

# РITM-SDR-mini

Современные системы беспроводной связи, радиолокации и спектрального анализа требуют широких полос пропускания, гибкости настройки и высокой вычислительной производительности.

Программно-определяемое радио (SDR, Software-Defined Radio) идеально отвечает этим требованиям, позволяя программным способом оперативно менять рабочую частоту, полосу пропускания и тип сигнала.

«РITM-SDR-mini» — это многофункциональная SDR-платформа, созданная с учётом потребностей как инженеров и разработчиков, так и научно-исследовательских групп. Её ядром является связка ПЛИС Zynq UltraScale+ и радиочастотного модуля ADRV9009. Такой подход позволяет обрабатывать сигналы практически в любом частотном диапазоне от 75 МГц до 6 ГГц с ультраширокой полосой пропускания (до 450 МГц для передачи и обзорного приёмника, до 200 МГц для основных приёмных каналов).



Рис.1

Особое преимущество «РITM-SDR-mini» — это набор встроенных высокопроизводительных IP-ядер, которые позволяют пользователю быстро и эффективно решать широкий круг задач цифровой обработки сигналов. Среди них:

- **DPDex-IP** для цифрового предискажения (Digital Predistortion), помогающий линейризовать усилители и улучшить энергетическую эффективность передающего тракта;
- **PC-CFRex-IP** для снижения пик-фактора (Crest Factor Reduction), снижающего отношение пиковой мощности к средней (PAPR) и повышающего КПД передающей системы;
- **FFTex-IP** для выполнения быстрого прямого/обратного преобразования Фурье (FFT/iFFT), упрощая анализ и обработку широкополосных сигналов в режиме реального времени;
- **OFDMex-IP** для формирования и приёма сигнала OFDM, широко используемого в современных стандартах беспроводной связи;
- **VITERBIex-IP** для высокопроизводительного декодирования свёрточных кодов;

Благодаря интеграции этих IP-блоков в ПЛИС, «РITM-SDR-mini» обеспечивает возможность создания сложных технических устройств связи/телекоммуникации/радиолокации. Пользователи могут дополнять уже имеющиеся IP-ядра собственными алгоритмами и развивать экосистему за счёт новых IP-ядер цифровой обработки.

Таким образом, «РITM-SDR-mini» сочетает в себе:

- Широкий рабочий частотный диапазон и высокую полосу пропускания
- Мощные вычислительные ресурсы FPGA и процессоров ARM
- Набор уникальных IP-ядер, позволяющих быстро и эффективно решать задачи в области связи, радиолокации и анализа спектра,
- Гибкую архитектуру, упрощающую интеграцию пользовательских алгоритмов и масштабирование до систем MIMO 8×8.

Всё это делает «PITM-SDR-mini» оптимальным выбором для разработки, тестирования и прототипирования передовых радиоэлектронных решений.

#### Ключевые особенности:

- Широкий диапазон рабочих частот: от 75 МГц до 6000 МГц.
- Ультраширокая полоса пропускания:

Передача (TX): до 450 МГц на канал

Приём (RX): до 200 МГц на канал

Обзорный приёмник (ORX): до 450 МГц на канал

- Высокая выходная мощность: 15 дБм для передающего тракта.
- Мощные вычислительные ресурсы:

ПЛИС Xilinx Zynq UltraScale+ XCZU15EG

- Гибкая система управления и передачи данных:

2× SFP+ (12,5 Гбит/с на линию)

2× Ethernet 1 Гбит/с

2× USB 3.0

2× CAN

NVMe (M.2)

- Поддержка MIMO 2×2 с возможностью расширения до 8×8.
- Встроенные высокопроизводительные IP-ядра для цифробработки сигнала (DPD, PC-CFR, FFT, OFDM и др.).
- Расширяемая программная среда: возможность доработки и интеграции собственных IP-решений.

#### Аппаратная платформа:

ПЛИС и процессорный блок:

Zynq UltraScale+ XCZU15EG:

341K LUT (логических элементов)

3528 DSP-блоков

744 BRAM (встроенных блоков памяти)

2 Гб DDR4 для логики

4× ARM-A53 + 2× ARM-R5

4 Гб DDR4 для приложений

Такое сочетание FPGA/SoC обеспечивает высокую плотность логики и эффективную параллельную цифровую обработку сигнала, а также удобный программный интерфейс благодаря многоядерным ARM-процессорам.

#### Высокочастотная часть:

РЧ-тракт основан на ADRV9009, обеспечивая:

- Два независимых передающих канала (TX1, TX2)
- Два независимых приёмных канала (RX1, RX2)
- Два обзорных приёмника (ORX1, ORX2)

#### Передающая часть (TX):

Диапазон частот: 75–6000 МГц

Максимальная полоса: до 450 МГц

Выходная мощность: 15 дБм

Подавление зеркальной составляющей: > 40 дБ

OIP3: > 23 дБм

Подавление несущего колебания: > 71 дБ

### Приёмная часть (RX):

Диапазон частот: 75–6000 МГц  
Максимальная полоса: до 200 МГц  
Макс. входная мощность: –9.5 дБм  
Коэффициент шума: 12 дБ  
Подавление зеркальной составляющей: > 70 дБ  
IP3: > 12 дБм  
Подавление несущего колебания: > 65 дБ

### Обзорный приёмник (ORX):

Диапазон частот: 75–6000 МГц  
Максимальная полоса: до 450 МГц  
Макс. входная мощность: –8 дБм  
Коэффициент шума: 12 дБ  
Подавление зеркальной составляющей: > 65 дБ  
IP3: > 5 дБм  
Подавление несущего колебания: > 60 дБ

### Интерфейсы и обмен данными:

#### Ethernet:

Передача и приём I/Q-отсчётов в формате 16 бит (I) + 16 бит (Q)

Управление основными параметрами радиотракта и встроенными алгоритмами

#### SFP+:

Высокоскоростная передача данных (до 12,5 Гбит/с на одну линию)

Передача и приём I/Q-отсчётов в формате 16 бит (I) + 16 бит (Q)

#### USB 3.0:

Быстрый интерфейс для обмена данными и управления

### CAN:

Для промышленных и транспортных решений

### NVMe (M.2)

Быстрая локальная запись и хранение данных

**Управление РЧ-трактом:** Система управления «PITM-SDR-mini» реализуется через Ethernet (или другие интерфейсы) и охватывает:

#### Управление TX1/TX2:

Установка рабочей частоты

Установка уровня выходной мощности (программная аттенюация)

Выбор канала (1, 2 или оба)

Калибровка передающего тракта

#### Управление RX1/RX2:

Установка рабочей частоты

Настройка входного аттенюатора

Выбор канала (1, 2 или оба)

Калибровка приёмного тракта

#### Управление ORX:

Установка аттенюации

Выбор канала (ORX1 или ORX2)

### Управление встроенными IP-ядрами:

Коэффициенты интерполяции (передача) и децимации (приём)

DDS-генератор (тестовый режим, калибровка)

DPDex-IP (цифровое предсказание для линейаризации)

PC-CFRex-IP (подавление пиков — Crest Factor Reduction)

FFTex-IP (быстрое преобразование Фурье)

OFDMex-IP (модуляция и демодуляция OFDM)

Пользователь может быстро конфигурировать эти блоки для решения специфических задач и добиваться требуемого качества обработки сигнала.

возможность интеграции собственных IP-ядер.

### Прикладные возможности

- Приём/передача, формирование/обработка I/Q-отсчётов в реальном времени
- Файловый обмен для офлайн-анализа
- «STREAMING» для непрерывной записи или удалённого анализа сигналов без задержек

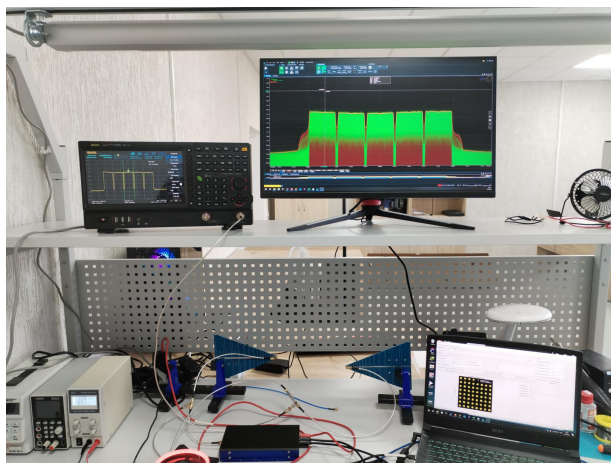


Рис.2

### Типовые области применения:

- Тестирование, измерение и анализ РЧ-трактов. Возможности широкополосного приёмника и встроенные модули анализа.
- Прототипирование систем связи. широкая полоса, цифровая обработка в ПЛИС.
- МIMO-системы 2×2, и многоканальные решения. Расширение до 8×8, тестирование пространственных алгоритмов.
- Радиолокация. Широкий диапазон, высокая мощность, гибкая генерация/обработка сигналов.
- Исследования и научные эксперименты. Универсальность и

### Совместимые программные опции:

- Анализ и генерация LTE-сигналов:

Расчёт ACLR/ACPR, EVM/MER/BER, PAPR

Генерация и анализ тестовых сигналов LTE: EUTRA(E-TM)

Генерация и анализ тестовых сигналов в соответствии с Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA):

E-UTRA Test Model 1.1

E-UTRA Test Model 1.2

E-UTRA Test Model 2

E-UTRA Test Model 3.1

E-UTRA Test Model 3.2

E-UTRA Test Model 3.3

Генерация и анализ пользовательских сценариев и кадров LTE

Анализ метрик сигналов: EVM, BER, MER

Поддержка многоканальной генерации и анализа (до 5 каналов LTE)

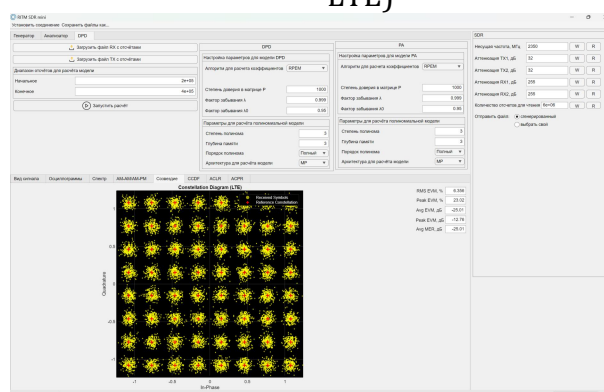


Рис.3

- Анализ и моделирование усилителей мощности - PA
- Анализ и моделирование предсказаний - DPD

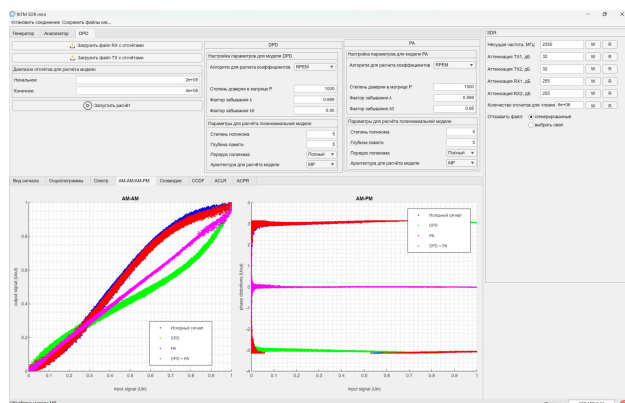


Рис.4

ПИТМ-SDR-mini представляет собой мощную программно-определяемую радиоплатформу, ориентированную на различные сферы применения — от научных исследований до промышленных и военных систем. Ключевым преимуществом решения служит сочетание широкополосных передающих и приёмных трактов, огромного потенциала ПЛИС Zynq UltraScale+ и богатого набора встроенных IP-блоков.

За счёт высокопроизводительных IP-ядер пользователь получает готовые инструменты цифровой обработки (DPD, PC-CFR, FFT, OFDM и др.), позволяющие сэкономить время и ресурсы на разработку. Гибкая архитектура и поддержка стандартных интерфейсов (Ethernet, SFP+, USB 3.0, CAN) упрощают интеграцию ПИТМ-SDR-mini в уже существующие системы. Возможность масштабирования конфигурации (например, расширение до MIMO 8×8) делает платформу перспективным выбором для будущих задач.

Таким образом, ПИТМ-SDR-mini открывает широкие возможности для создания, тестирования и внедрения новейших решений в области беспроводной связи и радиолокации, обеспечивая при этом высокую производительность, надёжность и удобство разработки.

Чтобы обсудить ваши конкретные требования к продукту ПИТМ-SDR-mini, пожалуйста, свяжитесь с ЦИТМ Экспонента  
+7 (495) 009 65 85 | [info@exponenta.ru](mailto:info@exponenta.ru) | [www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru)