

УДК 621

Шмирко Р. – ст. гр. ТР-304

Відокремлений структурний підрозділ "Тернопільський фаховий коледж"  
Тернопільського національного технічного університету імені Івана  
Пулюя, Україна

## ЦИФРОВА МОДУЛЯЦІЯ У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Науковий керівник: Недошитко Л. М. , викладач-методист

Shmyrko R.

Separate structural unit "Ternopil Professional College" of Ivan Pulyuy  
Ternopil National Technical University, Ukraine

## DIGITAL MODULATION IN MODERN RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

Scientific supervisor: Nedoshytko L. M. , teacher-methologist

Радіозв'язок є ключовим елементом сучасних телекомунікаційних систем, від мобільного зв'язку до безпілотних літальних апаратів та мереж Інтернету речей. Сучасні системи все більше використовують цифрові методи передачі даних, оскільки вони забезпечують більшу швидкість, точність і надійність порівняно з аналоговими. Основним процесом у таких системах є цифрова модуляція, яка перетворює цифрову інформацію у радіосигнал, придатний для передачі через ефір чи кабельні канали.

Цифрова модуляція полягає у зміні параметрів несучого сигналу — амплітуди, частоти або фази — відповідно до бітів інформаційного потоку. Наприклад, у методі Amplitude Shift Keying (ASK) амплітуда сигналу змінюється залежно від переданого біта, тоді як Frequency Shift Keying (FSK) використовує різні частоти для позначення логічних 0 і 1. Інший популярний метод — Phase Shift Keying (PSK), де інформація кодується зміною фази несучої. Для високошвидкісної передачі даних застосовується Quadrature Amplitude Modulation (QAM), що поєднує зміну амплітуди і фази для підвищення обсягу переданої інформації без розширення спектра.

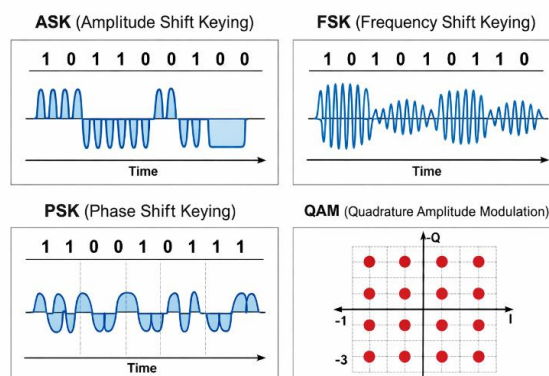


Рис.1. Основні види цифрової модуляції

Використання цифрової модуляції дає кілька важливих переваг. По-перше, вона забезпечує високу надійність, оскільки сучасні цифрові системи підтримують методи виявлення та виправлення помилок. По-друге, цифрові методи дозволяють

ефективно використовувати радіочастотний спектр, що особливо важливо у щільних мережах і для мобільних операторів. По-третє, цифрові сигнали легко інтегруються з алгоритмами обробки даних, шифрування та стиснення, що робить системи більш гнучкими і безпечними.

Сучасні технології зв'язку активно застосовують цифрову модуляцію у різних напрямках. У мобільних мережах нового покоління (4G, 5G) вона дозволяє передавати голос, відео та дані високої швидкості. У бездротових сенсорних мережах та IoT-пристроях цифрові методи забезпечують надійний обмін інформацією між великою кількістю пристроїв на великих відстанях. Також цифрова модуляція використовується у телеметрії безпілотників і супутниковому зв'язку, де важлива стабільність каналу і мінімізація перешкод.

Перспективи розвитку цифрової модуляції пов'язані з підвищенням швидкості передачі, зменшенням енергоспоживання та адаптивним використанням спектра. Розвиваються методи адаптивної модуляції, які змінюють параметри сигналу залежно від якості каналу, а також нові форми багатофакторної модуляції для забезпечення високошвидкісного зв'язку у складних умовах. З огляду на зростання вимог до швидкості та надійності, цифрова модуляція залишатиметься основою сучасних і майбутніх систем радіозв'язку, забезпечуючи ефективну передачу даних у різних галузях технологій.

### **Література**

1. Модуляція амплітуди в квадратурі (QAM). Режим доступу: <https://www.vpnunlimited.com/ua/help/cybersecurity/quadrature-amplitude-modulation>
2. Цифрова модуляція | PySDR: A Guide to SDR and DSP using Python. Режим доступу: [https://pysdr.org/ukraine/content-ukraine/digital\\_modulation.html](https://pysdr.org/ukraine/content-ukraine/digital_modulation.html)
3. Цифрові схеми модуляції. Режим доступу: <https://ephsquab.ette.v.ua/articles/cifrovi-shemi-moduljacji.html>
4. Modulation Techniques Unveiled — HerdaRadio. Режим доступу: <https://herdaradio.com/uk/blog/radioknowledge/modulation-techniques-unveiled/>