрового телевизионного вещания», Электроника 2009 г.

Дополнительная литература.

- Кацнельсон Л.Н, «Система цифрового радиовещания DRM», С-Пб.: ГУТ, 2003 г.
- В. О. Тихвинский, «Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура», 2010 г.
- В. Вишневский, «Энциклопедия WiMax», 2010 г.
- Х. Кааранен, «Сети UMTS», 2007 г.
- И. Е. Ануфриев, «MATLAB 7», СПб.: БХВ-Петербург, 2005 г.
- В. П. Дьяконов, «MATLAB 7.*/R2006/R2007: Самоучитель», М.: ДМК Пресс, 2008 г.