

**РОЗРОБЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ ЛАБОРАТОРНИХ
РОБІТ З ФОРМУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ
ТЕХНОЛОГІЙ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ
ОБЛАДНАННЯ ROHDE & SCHWARZ**

Авдєєнко Г.Л., Пікалов А.А.

*Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних
систем КІІІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

E-mail: django2006@ukr.net, pikalov.andrey@iitl.kpi.ua

**DEVELOPMENT OF A COMPLEX OF LABORATORY
WORK ON THE FORMATION AND RESEARCH OF SIGNALS OF
MOBILE COMMUNICATION TECHNOLOGIES USING ROHDE &
SCHWARZ EQUIPMENT**

The study investigates the impact of signal imperfections in the transmitter, such as I/Q imbalance, phase noise, and radio channel parameters, including multipath propagation and interference, on the quality of the received signal. Experimental measurements were conducted using the R&S®SMJ100A vector signal generator and the R&S®FSG-13 spectrum analyzer. A set of laboratory exercises for students in the field of wireless technologies is proposed to assess the impact of signal distortions and develop methods for their compensation.

Мобільні мережі становлять основу сучасних телекомунікацій з розвитком технологій 4G, 5G та майбутнього 6G, забезпечуючи високу швидкість, пропускну здатність і мінімальні затримки. Складні умови радіоканалу через багатопроменеве поширення, інтерференцію та перешкоди потребують детального дослідження параметрів сигналів.

Розроблений лабораторний комплекс для студентів телекомунікаційних спеціальностей використовує професійне обладнання Rohde & Schwarz (векторний генератор R&S®SMJ100A та аналізатор спектру R&S®FSG-13), що дозволяє набути практичних навичок роботи з промисловим вимірювальним обладнанням та дослідити вплив різних факторів на сигнали безпроводових систем.

Комплекс спрямований на вирішення проблеми недостатньої практичної підготовки фахівців у галузі мобільного зв'язку. Еволюція від 5G до 5G-Advanced та підготовка до 6G вимагають розуміння принципів формування та обробки сигналів у складних радіоканалах, включаючи спотворення у передавачах (розбаланс I/Q, фазові шуми) та каналах поширення (багатопроменевість, інтерференція).

Однак, існуюча система підготовки спеціалістів у галузі телекомунікацій часто зіштовхується з проблемою недостатньої практичної складової. Теоретичні знання, отримані студентами, не завжди підкріплюються практичними навичками роботи з реальним обладнанням та дослідження реальних сигналів. Це призводить до розриву між академічною підготовкою

та вимогами індустрії. Саме на вирішення цієї проблеми спрямований розроблений комплекс лабораторних робіт, який дає можливість студентам працювати з професійним обладнанням та досліджувати реальні ефекти, що виникають у системах мобільного зв'язку.

Вибір обладнання Rohde & Schwarz для створення лабораторного комплексу обумовлений рядом вагомих факторів:

1. Промисловий стандарт якості: Rohde & Schwarz є світовим лідером у галузі виробництва вимірювального обладнання для телекомунікацій, що широко використовується провідними компаніями та дослідницькими центрами. Обладнання цієї компанії вважається еталонним, що дозволяє студентам отримати досвід роботи з найкращими професійними інструментами.

2. Технологічна актуальність: Компанія постійно оновлює своє обладнання та програмне забезпечення відповідно до розвитку технологій зв'язку. Зокрема, як було зазначено, на MWC 2025 Rohde & Schwarz представила інноваційні рішення під гаслом «Enabling Connections, Empowering Innovations», що демонструє фокус компанії на перехід від 5G до 5G-Advanced та розробку технологій 6G.

3. Функціональна гнучкість: Векторний генератор сигналів R&S®SMJ100A та аналізатор спектру R&S®FSG-13 дозволяють проводити широкий спектр експериментів з різними типами модуляції, стандартами зв'язку та умовами каналу. Це забезпечує можливість створення комплексних та різноманітних лабораторних робіт.

4. Сумісність зі стандартами: Обладнання Rohde & Schwarz повністю відповідає міжнародним стандартам зв'язку, включаючи IEEE 802.11, 3GPP 5G NR та інші, що дозволяє проводити дослідження сигналів у повній відповідності до реальних систем.

5. Програмне забезпечення WINIQSIM2: Це ПЗ дозволяє моделювати сигнали різних стандартів зв'язку з контрольованими параметрами спотворень, що є необхідним для систематичного дослідження впливу різних факторів на якість сигналу.

Розроблений комплекс лабораторних робіт структурований таким чином, щоб забезпечити поступове ускладнення завдань та охоплення різних аспектів формування та дослідження сигналів.

Кожна лабораторна робота складається з наступних етапів:

1. Теоретична підготовка: Студенти ознайомлюються з теоретичними основами досліджуваних явищ, математичними моделями та очікуваними результатами.

2. Підготовка експерименту: Налаштування обладнання Rohde & Schwarz згідно з параметрами, визначеними у завданні, програмування векторного генератора сигналів за допомогою WINIQSIM2.

3. Проведення вимірювань: Систематичне вимірювання параметрів сигналу при різних рівнях спотворень та умовах каналу.

4. Аналіз результатів: Обробка та інтерпретація отриманих даних, порівняння з теоретичними прогнозами.

5. Розробка рекомендацій: Формулювання висновків щодо впливу досліджуваних факторів та методів зменшення їх негативного впливу.

Впровадження запропонованого комплексу лабораторних робіт у навчальний процес суттєво підвищить якість практичної підготовки студентів, надаючи їм цінний досвід роботи з професійним обладнанням та можливість застосувати теоретичні знання на практиці. Це сприятиме формуванню важливих професійних компетенцій, включаючи розуміння принципів формування та аналізу сигналів, вміння ідентифікувати й компенсувати різні типи спотворень, а також навички оптимізації параметрів систем зв'язку.

Студенти розвинути аналітичне мислення, навчатися аналізувати складні взаємозв'язки між параметрами сигналу та характеристиками системи, прогнозувати вплив різних факторів на якість зв'язку. Отримані під час лабораторних робіт результати можуть стимулювати науково-дослідницьку діяльність, стаючи основою для подальших досліджень, курсових та дипломних робіт. Головне, що такий підхід дозволить скоротити розрив між освітою та індустрією, допомагаючи випускникам швидше адаптуватися до роботи в реальних умовах телекомунікаційної галузі.

Розроблений комплекс лабораторних робіт з формування та дослідження сигналів технологій мобільного зв'язку з використанням обладнання Rohde & Schwarz є важливим кроком у напрямку модернізації освітнього процесу підготовки фахівців телекомунікаційного профілю. Він забезпечує систематичне дослідження впливу різних типів спотворень на параметри сигналів та дозволяє студентам набути практичних навичок роботи з професійним обладнанням.

Особливістю запропонованого комплексу є використання високоточного обладнання Rohde & Schwarz, що дає можливість досліджувати тонкі ефекти формування та поширення сигналів, які неможливо вивчити за допомогою спрощених навчальних стендів. Це дозволяє підготувати спеціалістів, здатних ефективно працювати з сучасними та перспективними технологіями мобільного зв'язку.

Впровадження даного комплексу лабораторних робіт сприятиме підвищенню якості освіти, формуванню затребуваних індустрією компетенцій та посиленню конкурентоспроможності випускників на ринку праці.

Література

1. Rohde & Schwarz. R&S®SMJ100A Vector Signal Generator -- Operating Manual.
2. IEEE Std 802.11-2020. IEEE Standard for Wireless Communications.
3. Rappaport T. S. Wireless Communications: Principles and Practice. -- 2nd ed. -- Prentice Hall, 2002.
4. "Enabling Connections, Empowering Innovations": Rohde & Schwarz Presents to the Mobile Industry at MWC 2025. Wireless Design Online, 2025.
5. 3GPP TS 38.211. "NR; Physical channels and modulation". 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network.