

# СПбГУТ))

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им.  
проф. М.А. Бонч-Бруевича  
Факультет Радиотехнологий связи (РТС)  
Кафедра Телевидения и метрологии (ТВ и М)

Тема выпускной квалификационной работы:  
«Разработка приемного устройства сигналов  
цифрового радиовещания стандарта DRM»

Студент группы РЦТ-61:

О.А. Гуминский

Научный руководитель:

Начальник НОЦ ТИОС, С.В. Мышьянов

2020 год

## Введение

### Обоснование проведения ВКР:

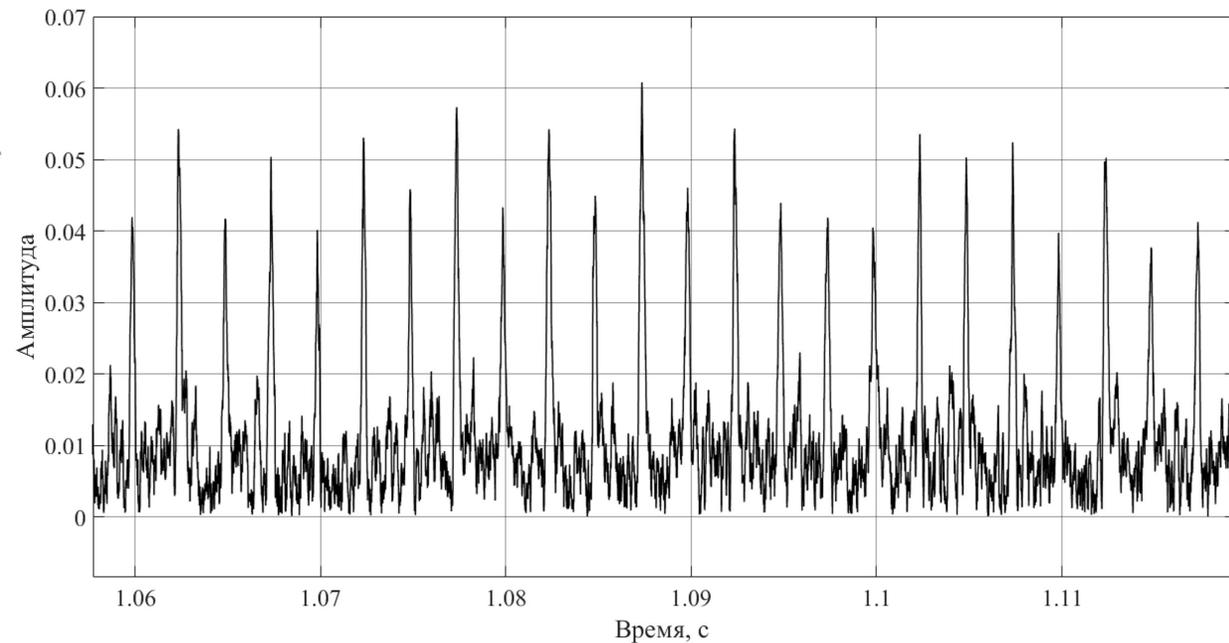
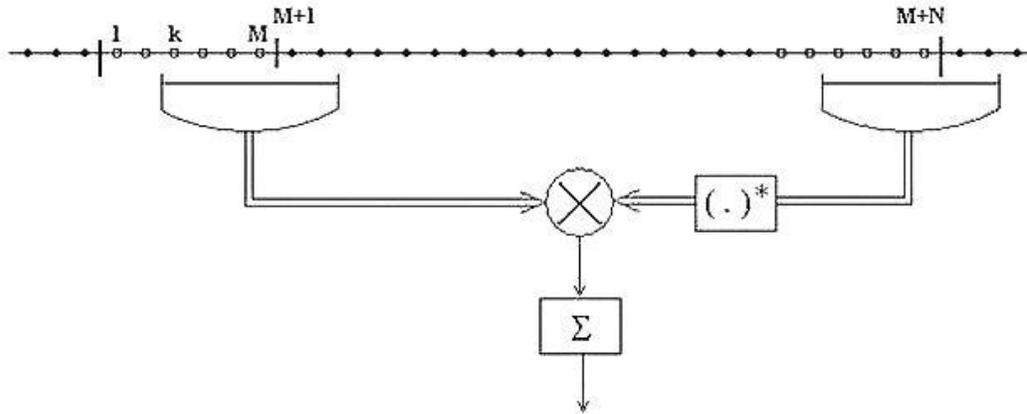
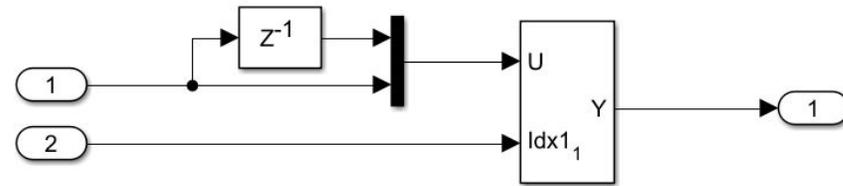
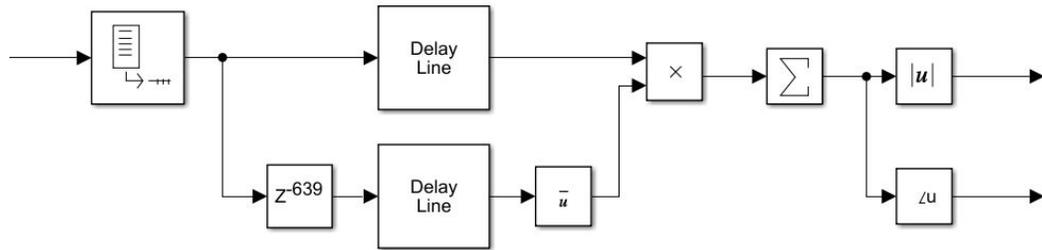
- Проведение научно-исследовательских работ в сфере цифрового радиовещания в Российской Федерации в 2019 году.
- Перспектива перехода к цифровому радиовещанию в Российской Федерации в ближайшие годы.

### Формулировка проблемы:

Отсутствие на Российском рынке отечественных приёмников стандарта DRM.

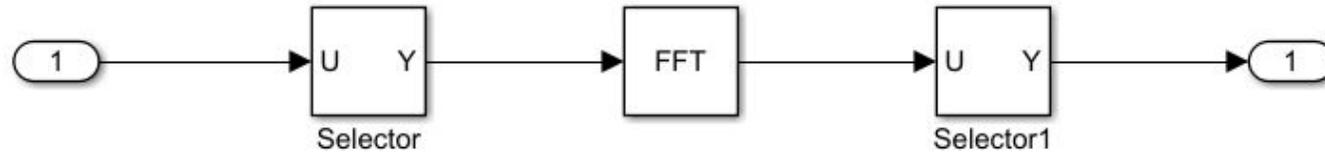
- Цель – разработка приёмного устройства, предназначенного для приёма сигнала цифрового радиовещания стандарта DRM.
- Задачи – разработать программную модель приёмного устройства; интегрировать программную модель в устройство SDR; провести исследования приёмного устройства.

## Временная синхронизация

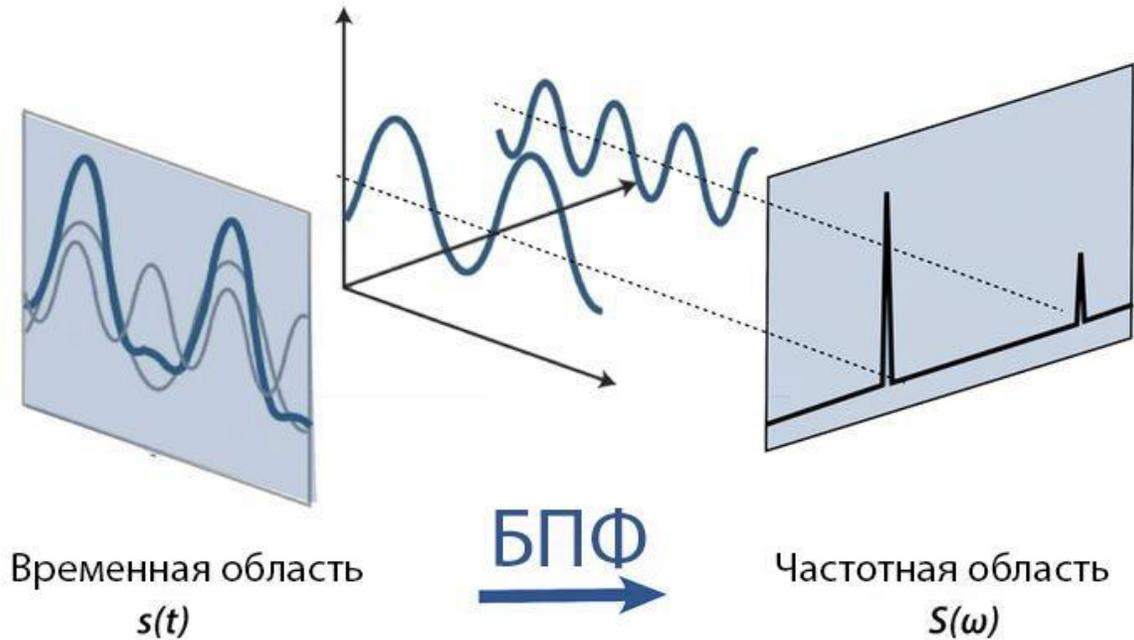


Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

## Удаление защитного интервала и БПФ

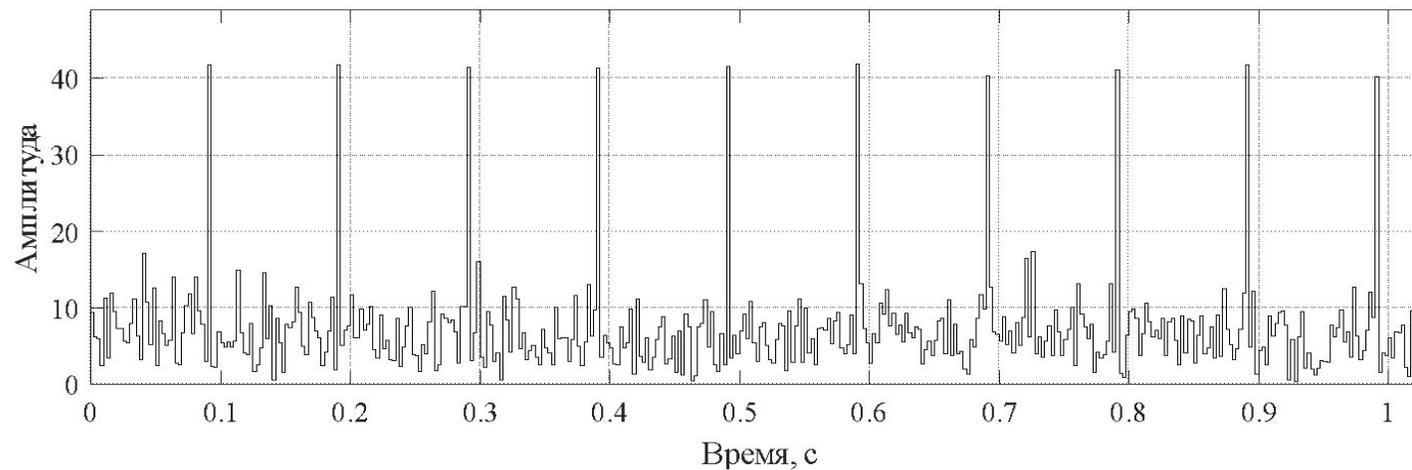
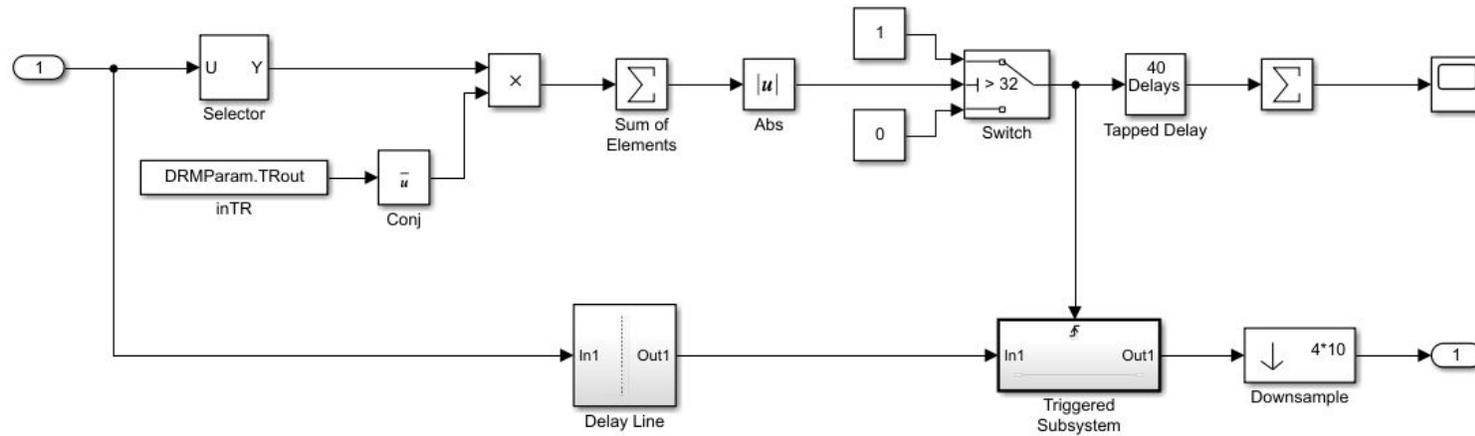


Циклическое расширение во временной области



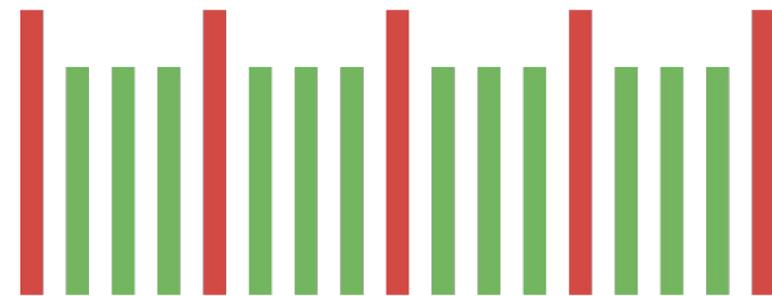
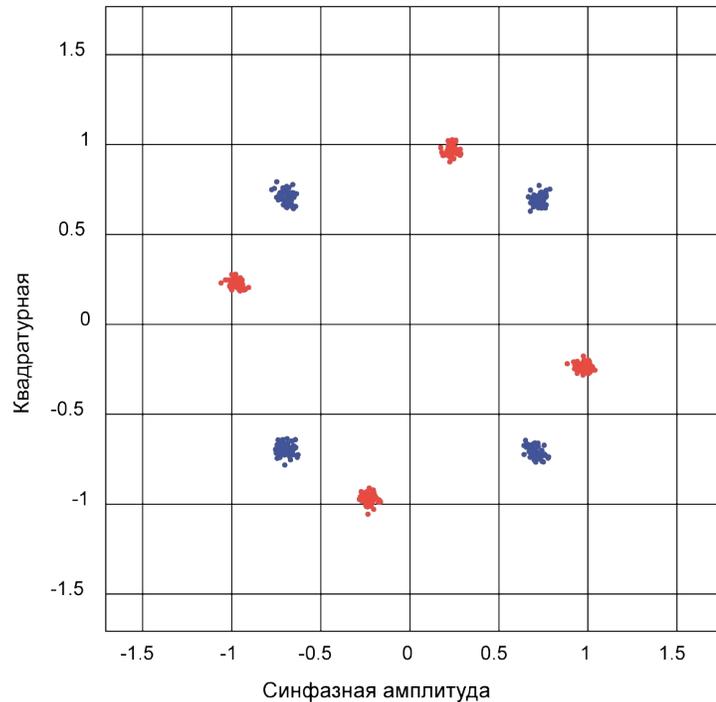
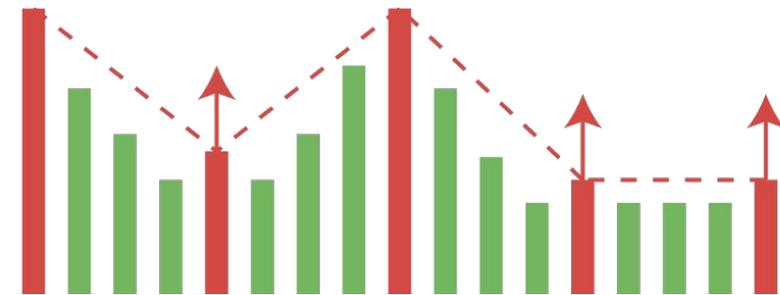
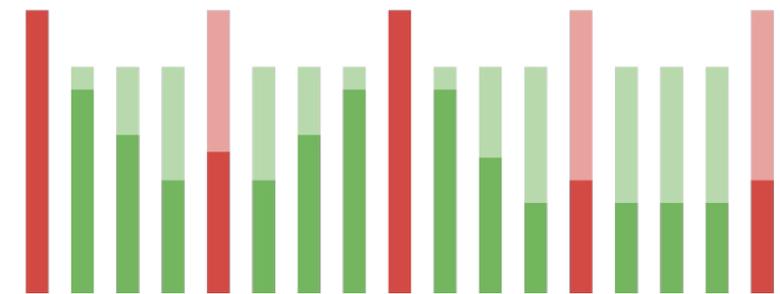
Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

## Кадровая синхронизация



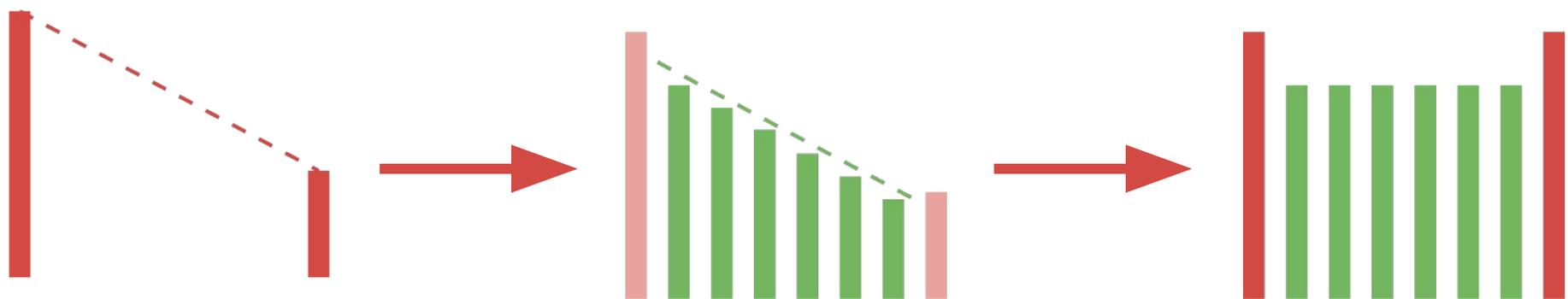
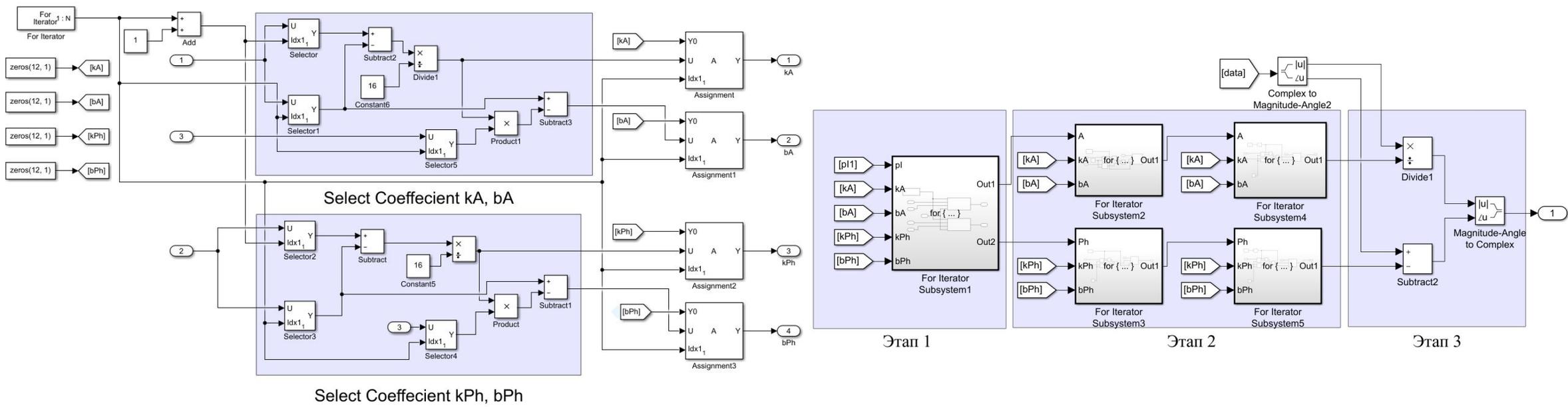
Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

## Компенсатор искажений канала связи

Канал  
связиКомпенсация  
искажений

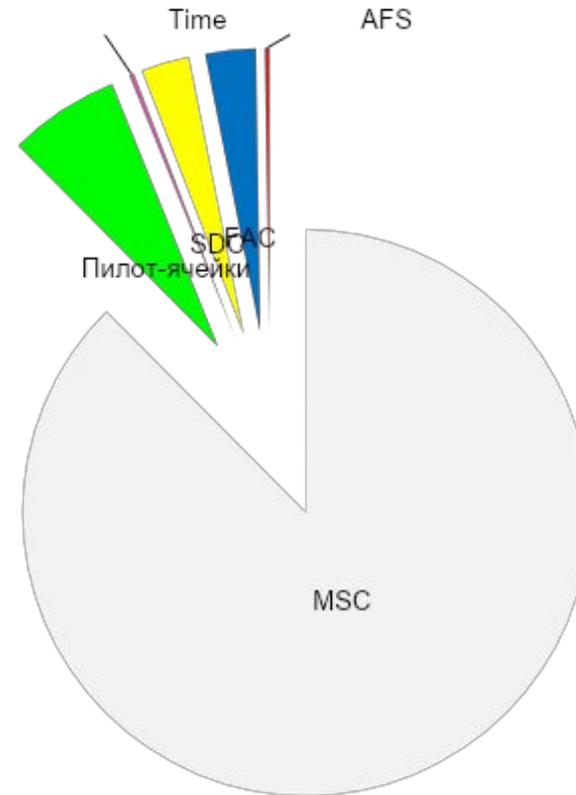
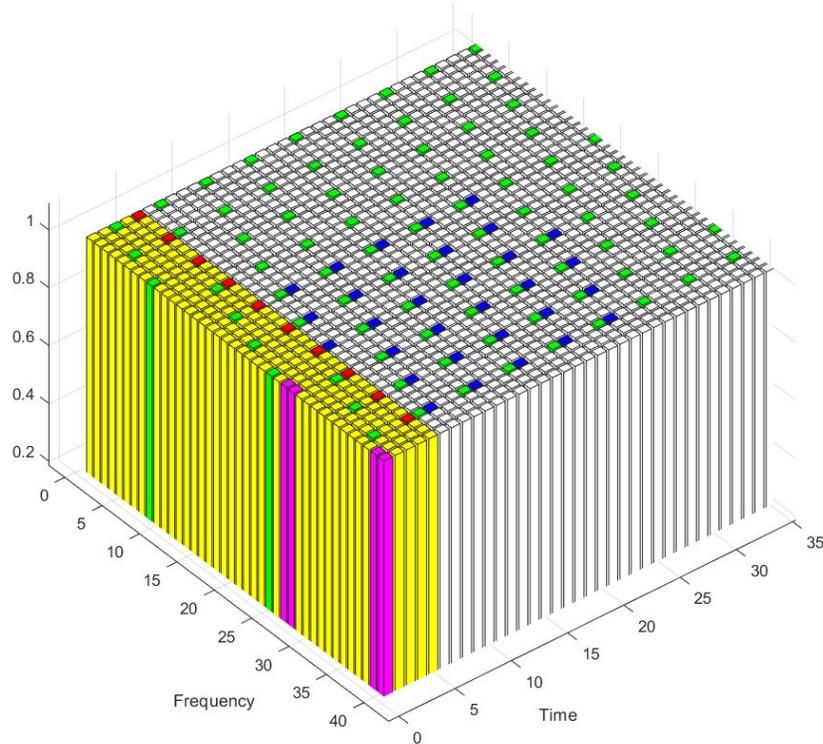
- Временная синхронизация
- Удаление защитного интервала
- Быстрое преобразование Фурье
- Кадровая синхронизация
- Блок компенсации искажений канала связи**
- Демультимплексирование кадра OFDM
- Депереме-жение
- Декоди-рование
- Дескрембли-рование
- Проверка CRC-слова

## Компенсатор искажений канала связи



Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

## Демультимплексор кадра OFDM



- — ячейки SDC (канал сервисной информации);
- — ячейки пилот-тона;
- — ячейки данных;
- — ячейки FAC (канал быстрого доступа);
- — ячейки дополнительной информации.

Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

## Деперемежитель

а) 

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

б) 

1	5	9	13	*	*	*	*	2	6	10	14	3	7	11	15	4	8	12	16
---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	----	----	---	---	----	----	---	---	----	----

в) 

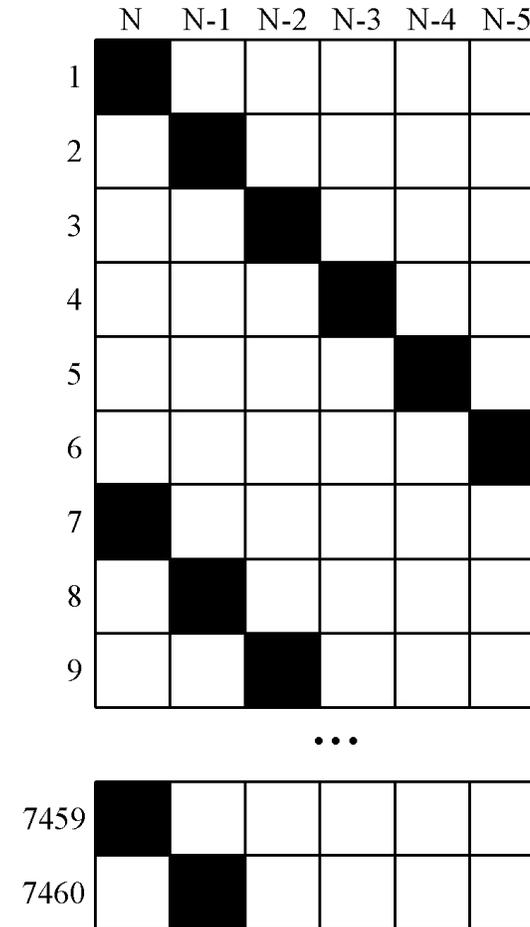
1	2	3	4	*	5	6	7	8	*	9	10	11	12	*	13	14	15	16	*
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	---	----	----	----	----	---

Для канала MSC:

- Перемежение ячеек между фреймами
- Перемежение ячеек внутри фрейма
- Перемежение бит

Для каналов FAC и SDC:

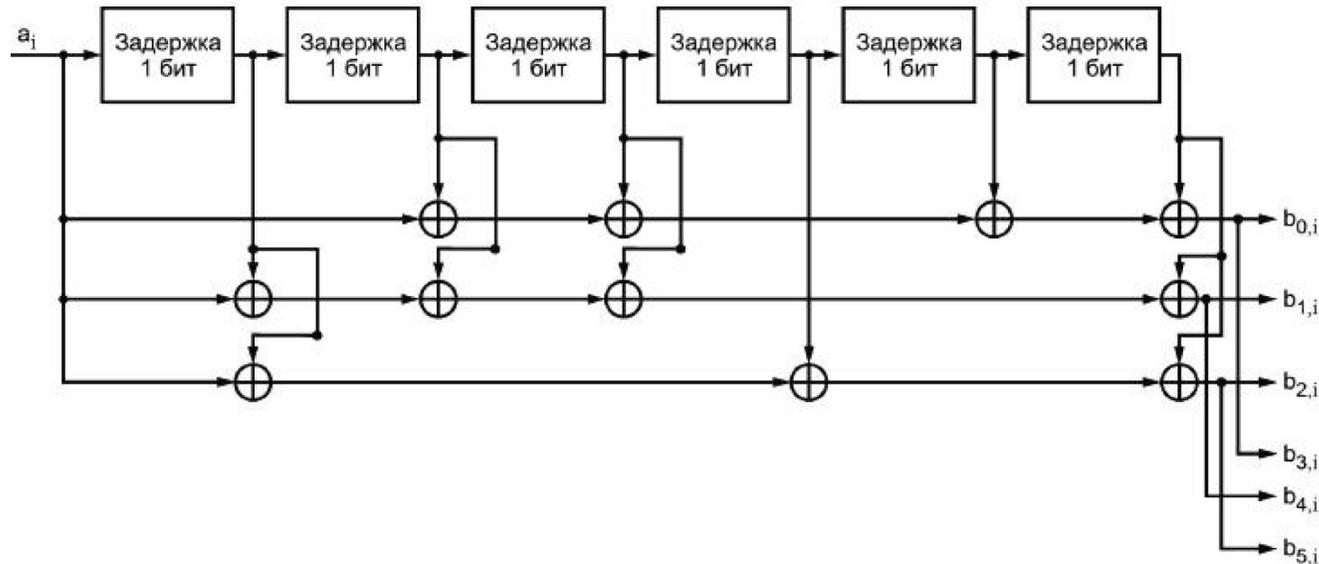
- Перемежение бит



N – номер кадра

Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

## Декодер



$$b_{0,i} = a_i \oplus a_{i-2} \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-5} \oplus a_{i-6};$$

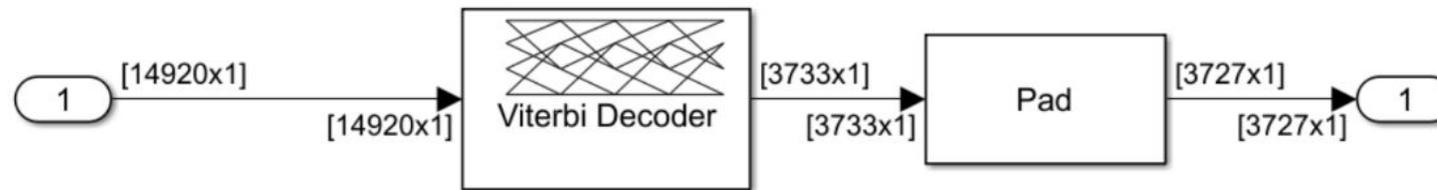
$$b_{1,i} = a_i \oplus a_{i-1} \oplus a_{i-2} \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-6};$$

$$b_{2,i} = a_i \oplus a_{i-1} \oplus a_{i-4} \oplus a_{i-6};$$

$$b_{3,i} = a_i \oplus a_{i-2} \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-5} \oplus a_{i-6};$$

$$b_{4,i} = a_i \oplus a_{i-1} \oplus a_{i-2} \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-6};$$

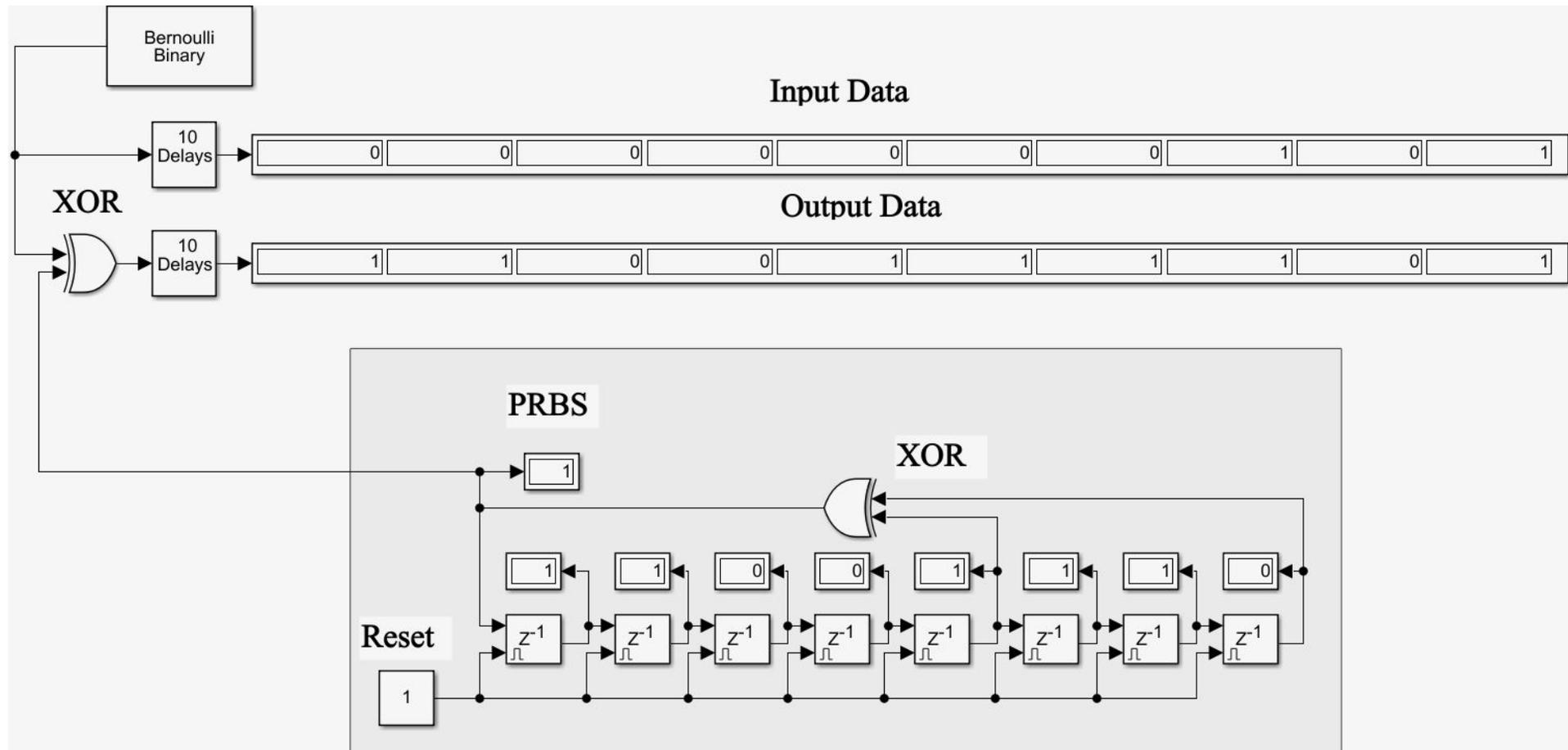
$$b_{5,i} = a_i \oplus a_{i-1} \oplus a_{i-4} \oplus a_{i-6};$$



Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

## Дескремблер

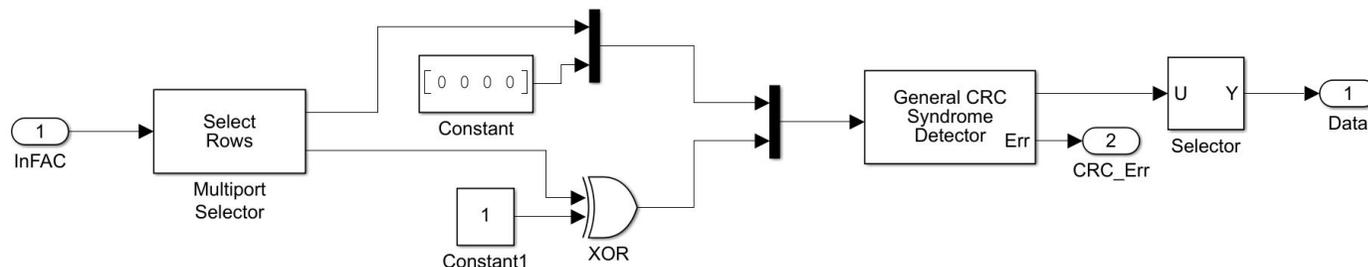
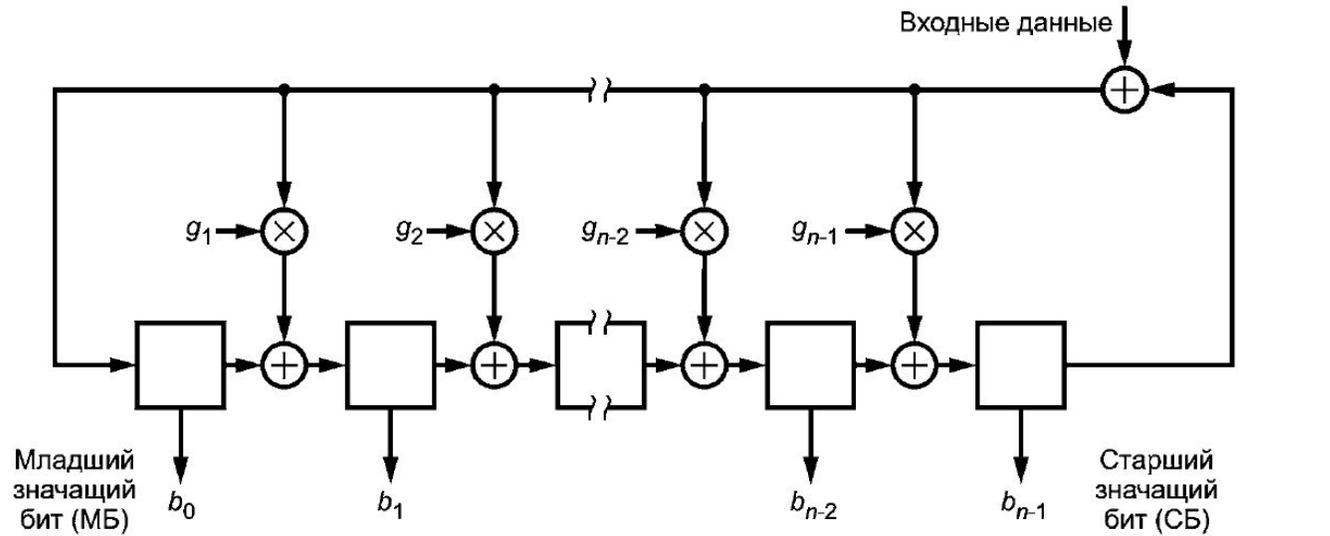
$$P(X) = X^9 + X^5 + 1$$



Временная  
синхронизацияУдаление  
защитного  
интервалаБыстрое  
преобразование  
ФурьеКадровая  
синхронизацияБлок компенсации  
искажений канала  
связиДемультимплекси-  
рование кадра  
OFDMДепереме-  
жениеДекоди-  
рованиеДескрембли-  
рованиеПроверка  
CRC-слова

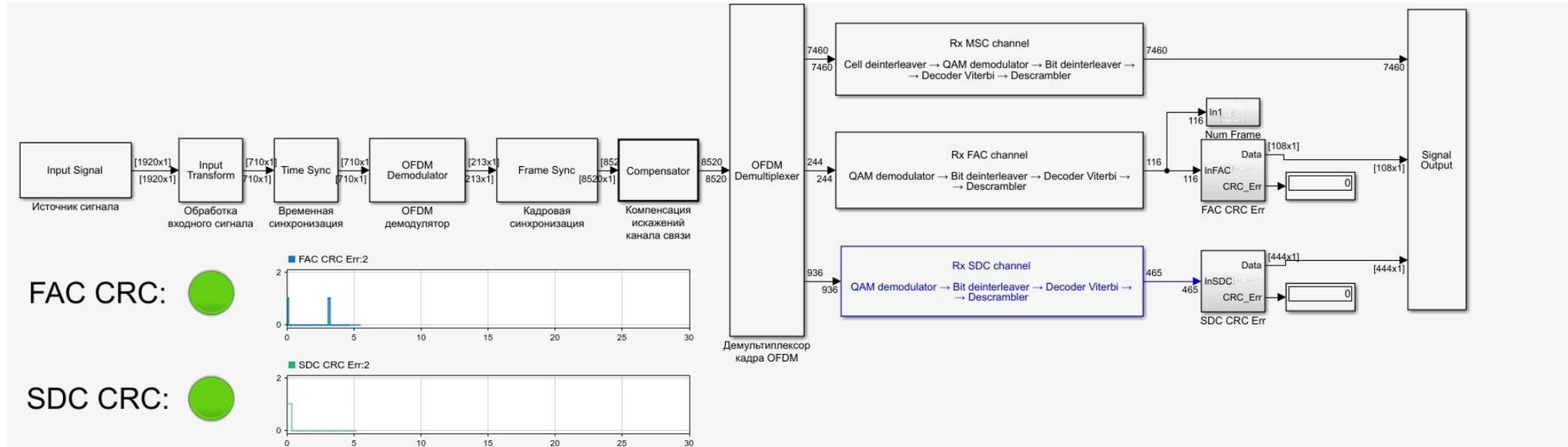
## Проверка CRC-слова

$$G_n(x) = x^n + g_{n-1}x^{n-1} + \dots + g_2x^2 + g_1x + 1$$

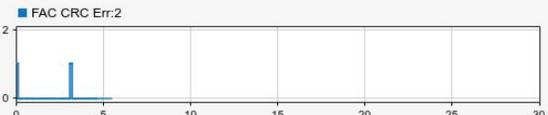


- Временная синхронизация
- Удаление защитного интервала
- Быстрое преобразование Фурье
- Кадровая синхронизация
- Блок компенсации искажений канала связи
- Демультимплексирование кадра OFDM
- Депереме- жение
- Декоди- рование
- Дескрембли- рование
- Проверка CRC-слова

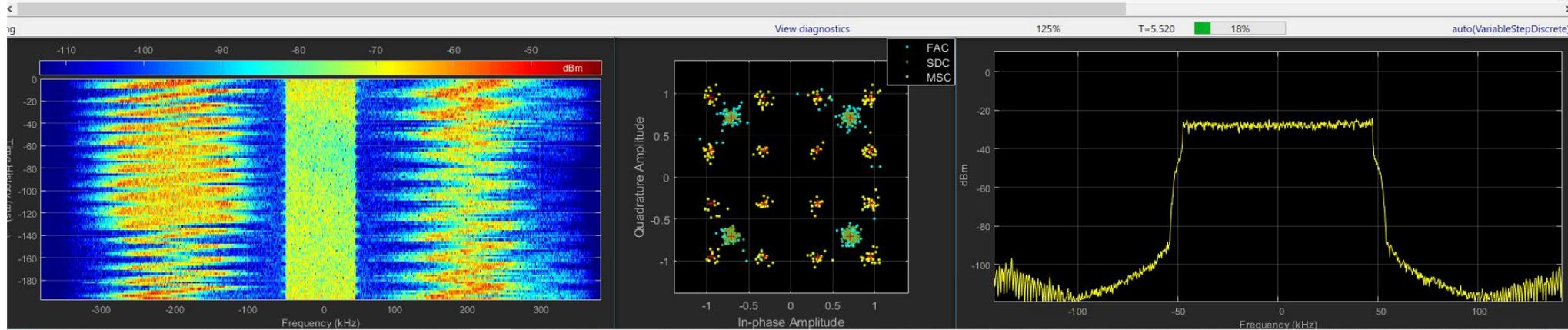
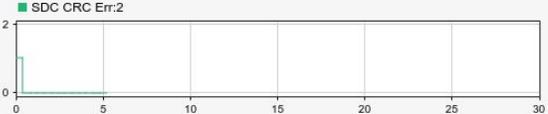
## Полная модель приёмного тракта DRM (режим работы E)



FAC CRC: ●



SDC CRC: ●



## Интеграция устройства SDR в программную модель

Передающая часть  
USRP

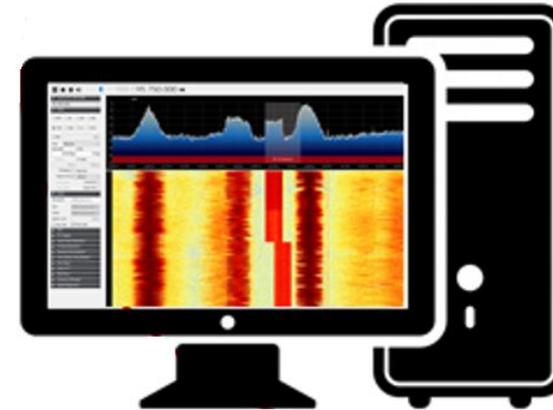


Приёмная часть  
USRP



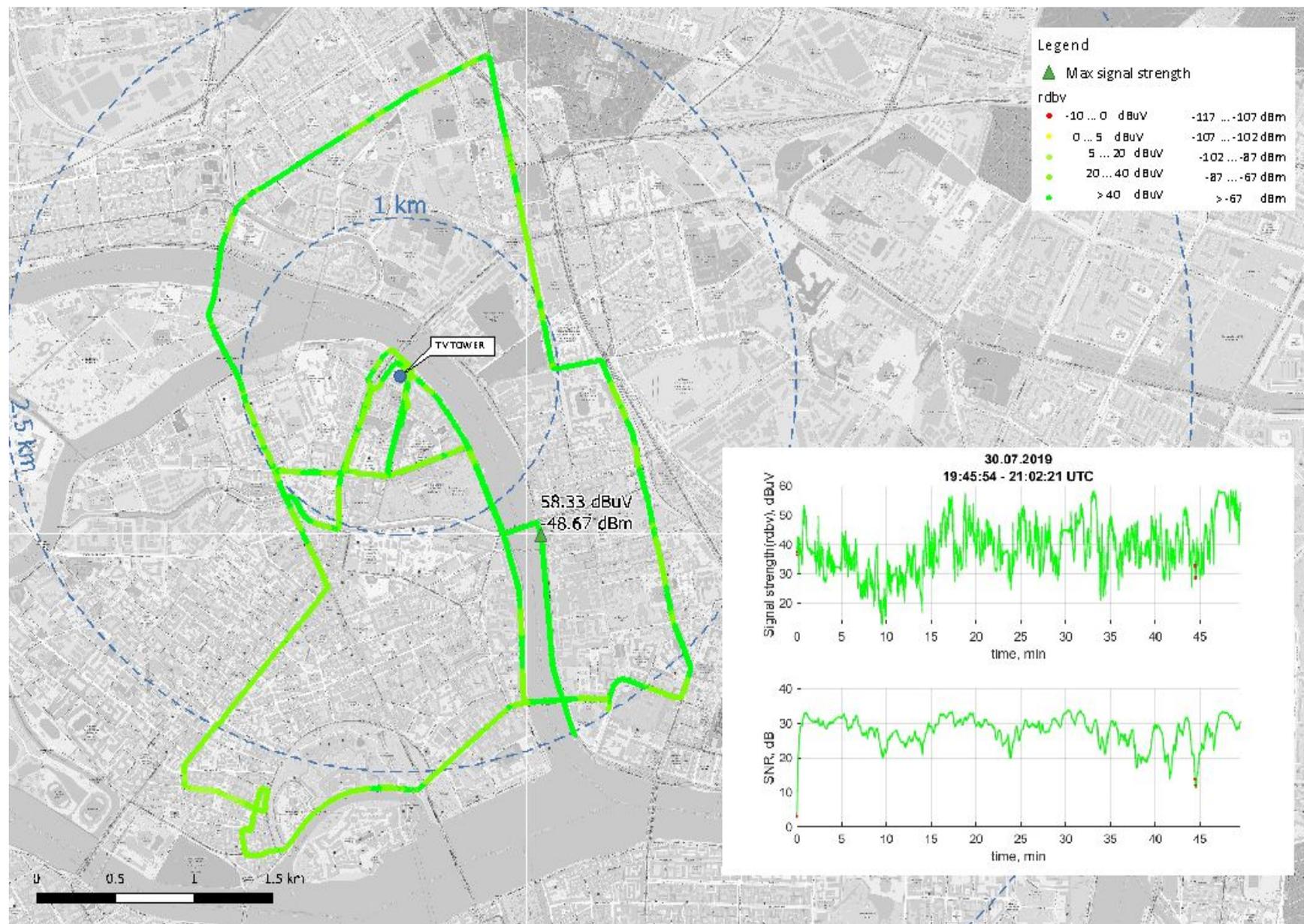
Устройство  
SDR

USB

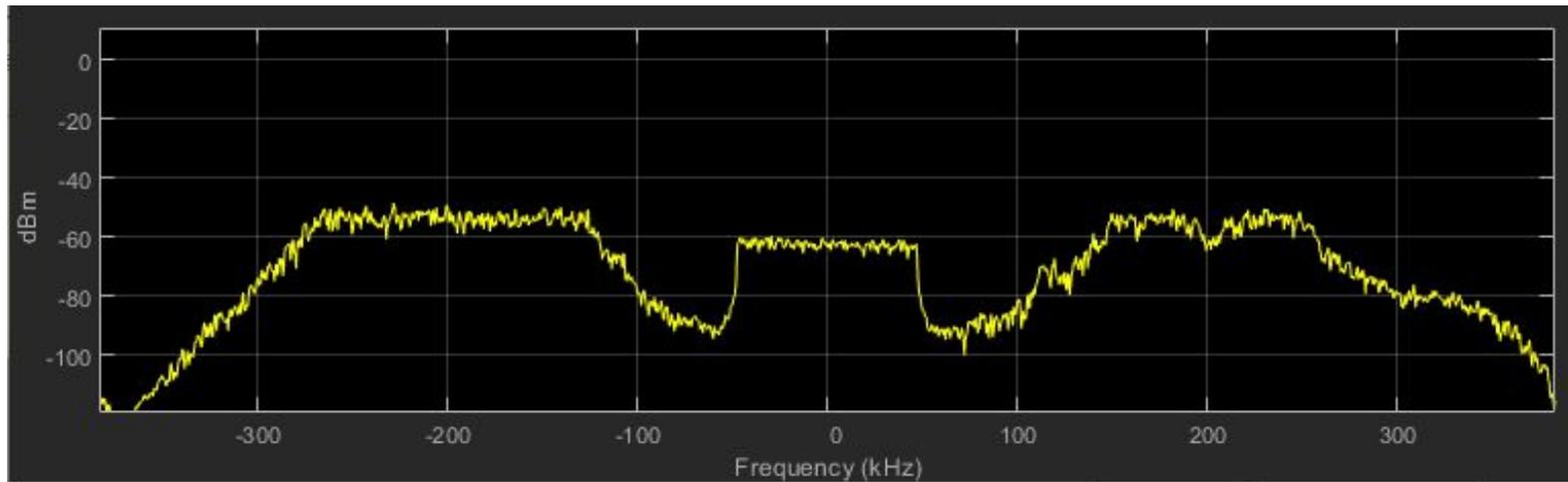


ПК

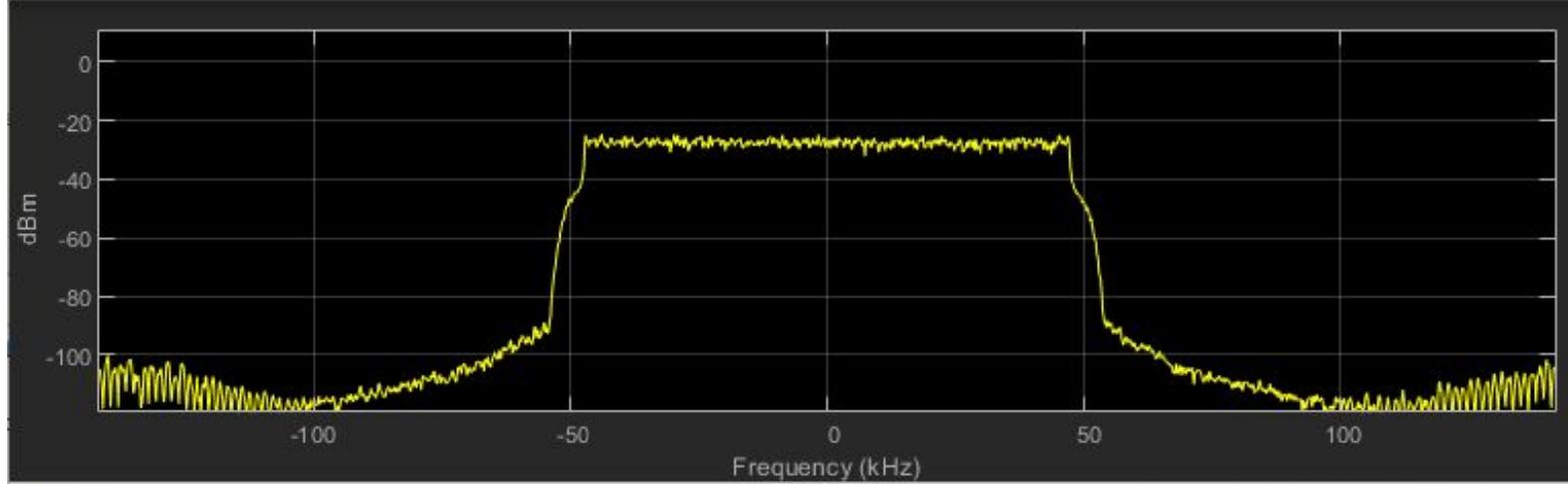
## Исследование характеристик приёмника.



# Исследование характеристик приёмника. Обработка входного сигнала



Running RBW=750 Hz Sample rate=768 kHz T=0.247

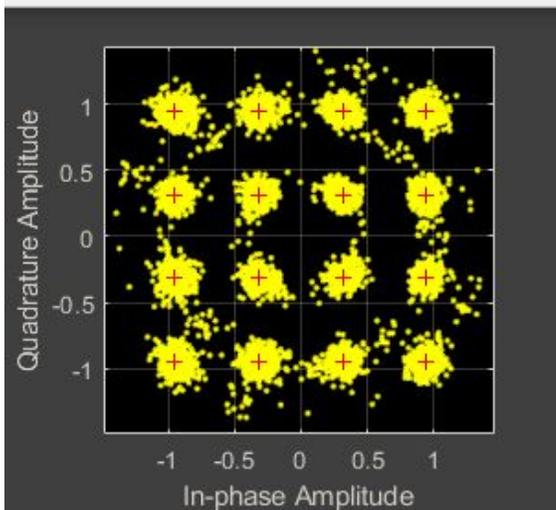
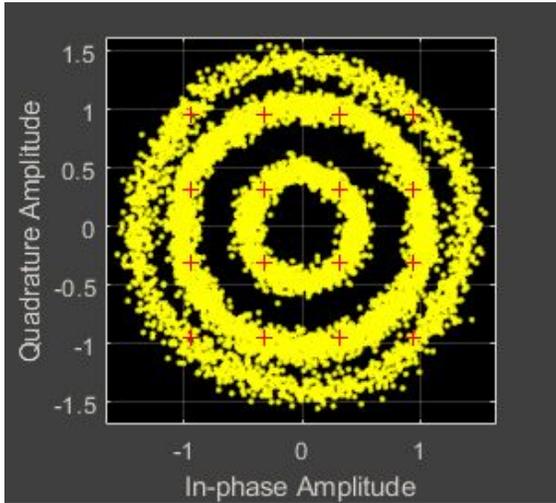


Running RBW=277.34 Hz Sample rate=284 kHz T=0.247

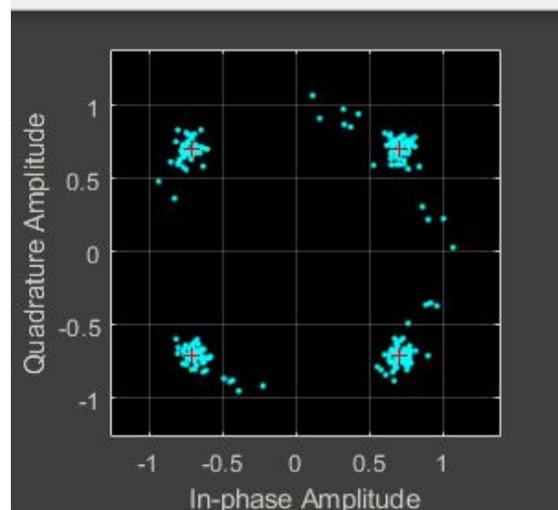
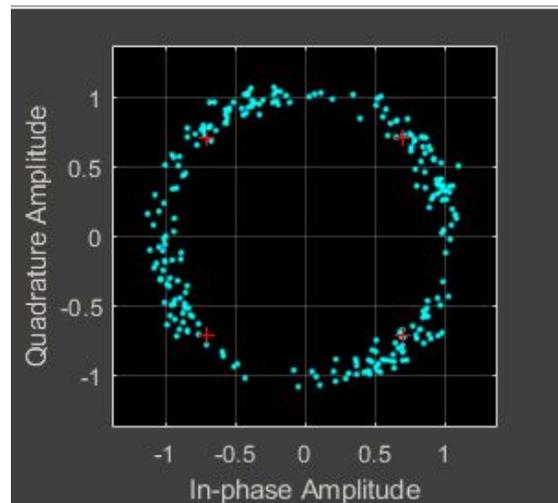


Исследование характеристик приёмника.  
Оценка работа компенсатора искажений.

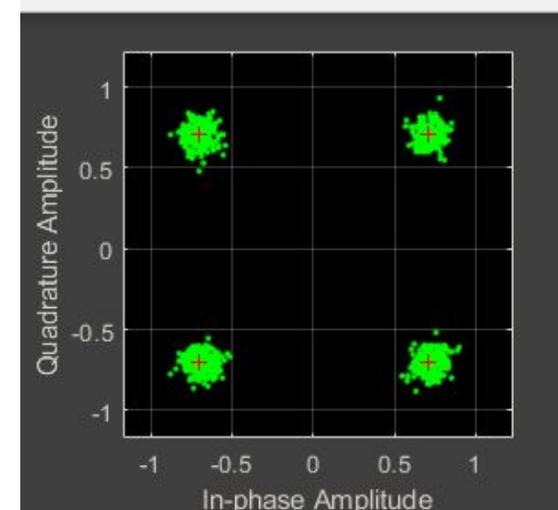
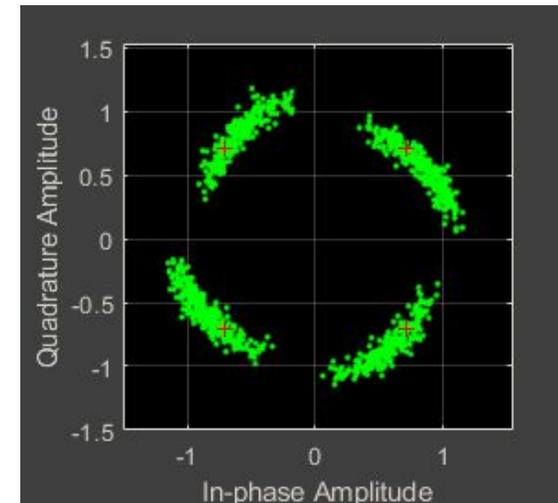
MSC



FAC

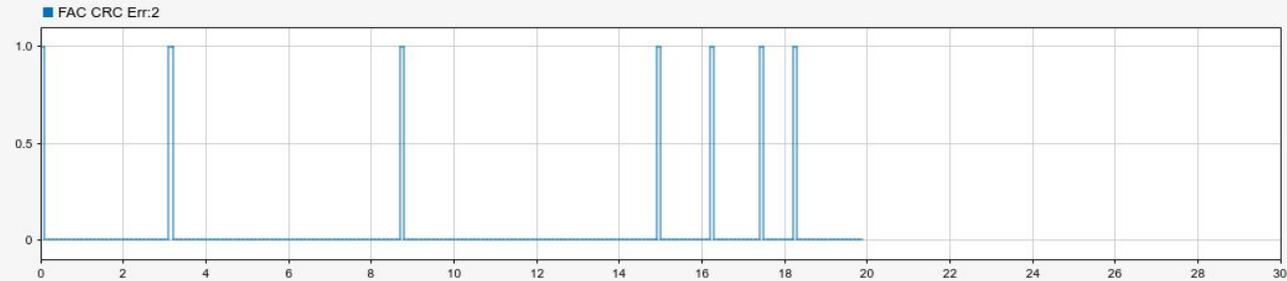


SDC

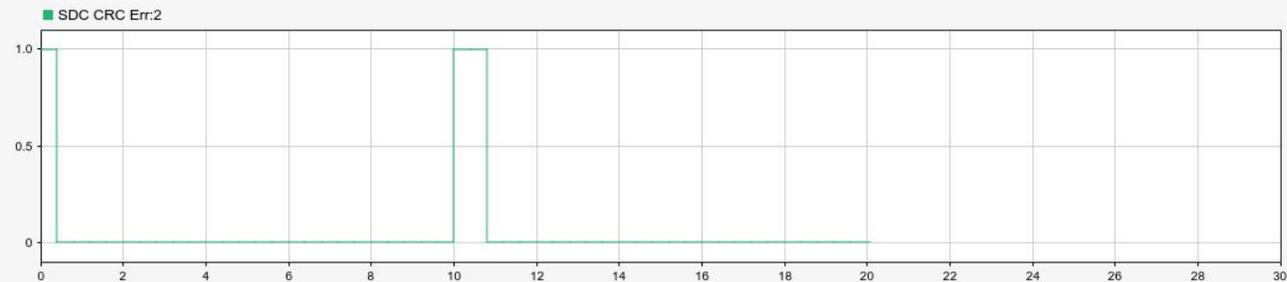


## Исследование характеристик приёмника. Проверка принимаемых данных.

FAC CRC:



SDC CRC:



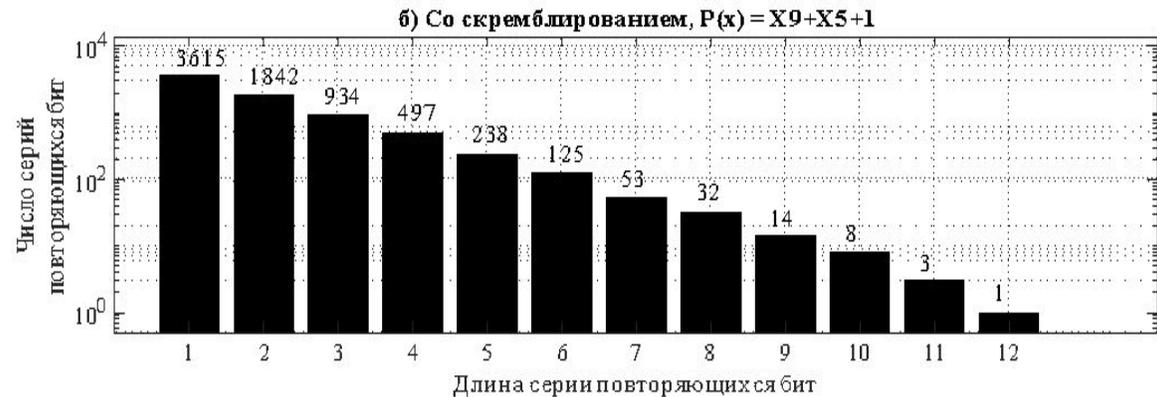
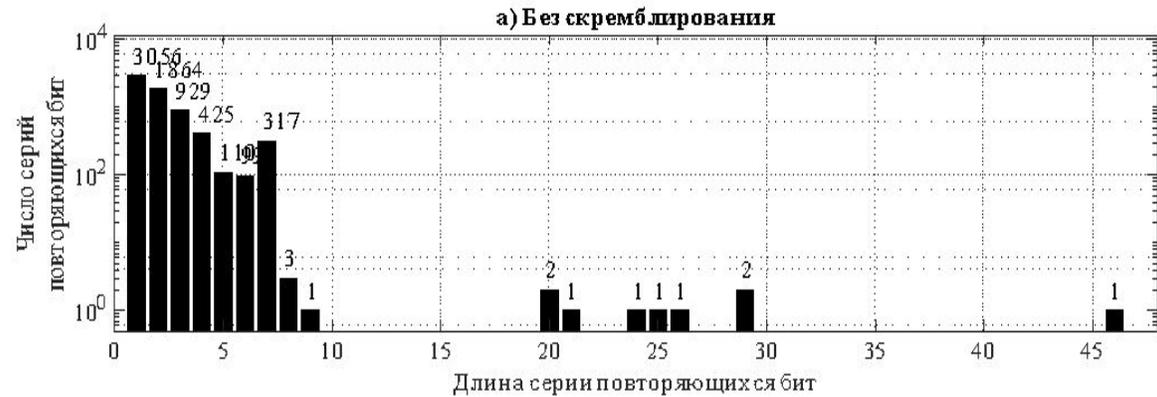
```

.....|... ..7..э..Sб..J..... [б..J.....Wб..J.....Sб....м.п...
.$.PћP' PўPћP PћP" P Pћ..EuropaPlus.C.БуААЗ.±,,.ra..i,,.wDT...
..`ЦЪ, Mg...WC....мЦ.ў.Єц .."ЦЪўоЄц ...Comedy Radio.....

```

## Исследование скремблера

$$P(X) = X^9 + X^5 + 1$$



## Заключение

### Результаты ВКР:

1. Разработана программная модель приёмного устройства;
2. Программная модель интегрирована в устройство SDR;
3. Проведены исследования приёмного устройства.

### Результаты научно-исследовательской деятельности по тематике цифрового радиовещания:

1. Доклад «Обзор рынка DRM приёмников» на конференции «Стандарт цифрового радиовещания DRM: итоги опытной зоны и перспективы развития в Российской Федерации», 1 ноября 2019 г.;
2. Доклад «Research and Implementation of Energy Dispersal Algorithm for DRM System» на конференции IEEE EIcon Rus 27 – 30 января 2020.;
3. Участие в совместной научно-исследовательской работе РТРС, СПбГУТ и «Digiton Systems»: «Построение опытной аналого-цифровой зоны радиовещания DRM+/УКВ ЧМ в диапазоне 87,5-108 МГц»;
4. Участие в научно-исследовательской работе «Исследование приемопередающих трактов систем цифрового радиовещания», СПб, 2019 г.;
5. Получение свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа формирования кадровой структуры сигнала, канального кодирования и модуляции для системы DRM», № 2020613764 от 23.03.2020 г.;
6. Доклад «Исследование и реализация алгоритма канального кодера для системы DRM» на конференции АПИНО 2020, 26-27 февраля 2020.;
7. Соавторство в разработке методических материалов лабораторных работ по курсу «Сети и системы цифрового радиовещания».