

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В.В. Капустин

**УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ
СИГНАЛОВ**

Методические указания для выполнения лабораторных работ
для направлений подготовки

11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Томск
2022

УДК 621.397.44
ББК 32.940.2я73
К20

Рецензент:

Ильин А. Г., доцент кафедры телевидения и управления ТУСУР
канд. техн. наук

Капустин, Вячеслав Валериевич

К 20 Устройства генерирования и формирования цифровых сигналов:
методические указания: по методике выполнения лабораторных работ / В. В.
Капустин. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022.
– 27 с.

Настоящие методические указания содержат материалы по методике выполнения лабораторных работ по предмету «Устройства генерирования и формирования цифровых сигналов», предназначено для студентов направлений подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Одобрено на заседании каф. ТУ протокол № 5 от 10.04.2022

УДК621.397.44
ББК 32.940.2я73

© Капустин В. В., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2022

Содержание

1. Вводная часть	4
1.1 Основные особенности стандарт DVB-T	4
1.2 Описание лабораторного макета	6
2. Лабораторная работа № 1 Изучение лабораторного макета, измерение параметров сигнала стандарта DVB-T	11
2.1. Методика проведения эксперимента.....	11
2.2. Порядок выполнения работы	12
2.4. Контрольные вопросы	13
3. Лабораторная работа № 2 Исследование помехоустойчивости сигналов стандарта DVB-T/T2	14
3.1. Методика проведения эксперимента.....	14
3.2. Порядок выполнения работы	15
3.3. Содержание отчёта	16
3.4. Контрольные вопросы	16
4. Лабораторная работа № 3 Расчет зоны покрытия в зависимости от требуемой пропускной способности канала передачи.	17
4.1. Методика проведения эксперимента.....	17
4.2. Порядок выполнения работы	20
4.3. Содержание отчёта	21
4.4. Контрольные вопросы	21
5. Лабораторная работа №4 Расчет зоны покрытия цифрового передатчика стандарта DVB-T в программе radio mobile.	22
5.1. Методика проведения эксперимента.....	22
5.2. Порядок выполнения работы	23
5.3. Содержание отчёта	26
5.4. Контрольные вопросы	26
Литература.....	27

1. Вводная часть

1.1 Основные особенности стандарт DVB-T

Для передачи информации в системе вещания DVB-T используется модуляция OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирование с разделением на ортогональные частоты). В рабочей полосе частот OFDM сигнал представляет собой набор несущих, каждая из которых модулирована по амплитуде и фазе. Стандартом предусмотрено использование нескольких способов модуляции несущих – QPSK (или 4-QAM), 16-QAM, 64-QAM.

Информация от передатчика DVB-T передается порциями – символами.

Символ – это многочастотный сигнал, у которого во время всей его длительности (TS) амплитуды и фазы несущих остаются неизменными.

Интервал TS состоит из двух компонентов: интервала TU, во время которого передаются входные данные передатчика, то есть полезная информация (интервал TU и называется «полезным»), и защитного интервала TG. Защитный интервал представляет собой копию, или циклическое повторение части полезного интервала, которая вставляется перед полезным. Применение защитного интервала позволяет существенно повысить устойчивость приема в условиях многолучевого распространения сигнала. Отраженные сигналы попавшие в защитный интервал не вызывают межсимвольной интерференции. Искажения внутри символа, обусловленные многолучевым распространением радиоволн, эффективно компенсируются встроенным эквалайзером приемника благодаря информации, которая содержится в пилот-тонах, передаваемых в OFDM сигнале.

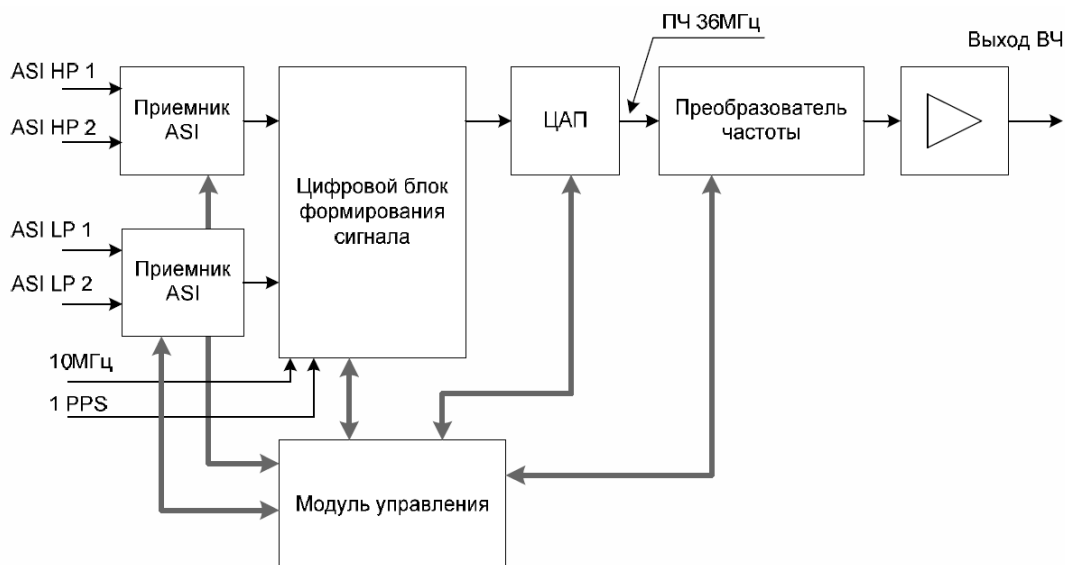


Рисунок 1.1 – Структурная схема модулятора DVB-T

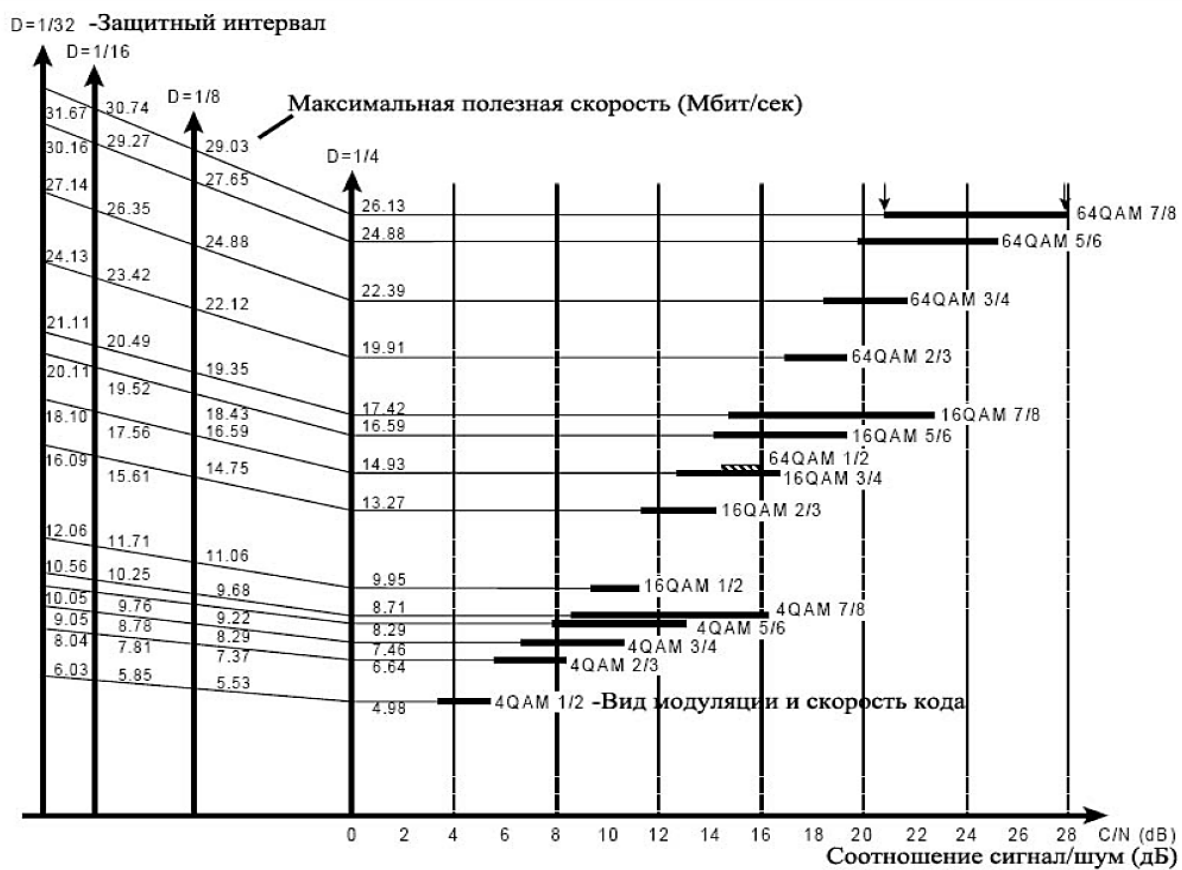


Рисунок 1.2 – Соотношение пропускной способности и помехоустойчивости сигнала DVB-T

1.2 Описание лабораторного макета

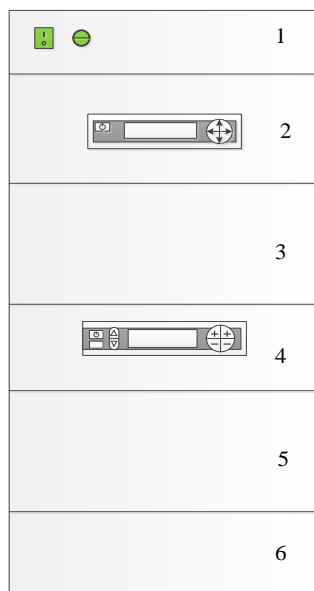


Рисунок 1.3 – Схематическое изображение лабораторной стойки

- 1- Кнопки включения выключения формирователя и усилителя
- 2- Формирователь сигнала
- 3- Эквивалент нагрузки
- 4- Усилитель мощности
- 5- Воздушное охлаждение
- 6- Автоматы питания

Формирователь сигнала имеет панель управления, отражающую параметры сигнала, которые можно изменять. Переключение параметров происходит с помощью курсоров.



Рисунок 1.4 – Панель управления формирователя сигнала

Доступные параметры:

- 1) номер канала (Polaris TVT UHF-номер канала);
- 2) выходная мощность (Output power) в режиме;
- 3) вход транспортного потока MPEG-2 (ASI1, ASI2) 75 Ом;
- 4) режим модуляции (FFT size): 2k, 4k, 8k;
- 5) защитный интервал (Guard Time): 1/4, 1/8, 1/16, 1/32;

- 6) иерархическая модуляция (Alpha): 1, 2, 4;
- 7) вид модуляции несущих (Constellation): QPSK, 16-QAM, 64-QAM;
- 8) скорость кода (FEC) высокого и низкого потока (HP stream, LP stream): 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8;
- 9) полоса частот (Output bandwidth): 5, 6, 7, 8 МГц;

Усилитель мощности так же имеет панель управления, на которой располагаются курсоры управления параметрами.



Рисунок 1.5 – Панель управления усилителя мощности

Доступные параметры:

- 1) выходная мощность ($P_{\text{вых}}$);
- 2) средняя выходная мощность ($P_{\text{вых ср}}$);
- 3) средняя входная мощность ($P_{\text{вх ср}}$);
- 4) мощность отраженного сигнала ($P_{\text{отр}}$);
- 5) коэффициент передачи усилителя (k_p);
- 6) температуры усилителя (t_1, t_2).

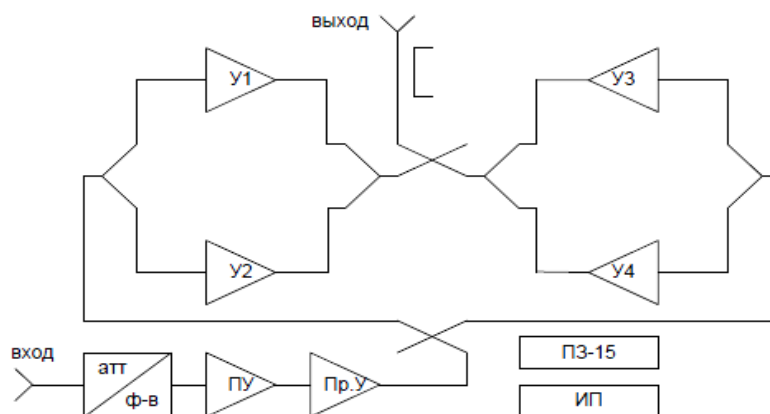


Рисунок 1.6 – Структурная схема УМ «Полярис TVA».

Анализатор сигналов IT-15T2 предназначен для измерения параметров телевизионных каналов с аналоговой модуляцией. Для телевизионного сигнала стандарта DVB-T измеритель позволяет измерять показатели качества приема – коэффициент ошибок модуляции цифрового потока MER, частоту появления ошибочных битов BER до декодера Витерби, частоту появления ошибочных битов BER после декодера Витерби, счетчик ошибочных пакетов после декодера Рида-Соломона, констелляционную (звездную) диаграмму, а также импульсную характеристику канала (эхо диаграмму). Для телевизионного сигнала стандарта DVB-T2 измеритель позволяет измерять параметры: MER, BER до и после декодера LDPC, счетчик ошибочных пакетов после декодера BCH, звездную и эхо диаграммы.

Измеритель ИТ-15Т2 можно подключать к персональному компьютеру для получения доступа к дополнительным сервисным режимам.



Рисунок 1.7 – Анализатор сигналов DVB-T/T2





Расположение органов управления, регулировки и индикации показано на рисунке 7.


Назначение органов управления следующее:


а) Группа функциональных кнопок F1, F2 и F3 предназначены для выбора команды, предлагаемой на дисплее измерителя;



б) Кнопка  предназначена для перехода на предыдущий уровень меню;

в) Кнопка * предназначена для вызова меню управления источником питания внешних устройств;

г) Кнопки  и ,  и  предназначены для управления текущим режимом работы;

д) Кнопка  предназначена для подтверждения действия, а также для сброса результатов измерения в режимах измерения;

е) Кнопка  предназначена для включения и выключения питания измерителя.

Меню выбора режима работы предназначено для выбора одного из режимов работы измерителя, и реализовано в виде набора пиктограмм, каждая из которых соответствует определенному режиму работы. После включения прибора на экране графического дисплея отображается основное меню выбора режима работы, изображенное на рисунке 1.8 а. Основное меню прибора состоит из двух строк, переключение между которыми осуществляется с помощью кнопок  и . Вторая строка меню изображена на рисунке 1.8 б.

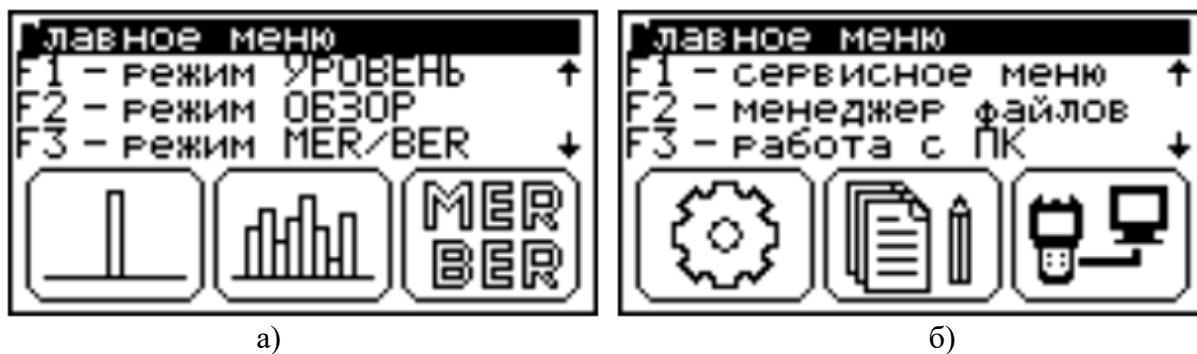


Рисунок 1.8 – а) основное меню прибора; б) вторая строка меню

- 1) - режим измерения Уровень;
- 2) - режим измерения Обзор;
- 3) - режим измерения MER, BER;
- 4) - сервисное меню прибора;
- 5) - меню записной книжки прибора;
- 6) - режим работы с ПК.

Измерение в режиме Уровень:

В этом режиме производится измерение уровня радиосигнала в частотной точке, параметры телевизионного канала с аналоговой и цифровой модуляцией, а также напряжение ДПКС (дистанционное питание кабельной сети) на входе прибора.

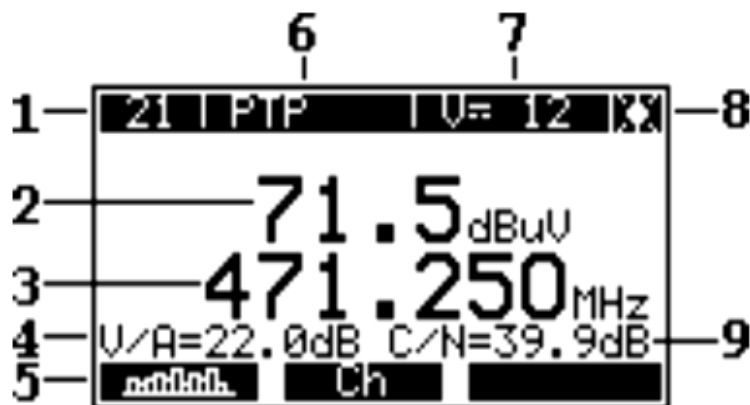


Рисунок 1.9 – Внешний вид режима измерения Уровень

На экране графического дисплея отображается следующая информация:

- 1 – номер канала согласно установленной системе распределения каналов;
- 2 – уровень канала в дБмкВ, дБмВ или дБмВт;

- 3 – частота настройки на канал в МГц;
- 4 – отношение уровня видео к уровню звуковой поднесущей в дБ для аналогового канала;
- 5 – панель функциональных кнопок для доступа к дополнительным режимам и настроек;
- 6 – имя канала согласно выбранному каналному плану;
- 7 – величина напряжения ДПКС на входном разъеме;
- 8 – значок статуса ИПВУ (источник питания внешних устройств);
- 9 – отношение уровня видео к уровню шума для аналогового канала.

Измерение в режиме MER/BER:

В этом режиме на экране графического дисплея отображаются показатели качества приема каналов с DVB-T и DVB-T2 модуляцией в табличном виде.

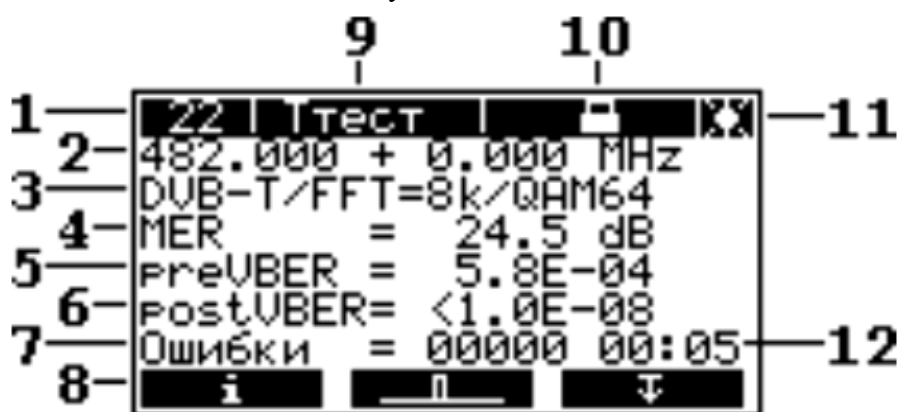


Рисунок 1.10 – Внешний вид режима измерения MER/BER

На экране графического дисплея отображается следующая информация:

- 1 – номер канала согласно установленной системе распределения каналов;
- 2 – частота настройки на канал и смещение частоты канала относительно частоты настройки в МГц;
- 3 – основные параметры модуляции канала: тип канала (DVB-T или DVB-T2), режим FFT канала, тип модуляции поднесущих DVB-T канала либо номер текущего PLP потока DVB-T2 канала;
- 4 – значение MER;
- 5 – значение BER до декодера Витерби для DVB-T канала (preVBER) или значение BER до декодера LDPC для DVB-T2 канала (preLBER);
- 6 – значение BER после декодера Витерби для DVB-T канала (postVBER) или значение BER после декодера LDPC для DVB-T2 канала (postLBER);
- 7 – значение счетчика ошибочных пакетов после декодера Рида-Соломона для DVB-T канала или декодера BCH для DVB-T2 канала;
- 8 – панель функциональных кнопок для доступа к дополнительным режимам и настроек;
- 9 – имя канала согласно выбранному каналному плану;
- 10 – значок синхронизации измерителя с каналом;
- 11 – значок статуса ИПВУ;
- 12 – время измерения канала.

2. Лабораторная работа № 1 Изучение лабораторного макета, измерение параметров сигнала стандарта DVB-T

Цель работы: Знакомство с лабораторным макетом, измерение сигнала стандарта DVB-T.

2.1. Методика проведения эксперимента

При проведении данной работы используются лабораторный макет, формирователь DVB-T, сплиттер, аттенюатор 40дБ, усилитель, эквивалент нагрузки, анализатор сигналов IT-15T2, ступенчатый аттенюатор, ПК (рисунок 2.1).

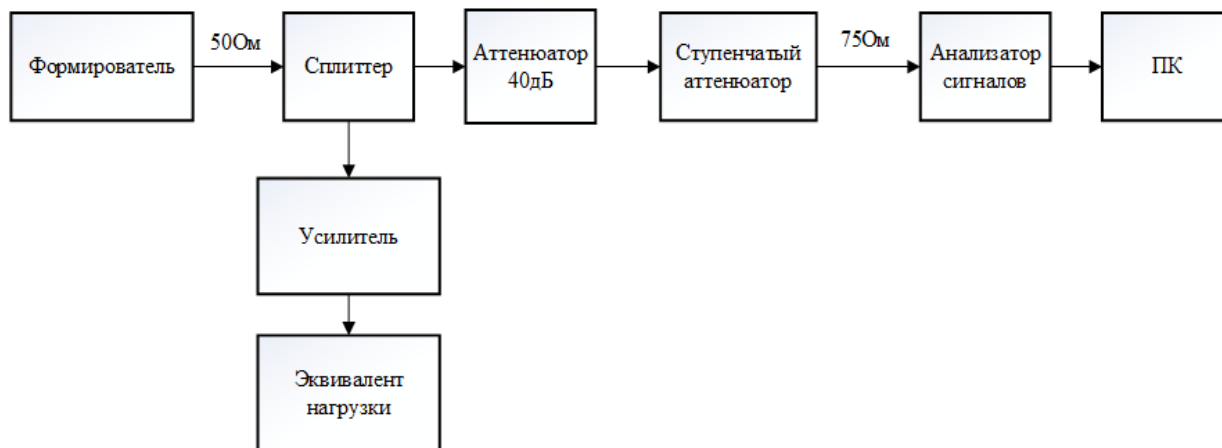


Рисунок 2.1 – Схема эксперимента.

Главное содержание лабораторной работы состоит в следующем:

а) во-первых, изучение работы формирователя сигналов телевизионного передатчика стандарта DVB-T и установка параметров для разных режимов передачи сигнала стандарта DVB-T.

б) во-вторых, изучение работы усилителя сигналов телевизионного передатчика стандарта DVB-T.

в) в-третьих, освоение анализатора сигналов IT-15T2, и измерение основных параметров сигналов стандарта DVB-T.

Примечание: выход формирователя имеет волновое сопротивление 50 Ом, вход анализатора имеет волновое сопротивление 75 Ом, таким образом, в линии передачи сигнала будут наблюдаться переотражения сигнала, а значение KCB будет равно 1,5.

2.2. Порядок выполнения работы

Перед началом работы изучить данное описание и инструкцию пользования анализатором IT-15T2.

4.1. Изучить настройки формирователя, путем переключения клавиш на панели управления.

4.1.1. Занести в отчет начальные установки формирователя: номер канала, количество несущих, тип модуляции, защитный интервал, кодовую скорость.

4.1.2. Измерить анализатором IT15-T2 уровень сигнала, значение MER, PreVBER, PostVBER, полученные значения занести в отчет.

4.1.3. Включить усилитель, записать значение средней мощности ($P_{\text{вых ср}}$) в децибелах относительно номинала, при помощи клавиш управления переключится в меню управления коэффициентом передачи усилителя (K_p), записать значение K_p .

4.1.4. Рассчитать текущую мощность усилителя в ваттах.

Примечание: Мощность в ваттах рассчитывается относительно номинальной мощности, равной 100 Вт.

4.1.5. Зафиксировать значение температуры усилителя в меню управления.

4.1.6. Путем изменения значения K_p и шкалы мощности формирователя, установить номинальную мощность усилителя (100Вт).

4.1.7. Зафиксировать значение температуры усилителя (t_1 , t_2).

4.1.8. Выключить усилитель

4.2. Запустить на ПК программу ItToolsT2.

4.2.1. Перевести анализатор IT-15T2 в режим «работа с ПК»

4.2.2. Изучить и зафиксировать в отчете спектр сигнала в диапазоне 52,5 – 855,25 МГц.

4.2.3. Выделить в диаграмме каналов основной сигнал формирователя

4.2.4. Вывести на экран звездную диаграмму основного сигнала формирователя, зафиксировать звездную диаграмму и параметры качества сигнала в отчете.

4.2.5. Изменяя виды модуляции на панели управления формирователя, зафиксировать в отчете звездную диаграмму для QPSK, 16-QAM и 64-QAM.

4.2.6. Определить по спектру количество переотраженных сигналов формирователя, зафиксировать в отчете номера каналов, на которых имеется переотраженная копия основного сигнала формирователя, зафиксировать их уровень и при возможности значения MER, PreVBER, PostVBER, количество ошибок.

4.2.7. Зафиксировать в отчете эхо-диаграмму основного канала формирователя.

4.2.8. Установить параметры модулятора в режим максимальной пропускной способности.

4.2.9. В случае если значение $MER > 35\text{дБ}$, при помощи ступенчатых аттенюаторов, постепенно ослаблять сигнал до уровня, когда значение MER основного сигнала формирователя, станет менее 35дБ. Занести полученное значение внесенного ослабления, уровня сигнала, MER, PreVBER, PostVBER в отчет. Если значение $MER < 35\text{дБ}$ в режиме максимальной пропускной способности, изменить настройки формирователя для достижения лучшей помехоустойчивости сигнала, таким образом, что бы максимально повысить значение MER.

4.2.10. Изменяя параметр α (Alpha), рассмотреть иерархическую модуляцию, зафиксировать и объяснить изменения в звездной диаграмме.

2.3. Содержание отчёта

1. Схема макета.
2. Методика проведения эксперимента с краткими пояснениями.
3. Экспериментальные звездные диаграммы с краткими пояснениями.
4. Выводы по каждому пункту выполненной работы.

2.4. Контрольные вопросы

1. При каких настройках формирователя, будет обеспечена максимальная пропускная способность канала?
2. При каких настройках формирователя, будет обеспечена максимальная помехоустойчивость канала?
3. В результате чего в канале передачи от формирователя к анализатору возникают переотражения сигналов?
4. Что влияет на уровень MER в канале передачи лабораторного макета?
5. Принцип работы иерархической модуляции?

3. Лабораторная работа № 2 Исследование помехоустойчивости сигналов стандарта DVB-T/T2

Цель работы: Исследовать помехоустойчивость сигналов стандарта DVB-T/T2.

3.1. Методика проведения эксперимента

При проведении данной работы используются лабораторный макет, формирователь DVB-T, аттенюатор 40дБ для ослабления сигнала формирователя, сумматор для суммирования сигнала формирователя с сигналами эфирного вещания, ступенчатый аттенюатор для регулируемого ослабления сигналов, сплиттер для деления сигнала, анализатор сигналов IT-15T2, ПК, приемник сигналов DVB-T/T2, телевизор (рисунок 3.1).

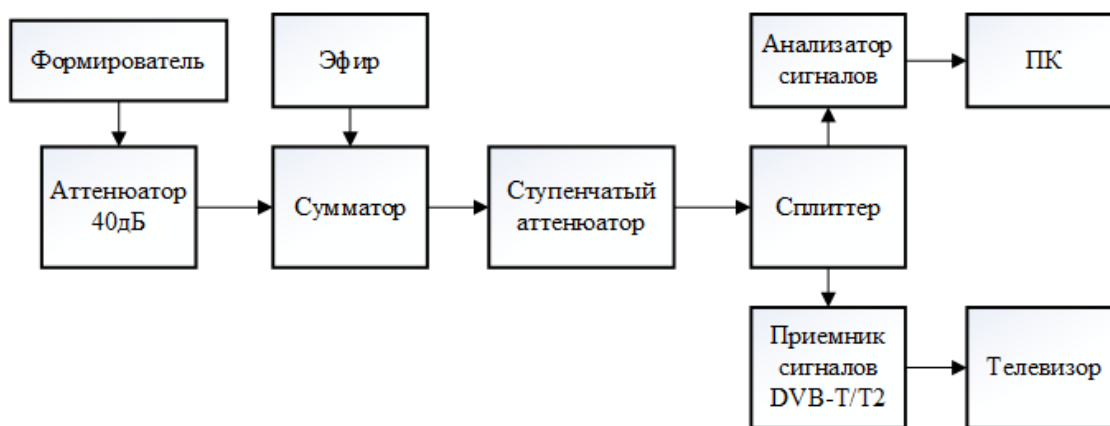


Рисунок 3.1 – Схема эксперимента

Главное содержание лабораторной работы состоит в следующем:

- а) во-первых, изучение помехоустойчивости сигналов стандарта DVB-T/2.
- б) во-вторых, изучение структуры сигналов стандарта DVB-T2.
- в) в-третьих, проведение эксперимента для определения пороговых значений уровня сигнала, при которых, приемник сможет дешифровать эфирный цифровой телевизионный канал стандарта DVB-T2.

Примечание: сигнал формирователя просуммирован с сигналами эфирного вещания. Таким образом, на вход приемника и анализатора сигналов через сплиттер подается сумма сигналов эфирного вещания и сигнал формирователя с переотражениями из-за несогласованности входа приемника и выхода формирователя.

3.2. Порядок выполнения работы

2.1. Запустить на ПК программу ItToolsT2.

2.1.1. Перевести анализатор IT-15T2 в режим «работа с ПК»

2.1.2. Установить и зафиксировать в отчете спектр сигнала в диапазоне 52,5 – 855,25 МГц.

2.1.3. Определить по диаграмме каналов, количество цифровых каналов присутствующих в сигнале (эфир + сигнал формирователя).

2.1.4. Зафиксировать в отчете параметры, основного сигнала формирователя (уровень, MER, PreVBER, PostVBER, защитный интервал, кодовую скорость, тип модуляции, количество несущих).

2.1.5. Изменяя параметры передачи формирователя, добиться максимального значения PreVBER для основного сигнала формирователя, зафиксировать параметры формирователя и значения PreVBER, MER в отчете.

2.1.6. Определить ключевой параметр формирователя, существенно влияющий на значение PreVBER.

2.1.7. Определить ключевой параметр формирователя, существенно влияющий на значение PostVBER.

2.1.8. Изучить структуру и занести в отчет параметры цифровых каналов полученных из эфира (мощность сигнала, количество несущих, защитный интервал, количество PLP, тип модуляции и кодовая скорость используемые в PLP).

2.1.9. Зафиксировать в отчете эхо-диаграммы цифровых каналов полученных из эфира.

2.2. Включить телевизор и приемник сигналов DVB-T/T2.

2.2.1. Выбрать цифровой канал, поступающий из эфира для проведения эксперимента.

2.2.2. Настроить приемник в режиме ручной настройки для поиска программ в выбранном в предыдущем пункте канале.

2.2.3. При помощи ступенчатого аттенюатора вносить постепенное ослабление в сигнал с шагом 3дБ, фиксируя параметры принимаемого канала в таблицу 3.1.

2.2.4. Визуально контролируя качество принимаемого изображения, определить пороговое значение уровня сигнала, MER, BER, при котором изображение начнет рассыпаться.

Таблица 3.1

Параметры канала	№ канала		FFT		ЗИ		FEC		Тип модуляции			
d, ослабление дБ	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
U, уровень, дБмкВ												
MER, дБ												
preVBER												
postVBER												
Ошибки												

3.3. Содержание отчёта

1. Схема макета.
2. Методика проведения эксперимента с краткими пояснениями.
3. Экспериментальные звездные диаграммы с краткими пояснениями.
4. Выводы по каждому пункту выполненной работы.

3.4. Контрольные вопросы

1. Какой параметр формирователя вносит существенное влияние на значение PreVBER?
2. Какой параметр формирователя вносит существенное влияние на значение PostVBER?
3. В чем отличия основные отличия стандарта DVB-T2 от DVB-T?

4. Лабораторная работа № 3 Расчет зоны покрытия в зависимости от требуемой пропускной способности канала передачи.

Цель работы: Выполнить расчет пропускной способности канала передачи, в зависимости от установок передатчика. Выполнить расчет зоны покрытия при определенных требованиях к пропускной способности канала передачи.

4.1. Методика проведения эксперимента

При проведении данной работы используются лабораторный макет, формирователь DVB-T, аттенюатор 40дБ для ослабления сигнала формирователя, сумматор для суммирования сигнала формирователя с сигналами эфирного вещания, ступенчатый аттенюатор для регулируемого ослабления сигналов, анализатор сигналов IT-15T2, ПК (рисунок 4.1).

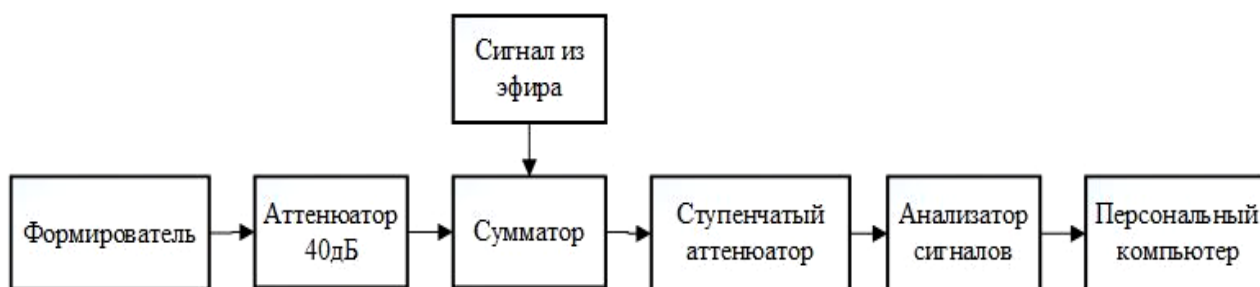


Рисунок 4.1 – Схема эксперимента

Главное содержание лабораторной работы состоит в следующем:

- а) во-первых, научиться рассчитывать пропускную способность сигнала DVB-T в зависимости от установок формирователя.
- б) во-вторых, провести эксперимент и рассчитать зону покрытия сигнала DVB-T при определенных условиях по пропускной способности и помехоустойчивости канала передачи.

Расчет пропускной способности канала

Каждый символ COFDM состоит из несущих, каждая из которых кодирует 2, 4 или 6 бит (QPSK, 16QAM или 64QAM).

Число несущих, передающих полезную информацию в стандарте DVB-T, зависит только от режима и равно 1512 для режима 2k и 6048 для режима 8k.

Длительность передачи символа COFDM в режиме 8k составляет 896 мкс, в режиме 2k длительность символа в 4 раза меньше и составляет 224 мкс.

Таким образом, поскольку число "полезных" несущих в обоих режимах отличается ровно в четыре раза и длительность символа COFDM при переходе от режима к режиму также меняется в четыре раза, то такой важный параметр, как частота следования символов данных RS, оказывается в двух режимах одинаковым и равным 6,75 миллионам символов в секунду ($RS = 1512 / 224 \text{ мкс} = 6048 / 896 \text{ мкс} = 6,75 \text{ МГц} = 6,75 \text{ Мегасимвол/с}$).

Используя величину RS, нетрудно найти скорость передачи данных в разных режимах и при различных сочетаниях параметров системы DVB-T: $RSU = RS * b * FEC * CRRS * (TU/TS)$ (здесь b - количество битов, передаваемых в одном символе с помощью одной несущей, FEC - скорость внутреннего сверточного кода, CRRS

- скорость внешнего кода Рида-Соломона, равная 188/204, (TU/TS) - отношение длительности полезного интервала к общей длительности символа.

Таблица 4.1. Длительность символов для разных параметров модуляции

Режим	Защитный интервал	Длительность символа, мкс	Длительность защитного интервала, мкс	Суммарная длительность символа и защитного интервала, мкс
8к	1/4	896	224	1120
	1/8		112	1008
	1/16		56	952
	1/32		28	924
2к	1/4	224	56	280
	1/8		28	252
	1/16		14	238
	1/32		7	231

Расчет зоны покрытия

В свободном пространстве напряжённость поля E уменьшается линейно с удалением от источника энергии. Если, предположим, источник энергии даёт на расстоянии 1 км напряжённость $E=1000$ мкВ/м, то на расстоянии 10 км напряжённость составит 100 мкВ/м, на расстоянии 1000 км - 1 мкВ/м».

Для расчета расстояния, на котором прием сигнала формирователя будет удовлетворять минимальным требованиям по значению PostVBER прием следующие условия.

Пусть текущий уровень сигнала формирователя без ослаблений является уровнем сигнала на расстоянии 1 километре от передатчика. Таким образом, зная начальный уровень сигнала на расстоянии 1 км от передатчика и вносимое ослабление ступенчатым аттенюатором, можем привязать значение ослабления к расстоянию.

Пример: На расстоянии 1 км имеем уровень сигнала 60дБмкв, на расстоянии 2км уровень сигнала станет ниже в 2 раза или на 6дБ по напряжению. Таким образом, на расстоянии 2 км уровень сигнала будет $60 - 6 = 54$ дБмкв. При ослаблении сигнала на 12дБ, получим расчетное расстояние около 4 км.

Таблица 4.2. Перевод значений децибел в отношении напряжений и мощности

дБ	U2/U1	P2/P1	дБ	U2/U1	P2/P1
0	1	1	28	25,12	631
1	1,12	1,26	29	28,17	794
2	1,26	1,59	30	31,64	1000
3	1,41	2	31	35,46	1257
4	1,59	2,51	32	39,84	1587
5	1,78	3,16	33	44,64	1993
6	2	3,98	34	48,08	2312
7	2,24	5,01	35	56,82	3165
8	2,51	6,31	36	63,29	4006
9	2,82	7,94	37	70,92	5030
10	3,16	10	38	79,36	6298
11	3,55	12,59	39	89,29	7973
12	3,98	15,85	40	100	10000
13	4,47	19,96	41	112,23	12596
14	5,01	25,12	42	125,94	15861
15	5,62	31,65	43	141,24	19949
16	6,31	39,84	44	158,48	25116
17	7,08	48,08	45	177,94	31663
18	7,94	63,29	46	199,60	39840
19	8,91	79,36	47	223,71	50046
20	10	100	48	251,26	63132
21	11,22	125,94	49	281,69	79349
22	12,59	158,48	50	316,5	100000
23	14,12	199,60	60	1000	1000000
24	15,85	251,26	70	3165	10000000
25	17,79	316,50	80	10000	100000000
26	19,96	398,40	90	31650	1000000000
27	22,37	500,42	100	100000	10000000000

4.2. Порядок выполнения работы

2.1. Запустить на ПК программу ItToolsT2.

2.1.1. Перевести анализатор IT-15T2 в режим «работа с ПК».

2.1.2. Выбрать основной сигнал формирователя.

2.1.3. Установить параметры формирователя для минимальной пропускной способности сигнала.

2.1.4. Зафиксировать в отчете параметры, основного сигнала формирователя (уровень, MER, PreVBER, PostVBER, защитный интервал, кодовую скорость, тип модуляции, количество несущих).

2.1.5. Рассчитать скорость передачи полезных данных формирователем в режиме минимальной пропускной способности, занести расчетное значение в отчет.

2.1.6. При помощи ступенчатого аттенюатора вносить постепенное ослабление в сигнал, по достижению уровня сигнала 38 дБмкв, зафиксировать параметры основного сигнала формирователя (уровень, MER, PreVBER, PostVBER) и значение ослабления, вносимое ступенчатым аттенюатором.

2.1.7. Выполнить расчет предполагаемого расстояния, на котором значение уровня сигнала будет равно 38 дБмкв. Зафиксировать в отчете расстояние, на которое может быть передано расчетное значение полезной информации из п.2.1.5 в режиме минимальной пропускной способности формирователя.

2.1.8. Установить параметры формирователя для максимальной пропускной способности сигнала

2.1.9. Рассчитать скорость передачи полезных данных формирователем в режиме максимальной пропускной способности, занести расчетное значение в отчет.

2.1.10. При помощи ступенчатого аттенюатора вносить постепенное ослабление в сигнал, по достижению значения PostVBER в интервале от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-4}$, зафиксировать параметры основного сигнала формирователя (уровень, MER, PreVBER, PostVBER) и значение ослабления, вносимое ступенчатым аттенюатором.

2.1.11. Выполнить расчет предполагаемого расстояния, на котором значение PostVBER будет в интервале от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-4}$. Зафиксировать в отчете расстояние, на которое может быть передано расчетное значение полезной информации.

2.2. Необходимо выполнить передачу полезной информации со скоростью 20 Мбит/с на максимальное расстояние.

2.2.1. Расчетным и экспериментальным путем определить наиболее оптимальные параметры формирователя для наилучшего соотношения пропускная способность/помехоустойчивость сигнала при условии значения PostVBER \leq в интервале от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-4}$.

2.2.3. При помощи ступенчатого аттенюатора вносить постепенное ослабление в сигнал с шагом 3дБ, фиксируя параметры принимаемого канала в таблицу 4.3.

Таблица 4.3. Оптимальные параметры формирователя для передачи 20 Мбит информации на максимальное расстояние

Параметры формирователя	Тип модуляции		Количество несущих		Защитный интервал		Кодовая скорость		Пропускная способность	
ослабление дБ	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
d, расстояние от передатчика										
U, уровень, дБмкВ										
MER, дБ										
preVBER										
postVBER										

4.3. Содержание отчёта

1. Схема макета.
2. Методика проведения эксперимента с краткими пояснениями.
3. Расчетные и экспериментальные данные.
4. Выводы по каждому пункту выполненной работы.

4.4. Контрольные вопросы

1. Как количество несущих в стандарте DVB-T влияет на пропускную способность канала?
2. Как значение кодовой скорости влияет на пропускную способность канала?
3. Какая максимальная пропускная способность доступна для передачи в стандарте DVB-T?

5. Лабораторная работа №4 Расчет зоны покрытия цифрового передатчика стандарта DVB-T в программе radio mobile.

Цель работы: Выполнить расчет зоны покрытия цифрового DVB-T передатчика в программе radio mobile.

5.1. Методика проведения эксперимента

При проведении данной работы используются ПК и программа radio mobile.

Главное содержание лабораторной работы состоит в следующем:

а) во-первых, научиться использовать программу «radio mobile» для расчета зон покрытия передатчиков различного назначения.

б) во-вторых, провести эксперимент и рассчитать зону покрытия сигнала DVB-T при определенных условиях по пропускной способности и помехоустойчивости канала передачи.

Таблица 5.1. Частоты ТВ каналов

№ канала	Начальная частота	Конечная частота	№ канала	Начальная частота	Конечная частота
21	470	478	40	622	630
22	478	486	41	630	638
23	486	494	42	638	646
24	494	502	43	646	654
25	502	510	44	654	662
26	510	518	45	662	670
27	518	526	46	670	678
28	526	534	47	678	686
29	534	542	48	686	694
30	542	550	49	694	702
31	550	558	50	702	710
32	558	566	51	710	718
33	566	574	52	718	726
34	574	582	53	726	734
35	582	590	54	734	742
36	590	598	55	742	750
37	598	606	56	750	758
38	606	614	57	758	766
39	614	622	58	766	774

5.2. Порядок выполнения работы

2.1. Запустить на ПК программу «radio mobile».

2.1.1. Открыть карту мира воспользовавшись иконкой на панели управления, выбрать город Томск двойным кликом левой кнопки мыши.

2.1.2. В открывшемся меню установить размер извлекаемой карты 3000x2000 пикселей, установить галочку на пункте «Совмещение изображений», нажать клавишу «Извлечь».

2.1.3. В открывшемся меню в разделе «источник» выбрать пункт «internet OpenStreetMap», в разделе «операция» выбрать пункт «заменить», нажать клавишу «Рисовать».

2.1.4. Установить курсор на карте в районе корпуса РК ТУСУР. Открыть свойства станций (Файл -> Свойства станций), переименовать станцию в «DVB-T передатчик», нажать клавишу «Поместить станцию в позицию курсора».

2.1.5. Создать разметку на карте, для этого выбрать иконку «Создать кольца » на панели управления (либо Правка -> Создать кольца). В открывшемся меню выбрать позицию вашей станции. В качестве единиц измерения выбрать «Километр», шаг дистанции «1 километр», активировать пункты «радиальные», «кольца». Нажать клавишу «Рисовать».

2.1.6. Открыть свойства сетей (Файл -> Свойства сетей). Изменить название сети на «DVB-T», выбрать начальное и конечное значение канала «вашего» формирователя, поляризацию антенны установить горизонтальную. В разделе «режим» выбрать пункт «вещание» в 95% мест и 95% времени в 70% ситуаций.

2.1.7. В разделе «топология» выбрать пункт «Цифровая сеть, звездная топология», установить галочку в пунктах «в зоне прямой видимости», «если станция, передающая то остальные приемные», «антенна станции слейв направлена на станцию мастер».

2.1.8. В разделе «Станции» выделить 5 станций. «DVB-T передатчик» – мастер, остальные станции слейв. Высота подвеса антенны для передатчика – 25 метров, для остальных станций 5 метров.

2.1.9. Перейти в раздел «Системы». Переименовать систему 1 в «DVB-T канал», номер канала выбрать согласно каналу формирователя. Мощность передатчика установить – 100Вт, чувствительность приемника – 50 мкВ, тип антенны – диполь, коэффициент усиления- 6 дБ, высота подвеса 25 метров. Нажать клавишу «Добавить к Radiosys» и клавишу «Ok» в верхнем правом углу.

2.1.10. Теперь необходимо разместить на карте 4 приемника. Размещение приемников производить в сторону города, т.е. на север. Первый приемник разместить на расстоянии 1 км от передатчика, второй приемник на расстоянии 5 км от передатчика, третий приемник на расстоянии 10 км от передатчика, четвертый приемник разместить в г. Северске. Размещение приемников аналогично пункту 2.1.4 за исключением позиции курсора. Пример настройки станций смотри на рисунке 5.1.

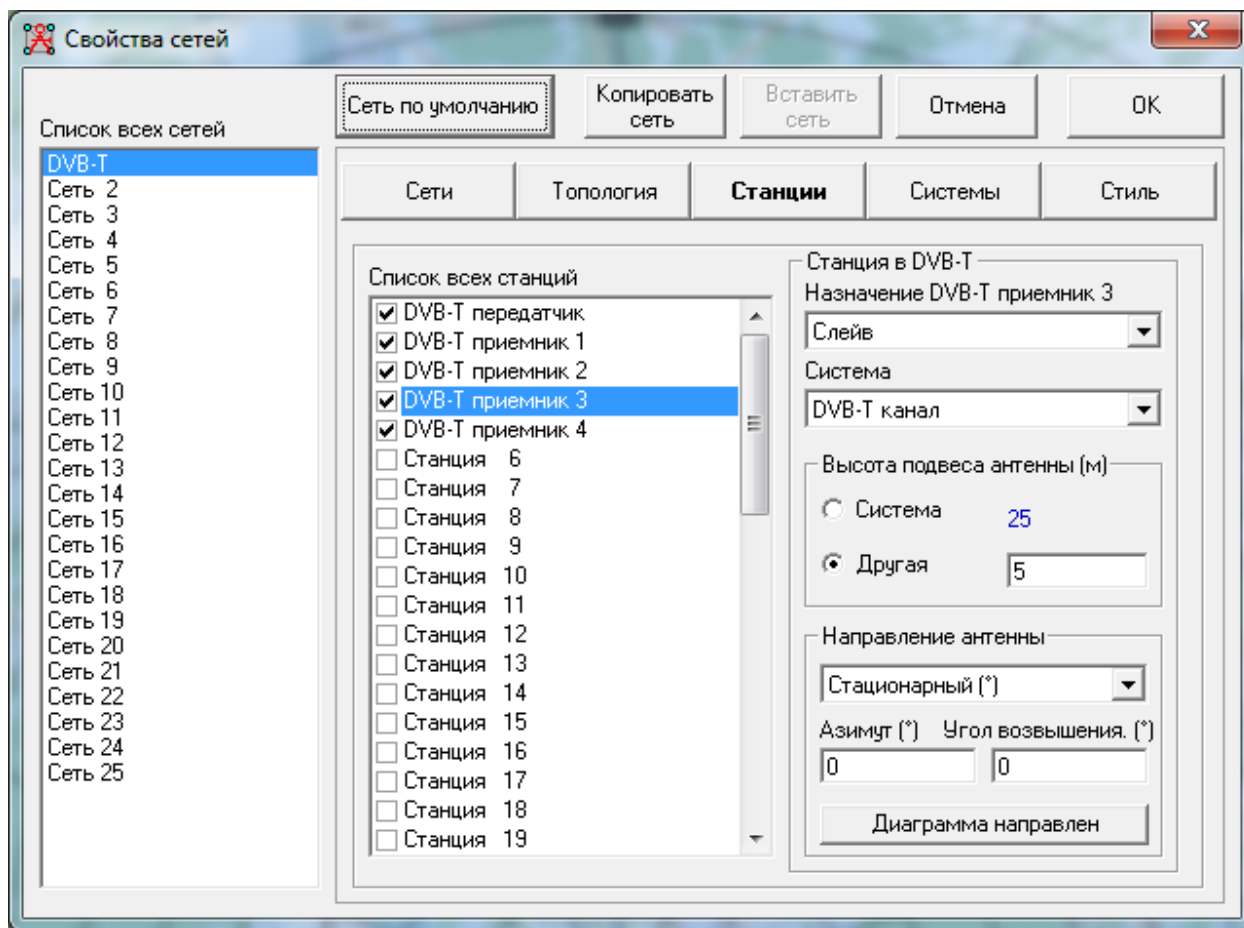


Рисунок 5.1 – Свойства сетей

2.1.11. Измерить уровень сигнала (Уровень Rx) в dBm на 1 – 4 приемнике соответственно (Инструменты -> Радиоканал). Перевести значение уровня в дБмкВ ($\text{дБм} + 108.75 = \text{дБмкВ}$). Занести в отчет данные радиоканала и уровень сигнала в дБмкВ для каждого приемника.

2.1.12. Запустить расчет зоны радио охвата в полярных координатах (Инструменты -> Зона радио охвата). Настроить меню «Зона охвата в полярных координатах» как показана на рисунке 5.2.

2.1.13. Для настройки цветового стиля зоны радио охвата нажмите нижнюю клавишу «Цвет» в меню «Зона охвата в полярных координатах» (пример на рис. 5.3).

2.1.14. По завершению настройки меню «Зона охвата в полярных координатах», нажмите клавишу «Рисовать». Занести в отчет карту зоны покрытия.

Примечание: Откажитесь от преобразования изображения в оттенки серого.

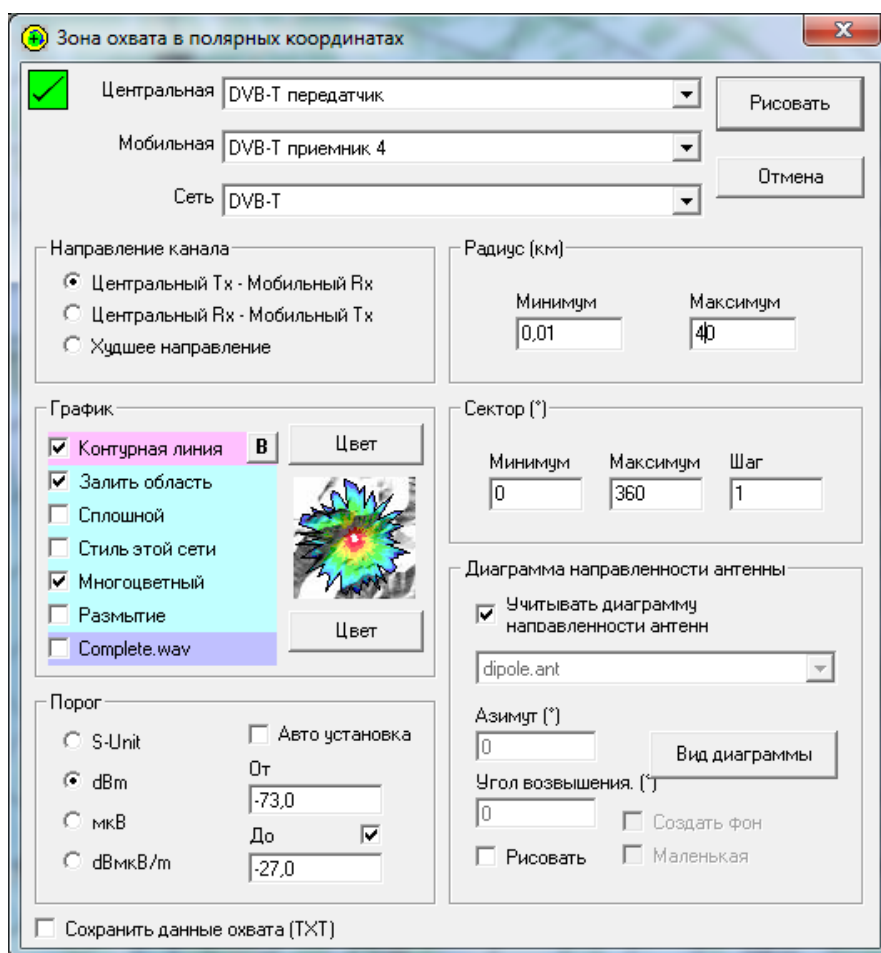


Рисунок 5.2 – Настройка отображения зоны охвата

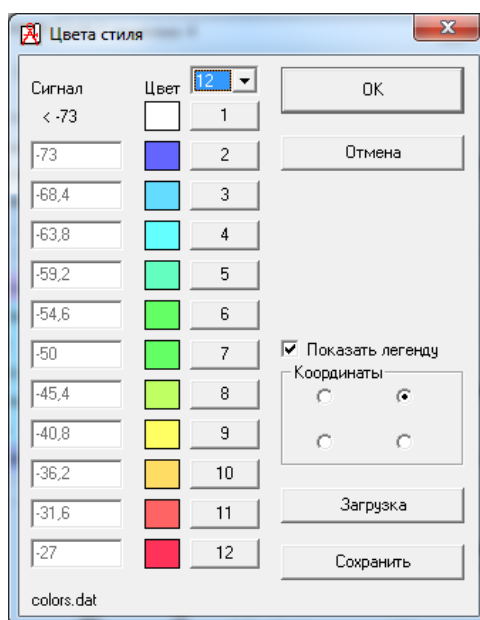


Рисунок 5.3 – Цветовой стиль

2.2. Расчет зоны покрытия в зависимости от параметров формирователя.

2.2.1. Выполнить расчет зоны охвата передатчика в полярных координатах при минимальной помехоустойчивости, для этого настроить чувствительность приемника для вашей системы согласно данным таблицы 5.2.

2.2.3. Аналогично выполнить расчет зоны покрытия передатчика для максимальной помехоустойчивости. Карты с рассчитанной зоной охвата занести в отчет.

Примечание: при изменении чувствительности приемников системы не забудьте изменить «порог» в меню «Зона охвата в полярных координатах»

2.2.4 Расположите 5-й приемник в центре села Темерязевское. Экспериментальным путем определите необходимый комплекс мер для передачи максимального количества информации в село Темерязевское.

Таблица 5.2. Необходимая чувствительность приемника для стандарта DVB-T

QPSK		
FEC=1/2	-92,1	дБмВт
FEC=2/3	-90,3	дБмВт
FEC=3/4	-89,3	дБмВт
FEC=5/6	-88,3	дБмВт
FEC=7/8	-87,5	дБмВт
16-QAM		
FEC=1/2	-86,4	дБмВт
FEC=2/3	-84,1	дБмВт
FEC=3/4	-82,6	дБмВт
FEC=5/6	-81,6	дБмВт
FEC=7/8	-81,2	дБмВт
64-QAM		
FEC=1/2	-80,7	дБмВт
FEC=2/3	-78,5	дБмВт
FEC=3/4	-77	дБмВт
FEC=5/6	-75,6	дБмВт
FEC=7/8	-74,7	дБмВт

5.3. Содержание отчёта

1. Методика проведения эксперимента с краткими пояснениями.
2. Расчетные и экспериментальные данные.
3. Выводы по каждому пункту выполненной работы.

5.4. Контрольные вопросы

1. Будет ли принимать сигнал, приемник, расположенный в г. Северске если передатчик будет работать в режиме максимальной пропускной способности?
2. Как значение кодовой скорости влияет на дальность передачи?

Литература

1. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H / А.В. Серов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010. – ISBN 978-5-9775-0538-3
2. ГОСТ Р 55696-2013. Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2.
3. Цифровое телевидение в видеоинформационных системах: монография / А.Г. Ильин, Г.Д. Казанцев, А.Г. Костевич, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский, В.А. Шалимов. – Томск: ТУСУР, 2010. – 465 с. – ISBN 978-5-86889-540-1.
4. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны. Том 1.: Пер. с нем. - М.: ДМК Пресс. - 416 с.: ил.