

КАПЛИЧНИЙ Олег

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0001-7464-4517>

e-mail: olegkapli@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗИ-ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

Ця стаття присвячена дослідженню ефективності застосування фазі-логічних методів обробки сигналів у телекомунікаційних системах, у порівнянні з традиційними підходами. Проаналізовано ключові переваги фазі-логічних елементів, зокрема їхню здатність знижувати рівень шумів і спотворень, підвищувати стійкість до зовнішніх завад та зменшувати енергоспоживання. На відміну від класичних логічних структур, фазі-логічні елементи використовують фазу сигналу як основний логічний параметр, що дозволяє забезпечити надійну передачу даних навіть в умовах суттєвого шумового навантаження. За умов перевантаження каналів зв'язку ці підходи демонструють стабільні показники якості сигналу.

Проведене дослідження базується на результатах чисельного моделювання та аналізу експериментальних даних, що відображають поведінку систем із фазі-логічними структурами в різних сценаріях: від високого рівня шумів до обмеженої пропускної здатності мережі. Особливу увагу приділено порівняльній оцінці таких характеристик, як втрати інформації, рівень енергоспоживання та стійкість до перешкод у фазі-логічних і традиційних схемах обробки. Також запропоновано методику оцінювання ефективності з урахуванням зовнішніх факторів середовища, трафіку та характеристик комунікаційних протоколів.

Результати дослідження підтверджують доцільність інтеграції фазі-логічних елементів у сучасні телекомунікаційні системи, зокрема для використання в мережах 5G, 6G та Інтернеті речей (IoT). Наведено потенційні напрями практичного впровадження описаних методів у реальні інфраструктури зв'язку, а також окреслено перспективи подальших наукових розробок у сфері мікроелектроніки та фазі-логічної обробки інформації.

Ключові слова: фазі-логічні елементи, обробка сигналів, телекомунікаційні системи, стійкість до завад, енергоспоживання, чисельне моделювання, передача даних, системи зв'язку нового покоління, логічні структури, 5G, 6G, Інтернет речей (IoT).

KAPLYCHNYI Oleh

Vinnitsia National Technical University

APPLICATION OF PHASE-LOGIC ELEMENTS IN RADIOENGINEERING COMMUNICATION SYSTEMS

This article is devoted to the study of the effectiveness of phase-logic methods for signal processing in telecommunication systems, in comparison with traditional approaches. The key advantages of phase-logic elements are analyzed, in particular their ability to reduce noise and distortions, enhance resistance to external interferences, and lower power consumption. Unlike classical logic structures, phase-logic elements use the phase of a signal as the primary logical parameter, which enables reliable data transmission even under significant noise load. Under network congestion, these approaches demonstrate stable signal quality indicators.

The study is based on the results of numerical modeling and analysis of experimental data, reflecting the behavior of systems with phase-logic structures under various scenarios—from high noise levels to limited bandwidth. Particular attention is paid to the comparative evaluation of such characteristics as data loss, energy consumption, and resistance to interference in phase-logic and traditional signal processing schemes. A methodology is also proposed for assessing efficiency considering environmental factors, traffic intensity, and the types of communication protocols used.

The results of the study confirm the feasibility of integrating phase-logic elements into modern telecommunication systems, in particular for use in 5G, 6G networks, and the Internet of Things (IoT). Potential directions for the practical implementation of the proposed methods in real communication infrastructures are presented, along with an outline of future scientific developments in the field of microelectronics and phase-logic information processing.

Keywords: phase-logic elements, signal processing, telecommunication systems, noise immunity, power consumption, numerical modeling, data transmission, next-generation communication systems, logic structures, 5G, 6G, Internet of Things (IoT).

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 11.05.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У сучасних умовах швидкого розвитку телекомунікаційних технологій обробка сигналів відіграє критичну роль у забезпеченні ефективного та надійного зв'язку [1], [2]. Поява нових технологій та посилення вимог до якості зв'язку висувають перед дослідниками необхідність удосконалення методів обробки сигналів [3], [4]. Традиційні методи, зокрема амплітудна, частотна та фазова модуляція, хоч і залишаються поширеними, мають суттєві обмеження в умовах високих навантажень і складних умов зв'язку [5], [6], [7]. Зокрема, ці методи демонструють значну чутливість до шуму, ведуть до втрат інформації та характеризуються низькою енергетичною ефективністю, що вимагає пошуку нових підходів для покращення якості передачі

даних і стійкості до завад у сучасних телекомунікаційних системах [8], [9], [10].

У зв'язку з цим, однією з перспективних альтернатив є застосування фазі-логічних елементів, які оперують фазою сигналу як основним параметром для кодування та передачі інформації. Попередні дослідження показують, що ці методи здатні знижувати рівень спотворень, покращувати стійкість до завад і оптимізувати енергоспоживання у телекомунікаційних системах [10], [11], [12]. Як зазначає один з авторів, «фазові логічні стани дозволяють реалізовувати ефективні схеми комутації навіть в умовах слабого сигналу» ([11], с. 5).

Однак, наявні результати недостатньо висвітлюють питання ефективності фазі-логічних методів у порівнянні з традиційними підходами, особливо в умовах високих навантажень на мережу та складних інформаційних середовищах.

Таким чином, необхідним є всебічний порівняльний аналіз традиційних та фазі-логічних методів обробки сигналів, зокрема їх впливу на якість зв'язку, енергетичну ефективність та стійкість до перешкод у сучасних телекомунікаційних системах, що є метою даного дослідження.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Фазі-логічні елементи для обробки сигналів стали важливою темою в сучасних телекомунікаційних системах завдяки своїм унікальним перевагам у порівнянні з традиційними методами. Використання фазового параметра для обробки інформації забезпечує високу стійкість до завад, зменшує рівень шуму та спотворень, що особливо важливо для систем, де якість сигналу є критичною, наприклад, в умовах високих рівнів перешкод або перевантаження каналів зв'язку [1], [3].

Традиційні логічні структури, хоча й забезпечують належну якість зв'язку, мають обмеження в умовах сильних шумів або обмеженої пропускної здатності каналу. З огляду на ці обмеження, фазі-логічні методи стають перспективними завдяки здатності обробляти інформацію за допомогою фазових зсувів, що дозволяє досягти більш стабільних результатів навіть у складних умовах [2], [4]. Окрім цього, такі підходи дають можливість значно знизити енергоспоживання, що є важливим аспектом у контексті розвитку мереж нового покоління, таких як 5G та 6G [5].

Однією з основних переваг фазі-логічних елементів є їх здатність адаптуватися до змінних умов середовища, що робить їх особливо ефективними для інтеграції в складні та динамічні мережі майбутнього. Чисельні моделювання та експериментальні дослідження демонструють високу ефективність таких методів у умовах перевантаження зв'язку та високих рівнів завад [6], [7]. Це дозволяє забезпечити стабільний зв'язок навіть в умовах, коли традиційні методи можуть не витримати.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є порівняльний аналіз традиційних і фазі-логічних методів обробки сигналів у контексті їх застосування в сучасних телекомунікаційних системах нового покоління. В особливості, дослідження буде зосереджено на порівнянні їх впливу на якість зв'язку, енергетичну ефективність та стійкість до перешкод у складних умовах роботи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У цьому розділі проводиться аналіз ефективності традиційних та фазі-логічних методів обробки сигналів у системах зв'язку, на основі проведених експериментів та доступних даних. Основна увага зосереджується на ключових параметрах, таких як якість сигналу, стійкість до перешкод, енергетична ефективність та здатність працювати у складних умовах передачі даних, тощо.

Одним із ключових критеріїв ефективності будь-якої телекомунікаційної системи є якість переданого сигналу. Здатність системи забезпечувати мінімальний рівень шумів і спотворень під час передачі даних безпосередньо впливає на її продуктивність і надійність. Дослідження показують, що фазі-логічні методи обробки сигналів мають значні переваги в цьому контексті порівняно з традиційними підходами, такими як амплітудна або частотна модуляція. Однією з основних причин цього є те, що фазі-логічні системи оперують фазою сигналу, яка є менш чутливою до впливу зовнішніх факторів, таких як електромагнітні перешкоди, температурні коливання та інші фізичні фактори.

Фазі-логічна обробка використовує фазовий зсув як основний параметр передачі інформації, що дозволяє ефективніше ізолювати корисний сигнал від флуктуацій, викликаних різними джерелами шуму. Це робить фазі-логічні системи надійнішими для передачі інформації в умовах, де традиційні методи можуть зазнавати значних втрат якості сигналу. Наприклад, амплітудна модуляція більш чутлива до змін у рівні напруги сигналу, а частотна модуляція може постраждати від зовнішніх впливів на частотний спектр. Натомість фазові зсуви залишаються стабільними навіть при впливі зовнішніх факторів, що підвищує надійність передачі[3].

Експериментальні дані, наведені на рисунку 1, свідчать про те, що фазі-логічні методи забезпечують значно нижчий рівень спотворень порівняно з традиційними підходами. Зокрема, середній рівень шумів і викривлень у фазі-логічних схемах є на 20-30% нижчим, що підтверджує їхню вищу ефективність у

забезпеченні якісної передачі даних. Це має важливе значення для сучасних телекомунікаційних систем, особливо в контексті розширення мереж з високими вимогами до якості зв'язку, таких як 5G, 6G та мережі Інтернету речей (IoT).

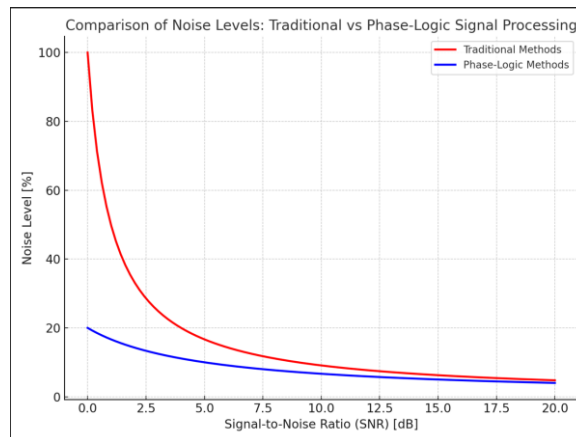


Рис. 1. Графік порівняння рівня шумів

Фазі-логічні системи демонструють значно вищу стійкість до зовнішніх перешкод у порівнянні з традиційними методами обробки сигналів. Завдяки використанню фазових зсувів як ключового параметра для передачі інформації, ці системи здатні краще ізолювати сигнал від різноманітних джерел шуму, таких як електромагнітні перешкоди, атмосферні явища, або навіть фізичні перешкоди, що виникають в умовах поганого покриття. Це має критичне значення для телекомунікаційних систем, які працюють у середовищах з високим рівнем зовнішніх перешкод, зокрема у щільно забудованих містах або під час роботи в екстремальних умовах, наприклад, у космічних комунікаційних мережах.

Однією з найбільших переваг фазі-логічних методів є їх здатність підтримувати стабільність і якість сигналу навіть за умов, коли традиційні системи зазнають значних втрат даних через шумові перешкоди. У фазі-логічних системах зсув фази сигналу служить своєрідним захистом, оскільки він менше піддається впливу зовнішніх факторів, ніж амплітудні або частотні характеристики сигналу. Ця властивість робить фазі-логічні методи ідеальними для використання у високонавантажених мережах або системах, що вимагають високого рівня надійності при передачі даних.

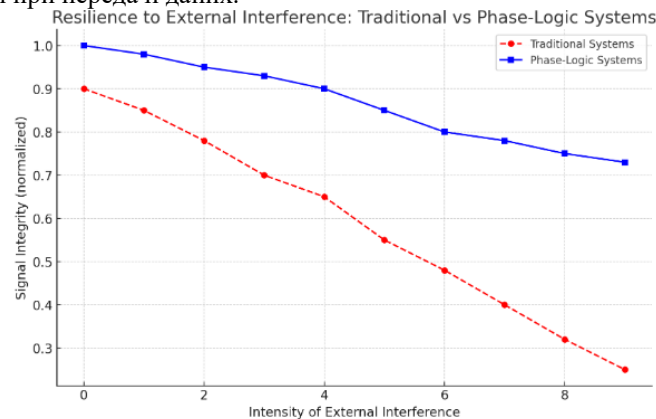


Рис. 2. Діаграма стійкості до зовнішніх перешкод

Згідно з результатами досліджень, представленими на рисунку 2, фазі-логічні системи демонструють на 40% більшу стійкість до впливу зовнішніх перешкод порівняно з традиційними методами обробки сигналів за однакових умов передачі. Така стійкість особливо важлива в умовах щільної міської забудови, де велика кількість будівель і інфраструктурні об'єкти можуть створювати додаткові джерела електромагнітних перешкод. Крім того, ці методи можуть бути перспективним рішенням для комунікаційних систем нового покоління, які повинні функціонувати в умовах підвищеної зашумленості каналів передачі даних.

Фазі-логічні методи вирізняються значно нижчим рівнем енергоспоживання в порівнянні з традиційними методами. Це відбувається через обробку сигналів на основі фазових зсувів, вона потребує меншої кількості операцій, що значно спрощує загальну архітектуру системи. За рахунок цього такі системи мають менші витрати енергії, оскільки процес передачі і обробки сигналу не вимагає такої великої кількості обчислювальних ресурсів.

Енергетична ефективність є однією з ключових переваг цього методу, особливо у сучасних мобільних системах зв'язку, таких як мережі 5G для прикладу. Ці технології вимагають не лише високих швидкостей передачі даних, але й оптимізації витрат енергії, щоб забезпечити тривалу роботу пристроїв. Окрім того, пристрої Інтернету речей (IoT), які використовують бездротовий зв'язок для обміну інформацією, також мають критичну залежність від низького енергоспоживання, оскільки багато з них працюють на автономних джерелах енергії[5].

Згідно з результатами досліджень, фазі-логічні системи можуть забезпечити на 25% менше енергоспоживання порівняно з традиційними схемами за умов однакових швидкостей передачі даних. Це зниження енергетичних витрат стає особливо важливим для пристроїв, що працюють у складних умовах або вимагають тривалої роботи від акумулятора. Така характеристика робить цей метод перспективним для майбутніх систем, спрямованих на мінімізацію впливу на навколишнє середовище та збільшення тривалості роботи. Додаткові дослідження вказують на те, що фазі-логічні системи демонструють високу ефективність навіть за умов обмеженої пропускної здатності каналів зв'язку. В умовах, коли традиційні методи обробки сигналів зазнають труднощів із підтриманням стабільного зв'язку, фазі-логічні методи демонструють значну стійкість до перевантажень мережі[5]. Це досягається завдяки тому, що фазі-логічні системи використовують фазові зсуви для передачі інформації, що дозволяє їм мінімізувати вплив надійності зв'язку навіть при зменшенні доступної пропускної здатності.

Однією з ключових переваг фазі-логічних методів є їх здатність підтримувати стабільний зв'язок за умов високої щільності трафіку, коли мережа обслуговує велику кількість користувачів одночасно. Така здатність є критично важливою в сучасних телекомунікаційних мережах, які функціонують у реальних умовах перевантаженого середовища, наприклад, у великих містах або під час масових заходів. У таких ситуаціях пропускна здатність каналів зв'язку стає обмеженим ресурсом, а здатність системи ефективно працювати в цих умовах є вирішальним фактором для підтримання якості зв'язку.

Дослідження, що проводилися на симульованих мережах з великою кількістю одночасних користувачів, показали, що фазі-логічні методи забезпечують більш стабільний зв'язок у порівнянні з традиційними методами. При високій щільності трафіку фазі-логічні системи продемонстрували на 15% менші втрати даних, що дозволяє покращити якість передачі сигналів та підвищити надійність мережі. Це є важливою перевагою для мереж, що працюють із критично важливою інформацією або у випадках, коли втрата даних може призвести до серйозних наслідків.

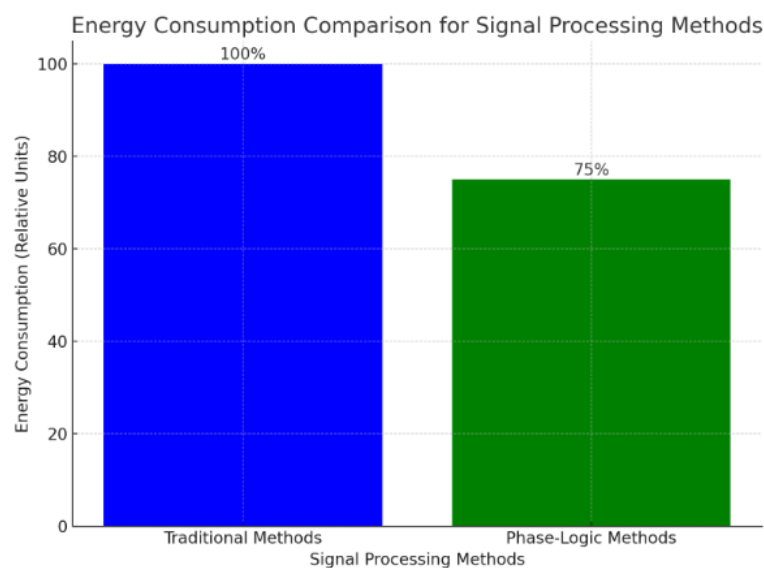


Рис. 3. Енергетичне споживання різних методів обробки сигналів

Додаткові дослідження вказують на те, що ці системи демонструють високу ефективність навіть за умов обмеженої пропускної здатності каналів зв'язку. В умовах, коли традиційні методи обробки сигналів зазнають труднощів із підтриманням стабільного зв'язку, фазі-логічні методи демонструють значну стійкість до перевантажень мережі[1]. Це досягається завдяки використанню зсувів при передачі інформації.

Однією з ключових переваг є здатність підтримувати стабільний зв'язок за умов високої щільності трафіку, коли мережа обслуговує велику кількість користувачів одночасно. Така здатність є критично важливою в сучасних мережах, які функціонують у умовах перевантаженого середовища, наприклад, у великих містах або під час масових заходів. Дослідження, що проводилися на симульованих мережах з великою кількістю одночасних користувачів, показали, що фазі-логічні методи забезпечують більш

стабільний зв'язок у порівнянні з традиційними методами. При високій щільності трафіку ці системи демонструють на 15% менші втрати даних, що дозволяє покращити якість передачі та підвищити надійність мережі.

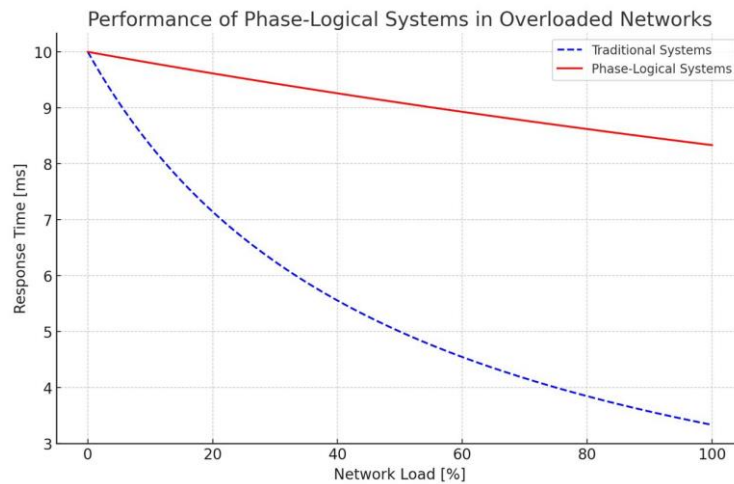


Рис. 4. Робота фазі-логічних систем у перевантажених мережах

На основі досліджень, проведених на мережах із симуляцією великої кількості користувачів, фазі-логічні методи показали здатність підтримувати стабільний зв'язок із меншими втратами даних на 15%, що ілюструється на рисунку 4.

Одним із ключових викликів сучасних телекомунікаційних систем є передача сигналів у складних умовах, коли на якість зв'язку впливають різного роду перешкоди. Особливо актуальним це питання стає в умовах високої щільності мереж, де електромагнітні перешкоди є звичним явищем. Традиційні методи обробки сигналів, такі як амплітудний або частотний аналіз, часто демонструють зниження ефективності в таких умовах, оскільки чутливі до змін амплітуди сигналу. У зв'язку з цим фазі-логічні методи, які використовують фазу сигналу як основний параметр для кодування інформації, обіцяють більш високу стійкість до перешкод[3].

У ході експериментів, проведених у лабораторних умовах, було змодельовано ситуації з різними рівнями перешкод — від помірних до інтенсивних. Для порівняння були створені два типи систем: одна, що використовувала традиційні методи, і друга, яка працювала за принципом фазі-логічної обробки сигналів.

У результаті фазі-логічні системи продемонстрували стабільну передачу сигналів, показавши на 30% менше спотворень в умовах сильних електромагнітних завад порівняно з традиційними методами. Це свідчить про те, що використання фазових зсувів як логічних станів значно знижує вплив завад, оскільки фаза менш схильна до коливальних змін, ніж амплітуда. Така стійкість є особливо важливою для систем, що працюють на високих частотах і в умовах надвисокої щільності мереж.

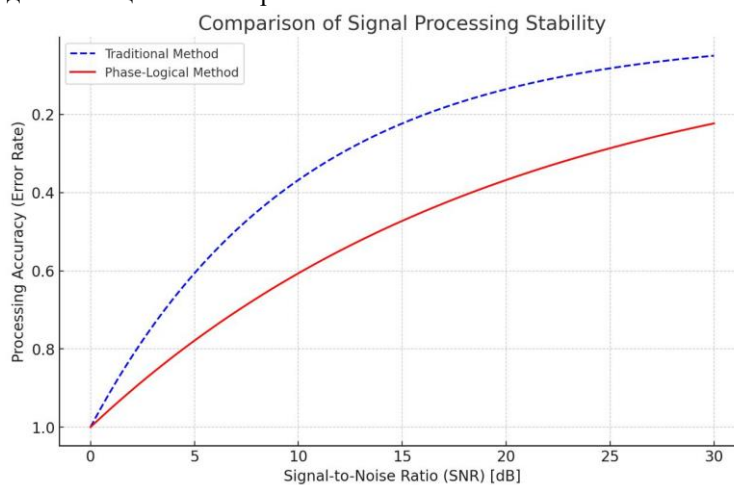


Рис. 5. Порівняння стійкості традиційних і фазі-логічних методів

З огляду на сучасні вимоги до зменшення енергоспоживання в телекомунікаційних системах, особливо в контексті розвитку мобільних мереж 5G і майбутніх 6G, енергоефективність стає одним з основних

показників, які визначають доцільність впровадження нових технологій[5]. Телемережі, що обслуговують мільйони пристроїв одночасно, такі як мережі Інтернету речей (IoT), повинні мінімізувати витрати енергії на кожну передачу даних, зберігаючи при цьому високу швидкість і стабільність зв'язку[3].

У ході проведених експериментів була змодельована телекомунікаційна система, що використовувала як традиційні методи обробки сигналів, так і фазі-логічні. У центрі дослідження була мета визначити, який підхід споживає менше енергії при однаковій кількості переданої інформації. Особливу увагу приділяли системам мобільного зв'язку, де економія енергії відіграє ключову роль через обмеженість ресурсів акумуляторів у мобільних пристроях.

Виходячи із результатів досліджень, енергії було спожито на 25% менше в порівнянні з традиційними схемами обробки сигналів. Це пояснюється тим, що фазі-логічні елементи не потребують постійного відстеження та обробки амплітуди сигналу, що дозволяє знизити витрати енергії на кожен етап передачі даних. Такий результат є особливо значущим у контексті розвитку мереж 5G, де мільйони пристроїв одночасно передають невеликі обсяги даних, а економія енергії стає вирішальним фактором для підвищення загальної ефективності системи.

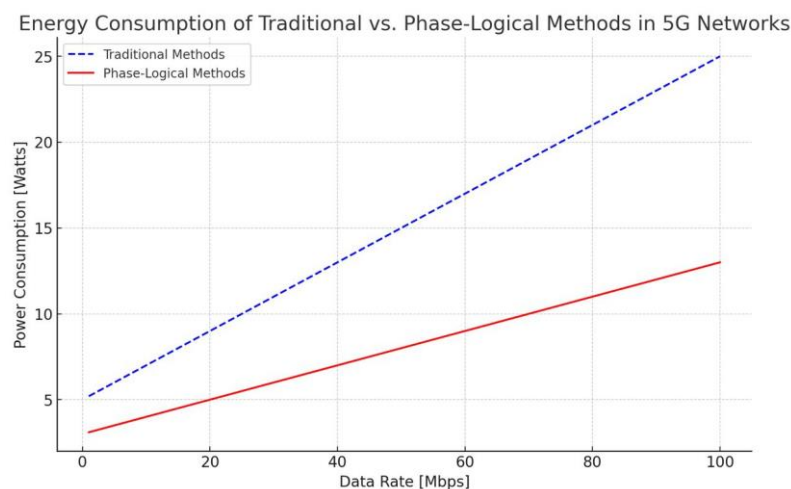


Рис. 6. Енергоспоживання традиційних та фазі-логічних методів у мережах 5G

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У цій роботі було здійснено порівняння традиційних та фазі-логічних методів обробки сигналів у телекомунікаційних системах. Аналіз показав, що застосування фазі-логічних елементів дозволяє значно покращити ефективність системи, зокрема в умовах високих рівнів завад та перевантаження каналів зв'язку. Фазі-логічні методи обробки сигналів демонструють суттєві переваги щодо традиційних підходів завдяки використанню фазових зсувів, що забезпечує зниження рівня шуму та спотворень на 20-30% у порівнянні з класичними методами.

Крім того, значним досягненням є зниження енергоспоживання, яке дозволяє досягти на 25% меншого споживання енергії в фазі-логічних системах. Це є важливим фактором для розвитку телекомунікаційних мереж, оскільки зменшення енергоспоживання критично важливе для підтримки великих мобільних систем і забезпечення сталого розвитку інфраструктури наступного покоління, зокрема в контексті 5G та 6G мереж.

Результати досліджень підтверджують, що фазі-логічні методи обробки сигналів мають вищу стійкість до зовнішніх завад і здатні забезпечити стабільний зв'язок навіть у складних умовах. Це включає високу пропускну здатність і надійність зв'язку у перевантажених мережах, а також адаптивність до змінних умов середовища, що є особливо важливим для Інтернету речей (IoT) та інших динамічних телекомунікаційних середовищ.

Завдяки своїм властивостям, фазі-логічні системи є перспективним напрямом для застосування в мережах нового покоління, де ключовими вимогами є не лише висока швидкість передачі даних, але й енергоефективність, надійність та стійкість до завад. У цьому контексті, подальші дослідження та вдосконалення фазі-логічних елементів можуть значно покращити якість телекомунікаційних послуг, забезпечуючи ефективне використання ресурсів і підтримку високих стандартів зв'язку в умовах постійного зростання навантаження на мережі.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують, що інтеграція фазі-логічних елементів у телекомунікаційні системи наступних поколінь є важливим кроком до реалізації більш ефективних, надійних та енергоефективних технологій у галузі телекомунікацій.

Література

1. Bhuvaneswari, M., & SasiPriya, S. (2020). Performance Analysis of Various Techniques Adopted in a 5G Communication Network with a Massive MIMO System. Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing and Communication Technology (ICICT), 48043, 9112446. <https://doi.org/10.1109/ICICT48043.2020.9112446>
2. Wu, K.-S., Dong, J.-W., Chen, D.-H., Luo, X.-N., & Wang, H.-Z. (2009). Sensitive photonic crystal phase logic gates. Journal of Modern Optics, 56(6), 897-902. <https://doi.org/10.1080/09500340903402499>
3. Gohil, A., Modi, H., & Patel, S. K. (2013). 5G technology of mobile communication: A survey. Proceedings of the 2013 International Symposium on Signal Processing (ISSP), 6526920. <https://doi.org/10.1109/ISSP.2013.6526920>
4. Khitun, A., & Wang, K. L. (2006). Nano Logic Circuits with Spin Wave Bus. Proceedings of the 2006 International Conference on Information Technology and Networking (ITNG), 97. <https://doi.org/10.1109/ITNG.2006.97>
5. Yan, L., Willner, A. E., Wu, X., & Yi, A. (2012). All-Optical Signal Processing for UltraHigh Speed Optical Systems and Networks. Journal of Lightwave Technology, 30(24), 3947-3964. <https://doi.org/10.1109/JLT.2012.2205134>
6. Chen, X., Ng, D. W. K., Yu, W., & Larsson, E. G. (2020). Massive Access for 5G and Beyond. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 38(7), 1336-1351. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2020.3019724>
7. Karimi-Ghartemani, M., Ooi, B.-T., & Bakhshai, A. (2010). Application of Enhanced Phase-Locked Loop System to the Computation of Synchrophasors. IEEE Transactions on Power Delivery, 25(3), 1586-1594. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2064341>
8. Semenova, O. O., Semenov, A. O., Bisikalo, O. V., Kucheruk, V. Yu., Kulakov, P. I., Romaniuk, R., Komada, P., & Nurseitova, K. (2019). Applying artificial intelligence for cellular networks optimization. Proceedings of SPIE, 11176, 111760F. <https://doi.org/10.1117/12.2536857>
9. Semenova, O., Kryvinska, N., Napoli, C., Semenov, A., & Lutsyshyn, A. (2024). A Hybrid Approach Towards Vertical Handover in 5G Networks Using Genetic Neuro-Fuzzy Controller. In Springer Lecture Notes in Networks and Systems (pp. 123-132). https://doi.org/10.1007/978-3-031-81596-6_15
10. Semenova, O., Kryvinska, N., Semenov, A., Rudyk, A., & Dzhus, A. (2024). Intelligent Admission Control in Wireless Networks of IoT. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. <https://doi.org/10.1007/s12555-024-0603-z>
11. Semenov, A., Lutsyshyn, A., & Dyra, V. (2023). Artificial Intelligence Techniques for Mobile Station Location Estimation. Systems, Signals and Image Technology, 1(1), 01006. <https://doi.org/10.31861/sisiot2023.1.01006>
12. Semenova, O., Semenov, A., & Voitsekhovska, O. (2019). Neuro-Fuzzy Controller for Handover Operation in 5G Heterogeneous Networks. Proceedings of the 2019 IEEE 1st International Conference on Artificial Intelligence in Automation and Control Technologies (AIAC), 8847898. <https://doi.org/10.1109/AIAC.2019.8847898>

References

1. Bhuvaneswari, M., & SasiPriya, S. (2020). Performance Analysis of Various Techniques Adopted in a 5G Communication Network with a Massive MIMO System. Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing and Communication Technology (ICICT), 48043, 9112446. <https://doi.org/10.1109/ICICT48043.2020.9112446>
2. Wu, K.-S., Dong, J.-W., Chen, D.-H., Luo, X.-N., & Wang, H.-Z. (2009). Sensitive photonic crystal phase logic gates. Journal of Modern Optics, 56(6), 897-902. <https://doi.org/10.1080/09500340903402499>
3. Gohil, A., Modi, H., & Patel, S. K. (2013). 5G technology of mobile communication: A survey. Proceedings of the 2013 International Symposium on Signal Processing (ISSP), 6526920. <https://doi.org/10.1109/ISSP.2013.6526920>
4. Khitun, A., & Wang, K. L. (2006). Nano Logic Circuits with Spin Wave Bus. Proceedings of the 2006 International Conference on Information Technology and Networking (ITNG), 97. <https://doi.org/10.1109/ITNG.2006.97>
5. Yan, L., Willner, A. E., Wu, X., & Yi, A. (2012). All-Optical Signal Processing for UltraHigh Speed Optical Systems and Networks. Journal of Lightwave Technology, 30(24), 3947-3964. <https://doi.org/10.1109/JLT.2012.2205134>
6. Chen, X., Ng, D. W. K., Yu, W., & Larsson, E. G. (2020). Massive Access for 5G and Beyond. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 38(7), 1336-1351. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2020.3019724>
7. Karimi-Ghartemani, M., Ooi, B.-T., & Bakhshai, A. (2010). Application of Enhanced Phase-Locked Loop System to the Computation of Synchrophasors. IEEE Transactions on Power Delivery, 25(3), 1586-1594. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2064341>
8. Semenova, O. O., Semenov, A. O., Bisikalo, O. V., Kucheruk, V. Yu., Kulakov, P. I., Romaniuk, R., Komada, P., & Nurseitova, K. (2019). Applying artificial intelligence for cellular networks optimization. Proceedings of SPIE, 11176, 111760F. <https://doi.org/10.1117/12.2536857>
9. Semenova, O., Kryvinska, N., Napoli, C., Semenov, A., & Lutsyshyn, A. (2024). A Hybrid Approach Towards Vertical Handover in 5G Networks Using Genetic Neuro-Fuzzy Controller. In Springer Lecture Notes in Networks and Systems (pp. 123-132). https://doi.org/10.1007/978-3-031-81596-6_15
10. Semenova, O., Kryvinska, N., Semenov, A., Rudyk, A., & Dzhus, A. (2024). Intelligent Admission Control in Wireless Networks of IoT. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. <https://doi.org/10.1007/s12555-024-0603-z>
11. Semenov, A., Lutsyshyn, A., & Dyra, V. (2023). Artificial Intelligence Techniques for Mobile Station Location Estimation. Systems, Signals and Image Technology, 1(1), 01006. <https://doi.org/10.31861/sisiot2023.1.01006>
12. Semenova, O., Semenov, A., & Voitsekhovska, O. (2019). Neuro-Fuzzy Controller for Handover Operation in 5G Heterogeneous Networks. Proceedings of the 2019 IEEE 1st International Conference on Artificial Intelligence in Automation and Control Technologies (AIAC), 8847898. <https://doi.org/10.1109/AIAC.2019.8847898>