

УДК: 621.396.6 + 537.87

DOI: 10.26907/rwp29.2025.179-182

## СОЗДАНИЕ МАКЕТА ДВУХКАНАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА СИГНАЛОВ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SDR

П.Е. Продан<sup>1</sup>, Д.В. Котов<sup>1</sup>, С.И. Книжин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, 664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 20

E-mail: prodanpavel@gmail.com, kdv1612@gmail.com

<sup>2</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126А

E-mail: sergeiknizhin@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается устройство макета приемника сигналов низкоорбитальных спутников на основе технологии программно-определенного радио SDR для дальнейшего применения в задачах диагностики ионосферной плазмы. Также представлена схема синхронизации для двух каналов приема, организованных при помощи двух SDR типа HackRF One на частотах 150 и 400 МГц.

**Ключевые слова:** диагностика ионосферной плазмы; двухканальный приемник; SDR; низкоорбитальные спутники; HackRF One

## CREATION OF A MODEL OF A TWO-CHANNEL RECEIVER OF LOW-EARTH-ORBIT SATELLITES SIGNALS BASED ON SDR TECHNOLOGY

P.E. Prodan, D.V. Kотов, S.I. Knizhin

**Abstract.** The design of a model receiver of low-earth-orbit satellites signals based on the technology of software-defined radio SDR for further application in the tasks of ionospheric plasma diagnostics is considered. The synchronization scheme for two channels of receiving, organized by means of two SDR type HackRF One at frequencies of 150 and 400 MHz are presented.

**Keywords:** ionospheric plasma diagnostics; two-channel receiver; SDR; low-earth-orbit satellites; HackRF One

### Введение

Одной из актуальных задач в современных исследованиях ионосферы является диагностика при помощи сигналов низкоорбитальных спутников, которые излучаются посредством бортовых радиопередатчиков [1, 2]. По характеристикам данных сигналов восстанавливаются различные параметры ионосферной плазмы, такие как электронная концентрация и диэлектрическая проницаемость [3]. В рамках данной задачи в качестве основы макета приемника, способного осуществлять когерентный прием сигналов низкоорбитальных спутников на двух частотах 150 и 400 МГц, можно использовать технологию программно-определенного радио SDR. Данная технология позволяет регистрировать квадратурные компоненты радиосигналов для широкой полосы частот и на их основе восстанавливать информацию о фазе и амплитуде измеряемых сигналов для дальнейшего применения в задачах спутниковой диагностики ионосферы.

### Описание приемника

Макет включает в себя следующие компоненты:

- 2 платы SDR HackRF One;
- крестообразные антенны для частот 150 и 400 МГц;
- малошумящие усилители (МШУ) LNA-144 и LNA-433;
- полосовые фильтры FBP-155 и FBP-433;
- сервер для реализации дистанционной записи, обработки и хранения сигнала.

Для создания макета были использованы SDR HackRF One отечественного производства [4], обладающие рядом преимуществ перед китайскими аналогами [5], а именно: более низким уровнем собственных шумов (порядка 5–10 дБ); большей чувствительностью, обеспечивающей большее отношение сигнал/шум; меньшим количеством побочных каналов приема и отсутствием паразитных сигналов, возникающих при приеме.

Параметры использованных плат SDR (см. табл. 1) [4, 6].

Таблица 1. Параметры использованных SDR HackRF One

Диапазон частот	1 МГц – 6 ГГц
Частота дискретизации	8–20 Msps
Полоса пропускания	20 МГц
RX ADC bits (биты на вход)	8
Мощность порта антенны	До 50 мА на 3,3 В

Параметры МШУ (см. табл. 2).

Таблица 2. Параметры использованных МШУ

Параметры	LNA-144	LNA-433
Рабочее напряжение	3 – 5 В	3–5 В
Рабочий ток	50 – 100 мА	50–100 мА
Рабочая частота	135 МГц – 175 МГц	380 МГц – 480 МГц
Усиление	26 дБ	22 дБ
Коэффициент шума	0,5 дБ	0,5 дБ

Параметры полосовых фильтров (см. табл. 3).

Таблица 3. Параметры полосовых фильтров.

Параметры	F BP-155	F BP-433
Центральная частота	155 МГц	433 МГц
Потери центральной частоты	до 2,5 дБ	3,5 дБ
Полоса пропускания 3 дБ	134–179 МГц	390–470 МГц
Максимальная мощность нагрузки	3 Вт (35 дБм)	3 Вт (35 дБм)

Структурная схема приемника изображена на рис. 1.

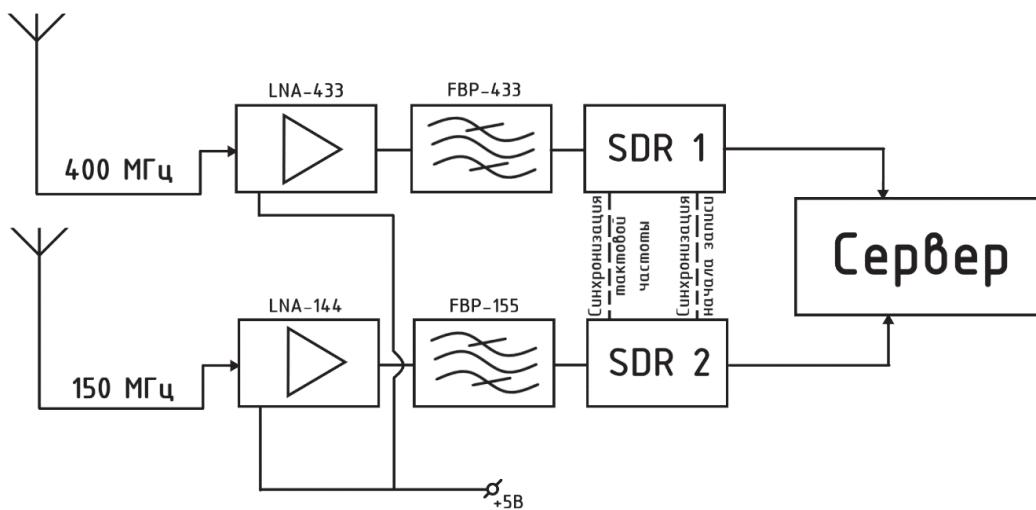


Рис. 1. Структурная схема приемника

Используемая антenna изображена на рис. 2. Верхний крест – это элемент для 150 МГц, а нижний – для 400 МГц.

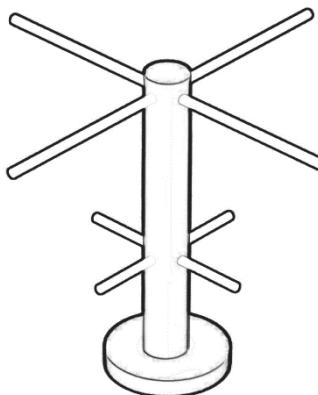


Рис. 2. Крестообразная антенна

### Синхронизация

Важной частью данного приемника является обеспечение когерентной регистрации сигнала на обоих каналах, реализованной на SDR путем использования общей опорной частоты. Каждая плата обладает собственным кварцевым генератором, подающим тактовый сигнал с частотой 10 МГц на выход синхронизации CLKOUT. В то же время, если на входе синхронизации CLKIN обнаруживается тактовый сигнал, то Hack RF One будет использовать его, как опорный, вместо своего внутреннего. Так как в данном приемнике обе платы расположены на достаточно близком расстоянии друг от друга, то задержки распространения сигнала, возникающей из-за длины соединительного провода, при данном способе синхронизации не возникает. Одновременное начало записи осуществлялось благодаря триггерному сигналу (Hardware Triggering), т.е: при начале записи, одна плата запускается в режиме ожидания и не начинает записывать, пока на соответствующий вход не поступит сигнала о начале работы от подключенной к нему другой платы [7, 8]. Помимо вышеуказанных инструментов, был написан Bash-скрипт для более оперативной организации одновременного начала/остановки записи, а также регистрации времени ее начала. Схема подключения и обеспечения когерентности приема сигнала изображена на рис. 3.

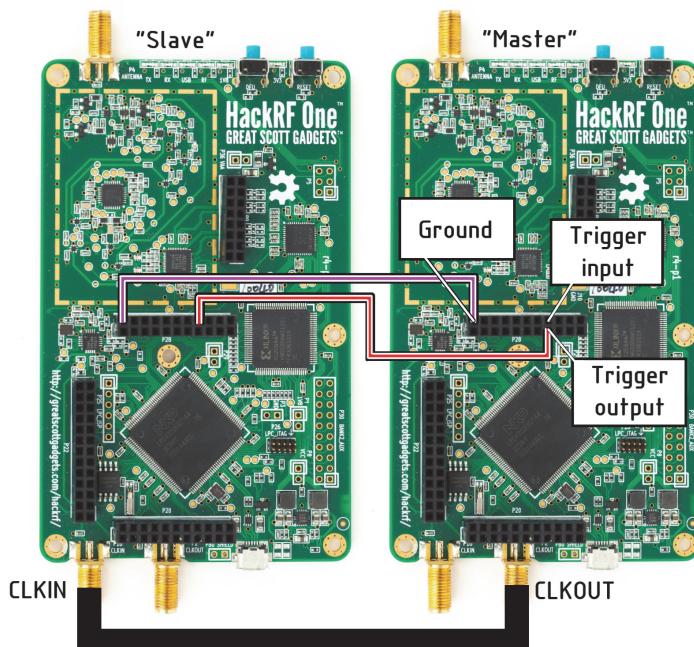


Рис. 3. Схема синхронизации двух HackRF One

Для проверки работоспособности, собранного оборудования, принимались квадратурные компоненты сигнала от низкоорбитальных спутников, на борту которых располагается двухчастотный (150/400 МГц) передатчик для радиопросвещивания ионосферы Земли [9]. В момент пролета спутников по траекториям, проходящим в окрестностях локации приемника, запускался скрипт для записи принимаемого сигнала. В ходе изучения записанных данных, было выявлено наличие сигналов на ожидаемых частотах в промежутки времени, соответствующие временам пролётов спутников.

Таким образом, рассматриваемый в данной работе макет двухканального приемника, на основе SDR типа HackRF One можно использовать для приема сигналов низкоорбитальных спутников.

#### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (Задание № FZZE-2023-0004).

#### **Список литературы**

1. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка модели двухчастотной микрополосковой антенны для перспективного применения на космическом аппарате «Ионосфера» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2014. – Т. 141. – № 4. – С. 23–26.
2. Научная программа эксперимента «Маяк» // Спутниковая томография. – URL: [https://studbooks.net/2011669/matematika\\_himiya\\_fizika/nauchnaya\\_programma\\_eksperimenta\\_mayak?ysclid=m98o2zppaq968793780](https://studbooks.net/2011669/matematika_himiya_fizika/nauchnaya_programma_eksperimenta_mayak?ysclid=m98o2zppaq968793780) (дата обращения: 09.04.2025).
3. Куницын В.Е. Томография ионосферы / В.Е. Куницын, Е.Д. Терещенко. – М: Наука, 1991. – 176 с.
4. HackRF One производство Россия // ELRON. – URL: <https://elron.tech/russian-hack-rf-one/> (дата обращения: 25.03.2025).
5. Преимущества плат HackRF One производства компании ЭЛРОН, в сравнении с китайскими клонами // ELRON – URL: <https://elron.tech/wp-content/uploads/2024/11/hack-rf-one-proizvodstva-elron-sravnenie.pdf> (дата обращения: 25.03.2025).
6. HackRF One // Great Scott Gadgets. – URL: <https://greatscottgadgets.com/hackrf/one/> (дата обращения: 25.03.2025).
7. Marco Bartolucci, José A. del Peral-Rosado, Roger Estatuet-Castillo, José A. García-Molina, Massimo Crisci, Giovanni E. Corazza. Synchronisation of Low-Cost Open Source SDRs for Navigation Applications. Conference: Navitec 2016.
8. External Clock Interface (CLKIN and CLKOUT) // HackRF documentation. – URL: [https://hackrf.readthedocs.io/en/latest/external\\_clock\\_interface.html](https://hackrf.readthedocs.io/en/latest/external_clock_interface.html) (дата обращения: 25.03.2025).
9. ИОНОЗОНД // ИКИ РАН. – URL: <https://iki.cosmos.ru/research/missions/ionozond> (дата обращения: 25.03.2025).