

---

---

# КОМПЛЕКС ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ ТА РАДІОМОНІТОРИНГУ НА БАЗІ SDR ТЕХНОЛОГІЇ

Лошаков В.А., Москалець М.В., Велліо А.,  
Al-Vandavi Saif Ahmed Iskandar Ismael, Хвостик І.О.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії  
імені В.В. Поповського», Харківський національний  
університет радіоелектроніки., Україна.  
E-mail: [ut3ll.v@gmail.com](mailto:ut3ll.v@gmail.com)

---

---

## Abstract

The work is attributed to the results of the development of a laboratory complex of workflows to complete a system of links and radio navigation on the basis of SDR technology. Qa technology to-zvolya e extremely efficiently virishuvati zamini imini parametriv that navigate reconfiguracu vzhe isnuyuchih rad\_istema lish for additional help zmin before programmed storage.

---

**Вступ.** Стрімкий розвиток систем зв'язку нових поколінь вимагає швидкого впровадження та забезпечення можливості оперативної зміни цифрових методів модуляції, кодування та обробки сигналів, а також поглибленого оперативний радіомоніторинг цих систем, що неможливо реалізувати класичними апаратними методами. Технологія Software Defined Radio (SDR) дозволяє найбільш ефективно вирішувати ці задачі за допомогою спеціального програмного забезпечення та оперативного внесення змін до нього. Однак, відсутність навчальної бази, необхідної для підготовки фахівців у цій галузі стримує розвиток та впровадження технології SDR. У зв'язку з цим розробка комплексу лабораторних робіт з дослідження систем зв'язку нових поколінь та їх радіомоніторингу на основі використання SDR технології є актуальною.

Дослідження, проведені в роботі, стали можливими завдяки розробці програмного забезпечення для реалізації моделей сучасних та перспективних систем зв'язку ( стандартів GSM і LTE) та систем радіомоніторингу на програмуємій радіо платформі LimeSDR. Можливості розробленого лабораторного комплексу не обмежуються моделюванням вказаних вище систем, Вони можуть бути використані і для дослідження систем цифрового телебачення (стандартів супутникового DVB-S/S2, ефірного наземного DVB-T/T2 та кабельного DVB-C/C2 телемовлення) [4].

**Основна частина.** Головним обмежуючим фактором в реалізації такої SDR-системи є параметри АЦП та ЦАП, оскільки у ідеальному випадку SDR (пряма оцифровка сигналу) діапазон частот вхідного сигналу обмежується частотою дискретизації конкретного АЦП. Щоб забезпечити частотну незалежність SDR системи від параметрів АЦП/ЦАП, перед ним часто використовують попередні перетворювачі частоти сигналів (up/down-конвертори), забезпечуючи також радіочастотну селекцію і посилення [1].

Згідно з планом розвитку ІМТ-2020 мобільні мережах п'ятого покоління будуть працювати на надвисоких і вкрай високих частотах до 60 ГГц, використовуючи технологію МІМО, зокрема, її

розвиток, який отримав назву Massive-MIMO. Massive-MIMO нагадує двовимірну ґратку з антен у кількості від 128 до 256 штук. Ця технологія дозволяє формувати діаграму за заявкою на кожного абонента, ефективно використовувати перевідбиття, та збільшити спектральну ефективність в цілому.

Компанія Xilinx націлена на практичну реалізацію таких систем і анонсувала випуск інтегрованої схеми RFSoS, що об'єднує в собі вісім ЦАП/АЦП, ПЛІС та багатоядерний процесор ARM Cortex A53 (рис.1) [2,3].

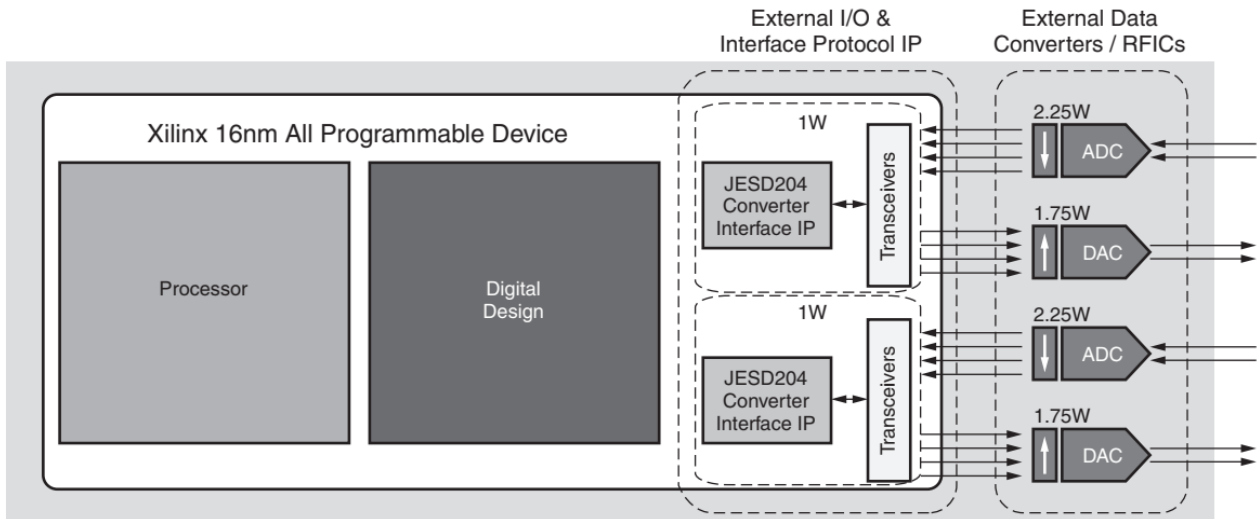


Рис.1. Структура мікросхеми RFSoS

У мікросхемі встановлено 12 розрядні АЦП з частотою дискретизації 4 ГГц і 14 розрядні ЦАП з частотою дискретизації 6,4 ГГц. Такі характеристики конвертерів дозволяють виконувати обробку прямо на несучій частоті без використання складної СВЧ частини, що спрощує створення адаптивних антенних решіток, які забезпечують просторово-часову та поляризаційну обробку сигналів і автокомпенсацію завад. Таким чином RFSoS є SDR зібраний за «ідеальною схемою». При цьому аналогова частина складається тільки з антени, підсилювачів з низьким коефіцієнтом шуму, фільтрів і підсилювача потужності. В даний час на ринку представлені різноманітні SDR платформи. За критерієм ефективність/вартість серед найбільш поширених вигідно відрізняється радіоплатформа LimeSDR, яка має невисоку вартістю \$249 при досить високі технічні характеристики [2]:

- діапазон частот: 100 кГц-3.8 ГГц;
- смуга частот: 61.44 МГц;
- 12-розрядний АЦП з  $F_d = 160$  МГц і 12-розрядний ЦАП з  $F_d = 640$  МГц;
- 2 канали передачі та 2 канали прийому (2x2 MIMO);
- FPGA: Altera Cyclone IV EP4CE40F23;
- пам'ять: 2 Гб DDR2;
- USB 3.0 інтерфейс для зв'язку з ПК.

Можливими областями застосування SDR платформ LimeSDR є:

- формування та прийом сигналів різних стандартів зв'язку (GSM, UMTS, LTE, Wi-Fi, WiMax, ZigBee, Bluetooth, Tetra, LoRa) та цифрового наземного та супутникового телебачення стандартів DVB-xx;
- радіомоніторинг, спектральний аналіз та пеленгація джерел радіовипромінювань;
- декодування навігаційних повідомлень систем GPS, Glonass, BeiDou, Galileo;
- побудова різних видів радарів (пасивних, активних, з синтезованою апертурою);

- моделювання різних систем радіозв'язку з використанням середовища Matlab, LabView та ін.

Платформа LimeSDR заснована на радіочіпі Lime Microsystems LMS7002M (рис.2), який містить підсилювач з низьким коефіцієнтом шуму, змішувачі приймачів і передавачів, фільтри приймачів і передавачів, схему управління посиленням приймачів, схему контролю потужності передавачів, АЦП та ЦАП. Важливо, що вона є повністю відкритою, тобто доступні схеми пристрою та друкованої плати, вихідний код програм ПЛІС як клієнта ПК.

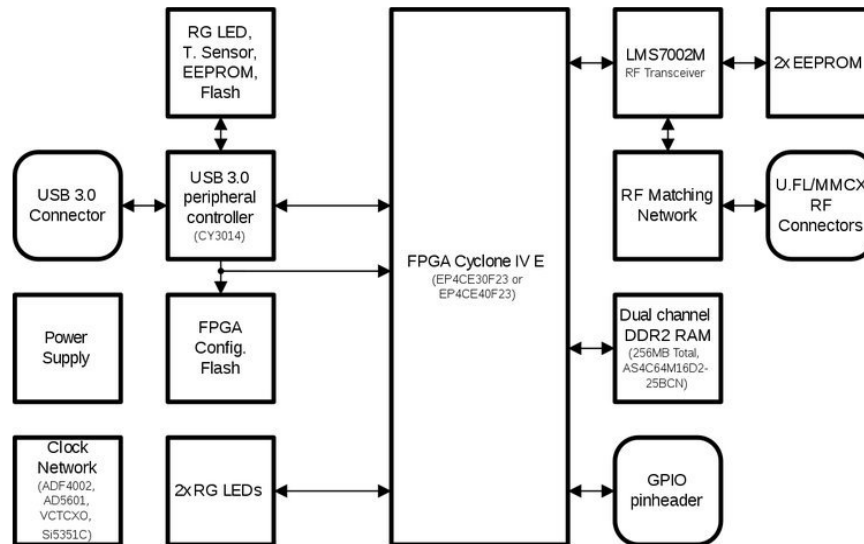


Рис.2. Структурна схема платформи Lime SDR

Аналіз характеристик радіоплатформи LimeSDR свідчить, що на її основі можуть бути реалізовані лабораторні роботи з дослідження всіх вказаних вище систем. При цьому для запуску та управління радіочастотними параметрами приймачів, передавачів, та базових станцій перерахованих вище стандартів на базі LimeSDR були розроблені відповідні моделі і програмне забезпечення.

Для реалізації програмного забезпечення для LimeSDR обрана вільно поширювана операційна система Ubuntu. Ubuntu - це операційна система сімейства GNU/Linux, яка базується на пакетах Debian. Ubuntu є одним з найпопулярніших дистрибутивів, активно розвивається і має дуже широку підтримку спільноти користувачів у всьому світі, рекомендований для початкового знайомства з Linux. За замовчуванням, Ubuntu поставляється з графічним оточенням Unity.

### Лабораторна робота з дослідження системи мобільного зв'язку стандарту GSM

GSM - стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку. Завдяки широкій поширеності і високій документованості є ідеальним кандидатом для вивчення принципів стільникового зв'язку.

В рамках роботи розгорнута базова інфраструктура базової станції (БС) стандарту GSM. Для цього використовувалась вільно розповсюджуваний програмний комплекс osmoscom (Open source mobile communications), що складається з десятків програмних інструментів, які можуть працювати як окремо так і утворювати цілісну інфраструктуру. Загальна схема програмного комплексу osmoscom представлена на рис.3, а фото лабораторного комплексу на рис.4.

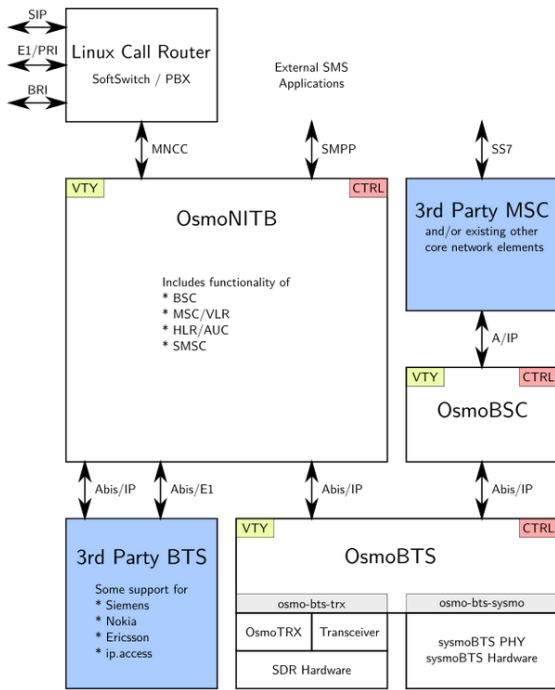


Рис.3. Структурна схема програмного комплексу osmocom

Рис.4. Лабораторний комплекс

Перед початком побудови БС необхідно встановити супутні бібліотеки. Для цього відкриваємо terminal і проводимо всі дії від імені суперкористувача введенням команди `sudo -s`. Потім необхідно відкрити каталог `libosmoscore` командою `cd libosmoscore`. Після цього запускається скрипт командою `autoreconf -i`, який визначить правильні значення для залежних від системи змінних, що використовуються в процесі встановлення. За вищевказаним сценарієм встановлюємо компонент `osmo-nitb`, який представляє собою OpenBSC в режимі Network In The Box (NITB). У зв'язку з тим, що моделювання базової станції буде виконуватися на одному комп'ютері і рознесення сервісів системи мобільного зв'язку не потребується, був обраний режим Network In The Box, який об'єднує всі бази даних та сервіси в один без можливості рознесення. При правильному виконанні інструкцій компонент `osmo-nitb` запускається командою `osmo-nitb`.

Для взаємодії програмного комплексу osmocom з LimeSDR необхідно встановити приймач OsmoTRX (рис.5, рис.6), який реалізує фізичний рівень радіоінтерфейсу у відповідність до технічних специфікацій (TS) 3GPP: TS 05.01 «Фізичний рівень в тракці радіозв'язку»; TS 05.02 «Мультиплексування і множинний доступ в тракці радіозв'язку»; TS 05.04 «Модуляція»; TS 05.10 «Синхронізація радіопідсистем». Розташування OsmoTRX в архітектурі osmocom представлено на рис.4.



Рис.5. OsmoTRX в архітектурі osmocom

```

root@ubuntu:~# osmo-trx -f
linux; GNU C++ version 4.8.4; Boost_105400; UHD_003.009.004-0-g2b5a88bb

opening configuration table from path :memory:
Config Settings
  Log Level..... NOTICE
  Device args.....
  TRX Base Port..... 5700
  TRX Address..... 127.0.0.1
  Channels..... 1
  Tx Samples-per-Symbol... 4
  Rx Samples-per-Symbol... 1
  EDGE support..... Disabled
  Reference..... Internal
  C0 Filler Table..... Dummy bursts
  Multi-Carrier..... Disabled
  Diversity..... Disabled
  Tuning offset..... 0
  RSSI to dBm offset..... 0
  Swap channels..... 0

```

Рис.6. Запуск компонента OsmoTRX

IMSI абонентських терміналів вносяться у Home Location Register (HLR), після чого термінали отримують дозвіл підключитися до створеної мережі і їм присвоюються телефонні номери. Далі здійснюється тестовий дзвінок для тестування коректної роботи системи БС GSM.

### Радіомоніторинг та спектральний аналіз джерел радіовипромінювань

Мета роботи - дослідження спектра основних бездротових технологій, ознайомлення з технологією SDR.

Для дослідження спектра використовується програма Gqrx. Після запуску буде запропоновано змінити налаштування програми. Конфігураційне вікно зображено на рис.7.

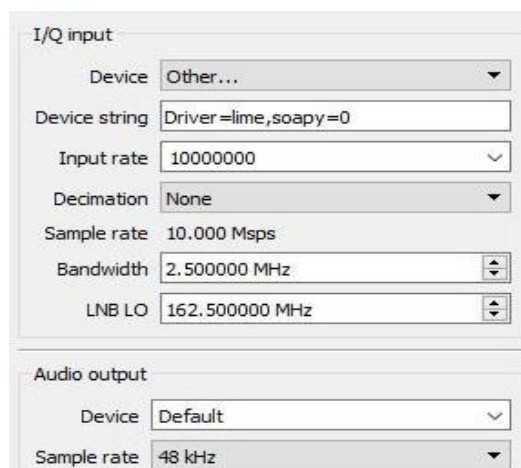


Рис. 7. Конфігураційне вікно

Поле Input rate відповідає частоті дискретизації, поле Bandwidth відповідає ширині смуги частот фільтра, його бажано вибирати рівним значенню Input Rate. Для отримання спектру Wi-Fi частота дискретизації була обрана відповідно до ширини смуги стандарту, вона дорівнює 20 МГц і ширина фільтра відповідно також 20 МГц. Після конфігурації була встановлена частота прийому. У залежності від номеру каналу частота буде відрізнятись. У нашому випадку використовувався 13-й канал, який має робочу частоту 2472 МГц. Скріншот спектру сигналу 13-го каналу Wi-Fi зображено на рис.8. Спектр низхідного сигналу GSM зображено на рис.9. При дослідженні спектру низхідного сигналу технології GSM частота дискретизації та посилення залишались незмінними, а частота прийому дорівнювала 942 МГц.

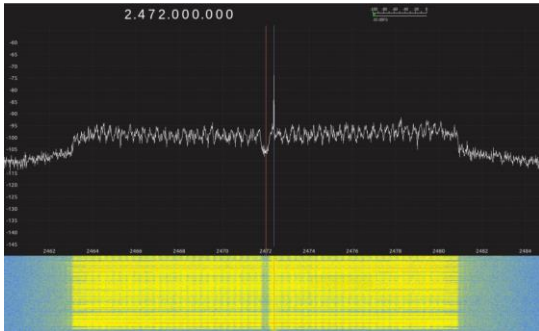


Рис.8. Спектр сигналу 13-го каналу Wi-Fi

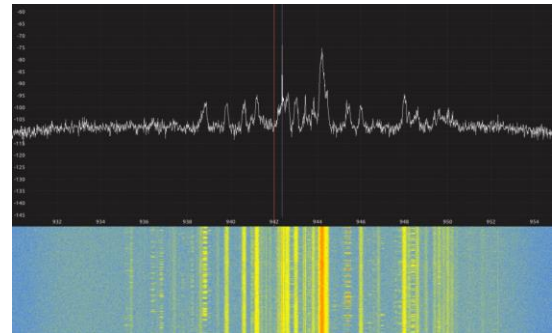


Рис. 9. Спектр низхідного потоку GSM

## Висновки

На основі порівняльного аналізу програмованих SDR платформ для побудови універсального лабораторного комплексу обрана радіоплатформа LimeSDR, яка, по нашим оцінкам, є оптимальною по критерію ефективність/вартість. Розроблено та досліджено моделі систем зв'язку та радіомоніторингу з використанням технології SDR: базову станцію GSM, яка дозволяє здійснювати дзвінки та підключатися до нових абонентів з існуючого стандартного обладнання, а також здійснювати дзвінки через оператора SIP; систему радіомоніторингу та аналізу спектрів джерел радіовипромінювання.

## Література:

1. Software Defined Radio [Електронний ресурс] / Wireless Innovation Forum – Режим доступу: [http://www.wirelessinnovation.org/introduction\\_to\\_sdr](http://www.wirelessinnovation.org/introduction_to_sdr) – 2016.
2. LimeSDR-USB User Guide[Електронний ресурс] / Myriad-RF – Режим доступу: [http://wiki.myriadrf.org/LimeSDR-USB\\_User\\_Guide](http://wiki.myriadrf.org/LimeSDR-USB_User_Guide) – 2016.
3. Anthony Collins. All Programmable RF-Sampling Solutions .WP489 (v1.0.1). April 27, 2017.
4. Systems and Technologies of digital TV: навчальний посібник/ В.А. Лошаков, С.А. Сабурова та інші.; за заг. ред. проф. В.А. Лошакова. –Х.: ФОП Коряк С.Ф., 2019. – 416с.