

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

Другий (Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

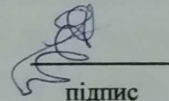
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Технологія передачі сигналів мережею
електроживлення

ДРМТР 2020015.00.00

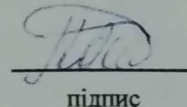
Виконав: студент 2 курсу, група ТРМ-19-1


підпис

М.О. Бажура

Ініціали, прізвище

Керівник: к-т техн. наук, доц.

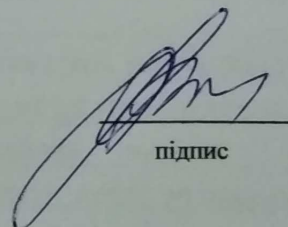

підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.


підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

02 12 2020 р.

Хмельницький, 2020

Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТМІТ

С.К. Підченко

«3» 09 2020р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Бажура Максим Олегович

1 Тема роботи: Технологія передачі сигналів мережею електроживлення
керівник роботи Пивовар О.С. к.т.н, доцент.

Затверджено наказом по університету від «1» вересня 2020р. № 118.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 02.12.2020р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Мета роботи – визначення факторів застосування технології передачі інформації по проводах електроживлення за забезпечення задачі формування телекомунікаційної мережі з метою зменшення апаратних витрат та покращення виявлення завад в каналах при передачі інформаційних посилок.

Об'єкт дослідження – технологія передачі інформації із застосуванням проводової мережа електроживлення

Предмет дослідження – методи передачі інформації по електричних мережах загального застосування за умов існування завад різного походження

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1 Аналіз літературних джерел та визначення проблематики дослідження. 2 Технології передачі даних для побудови мереж. 3 Модель шумів низьковольтних електромереж загального користування. 4 Моделювання PLC систем

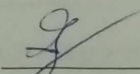
Завдання отримав

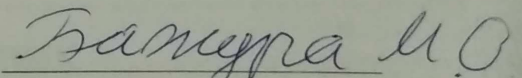
Науковий керівник

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

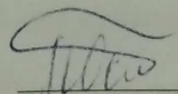
№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	5.09.20-14.09.20	виконано
2	Написання 1 розділу	5.09.20-14.09.20	виконано
3	Визначення проблеми дослідження	5.09.20-14.09.20	виконано
4	Написання 2 розділу	5.09.20-14.09.20	виконано
5	Розробка моделі	5.09.20-14.09.20	виконано
6	Написання 3 розділу	5.09.20-14.09.20	виконано
7	Теоретичне та практичне моделювання	1.11.20-14.11.20	виконано
8	Написання 4 розділу	1.11.20-14.11.20	виконано
9	Оформлення роботи	20.11.20-30.11.20	виконано
10	Оформлення презентації	03.12.20	

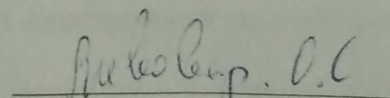
Студент


Підпис


Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис


Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	
ПРОБЛЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Загальні відомості.....	9
1.2 Проблема впровадження енергоефективності в системах телекомунікацій.....	11
1.3 Застосування PLC технології.....	14
1.4 Технології і стандарти.....	15
1.4.1 Структура мережі внутрішньої лінії електропередач.....	15
1.4.2 Стандартизація передачі даних по електромережах.....	16
1.4.3 HomePlugAV	17
1.4.4 HomePlug AV2	18
1.4.5 HomePlug GP.....	19
1.4.6 ITU-T G.hn.....	22
1.5 Стан стандартизації широкосмугового PLC	22
Висновок з розділу	25
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ	
МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ	26
2.1 Вступ	26
2.2 Спільні властивості технології PLC	26
2.3 Устаткування для PLC мереж.....	31
2.4 IC Semtech для реалізації PLC-технології.....	35
Висновки з розділу	45
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЬ ШУМІВ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ	
ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ.....	46
3.1 Небезпека існування шумів для сучасних електронних систем	46
3.2 Пропонована модель шумів	47
3.2.1 Фонові перешкоди	49

	5
3.2.2 Вузькосмугові перешкоди	50
3.2.3 Імпульсні перешкоди.....	51
3.3 Результати моделювання шумових процесів	55
Висновки з розділу	56
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ PLC СИСТЕМ.....	57
4.1 Дослідження режиму роботи PLC-системи та їх безпеки	57
4.2 Дослідження можливості несанкціонованого зняття даних в мережі PLC	59
4.3 Моделювання процесу виявлення сигналів з багатьма піднесучими, що передаються по електромережах	61
4.3.1 Алгоритм виявлення та синхронізації	63
4.3.2 Вибір сигнальної конструкції	64
4.3.3 Виявлення сигналів з багатьма що несуть в каналі	68
4.3.4 Експериментальне виявлення сигналів OFDM по електромережах	73
Висновки з розділу	78
ВИСНОВКИ	79
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

Перелік умовних скорочень

FDM	Frequency Division Multiplexing, Сигнали з частотним мультиплексуванням
FEC	Forward Error Correction, Обратні корегуючі коди
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Сигнали з ортогональним частотним мультиплексуванням
TCC	Turbo Convolutional Codes, Згорточні турбо-коди
ВСШ	Відношення СИГНАЛ – ШУМ

ВСТУП

Актуальність теми. Сигнали з ортогональним частотним мультиплексуванням (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) широко застосовуються в сучасних мережах широкосмугового безпроводного доступу. Технологія OFDM використовується в таких стандартах, як передача даних по лініях електропередачі (PLC), цифрові абонентські лінії (DSL), у безпроводних ширококомовних застосуваннях, таких як цифрове аудіо мовлення (DAB) і цифрове телевізійне мовлення (DVB).

Крім того, вона широко реалізована у безпроводних локальних мережах (WLAN); у стандартах IEEE 802.11a/g/n/ac, IEEE 802.16d/e, ETSI HIPERLAN/2; у безпроводних системах стандартів LTE та LTE-A і надширокосмугових системах передачі даних. Нині вона розглядається для включення в майбутні системи зв'язку п'ятого покоління.

Технологія OFDM припускає ефективне використання спектру за рахунок передачі даних паралельно по безлічі близько розташованих вузькосмугових частотних каналів. Проте, наслідком многоканальності є нерівномірний розподіл потужності із-за використання нульових, що несуть, пілот-сигналов і інформаційних, що несуть.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерська робота виконана відповідно до поточних та перспективних планів наукової роботи Хмельницького національного університету, кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій за тематикою покращення методів формування, генерування, прийому та обробки сигналів.

Мета роботи – визначення факторів застосування технології передачі інформації по проводах електроживлення за забезпечення задачі формування телекомунікаційної мережі з метою зменшення апаратних витрат та покращення виявлення завад в каналах при передачі інформаційних посилок.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити

наступні завдання:

1. Проаналізувати існуючі тенденції та апаратні рішення щодо впровадження технології PLC, що мають місце на сучасному ринку телекомунікаційних послуг. Розглянути стандарти технології PLC, використані технічні рішення та визначити технічні показники.

2. Розглянути моделі шумів в низьковольтних мережах електромереж загального застосування. Розглянути можливість застосування методу виявлення високочастотних складових для реалізації задачі виявлення та синхронізації прийняття пакетів для систем PLC.

3. Виконати моделювання PLC систем та проаналізувати особливості використання щодо зменшення впливу завад на OFDM сигнал, що використовується в технології PLC.

Об'єкт дослідження – технологія передачі інформації із застосуванням проводової мережа електроживлення.

Предмет дослідження – методи передачі інформації по електричних мережах загального застосування за умов існування завад різного походження.

Методи дослідження – теоретичний аналіз стану проводової мережі електроживлення, моделі шумів, моделі формування сигналів OFDM, практичне зображення за допомогою інструментів візуального моделювання.

Науково-практична новизна роботи. На основі проведених досліджень, представлено оцінку стійкості мережі на основі технології PLC на роботу за умов змінних в часі завад. Показано особливості взаємодії та розроблено практичні рекомендації щодо впровадження.

Публікації. На основі матеріалів магістерської роботи опублікована стаття у збірнику наукових праць студентів ХНУ.

Структура та об'єм магістерської роботи

Робота складається з 4-х розділів, загальним обсягом 78 сторінок. В роботі використано 59 посилань на літературні джерела.

В роботі 33 рисунки та 3 таблиць.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості

Лінії електропередачі, як фізичне середовище, поєднують переваги як дротяних, так і безпроводних засобів передачі даних. Користувачам майже завжди доступний порівняно швидкий і надійний канал зв'язку, розгалужений по усій будівлі, і, в той же час, при використанні електромережі відсутня проблема «зони прямої видимості», оскільки дроти завжди сполучають усі розетки у будівлі. До того ж, оскільки передача даних йде по відносно коротких дротах, то затримки при проходженні сигналу невеликі. Це дозволяє без проблем використати VoIP (передача голосу по інтернет протоколу) і IPTV (передача телевізійного сигналу за допомогою Інтернету) технологій, де особливе значення має можливість роботи в режимі реального часу. Проте, є і недоліки. Так на достовірність передачі даних дуже сильний вплив роблять перешкоди від різних електроприладів, ламп денного освітлення і т. п., які створюють безперервні перешкоди в дротах. Найвідчутніше вплив імпульсних перешкод (тривалість до 1 мкс), що виникають при роботі електродвигунів, НВЧ печей, зварювального устаткування. Проте надійні методи шифрування і кодування даних, вживані в PLC технологіях, забезпечують не лише високий рівень достовірності при передачі інформації, але і її захист від несанкціонованого доступу [9]

Спочатку перші застосування, що використовують передачу по лініях електропередач, були зроблені для управління, захисту ліній електропередач, обслуговування та зарядки [55]. Пізніше кілька факторів, таких як дерегуляція ринку телекомунікацій у США, Європі та Азії, а також зародження та вибуховий ріст Інтернету, який супроводжувався більшим попитом на послуги цифрового зв'язку, зробили PLC технологією, що

дозволяла закрити необхідність в термінових задачах забезпечення зв'язку для багатьох інших застосувань.

Перші патенти в цій галузі датуються початком 1900-х років [56]. У 1913 році були виготовлені автоматичні електромеханічні ретранслятори лічильників, а в 1922 році розпочався вузькосмуговий пристрій, коли перші несучі частотні системи почали працювати по лініях високої напруги в діапазоні частот від 15 до 500 кГц для телеметричних систем обробки даних.

Перші системи передачі даних по електричних мережах з'явилися ще в 1930-х роках, в основному вони використовувалися для сигналізації в енергосистемах і на залізницях, характеризуючись дуже низькою пропускною спроможністю [1]. У кінці 1990-х років ряд компаній здійснили перші великі проекти в цій області, проте в процесі експлуатації були виявлені серйозні проблеми, основною з яких була слабка завадозахищеність.

Дослідження в PLC активізувались і набули більшої популярності за останні два десятиліття, оскільки були запропоновані нові методи модулювання та кодування контролю помилок, а також нові стандарти галузевих альянсів та органів стандартизації. Сьогодні нові технології PLC стають перспективними як для споживачів, так і для постачальників енергії. Тому інтерес до PLC охоплює декілька важливих програм, таких як широкосмуговий доступ до Інтернету, програми Smart Grid (вдосконалене вимірювання та контроль, ціноутворення енергії в режимі реального часу, пікове гоління, моніторинг електромережі, розподілене виробництво енергії тощо), внутрішні дротові локальні Районні мережі (ЛВС) для житлових та ділових приміщень, передачі даних у транспортному засобі, літаків, управління світлофорами та вуличного освітлення

Технологія передачі даних по електромережах отримала належне комерційне застосування тільки на початку поточного століття, а її впровадження і широке поширення обумовлене появою відповідної елементної бази, у тому числі високопродуктивних мікроконтролерів і швидких DSP-процесорів (цифрових сигнальних процесорів), що

дозволяють реалізувати складні методи модуляції сигналу і сучасні алгоритми шифрування даних. Це забезпечило не лише високий рівень достовірності при передачі інформації, але і її захист від несанкціонованого доступу. Також важливе значення мало вирішення проблеми стандартизації різних аспектів технології.

Нині основними організаціями і співтовариствами, що регламентують вимоги до PLC пристроями є IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA і HomePlug Powerline Alliance. Остання з них є міжнародним альянсом, що об'єднує близько 80 відомих на ринку телекомунікацій компаній, серед яких Siemens, Motorola, Samsung і Philips. Діяльність альянсу, організованого в 2000 році, спрямована на проведення наукових досліджень і практичних випробувань сумісності облаштувань різних виробників, що використовують цю технологію, а також на підтримку і просування єдиного стандарту під назвою HomePlug.

1.2 Проблема впровадження енергоефективності в системах телекомунікацій

Енергоефективність сьогодні визнана однією з найважливіших проблем, з якою наука вже зіткнулася найближчим часом. Так, дійсно, енергія відіграє важливу роль у нашому повсякденному житті, забезпечуючи опалення, освітлення, мобільність та спілкування. Однак, незважаючи на те, що вона може багато в чому покращити наші умови життя, існує різноманітний екологічний, економічний та соціальний негативний вплив, пов'язаний з великим та неефективним використанням енергії, наприклад, викидами парникових газів, забрудненням повітря або високим рівнем забруднення. експлуатаційні витрати на енергію. Для вирішення цих проблем останніми роками були спрямовані цінні зусилля щодо підвищення енергоефективності, тобто зменшення кількості енергії, необхідної для надання продуктів та послуг, з основною метою економії грошей та захисту навколишнього середовища.

На частку сектору інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) припадає приблизно від 2% до 10% річного споживання електроенергії у світі, зростаючи з 16% до 20% на рік, і становить близько 2% загальної кількості викидів вуглецю. Крім того, підраховано, що телекомунікаційні мережі відповідають за велику кількість цих відсотків..

Усвідомлюючи важливий вплив сектору ІКТ на споживання енергії та викиди парникових газів, різні співпраці та ініціативи урядових та наукових кіл вживають заходів для підвищення енергоефективності мереж ІКТ. Ці ініціативи охоплюють кілька бездротових та дротових технологій, серед яких є технологія Power Line Communications (PLC).

Технологія PLC, яка використовує електричну мережу як середовище передачі, є телекомунікаційною технологією з довгою історією виникнення, широким спектром застосувань та реалізацій. До теперішнього часу більше уваги приділяється збільшенню швидкості передачі даних у ПЛК, тоді як енергоефективність досі не вивчалася дуже сильно.

Завдяки швидкому розвитку технології PLC, енергетична ефективність, безсумнівно, є пріоритетом для проектування майбутніх систем PLC.

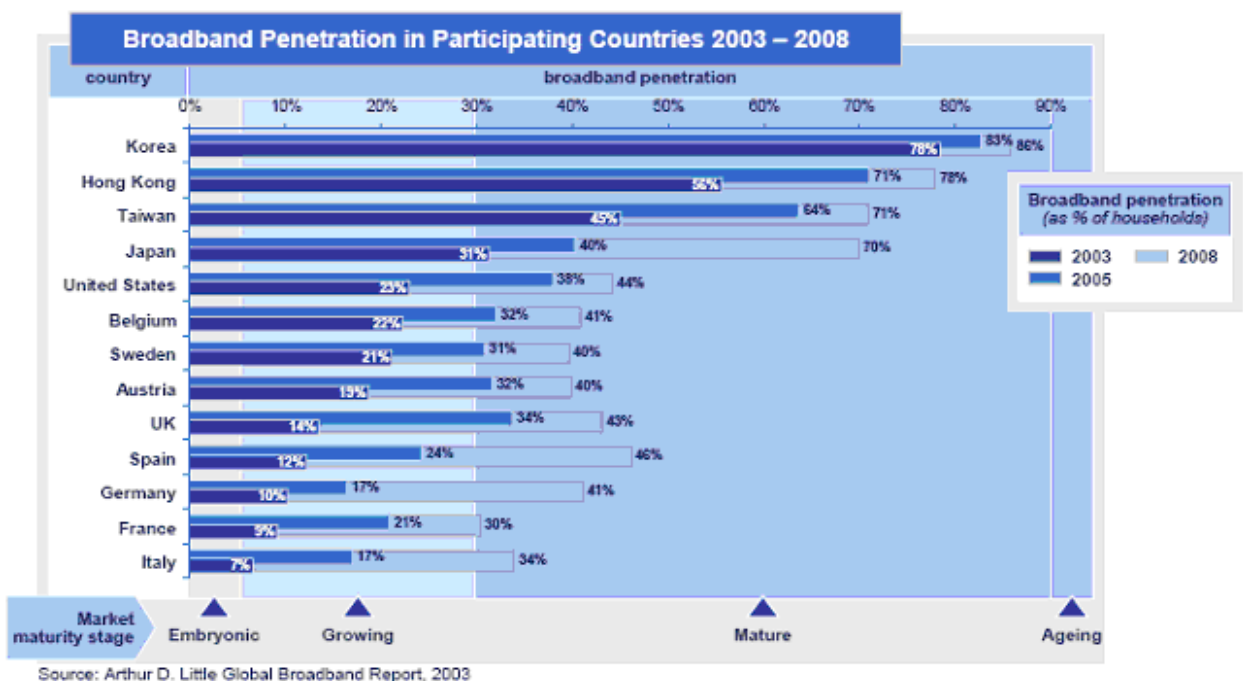


Рисунок 1.1 –Проникнення широкосмугового доступу 2003-2008 роки

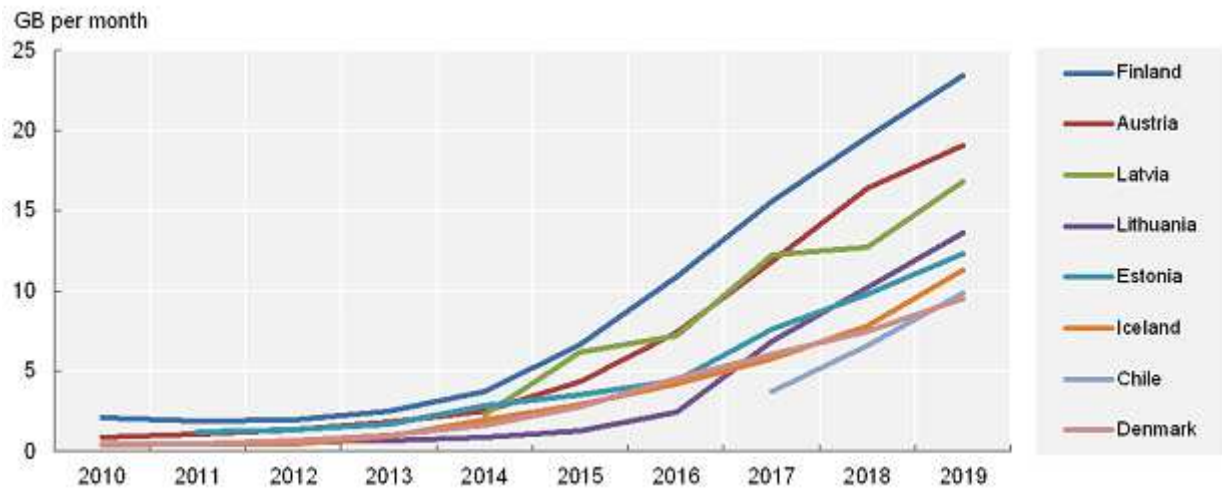


Рисунок 1.2 – Фактичне проникнення
широкосмугового доступу 2010-2019 роках

Як видно на рисунках 1.1 та 1.2, в світі (2003-2008 роки та 2010-2019 роки) має місце стрімке насичення ринку послугами широкосмугового доступу. Причому є країни, як Корея, Тайвань де зростання вже наблизилося до свого максимуму по насиченню, так є країни, які тільки почали входити в процес насичення телекомунікаційними мережами – Чілі, Ісландія, Естонія.

Передача інформації і організація живлення по одних і тих же дротах досить ефективно використовується в різних застосуваннях. Приміром, можна згадати стандартні телефонні лінії або Ethernet-мережі, що виконують підключення видалених вузлів за допомогою технології PoE (Power over Ethernet), при якій живлення здійснюється по окремих жилах кабелю зв'язку.

Проте у більшій частині таких рішень є очевидний недолік: усі вони в загальному випадку вимагають проведення монтажних робіт, витрати на які нерідко складають велику частину вартості наладки мережі. Більше того, є ряд ситуацій, при яких прокладення нових кабелів у край небажане або навіть неможливе, — прикладом таких ситуацій є нещодавно закінчений ремонт, після якого несподівано з'ясується, що необхідно прокласти додаткові дроти для комп'ютерних мереж, або орендований офіс з непередбаченим каналом виходу в Інтернет.

У цих випадках майже завжди можна обмежитися існуючою інфраструктурою, а саме скористатися наявною практично в кожному приміщенні електропроводкою для організації порівняно швидкого і надійного каналу зв'язку, розгалуженого по усій будівлі.

Телекомунікаційна технологія PLC, що базується на застосуванні силових електромереж для інформаційного обміну шляхом накладення корисного сигналу поверх стандартного змінного струму частотою 50 або 60 Гц, відрізняється простотою реалізації і оперативністю монтажу пристроїв на її основі.

1.3 Застосування PLC технології

Усе існуючі PLC-системи прийнято розділяти на широкополосові (BPL — Broadband over Power Lines) і вузькополосові (NPL — Narrowband over Power Lines). Спектр вирішуваних з їх допомогою завдань дуже широкий, а вибір необхідного методу заснований на характеристиках і об'ємі передаваної інформації. Широкополосові пристрої (зі швидкістю від 1 до 200 Мбіт/с) орієнтовані на системи доступу до Інтернету, на створення домашніх комп'ютерних мереж, а також на додатки, що вимагають високошвидкісного обміну даними : потокове відео, системи відеоконференцзв'язку, цифрової телефонії і т. д.

Найбільший інтерес для розробників апаратури представляють вузькополосові PLC-модеми у зв'язку з їх відносною дешевизною і поліпшеними характеристиками, що дозволяють працювати не лише в звичайних мережах, але і в мережах з підвищеним рівнем перешкод. Мікросхеми і модулі для вузькополосових модемів (з пропускною спроможністю каналу від 0,1 до 100 кбіт/с) широко застосовуються у складі різних виробів побутового і промислового призначення, при створенні розподілених систем автоматизованого контролю і управління в цехах і системах життєзабезпечення будівель (ліфтах, облаштуваннях

кондиціонування і вентиляції), засобах обліку споживання електроенергії, води, газу, тепла, приладах охоронної і пожежної сигналізації.

PLC технології застосовуються для створення мобільних високошвидкісних локальних мереж в офісах, будівлях і реалізації нових концепцій розумних будинків і т. п. Інші перспективні сфери застосування PLC технології [8, 9]:

- системи безпеки;
- системи управління вуличним освітленням;
- системи автоматизації;
- диспетчерські системи;
- системи сигналізацій;
- системи збору інформації датчиків витрат;
- промислові системи моніторингу і управління.

Важливою є можливість спільного використання PLC технології з іншими широкосмуговими технологіями передачі даних, наприклад PLC + WiMAX, PLC + WLAN кт. п.

1.4 Технології і стандарти

1.4.1 Структура мережі внутрішньої лінії електропередач

Житлові та комерційні мережі ліній електропередач у приміщенні, як правило, складаються з безлічі ланцюгів (або підсхем), які з'єднані між собою за допомогою різних автоматичних вимикачів. У ланцюзі присутні кілька коробів виведення (БД), і кожна лінія електропередач, яка починається від БД, закінчується одним або декількома розетками. Зв'язок між розподільчою мережею та житловою мережею здійснюється через головну панель (МП), де розташований електролічильник. Крім того, можливі два різні типи з'єднань між розетками та БД; підключення STAR, де кожна розетка безпосередньо підключена до БД і шинне з'єднання, де розетки підключені паралельно БД. Приклад мережі з двома підсхемами ПЛК проілюстровано на рис. 1.1. Він показує типову внутрішню мережу ПЛК, що включає групу розеток

живлення, до яких можна підключити модеми ПЛК. Він містить два автоматичних вимикача та два виводи. Цей приклад може бути репрезентативним для більшості французьких та європейських внутрішніх мережевих структур ПЛК.

1.4.2 Стандартизація передачі даних по електромережах

Єдиного уніфікованого стандарту передачі даних по електромережах досі не існує. Проте, зацікавлені сторони, в першу чергу виробники електронного устаткування, створили організації, покликані врегулювати і упорядкувати ситуацію на ринку PLC устаткування.

Існує кілька міжнародних стандартів, що регулюють PLC. Домінуючими стандартами PLC на ринку є IEEE1901 [57] та (Сектор стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу телекомунікацій) ITU-T G.hn [58, 59].

З одного боку, готові до продажу продукти, що відповідають IEEE 1901, були сертифіковані або HomePlug Powerline Alliance [HomePlug], в США та Європі, або альянсом HD-PLC [51], переважно в Японії. З іншого боку, готові до продажу продукти, що відповідають ITU-T G.hn, були сертифіковані альянсом HomeGrid Forum [53].

Стандарти групи IEEE 1901 розроблено робочою групою IEEE P1901 і визначає технологію високошвидкісного зв'язку ліній електропередач. Стандарти визначають методи як для домашньої мережі, так і для мереж доступу (Інтернет).

Стандарт IEEE 1901.2010 використовує частоти передачі нижче 100 МГц і забезпечує високі швидкості передачі даних до 500 Мбіт / с на фізичному рівні. Він включає два різні фізичні рівні, один заснований на модуляції ортогонального мультиплексування з частотним поділом для швидкого перетворення Фур'є (OFDM). Це головним чином використовується у США та Європі. А другий - на основі модуляції Wavelet OFDM (обмежений для Японії). Стандарт також відповідає обмеженням

електромагнітної сумісності, встановленим національними та міжнародними регуляторними органами, щоб забезпечити успішне співіснування з бездротовими та іншими телекомунікаційними системами.

Основними на сьогодні являються стандарти, створені міжнародним альянсом HomePlug Powerline Alliance, відкритим європейським альянсом OPERA, європейською асоціацією UP A, а також альянсом HD-PLC. Організація HomePlug Powerline Alliance (засновники і учасники : Cisco, Intel, Inellon, Motorola, Texas Instruments, Enecia та ін.) на сьогодні розробила три стандарти:

- HomePlug 1.0 (2001 рік);
- HomePlug AV (2005 рік);
- HomePlug C&C (2007 рік).

1.4.3 HomePlugAV

HomePlug AV - це стандарт, визначений альянсом HomePlug, і в даний час є однією з найбільш реалізованих специфікацій в модемах PLC. Це еволюція свого попередника, HomePlug 1.0, який був випущений альянсом у 2003 році.

HomePlug AV працює в діапазоні частот від 2 до 30 МГц і може досягти швидкості передачі даних до 200 Мбіт/с на фізичному рівні та 150 Мбіт/с на рівні MAC. Він використовує віконну модуляцію OFDM разом із Turbo Convolutional Code (TCC).

Щодо символів OFDM, в HomePlug AV використовуються 1155 несучих від 1,8 МГц до 30 МГц, так що розділення між несучими становить приблизно 24,4 КГц. Однак деякі з цих несучих збігаються з діапазонами радіоаматорських випромінювань і не можуть бути використані, що зменшує загальну кількість використовуваних несучих до 917.

Носії, що використовуються для передачі даних, можуть бути когерентно модульовані за допомогою двійкової фазової маніпуляції (BPSK), квадратурної фазової маніпуляції (QPSK), 16 квадратурної амплітудної

модуляції (QAM), 64 QAM, 256 QAM або 1024 QAM. На рівні управління доступом до медіа (MAC) HomePlug AV надає два різні види послуг зв'язку:

- Орієнтована на зв'язок якості обслуговування (QoS). Послуга, заснована на розподілі періодичного розподілу часу (TDMA) належної тривалості, для підтримки вимог QoS вимогливих програм.
- Безпідключна, пріоритетна служба суперечок, заснована на багаторазовому доступі Carrier Sense із запобіганням зіткненням (CSMA / CA), для підтримки як класичних програмних додатків так і програм, які покладаються на пріоритетний QoS.

1.4.4 HomePlug AV2

HomePlug AV2 був представлений у січні 2012 року і призначений для мереж електропередач наступного покоління. У порівнянні з Homeplug AV, HomePlug AV2 надає додаткові ключові функції

- Розширена смуга частот (від 30 до 86 МГц) і швидкість передачі даних до 2 Гбіт / с.
- МІМО з формуванням променя для вищої швидкості передачі даних.
- Режими енергозбереження для підвищення енергоефективності.
- Модуляція вищого порядку (4096 QAM) і, відповідно, вищі швидкості кодування (16/18 кодова швидкість).
- Маршрутизація та повторення, тобто зв'язок між пристроями, які не можуть безпосередньо зв'язуватися з іншими пристроями в мережі PLC, забезпечується за допомогою одного або декількох проміжних вузлів, що діють як повторювачі.

HomePlug AV2 представляє дві методики для оптимізації потужності передачі. Техніка зворотного відключення потужності передачі, яка зменшує спектральну щільність переданої потужності для вибраного набору несучих, коли це може бути зроблено без негативного впливу на продуктивність, і техніка EMC Friendly Power Boost, яка дозволяє передавачеві збільшити потужність передачі на деяких лініях без перевищення нормативних меж.

1.4.5 HomePlug GP

HomePlug Green PHY - це спеціальна спрощена версія стандарту, повністю похідна від HomePlug AV і розроблена для застосування в широкосмугових мережах Smart Grid, для забезпечення розподіленої роботи таких систем розумні електролічильники та моніторинг приладів.

HomePlug GP використовує той самий діапазон частот, техніку модуляції (OFDM) і швидкість коду, що і HomePlug AV. Однак, оскільки для додатків Smart Grid не потрібна висока швидкість передачі даних, HomePlug GP має пікову швидкість лише 10 Мбіт/с через обмеження модуляції несучої OFDM із застосуванням виключно QPSK.

Для модуляції носійних сигналів в HomePlug 1.0 використовуються такі методи [10]:

- BPSK (Binary Phase Shift Keying - двопозиційній фазовій маніпуляції);
- DBPSK (Differential Binary Shift Keying - диференціальній двійковій фазовій маніпуляції);
- DQPSK 1/2, DQPSK 3/4 (Differential Quadrature Phase Shift Keying - диференціальній квадратурній фазовій маніпуляції).

Висока ефективність технології HomePlug 1.0 забезпечується завдяки можливості перерозподілу потужності сигналу в робочій смузі частот, що досягається шляхом:

- адаптації до реальних перешкод за рахунок відключення певних, що піднесуть;
- оперативної зміни способу модуляції частот (DBPSK/DQPSK), що несуть;
- зниження швидкості передачі даних для підвищення завадостійкості (за рахунок зміни типу модуляції на DQPSK 1/2, DQPSK 3/4, DQPSK 1/2) [10].

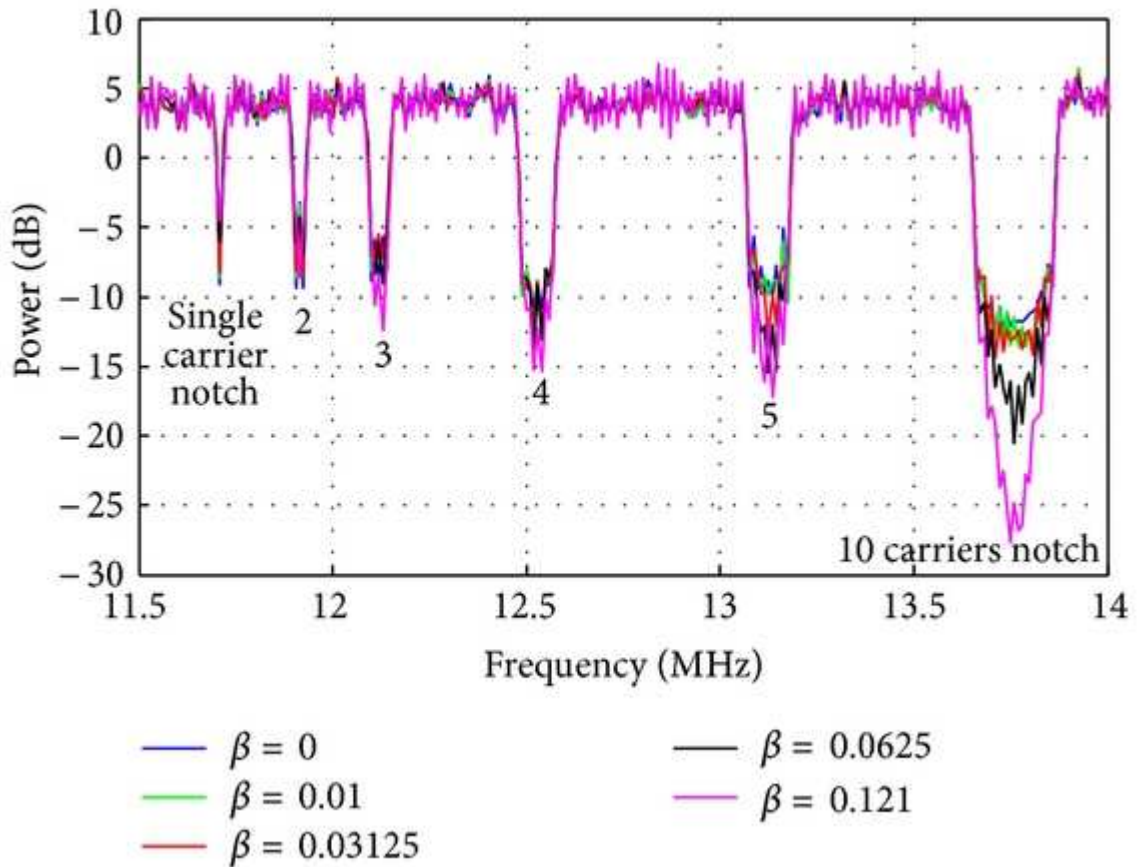


Рисунок 1.3 - Розподіл спектру в стандарті HomePlug AV [11]

Стандарт HomePlug AV адаптований до високошвидкісної передачі великих об'ємів даних по домашніх електромережах. Діапазон робочих частот в цьому випадку знаходиться в межах від 2 до 28 МГц, кількості тих, що піднесуть до 1155 (рис. 1.3), пікова швидкість передачі - 200 Мбіт/с, робоча швидкість 100-150 Мбіт/с [11]. У специфікації HomePlug A V передбачається використання стандарту шифрування цих AES (Advanced Encryption Standard), в якому застосовуються ключі розміром до 128 біт.

Для досягнення теоретично можливої пропускнуєї спроможності рекомендується застосовувати надмірне кодування (FEC, Forward Error Correction) і кодування з використанням надточних турбокодів (TCC, Turbo Convolutional Codes). Стандарт низькошвидкісної передачі даних HomePlug Command and Control (C&C) був створений на основі запропонованою компанією Yitran вузькосмуговій технології передачі даних по

електромережі. Така передача орієнтована на використання в системах управління вуличним освітленням, вентиляцією, сигналізацією і т. п.

Таблиця 1.1 – Порівняння HomePlug, HomePlug AV2 та HomePlug GP

Стандарт Властивості	HomePlug AV	HomePlug AV2	HomePlug GP
Головне застосування	Мультимедіа	Мультимедіа для мереж наступного покоління	Домашні мережі SMARTGRID
Частотний діапазон (МГц)	2-30	1.8-86	2-30
Кількість піднесучих	1155	4096	1155
Тип модуляцій на піднесучих	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM, 4096 QAM	QPSK only
Код корегування помилок (турбокод), відношення	1/2 16/21	1/2 16/21 16/18	1/2
Фізична швидкість	200 Mbps	2 Gbps	10 Mbps

HomePlug GP і HomePlug AV2 повністю сумісні з HomePlug AV та IEEE P1901, хоча кожна надає окремий набір можливостей, зосереджених на різних аспектах та питаннях, пов'язаних з різними програмами та робочими середовищами. Порівняльний огляд основних відмінностей між HomePlug AV, HomePlug AV2 та HomePlug GP наведено в таблиці 1.1.

Продукти сімейства HomePlug є найбільш поширеними на ринку. Характеристики, доступні через альянс для широкосмугових PLC, є [49, 50, 51, 52, 53, 54]: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2 та HomePlug Green PHY (GP). Далі ми докладно описуємо основні стандарти та технічні характеристики PLC.

1.4.6 ITU-T G.hn

Стандарт ITU-T G.hn - це стандарт домашньої мережі, і на відміну від IEEE 1901, який є лише стандартом PLC, він визначає мережу через лінії електропередач, а також через телефонні лінії та коаксіальні кабелі зі швидкістю передачі даних до 1 Гбіт/с.

ITU-T G.hn просувається Форумом HomeGrid, промисловим консорціумом, що розробляє продукцію на основі стандарту ITn-T G.hn. Так само, як HomePlug GP, розроблений HomePlug Powerline Alliance, ITU-T G.hn включає профіль низької складності, спеціально для підтримки домашніх пристроїв Smart Grid. Незважаючи на те, що ITU-T G.hn та IEEE 1901 мають багато подібних особливостей, одна велика відмінність полягає у використанні різних FEC, тобто код перевірки парності з низькою щільністю (LDPC) використовується ITU-T G.hn замість TCC .

1.5 Стан стандартизації широкопasmового PLC

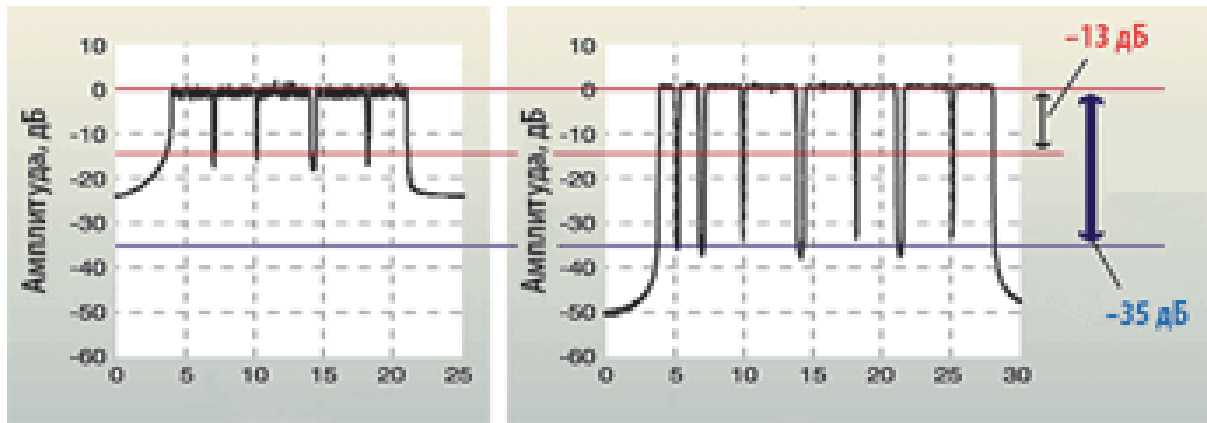
Специфікація HomePlug C&C включає 3 рівні мережевої моделі : OS1 - PHY, MAC і NL. На фізичному рівні (PHY) використовується DCKS з розширеним спектром модуляції, де передбачені наступні швидкості передачі даних : 7,5; 4,5; 2,5; 1,25; 0,625 кбит/з [12]. Відкритий європейський альянс OPERA (засновник – корпорація DS2) випустив комплект специфікацій, заснований на розробці іспанської компанії DS2. Ця компанія першою стала випускати мікросхеми PLC модемів, швидкість передачі даних в яких - до 200 Мбіт/с, кількість тих, що піднесуть - 1536, а для модуляції цих, що піднесуть використовується метод ADPSK (Amplitude Differential Phase Shift Keying) [13]. Асоціація UPA, до складу якої входять : Analog Devices, Ambient, Buffalo, DLink, Toshiba та ін., розробляє стандарти і нормативні документи, що визначають технічні аспекти передачі даних по електромережах.

Основним критерієм стандартизації, виконуваною UP A, являється спільна робота устаткування різних стандартів при використанні одного

фізичного середовища передачі даних. UPA підтримує основні специфікації, запропоновані альянсом OPERA [14]. Засновники альянсу HD-PLC – Panasonic, а також AOpen, Sony, Toshiba, Sanyo, Yamaha та ін. Запропонований ними спосіб синтезу OFDM сигналу з використанням Wavelet перетворення є відмітною особливістю стандарту HD - PLC. Wavelet OFDM відрізняється високою спектральною ефективністю, при цьому максимальна теоретична швидкість передачі даних складає 210 Мбіт/с. В цілому, застосування Wavelet модуляції дозволяє сигналу легше пристосовуватися до умов передачі, що змінюються, і забезпечує високу завадостійку [15].

Wavelet OFDM - широкополосна технологія передачі даних із використанням електросетів, що відрізняється високою частотою виборчої здатності (іншими словами, спектральною ефективністю). У цій технології для синтезу OFDM-сигналів використовуються вейвлет-перетворення. При цьому теоретично досягнута швидкість передачі даних складає 210 Мбіт / с [49, 51, 52, 53]. Застосування методу Wavelet OFDM дозволяє мінімізувати рівень бокових лепестків піднесучих і, як наслідок, покращує параметри ортогональності як у частоті, так і в тимчасовій хмарності.

Порівняно з методом FFT, OFDM-модуляція типу Wavelet OFDM відрізняється найкращими характеристиками фільтрації та забезпечує більшу глибоку режекцію сигналів приміщень. Це, у свою чергу, дозволяє легше пристосуватися до змінних умов передачі та забезпечує надзвичайно високу стійкість до приміщень та пошукових сигналів, викликаних багатолучовою інтерференцією, а також іншими причинами. Можливість, по суті, програмувати спектр генерованих в лінії сигналів дозволяє не лише позбавитись від завад, що наводяться в лініях, але і попереджує небажані побічні електромагнітні завади провідниками ліній, наприклад, у короткочастотному діапазоні радіолюбительського мовлення.



а)

б)

Рисунок 1.4 – Спектри OFDM-сигнала з використанням
FFT-перетворення (а) та Wavelet-перетворення (б)

Запропоновані алгоритми адаптації до умов поширення сигналів в електромережі, а також наявність наявних приміщень, що дозволяють знаходитись із співвідношення сигналів / приміщень, вибирають оптимальну швидкість передачі, щоб забезпечити найбільшу достовірність прийнятих даних. На рис. 1.4 представлені спектри OFDM-сигналів, отримані в результаті ШПФ- та Wavelet-перетворення [49, 51, 52, 53]. Як видно з приведенного рисунка, при модуляції типу Wavelet OFDM, за порівнянням з FFT OFDM, забезпечується більша глибока частотна частота.

Висновок з розділу

1. Технологія передачі інформації по лініях електроживлення виникла на початку 20 століття і була направлена на задоволення потреб у віддаленому зборі інформації від датчиків та передачі її по існуючих провідних лініях. Основними організаціями і співтовариствами, що регламентують вимоги до PLC пристроями є IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA і HomePlug Powerline Alliance.

2. На частку сектору інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) припадає приблизно від 2% до 10% річного споживання електроенергії у світі, зростаючи з 16% до 20% на рік, і становить близько 2% загальної кількості викидів вуглецю. Широке поширення низьковольтних електричних мереж 0,22-0,38 кВ і відсутність необхідності проведення витратних монтажних робіт для прокладення кабелів стимулюють підвищений інтерес до електричних мереж як до середовища передачі даних.

3. Поточний розвиток PLC-технології багато в чому пов'язане з появою загальноприйнятих регламентуючих стандартів і вдосконаленням відповідної елементної бази, що дозволяють створювати стійкий і завадозахищений канал зв'язку при його досить високій пропускну здатності.

4. Існують широкий набір стандартів передачі інформації, що є наступниками один одного та розширеннями, це HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C, а також 1.4.5 HomePlug GP.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Вступ

Проблема побудови гнучких широкосмугових і високошвидкісних мереж є особливо актуальною. Причому, при великій кількості різноманітних рішень в побудові таких мереж, на перший план виходять питання стабільності роботи, мобільності і простоти монтажу мережі, безпеки інформації і можливості простого розширення мережі.

Одним з вирішень цієї проблеми і є технологія PLC. Попри те, що PLC-відносно новий продукт на ринку мережевих комунікацій, його розвиток відбувається швидкими темпами. Впровадження цих технологій в життя вже не дослідницький експеримент, а цілком реальний та призначений для користувача проект [8]. Дана технологія передачі даних має дуже широкий спектр застосування, оскільки є такою, що досить конфігурується.

На сьогодні в PLC існує декілька основних стандартів на передачу даних по широкосмугових і вузькосмугових каналах. Розробкою цих стандартів займаються альянси комерційних корпорацій, більшість з яких також роблять устаткування для побудови PLC мереж. Метою статті є огляд сучасних комунікацій на основі PLC технологій, технічних характеристик PLC мереж і стандартів для їх використання, дослідження ринку апаратних пристроїв для організації PLC мереж.

2.2 Спільні властивості технології PLC

Основою PLC-технології є використання частотного розділення сигналу, при якому високошвидкісний потік даних розбивається на дещо відносно низькошвидкісних, кожен з них передається на окремій частоті, що піднесе, з подальшим їх об'єднанням в результуючий сигнал (рис. 2.1).

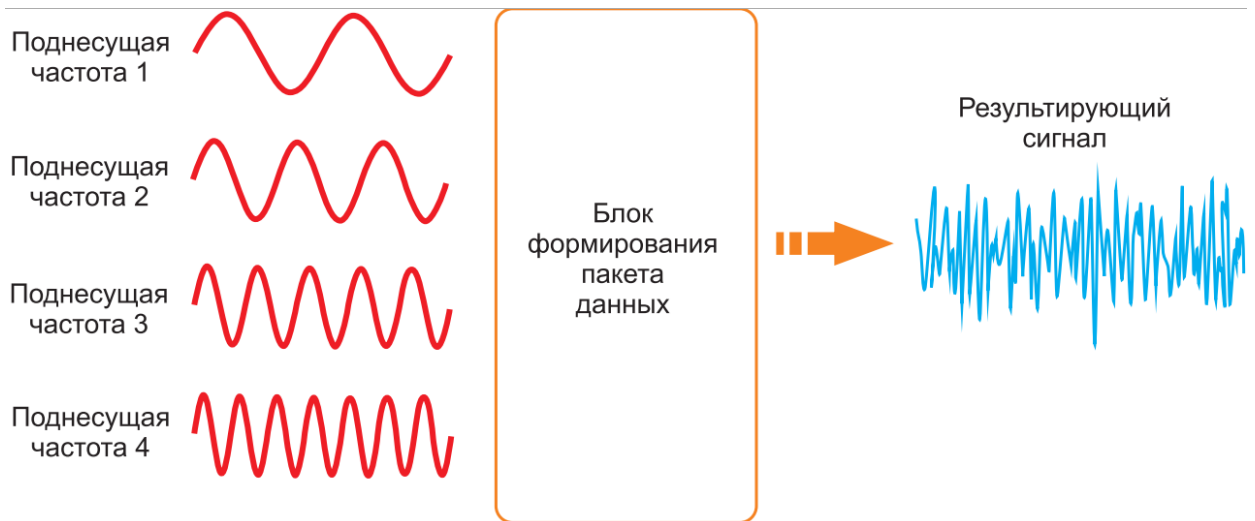


Рисунок 2.1 – Частотне розділення початкового сигналу

При використанні звичайної модуляції з частотним розділенням (FDM — Frequency Division Multiplexing) доступний спектр витрачається неефективно. Пов'язано це з наявністю захисних інтервалів між тими, що окремими, що піднесуть, необхідних для запобігання взаємному впливу сигналів (рис. 2.2а).

Тому в PLC-пристроях застосовується ортогональне частотно-розділене мультиплексування (OFDM — Orthogonal Frequency Division Multiplexing), при якому центри частот, що піднесуть, розміщуються так, щоб пік кожного подальшого сигналу співпадає з нульовим значенням попереднього. Як видно на рис. 2.2б, доступна смуга частот в цьому випадку витрачається раціональніше.

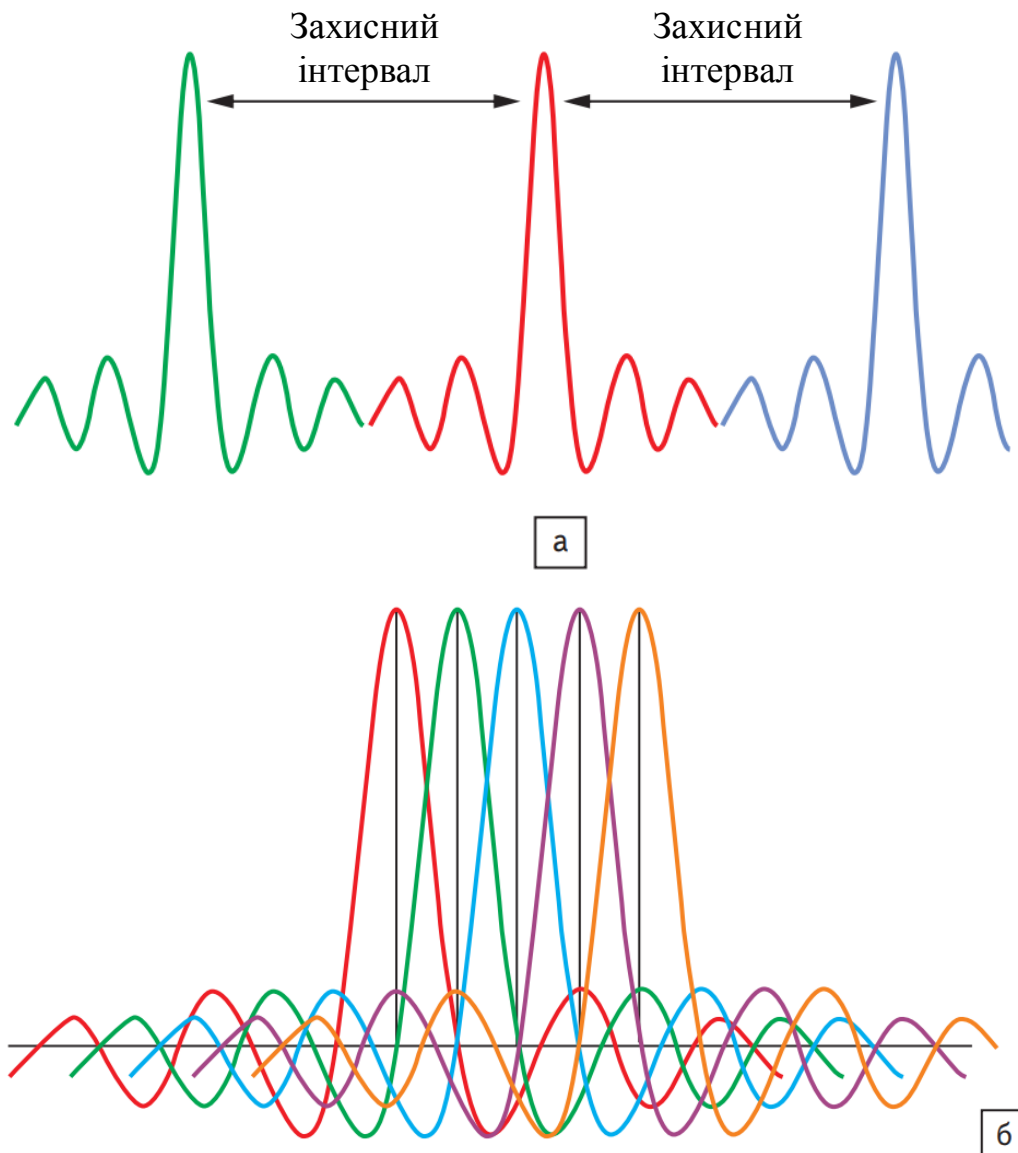


Рисунок 2.2 – Спектр сигналів з методами модуляції : а) FDM; б) OFDM

Перед об'єднанням в один сигнал усі частоти, що піднесуть, піддаються фазовій модуляції — кожна своєю послідовністю біт. Після цього вони проходять через блок формування, де збираються в єдиний інформаційний пакет, що називається ще OFDM-символом. На рис. 2.3 наведений приклад відносної квадратурної фазової маніпуляції (DQPSK — Differential Quadrature Phase Shift Keying) для кожної з чотирьох частот, що піднесуть, в діапазоні 4,5-5,1 МГц. Реально в технології PLC передача ведеться з використанням 1536 частот, що піднесуть, з вибором 84 найкращих на діапазоні від 2 до 32 МГц залежно від поточного стану лінії і наявності перешкод.

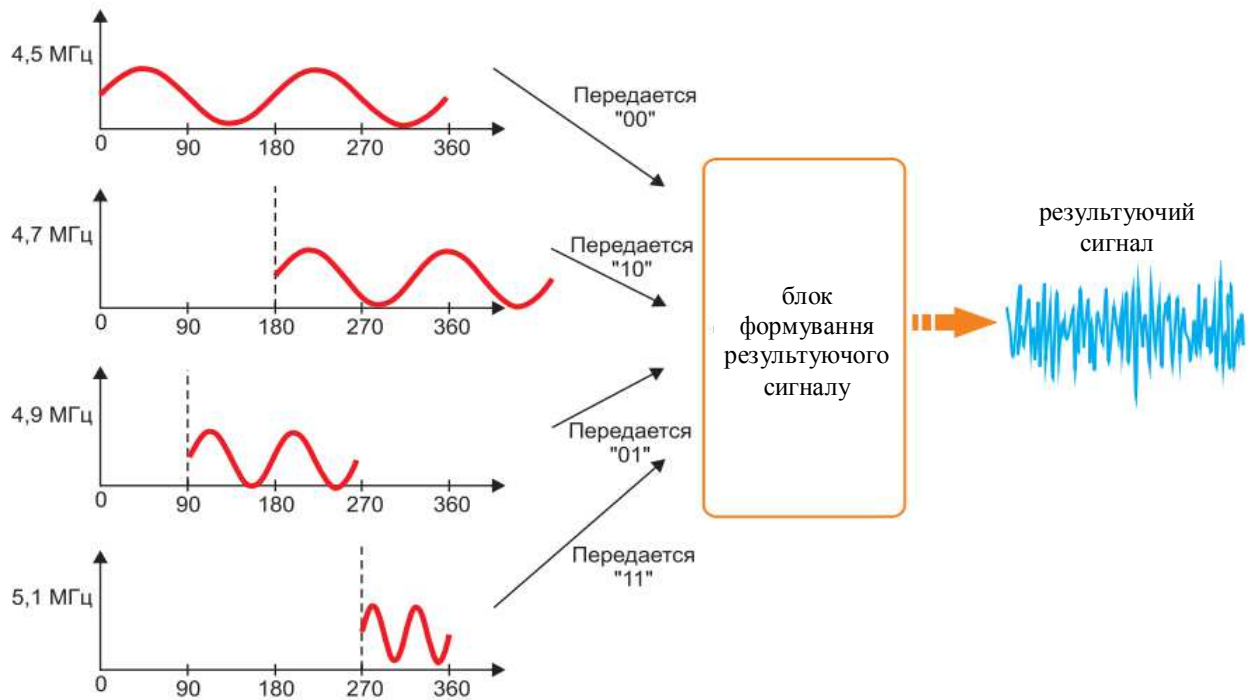


Рисунок 2.3 – DQPSK-модуляція інформаційного сигналу

На практиці ортогональність дозволяє спростити конструкцію як передавача, так і приймача. Тобто модулятор і демодулятор реалізовані з використанням алгоритму БПФ на стороні приймача і зворотного БПФ на стороні передавача.

Крім того, поділивши потік даних на N піднесучих, тривалість символу в піднесучі буде в N разів більше, ніж на вході передавача, що означає, що кожен символ займає вузьку смугу, але більш тривалий проміжок часу. Щоб уникнути перешкод між символами (ISI), для кожного символу OFDM вводиться захисний інтервал. Протягом цього інтервалу, який повинен бути заповнений циклічним продовженням того самого символу OFDM, корисні дані не передаються. Це розширення називається циклічним префіксом (CP).

Цей спосіб надає PLC технології гнучкість при використанні в різних умовах. Наприклад, як вже було сказано, працюючий PLC-пристрій здатний створювати завади на певних частотах. Ще одним прикладом є випадок, коли деякий пристрій вже використовує частину діапазону.

Технічно усунення небажаного взаємного впливу реалізується застосуванням налаштувань, так званих Signal Mode і Power Mask, на пристроях, в яких передбачена відповідна можливість. Signal Mode — програмний метод визначення робочого діапазону частот, а Power Mask — програмний метод обмеження спектру використовуваних частот. За рахунок цього PLC-пристрої можуть спокійно співіснувати в одному фізичному середовищі і не зашумлять діапазони частот, призначені для радіозв'язку.

При передачі сигналів по побутовій електромережі можуть виникати значні загасання передаваного сигналу на певних частотах, що здатне привести до втрати і спотворення даних. Для вирішення питання адаптації до фізичного середовища передачі передбачений спосіб динамічного включення і виключення передачі сигналу, що дозволяє виконати виявлення усунення помилок і конфліктів. Суть цього методу полягає в постійному моніторингу каналу передачі з метою виявлення ділянки спектру з перевищенням певного порогового значення загасання. У разі виявлення цього факту використання проблемного діапазону на якийсь час припиняється до відновлення прийнятної значення загасання, а дані передаються на інших частотах.

Іншою істотною складністю при передачі даних по побутовій електромережі, тепер уже для самих облаштувань PLC, являються імпульсні перешкоди, джерелами яких можуть бути різні зарядні пристрої, галогенні лампи, включення або виключення різних електроприладів. Складність ситуації полягає в тому, що, використовуючи вищеописаний метод, PLC-модем не встигає адаптуватися до швидкозмінних умов, адже їх тривалість може не перевищувати однієї мікросекунди, в результаті частина бітів може бути загублена.

Для вирішення цієї проблеми використовується двоступінчате (каскадне) завадостійке кодування бітових потоків перед тим, як вони будуть промодульовані і поступлять в канал передачі даних. Його суть полягає в додаванні в початковий інформаційний потік по певних алгоритмах надмірних («захисних») бітів, які використовуються декодером на

приймальній стороні для виявлення і виправлення помилок. Каскадує блокового коду Рида — Соломона і простого згортального коду, що декодується по алгоритму Витерби, дозволяє виправляти не лише поодинокі помилки, але і пакети помилок, що значно збільшує цілісність передаваних даних. Крім того, завадостійке кодування збільшує безпеку передаваної інформації з точки зору захисту від несанкціонованого доступу.

Оскільки в якості середовища передачі даних вибрана розгалужена мережа побутового електроживлення, то водночас часу передачу можуть почати відразу декілька підключених пристроїв. У такій ситуації для вирішення конфліктів зіткнення трафіку застосовується регулюючий механізм — протокол доступу до середовища CSMA/CA. Дозвіл колізій відбувається на основі того або іншого пріоритету, що задається в спеціальних полях пріоритезації пакетів даних.

2.3 Устаткування для PLC мереж

Основним єднальним компонентом в технологіях, заснованих на PLC мережах, являється модем [16]. Так мікросхеми і модулі для вузькосмугових PLC модемів застосовуються у складі різних виробів побутового і промислового призначення. Наприклад, при створенні систем автоматизованого контролю і обліку електричної енергії, в лічильниках витрати води і теплових лічильниках. Зняття свідчень з таких приладів можна виконувати дистанційно. Ще один з напрямів застосування вузькосмугових модемів - управління освітленням і створення приладів для «розумного будинку» [16]. До цієї групи продукції - вузькосмугових модемів (передача зі швидкістю до 7,5 кбит/с) - відносяться мікросхеми одного з лідерів ринку устаткування для PLC компанії Yitran, це мікросхеми серії IT800 і новіші IT700. Структурна схема IT700 представлена на рис. 2.4.

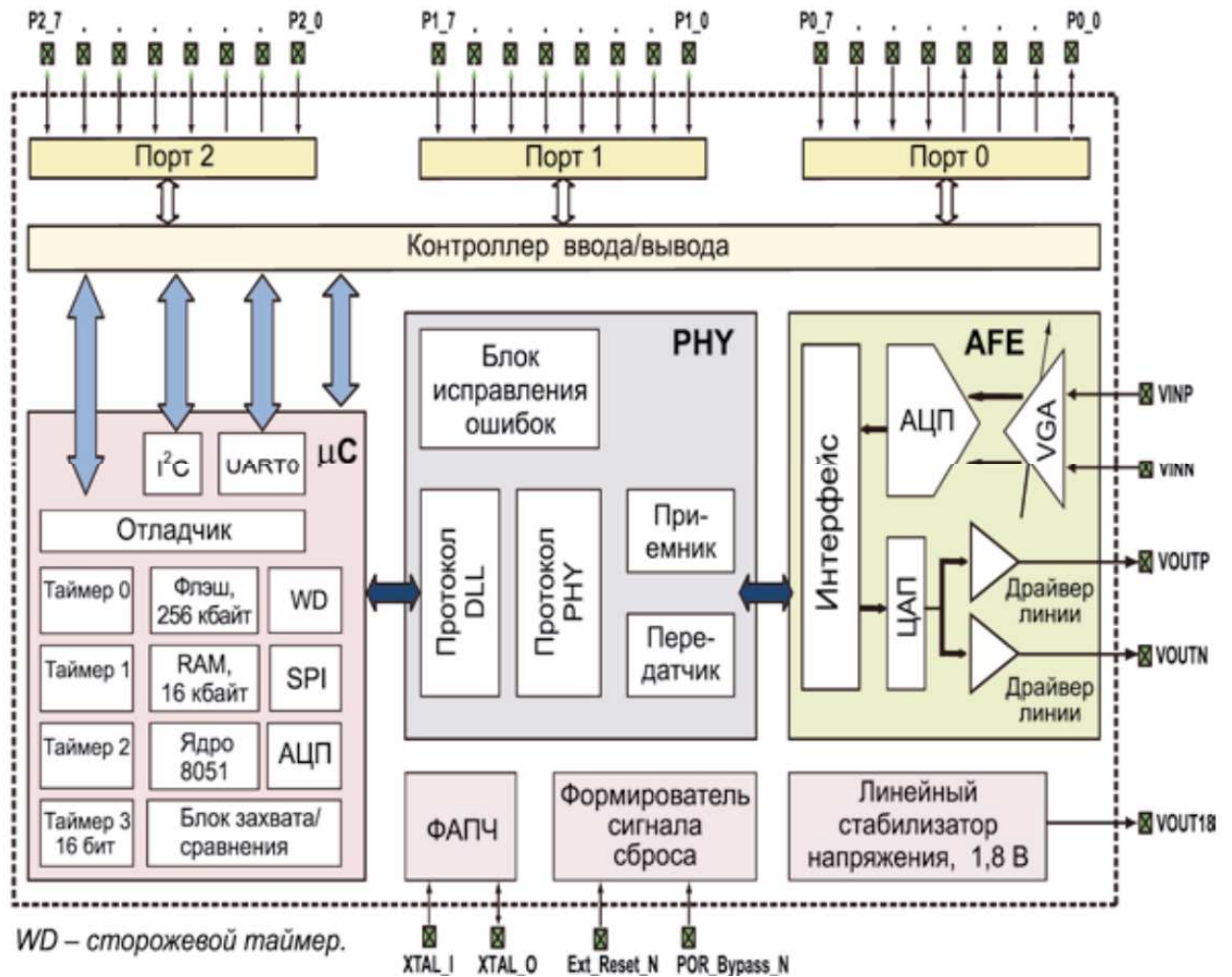


Рисунок 2.4 – Структурна схема модему IT700 для PLC компанії Yitran [16]

Цей модем побудований на базі процесорного ядра 8051, містить флеш пам'ять об'ємом 256 Кбайт, пам'ять типу RAM - 16 Кбайт, 24 лінії введення/виведення загального призначення (GPIO), а також інтерфейс фізичного рівня (PHY). Інтерфейс I2C використовується для завантаження параметрів конфігурації із зовнішньої пам'яті EEPROM. Тип вживаної в модемі модуляції QPSK.

Модем підтримує роботу в частотних діапазонах, виділених відповідними організаціями стандартизації для високочастотного зв'язку по електромережі в США, Японії, Європі. Динамічний діапазон робочого сигналу 85 дБ, чутливість приймача не гірше 1 мВ (від піку до піку), напруга

живлення 3,3 В. Модем випускається у вигляді мікросхеми в корпусі типу 56 - QFN і має розміри 7x7 мм.

На основі цього модему можна побудувати готовий модуль для роботи в електричних мережах. Модуль є майже закінченим виробом, до якого зовні необхідно додати тільки декілька пасивних компонентів, щоб отримати повністю працюючий модем. Блок-схема такого модуля, що включає модем IT800D (аналог IT700) представлена на рис. 2.5.

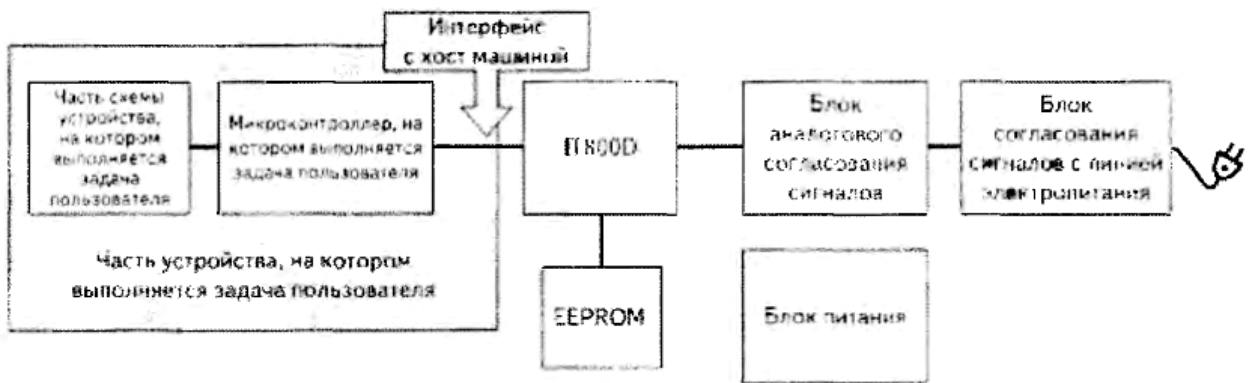


Рисунок 2.5 – Блок-схема модуля, до складу якого входить PLC модем [16]

До мікроконтроллера, на якому виконується програма користувача, підключена мікросхема IT800D, PLC, що є, модем. Він у свою чергу сполучається з лінією через компоненти AFE (Analog Front End), що утворюють аналоговий тракт прийому/передачі даних [16]. Додатково через компоненти Line Coupler, необхідні для розв'язки від мережі, до мікросхеми модему і до мікроконтроллера підключається мікросхема пам'яті EEPROM, в якій зберігаються параметри, необхідні для роботи модему, і параметри налаштування мережі, як вже було сказано вище. Приклад зовнішнього вигляду плати готового модуля наведений на рис.2.6.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд плати готового модуля на базі модему IT900 (PIM) [16]

Модеми для широкосмугової передачі даних робить цілий ряд компаній, таких як Intellion, DS2, Cisco Systems, Eicon, Mitsubishi, Philips і багато інших. У іспанської компанії DS2 є ряд модемів і приймачів для побудови PLC мереж : DSS9001/2/3, DSS9101, DSS9501 DSS7700/800 і так далі. На мал. 5 представлена структурна схема підключення мікросхем DSS9501 (модем) і DSS7700 (приймач) до електромережі.

Порівняльні характеристики технологій передачі даних по електромережах дані в таблиці. 1 [17].

Таблиця. 2.1. Основні параметри мікросхеми DSS9501[17]

Швидкість передачі даних, Мбіт/с	200
Вид модуляції	OFDM
Смуга частот, МГц	2...34
Динамічний діапазон, дБ	85
Стандарт шифрування	AES (256 біт)
Інтерфейс	Ethernet (MII), UART, SPI
Діапазон робочих температур, °C	-40...85

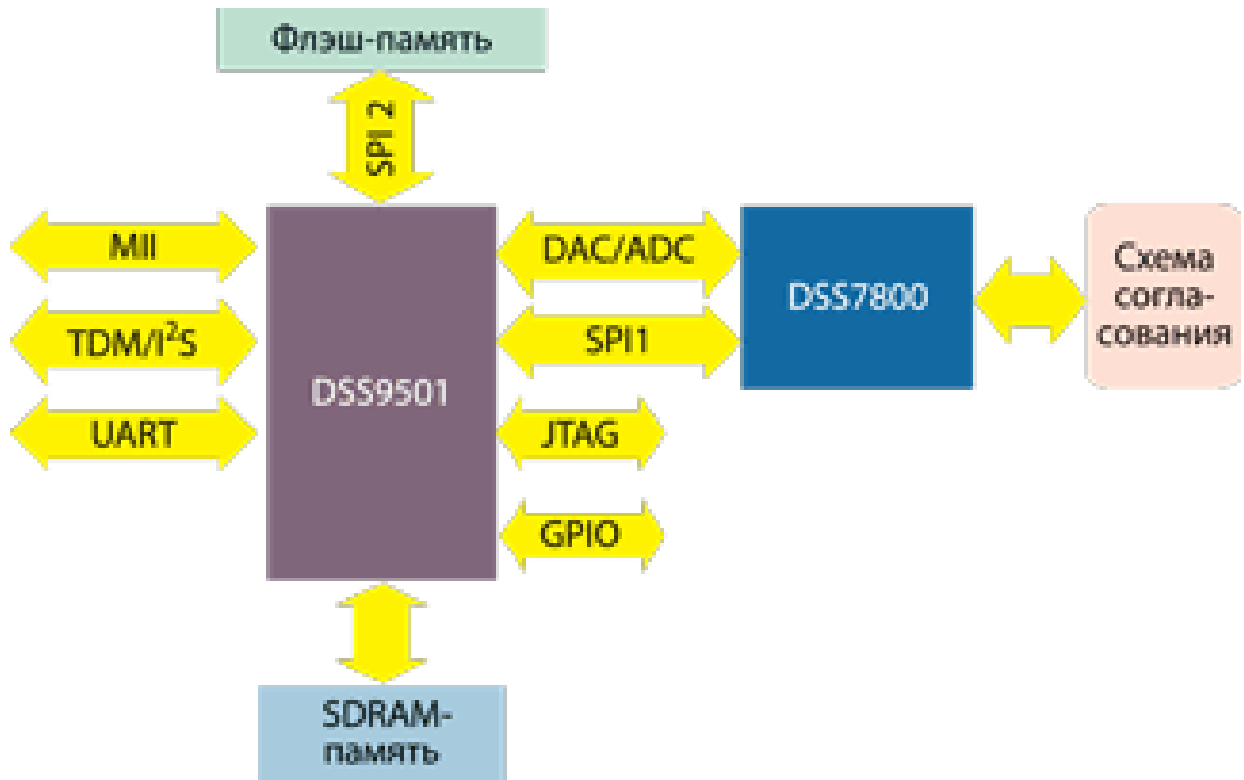


Рисунок 2.7 – Структурна схема підключення до електромережі мікросхем DSS9501 і DSS7700 [16]

2.4 IC Semtech для реалізації PLC-технології

PLC продукція компанії Semtech призначена для експлуатації в типових лініях електропостачання з низьким або середнім робітником напругою [2]. Будь-який модем, діючий з аналоговою фізичною лінією, повинен мати функціональні вузли, необхідні для обробки аналогових даних, перетворення їх в цифрову форму і, звичайно, для обробки цифрових даних. На стороні передачі модем також повинен робити кодування цифрових даних відповідно до заданого алгоритму, перетворювати їх в аналогові і посилати в лінію.

Усі ці дії виконують мікросхеми серії EV 8xxx. Вузькосмугові мікросхеми, що є «системами на кристалі», відрізняються високою мірою інтеграції і містять усі необхідні структурні блоки для реалізації фізичного, MAC і інших рівнів протоколу (6LoWPAN і IEC). Підтримують декілька

типів модуляції, на практиці найчастіше застосовується OFDM для організації стійкого і заводозахищеного каналу зв'язку. Однокристальні IC, такі, що пройшли тестування функціональної сумісності в HomePlug Alliance Netricity, відрізняються універсальністю застосування, на їх основі проектуються як крайові вузли, так і координатори мережі. Специфікація Netricity розроблена для мережевих комунікацій по лініях електромережі великої дальності і призначена для введомової інфраструктури, інтелектуальних мереж розподілу електроенергії і управління виробничими процесами. Технологія може бути використана як в щільних міських, так і в сільських електромережах із застосуванням частот нижче 500 кГц. Вона також включає рівень доступу на основі IEEE 802.15.4 (MAC), що є ключовим для розробки гібридних дротяних/безпроводних мереж. Основні технічні характеристики PLC -микросхем компанії Semtech представлені в таблиці 1.

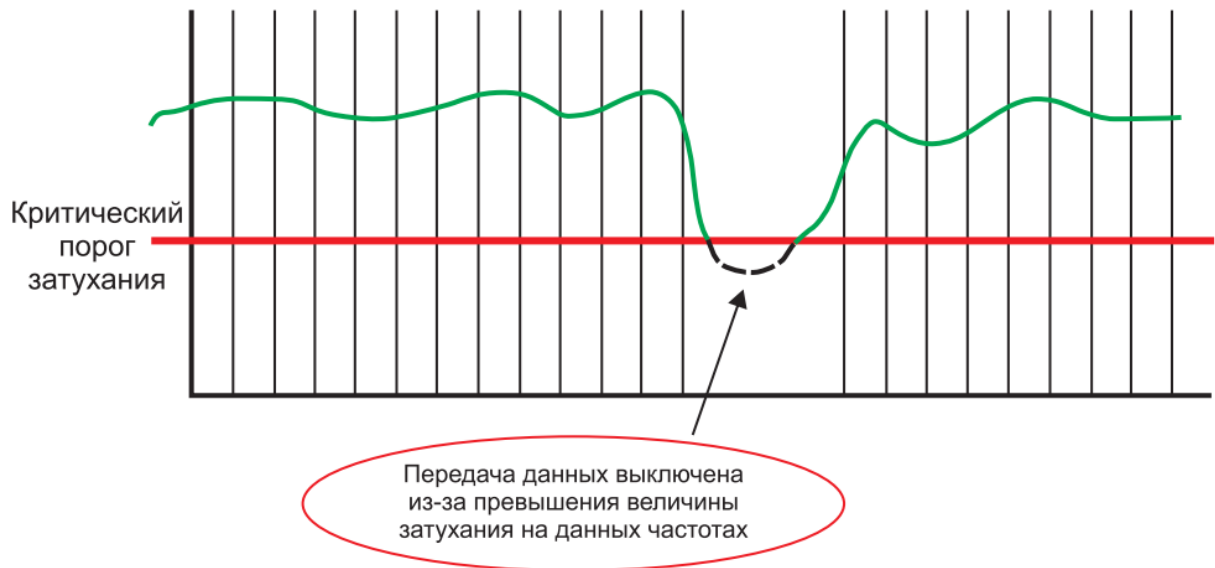


Рисунок 2.8 – Адаптивна передача даних

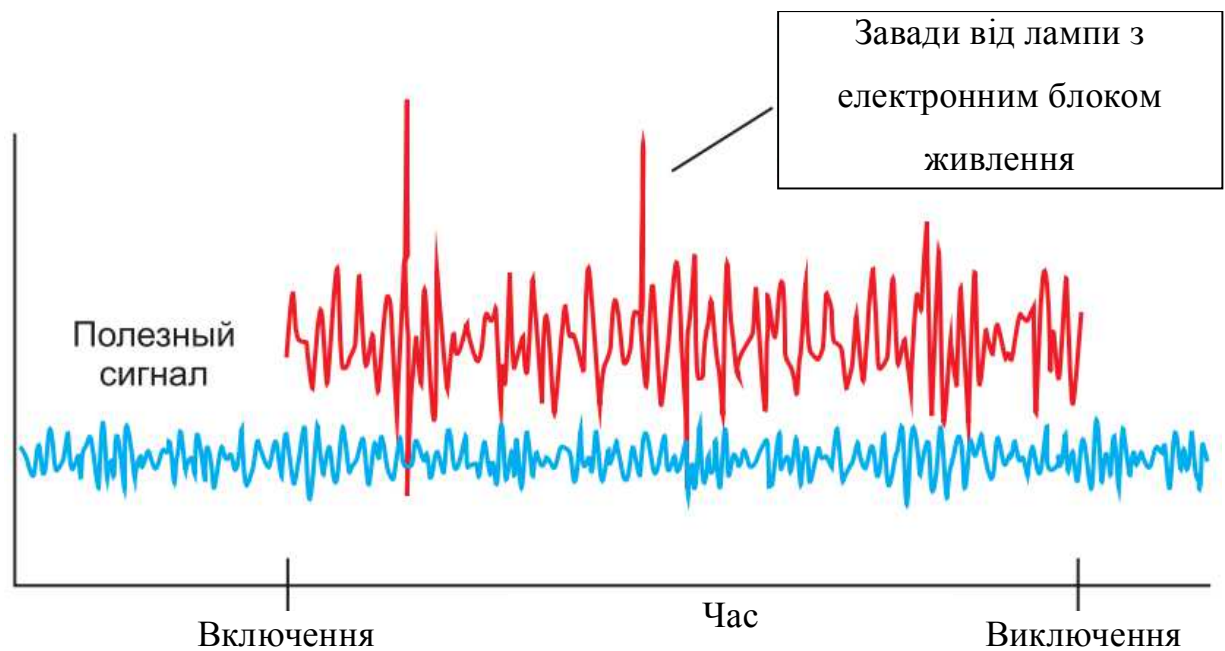


Рисунок 2.9 – Вплив імпульсних завад,
що виникають в часі на передачу даних

ІС серії EV 8xxx мають програмовані діапазони частот від 10 до 490 кГц, покриваючи CENELEC A (10-95 кГц), CENELEC B (95-120 кГц), CENELEC C (120-140 кГц), FCC (10-490 кГц) і ARIB (10-490 кГц) смуги без змін в конструкції пристрою [3, 4].

Шляхом завантаження відповідного вбудованого програмного забезпечення по лінії електромережі вони можуть бути налагоджені для роботи в режимах ITU-T G.9903 (G3-PLC), ITU G.9902, ITU - T G.9904 (PRIME), IEEE P1901.2 і IEC-61334 (S-FSK).

Крім того, вони підтримують фірмовий високопродуктивний режим 4GPLC. Конструктивно мікросхеми сімейства виготовляються в низькопрофільних корпусах для поверхневого монтажу, призначених для експлуатації в діапазоні робочих температур - 40.+85 °С [5, 6]. Спрощена структура із зображенням основних функціональних вузлів приведена на мал. 6, тут можна виділити наступні блоки:

- Блок AFE (Analog Front - End) є набором аналогових компонентів, що забезпечують ізоляцію за допомогою трансформатора з розділовим конденсатором, фільтрацію і посилення вхідного сигналу, а також формування заданих рівнів вихідного передаваного сигналу шляхом використання драйвера лінії на ОУ.

- РНУ — це блок, призначений для сполучення цифрової частини мікросхеми з аналоговою лінією.

- 32-бітовий RISC -мікроконтроллер забезпечує внутрішньосхемну реалізацію MAC -уровня, здійснює обробку даних, формування пакету, кодування даних по симетричному алгоритму блокового шифрування AES і т. д., а також вирішує прикладні завдання.

- Периферійні блоки, що сполучають вбудований мікропроцесор із зовнішніми мікросхемами — пам'яттю EEPROM, АЦП з високим розділенням і хостконтроллером. Для зв'язку застосовується апаратна реалізація широко поширених інтерфейсів SPI, I2C і UART.

- Інтегрована оперативна і флэшпам'ять. Розмір вбудованої пам'яті програм варіюється в межах від 1 до 2 Мбайт, оперативною — від 256 кбайт у EV8100 до 384 кбайт у інших, за запитом до виробника можливі інші варіанти.

- Блок управління.

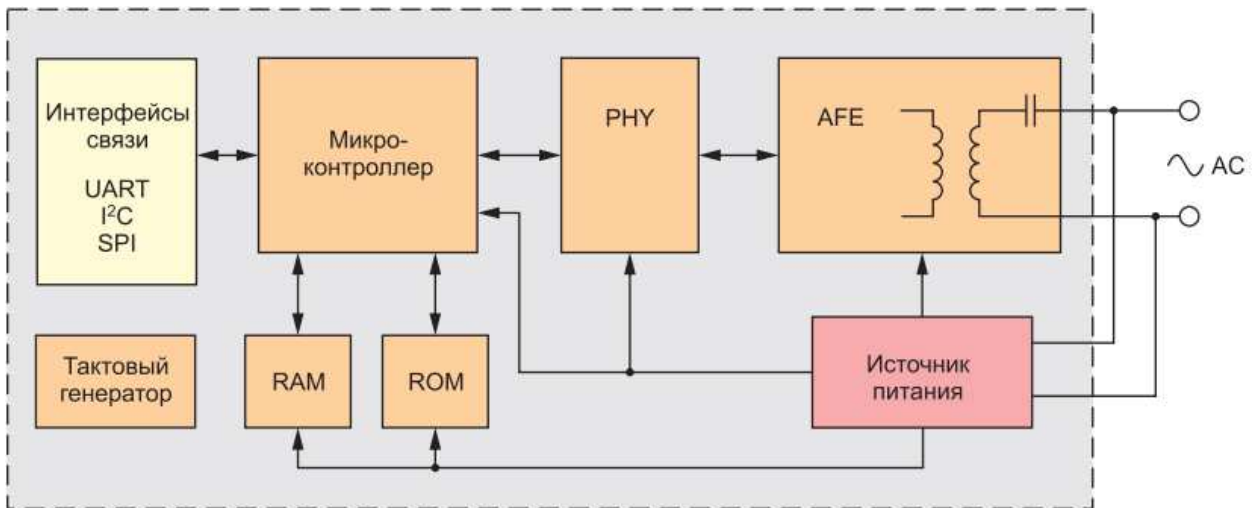


Рисунок 2.10 – Спрощена блок-схема ІС семейства EV8xxx [5, 6]

• Підсистема живлення, що забезпечує усю необхідну для окремих вузлів напругу. Як правило, застосовується джерело, працююче від тієї ж мережі змінного струму, що і використовується для передачі даних.

Окремо слід зазначити ІС EV8100, яка, окрім типових вузлів, містить вбудований контролер 6x33 сегментного LCD-дісплея і драйвер сенсорної клавіатури.

PLC-мікросхеми компанії Semtech орієнтовані передусім на використання в системах автоматизації, дистанційного керування і контролю видаленими об'єктами, найбільш популярні сфери їх застосування :

- Мережі автоматизації будівель (AMI).
- Системи управління посадочними вогнями в аеропортах.
- Облаштування «Інтернету речей».
- Домашні локальні мережі.
- Інтелектуальне устаткування («розумні речі»), у тому числі побутова електроніка.
- Системи контролю і управління на сонячних електростанціях.
- Мережі вуличного освітлення.
- Устаткування зв'язку з підстанціями.
- Системи управління транспортними потоками.

Серед усього вищепереліченого основний напрям — це мережі АМІ (інфраструктура інтелектуального обліку), що об'єднують «розумні лічильники», концентратори даних, засоби управління енергоспоживанням, дисплеї і інші компоненти систем автоматизації будівель (рис. 2.11).

Зв'язок по силових лініях є основним елементом автоматизованих систем контролю і обліку енергоносіїв, вживаних комунальними службами. Основні переваги цієї технології : можливість автоматично отримувати інформацію від житлових і промислових приміщень, розташованих у видалених районах з низькою щільністю населення і низькою якістю інфраструктури, великий термін служби, можливість нарощування і низькі витрати.

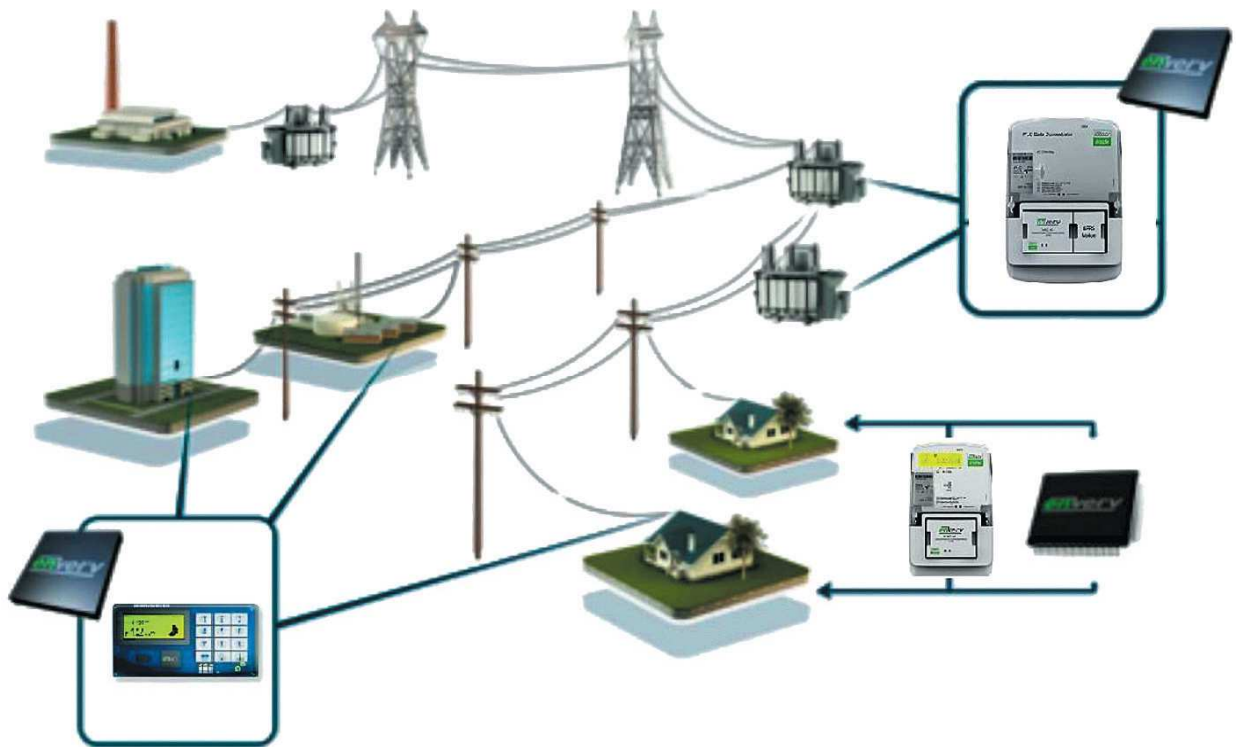


Рисунок 2.11 – Приклад реалізації АМІ-мережі на основі готових рішень компанії Semtech [5, 6]

Принцип роботи системи досить простий. Електрика від електростанції передається по високовольтному кабелю до підстанції. Тут відбувається

пониження напруги і розподіл на велику кількість низьковольтних трансформаторних підстанцій, що знижують напругу до побутового. Зазвичай до одного трансформатора приєднані від 500 до 1000 кінцевих споживачів. Таким чином, можна запропонувати наступний варіант побудови PLC-систем для цих цілей: концентратор, діючий як центральний вузол, базується на низьковольтних підстанціях і регулярно (наприклад, раз на годину) збирає результати вимірів з лічильників (це можуть бути лічильники не лише електроенергії, але і води, тепла, газу).

Таблиця 2.2 – готові рішення Semtech для AMI -сетей

Компонент AMI-мережі	Короткий опис
	<p>PLC -концентратор даних</p> <p>Дальність дії : більше 1 км Відповідність стандартам G3 - PLC/PRIME Вбудований модем EDGE/GPRS Підтримка протоколу DLMS/COSEM</p>
	<p>PLC -измеритель (лічильник) даних</p> <p>Відповідність стандартам G3 - PLC/PRIME Підтримка протоколу DLMS/COSEM Доступний у форм-факторах ANSI і IEC Можливість постачання виробів на замовлення</p>
	<p>ретранслятор даних</p> <p>Відповідність стандартам G3 - PLC/PRIME Для збільшення зони покриття мережі Мінімальні габарити Простота інсталяції</p>
	<p>Пульт управління і індикації (для користувача)</p> <p>Відповідність стандартам G3 - PLC/PRIME Однокристальне рішення зі вбудованим хост-контроллером LCD -дисплей</p>
	<p>Модуль збору даних (плата розширення)</p> <p>Відповідність стандартам G3 - PLC/PRIME Безліч цифрових і аналогових входів/виходів Компактний дизайн</p>

Далі інформація пересилається на сервер для подальшої обробки, наприклад по каналу GSM [7]. Такий тип систем не обмежений тільки отриманням інформації з лічильників і може виконувати інші функції.

Для практичної реалізації цієї системи компанія Semtech пропонує стартовий набір розробника, що включає як готові рішення на основі мікросхем EV8000, EV8100 і EV8200 для максимально швидкої організації передачі даних по PLC-мережі, так і налагоджувальні засоби для оцінки можливостей системи (таблиця. 2.2).



Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд налагоджувальних PLC -комплектів

Останні є модулями для крайових вузлів (лічильників) і концентраторів, в комплект постачання яких входить усе необхідне, включаючи рекомендації по застосуванню, а також ПО для налаштування параметрів окремих вузлів і моніторингу якості зв'язку в проектованій мережі. Графічний інтерфейс користувача, що додається, дозволяє запрограмувати діапазон робочих частот, тип модуляції, швидкість передачі, рівень вихідної потужності і т. д., а також наочно відстежити коефіцієнти помилок PER і BER в пакетах даних, що приймаються.

Налагоджувальні комплекти EVM8K-01, EVM8K-02 і EVM8K-03 можуть виступати як видаленими вимірювальними вузлами, так і концентраторами, що забезпечують збір даних.

Модулі призначені для експлуатації в одно- і трифазних мережах, живляться від вбудованого джерела змінного струму з напругою 80-280 В (EVM8K - 01 і EVM8K - 02) або від постійного із стандартною напругою 12 В (EVM8K - 01 і EVM8K - 03).

Зв'язок з хост-контролером здійснюється за допомогою інтерфейсів RS - 232 або USB. Комплект EVM8K - 13 є концентратором мережі, що об'єднує на одній платі PLC-модем на базі IC EV8000 з 32-бітовим RISC-мікроконтролером, необхідним для виконання призначеного для користувача застосування.

Комплект здатний обслуговувати до 500 крайових вузлів (до 2000 опціонально), з особливостей можна відмітити наявність «на борту» 3G/EDGE/GPRS-модему, GPS-модуля і 8-Гбит SD-карти. Окрім безпроводної передачі даних на сервер, можна також скористатися інтерфейсами RS - 232, USB або Ethernet.

Таблиця 2.3 – Порівняльні характеристики технологій передачі даних по електромережі

Найменування	Вузькосмугова		Широкосмугова
	Низька швидкість	Висока швидкість	Висока швидкість
Діапазон частот, кГц	9-148,5	9-500 (FCC), 9-95 (CEN E LEC A), 95-125 (CEN E LEC B), 95-148,5 (CEN E LEC B.C.D)	1500-50000
Швидкість передачі, кбит/с	<10	50-1000	>2000
Модуляція	FSK, BPSK, FFH, S – FSK, DCSK	OFDM, MCM	OFDM, MCM
Завадостійке кодування (FEC)	Немає або підтримується на низькому рівні	Підтримується на високому рівні для забезпечення високої достовірності даних	Підтримується на середньому рівні для забезпечення високої пропускної спроможності
Застосування	Система автоматизованого дистанційного зчитування датчиків	Автоматизовані розподілені мережі управління / контролю	VoIP, HDTV, Інтернет ("остання міля")
Виробники компонентів і обладнання, асоціації і альянси	Yitran, Renesas, STMicroelectronics, ON Semiconductor, Busch Jaeger, Echelon, Gortitz та ін.	STMicroelectronics, Freescale, iAd, Maxim, ADDGrup, PRIME та ін.	DS2, Intellon, Spidcom, Panasonic, Amperion, Current Communications, Homeplug, OPERA.

Отже, створені комплекти інтегральних схем забезпечують здатність до реалізації всіх вимог, щодо розробки та створення комплектів систем передачі інформації по лініях електроживлення.

Висновки з розділу

1. Визначено спільні властивості для PLC систем, щодо реалізації принципів передачі інформації, а саме звичайної модуляції з частотним розділенням FDM, та ортогональне частотно-розділене мультиплексування OFDM, що має на меті збільшення кількості одночасних каналів та із застосуванням технології адаптивного оцінювання стану провідникової лінії збільшити швидкість передачі інформації. Зростання швидкості дозволяє зменшити час передачі, а отже і енергоспоживання пристрою.

2. Застосування технології ортогонального частотно-розділеного мультиплексування OFDM дозволяє підвищити завадостійкість системи передачі. У свою чергу це дозволяє підвищити надійність передачі інформації по незалежних каналах.

3. Розроблені технічні рішення у вигляді готових наборів інтегральних схем, що забезпечують реалізацію інтерфейсу фізичного рівня РНУ, інтерфейси користувача. Зроблено порівняння технічних рішень з боку таких показників як: частотні діапазони, швидкості передачі, способи модуляції та корегування даних.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЬ ШУМІВ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

3.1 Небезпека існування шумів для сучасних електронних систем

Робота енергозберіжних ламп, імпульсних блоків живлення, зарядних пристроїв, тиристорів, димерів і побутових електроприладів, а також електродвигунів і зварювального устаткування, особливо включених у безпосередній близькості від PLC-модему, викликала в не захищених від високочастотних випромінювань дротах імпульсні перешкоди, які призводили до різкого зниження достовірності передачі даних. Також на стабільність і швидкість проходження сигналу негативний вплив робила неоднорідність ліній зв'язку, зокрема, якість і зношеність електричних мереж, наявність стиків з матеріалів з різною електропровідністю (наприклад, міді і алюмінію), наявність скручувань і т. д.

В результаті загальне зниження номінальної швидкості передачі даних складало від 5 до 50%. Крім того, в приміщеннях, де працювали PLC-пристрої, в деяких випадках спостерігалось порушення радіоприйому на відстані близько 3-5 м від модему, особливо на середніх і коротких хвилях. Це відбувалося через те, що дроти електромережі починали діяти як антени радіоретрансляторів, випромінюючи, по суті, увесь трафік в ефір.

Існуючі PLC-системи (power line communication systems), працюючі в діапазоні частот 3.148,5 кГц, мають низьку швидкість передачі інформації (одиниці або десятки кбит/с) і малу надійність. Це передусім пов'язано з використанням в них видів модуляції, первинно розроблених для каналів зв'язку, які по своїх властивостях сильно відрізняються від електричних мереж. Щоб поліпшити характеристики PLC-систем, необхідно при виборі схеми модуляції і завадостійкого кодування враховувати особливості сучасних електромереж. Разом із загасанням сигналу, викликаного втратами в електропроводці, рівень і характер шумів в електромережі визначають

основні технічні параметри PLC-систем. На даний момент вже існують праці, присвячені аналізу перешкод в електромережах, але в них або опис шумів проведений за допомогою великого числа параметрів [25], або шуми розглядаються в області високих частот (до 30 МГц) [26, 27], можливість використання яких в нашій країні обмежена [28]. Тому потрібно провести аналіз шумів та створити моделі шумів електромереж в діапазоні від 3 до 150 кГц, яка б складалася з невеликого числа параметрів.

3.2 Пропонована модель шумів

Після обробки близько 1000 спектрограм, отриманих при власних вимірах [29], і аналізу робіт інших авторів можна сказати, що шуми електромереж сильно відрізняються від аддитивного білого шуму (АБГШ) гауса і їх в об-щем випадку можна представити у вигляді сукупності трьох типів перешкод : фонових, вузькосмугових і імпульсних (рис. 3.1).

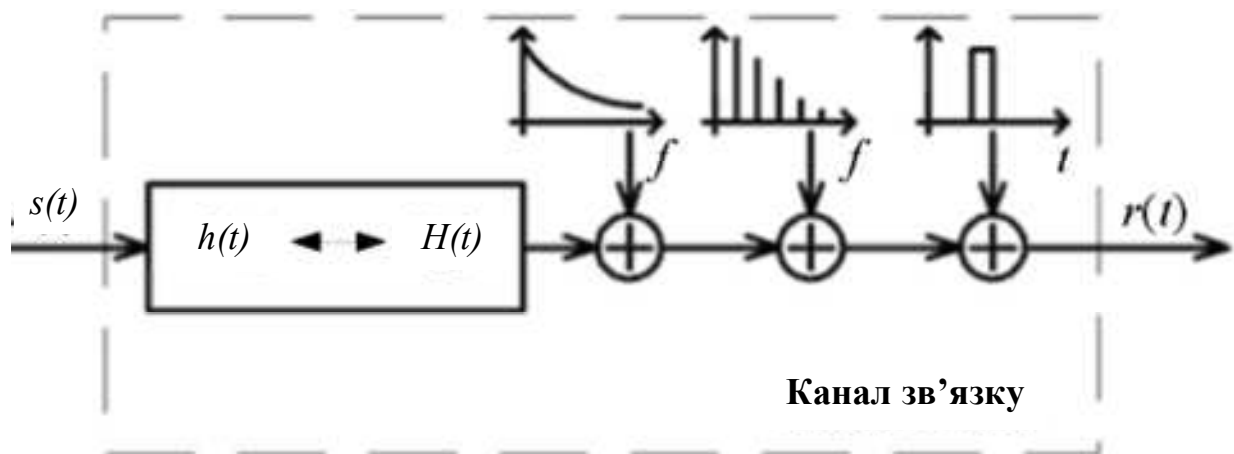


Рисунок 3.1 – Спрощена модель електромережі

Тоді модель шумів виглядатиме як сума трьох доданків :

$$n(t) = n_{фон}(t) + n_{уз}(t) + n_{имп}(t),$$

де $n_{фон}(t)$ – фоновий шум,

$n_{уз}(t)$ – шум вузлів;

$n_{имп}(t)$ – імпульсний шум.

Щоб синтезувати яку-небудь з трьох типів перешкод, скористаємося методом, який описаний в [27, 30]. Цей метод застосовується, коли необхідно сформувати випадковий процес із заданим видом спектральної щільності потужності. Такий процес отримують шляхом пропускання АБГШ через деякий формувальний фільтр, який розраховують виходячи з того, що характеристики вхідного і вихідного сигналів відомі.

Спектральна щільність потужності сигналу на виході фільтру визначається виразом:

$$S_y(\omega) = |W(\omega)|^2 S_x(\omega) \quad (3.1)$$

де $S_y(\omega)$ - спектральна щільність потужності вихідного і вхідного сигналу відповідно;

$|W(\omega)|^2$ - квадрат модуля частотної характеристики фільтру.

При використанні як вхідний сигнал білого шуму з $S_x(\omega) = S_0$ отримаємо, що АЧХ шуканого фільтру визначається вираженням

$$W(\omega) = \sqrt{\frac{S_y(\omega)}{S_0}}$$

а його імпульсна характеристика знаходиться як обернене перетворення Фур'є від його передатної характеристики:

$$h(t) = \frac{1}{2\pi\sqrt{S_0}} \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{S_y(\omega)} e^{j\omega t} d\omega \quad (3.2)$$

Білий шум з нормальним розподілом можна отримати, наприклад, в середовищі *Matlab* :

$$> \text{noise} = \sigma \cdot \text{randn}(65535, 1);$$

де σ - бажане середньоквадратичне відхилення шуму.

3.2.1 Фонові перешкоди

На мал. 2 наведений приклад типового розподілу спектру потужності шуму в побутовій електромережі у разі відсутності в ній потужних імпульсних і вузькосмугових перешкод. Що огинає фонових перешкод приблизно можна описати за допомогою експоненціальної функції першого порядку :

$$n_{\text{фон}}(f) = N_0 + N_1 e^{-\frac{f}{f_1}} \quad (3.3)$$

де N_0 - деякий постійний рівень шуму; N_1 і $\frac{f}{f_1}$ - невідомі коефіцієнти.

Скориставшись методом найменших квадратів, знаходимо, що рівняння показаної на рис. 3.2, крива, що огинає буде оцінена як:

$$n_{\text{фон}}(f) = -50 + 70 e^{-\frac{f}{45000}} .$$

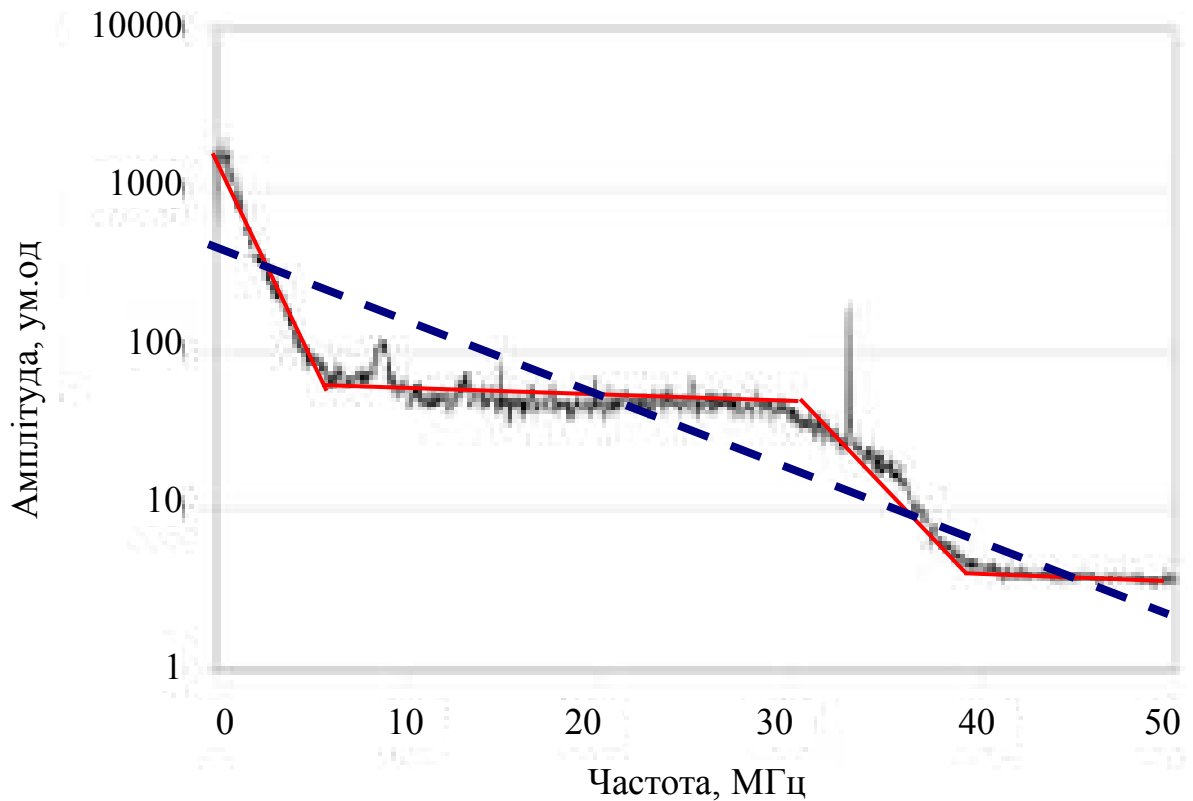


Рисунок 3.2 – Апроксимація спектру потужності фонових шумів

Якщо тепер перейти від спектру потужності до амплітудного спектру по методу, описаному вище, а потім зробити зворотне ДПФ від цього амплітудного спектру, то отримаємо імпульсну характеристику фільтру, що формує фонові перешкоди.

3.2.2 Вузькосмугові перешкоди

У загальному випадку вузькосмугові перешкоди можна представити у вигляді суми N -го числа незалежних синусоїд :

$$n_{yz}(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \cdot \sin(2\pi f_i t + \varphi_i)$$

В цьому випадку кожна синусоїда характеризуватиметься власною частотою f_i , фазою φ_i і амплітудою $A_i(t)$. Причому амплітуда може бути як

постійною, так і бути деяким низькочастотним процесом, спектр якого зосереджений в околиці нульової частоти. Початкова фаза кожної з синусоїд може бути вибрана довільно з інтервалу і не повинна змінюватись з часом.

Щоб не ускладнювати, для генерації вузькосмугових перешкод скористаємося методом, який був застосований для формування фонових перешкод. Для цього спектр потужності вузькосмугових перешкод представимо у вигляді суми експоненціальних функцій :

$$n_{yz}(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \cdot e^{-\frac{|f-f_0|}{f_0}} . \quad (3.4)$$

Число доданків в рівнянні (3.4) визначається числом піків в спектрі шуму. Характеристики кожного такого піку приблизно можна описати за допомогою амплітуди $A_i(t)$, центральної частоти f_0 .

3.2.3 Імпульсні перешкоди

Імпульсні перешкоди – це регулярні або випадкові послідовності імпульсів, що «заважають», в тимчасовій області, виниклі внаслідок побічних ефектів роботи деяких приладів або різкої зміни споживаного з мережі струму. Спираючись на результати власних вимірів і на результати, приведені в [26], можна сказати, що імпульсний шум - це деякий вузькосмуговий випадковий процес із стрибкоподібною зміною амплітуди (рис.3. 3).

Амплітуда, шпаруватість і період імпульсних перешкод є випадковими величинами, статистичні характеристики яких були досліджені в [26] за допомогою пікового детектора і представлені на мал. 4. За результатами досліджень було визначено, що близько 90 % імпульсних перешкод в лініях мають амплітуду від 100 до 200 мВ і тільки 1 % має амплітуду більше 2 В.

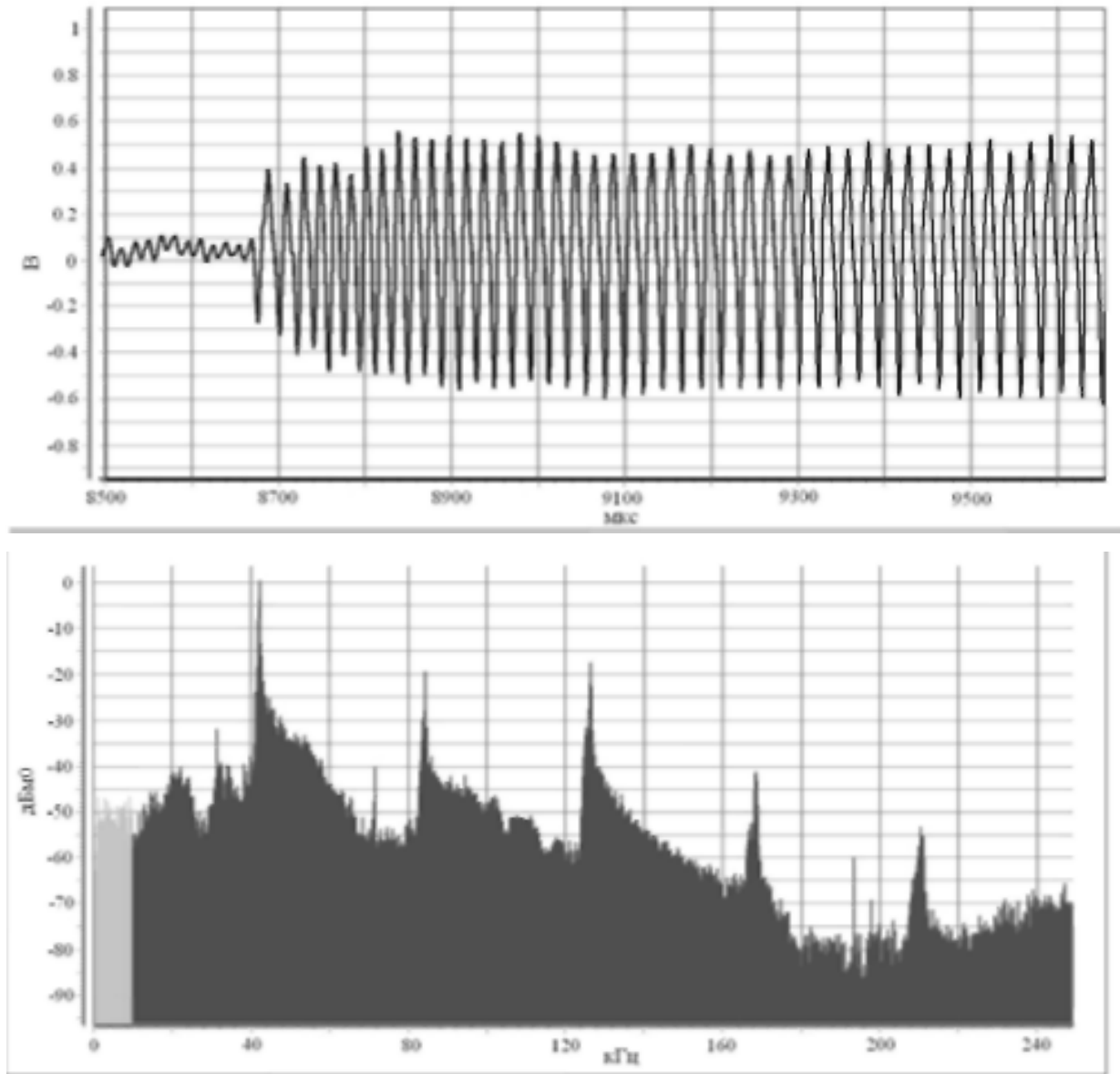


Рисунок 3.3 – Фрагмент імпульсної перешкоди і її спектр потужності [26]

Тривалість імпульсу зазвичай має значення близько декількох десятків мікросекунд. Імпульси тривалістю більше 500 мкс спостерігалися лише в 1 % випадків [26]. Імпульсні перешкоди з частотою повторення 50-100 Гц, т. е. що йдуть синхронно з напругою електромережі, зустрічаються найчастіше і були зафіксовані в 30 % вимірів.

Перешкоди з періодом повторення більше 200 мс складають лише десяту частину від усіх періодичних імпульсних перешкод.

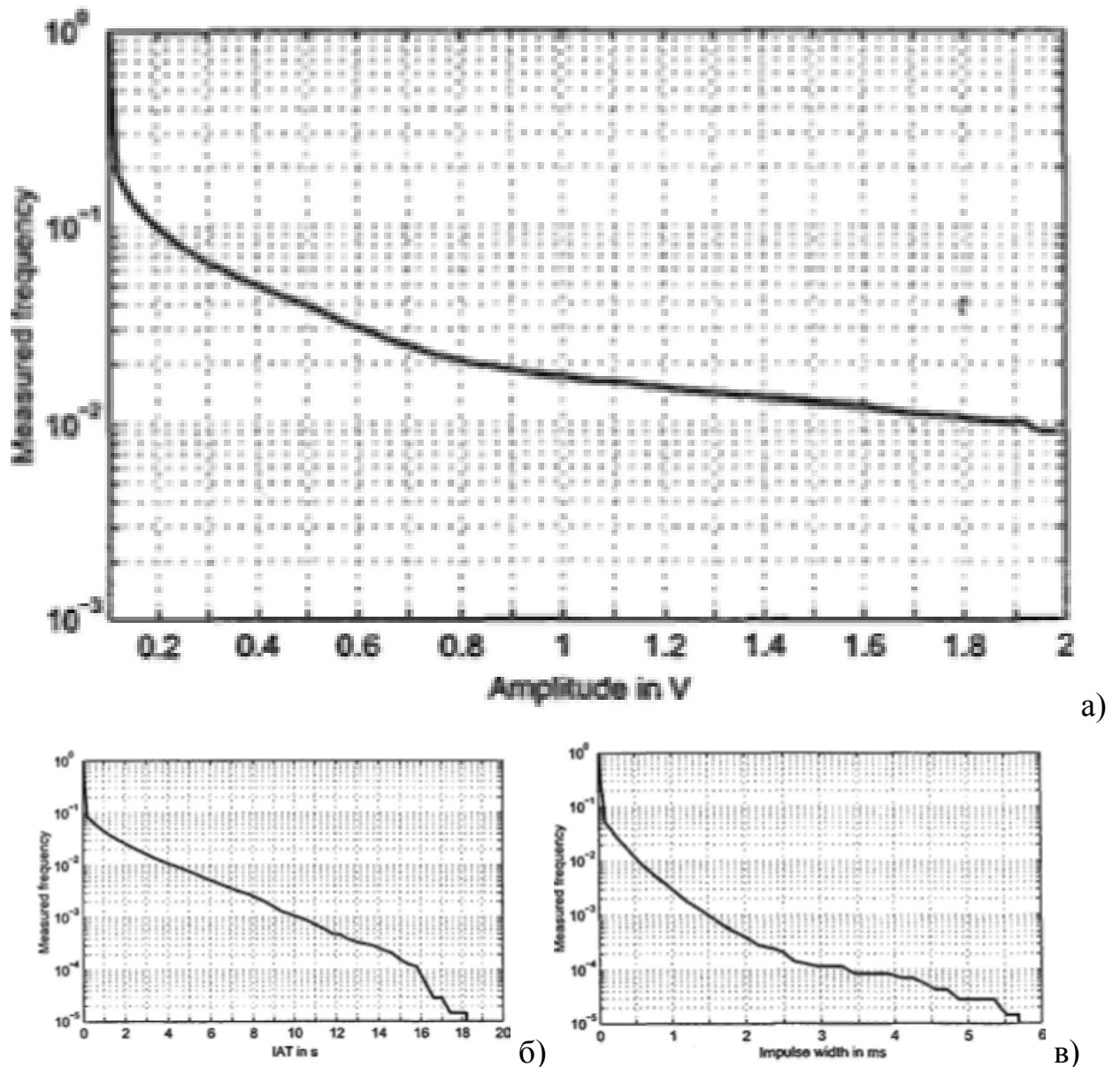


Рисунок 3.4 – Закон розподілу параметрів імпульсних шумів [26]:

а - амплітуди; б - тривалість імпульсів; в - періоди повторення імпульсів

Для синтезу імпульсних перешкод було вирішено використовувати метод, який ґрунтується на наступному алгоритмі.

1) Генерація послідовності прямокутних імпульсів з випадковим періодом, шпаруватістю і амплітудою.

2) Генерація випадкового процесу із заданим видом спектральної щільності потужності і нормованою амплітудою.

3) Множення згенерованого випадкового процесу на отриману послідовність прямокутних імпульсів.

За амплітуду випадкового процесу приймемо такий рівень, для якого вірогідність появи меншого по модулю значення буде більше ніж 0,9.

Для того, щоб нормувати по цьому критерію амплітуду згенерованого дискретного випадкового процесу розрахуємо його середньоквадратичне відхилення (середню потужність) за формулою:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N n(i)^2.$$

Як показано в [32] дисперсія σ_{out}^2 вихідної послідовності нерекурсивного фільтру пов'язана з дисперсією σ_{in}^2 вхідної послідовності співвідношенням

$$\sigma_{out}^2 = \sigma_{in}^2 \sum_{i=1}^m b_i^2,$$

де b_i^2 - коефіцієнти дискретного фільтру.

Тому якщо на вхід нерекурсивного фільтру подати шум гауса, то і на виході отримаємо також шум гауса. Це припущення про характер високочастотного заповнення імпульсних шумів узгоджується з експериментальними результатами, отриманими в [25], і дозволяє по довідкових таблицях визначити відношення між дисперсією і заданою вище амплітудою випадкового процесу.

3.3 Результати моделювання шумових процесів

Вище була приведена методика, що дозволяє отримати просту порівняно з [25, 26] модель шумів. Ця модель була описана за допомогою невеликої кількості параметрів.

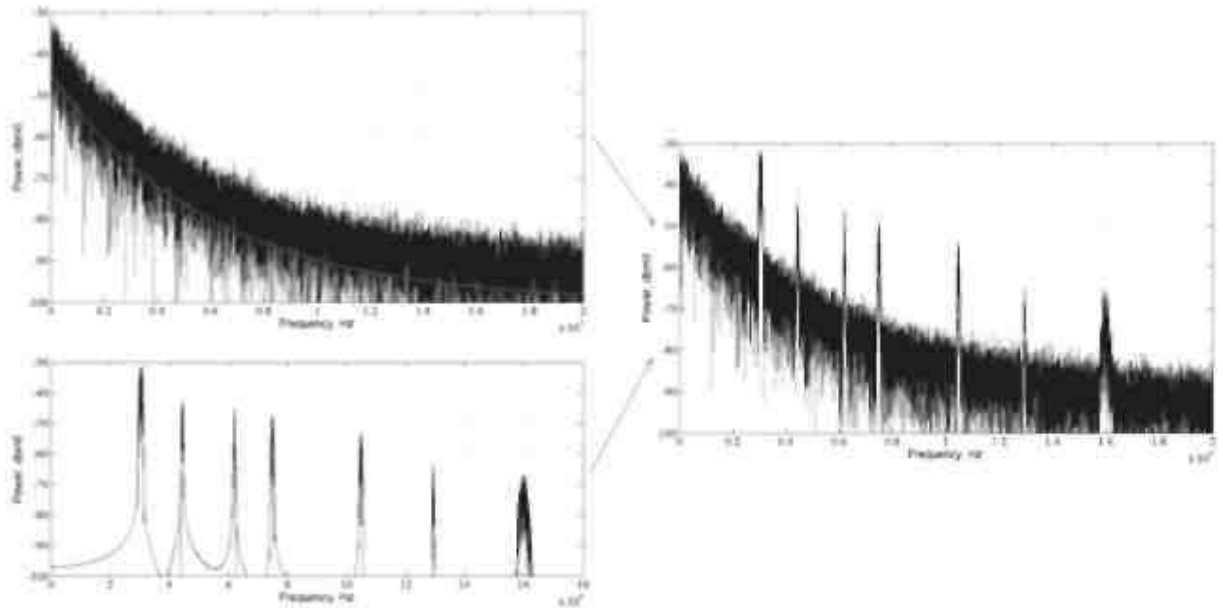


Рисунок 3.5 – Спектральна щільність потужності змодельованих фонових, вузькосмугових шумів, а також їх суми

За допомогою цих параметрів можливо змінювати рівень потужності шумів, центральну частоту і ширину смуги окремих вузькосмугових перешкод, а також генерувати імпульсні перешкоди з бажаними статистичними характеристиками. Як приклад на рис.3.5 представлений результат моделювання в середовищі MATLAB [7] шуму із спектральною щільністю потужності, заданої рис. 3.2.

З цього рисунку видно, що результат моделювання є сумою двох випадкових процесів, імітуючих фонові і вузькосмугові шуми.

Висновки з розділу

1. Устаткування для організації мереж на основі PLC технології відрізняється простотою в експлуатації і освоєнні. Проте, використання пристроїв PLC стандарту може бути обмежено в наслідок існування зовнішніх завад, що впливають на канал передачі даних та створюють завади при роботі. Відомо і зворотна ситуація – виникнення завад від пристроїв PLC для інших пристроїв.

2. Розглянуто модель електромережі та модель шумів цієї мережі. Проведено аналіз впливу вузькосмугових перешкод та імпульсних перешкод. Для цього було побудовано та проведено аналіз шумових процесів та визначення їх характеристик.

РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ PLC СИСТЕМ

4.1 Дослідження режиму роботи PLC-системи та їх безпеки

Існують різні сфери застосування систем передачі інформації по мережі 220 В і безліч технічних рішень на їх основі. Прикладами можуть бути розподілені системи управління і обліку в цехах, системах життєзабезпечення будівель, системах складського зберігання, засобах обліку споживання електроенергії, системах охоронної і пожежної сигналізації.

Існують можливості реалізації концепції «розумного будинку», в якому уся побутова електроніка об'єднана в єдину інформаційну мережу з можливістю централізованого керування [18]. Проте структура інформаційних пакетів, переданих такими пристроями по мережі, слабо вивчена і різна в конкретних випадках у різних виробників таких пристроїв. Усе це потенційно може бути використано для несанкціонованого доступу до інформації [19].

У облаштуваннях PLC (Power Line Communication) технологія OFDM з використанням безлічі ортогональних піднесучих. Високошвидкісний потік даних розбирається на декілька відносно низькошвидкісних потоків, кожен з яких передається на окремій частоті, з подальшим їх об'єднанням в один сигнал [20].

Адаптери PLC працюють на фізичному рівні мережевої моделі OSI. На фізичному рівні використовуються OFDM з інтервалом 24,414 кГц, з частотами від 2 до 30 МГц.

Для експериментальних досліджень були використані одні з найбільш дешевих та доступних адаптерів фірми TrLink. Для проведення експериментів використовувалися адаптери TL-PA2010KIT стандарта AV200 Nano, що були отримані від одної з комп'ютерних фірм м. Хмельницького.



Рисунок 4.1 – Адаптери серії TL-PA2010KIT стандарту AV200

Виробником TrLink мережевих адаптерів PLC серії AV (реалізована можливість підключення нових мережевих адаптерів до існуючого комплекту для розширення мережі. Кожен наступний адаптер підключається до одного з попередніх. Це потенційно створює можливість підключення, в тому числі і несанкціоновану доступу до такої PLC мережі для власника такого ж комплекту мережевих адаптерів або хоча одного такого пристрою [22].

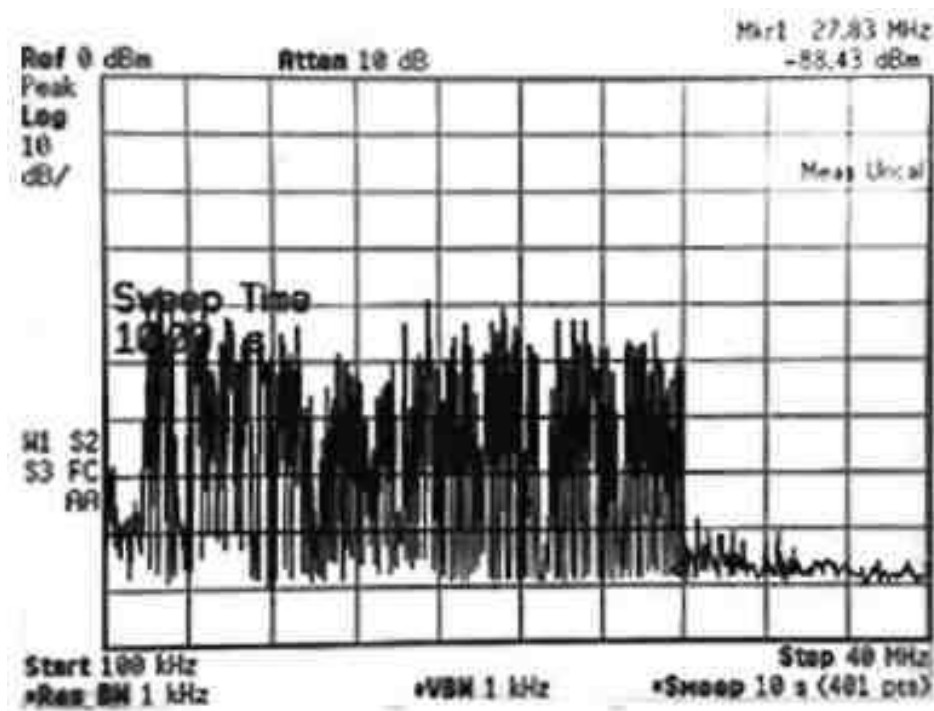


Рисунок 4.2 – Спектр сигналу, що передається через лінію

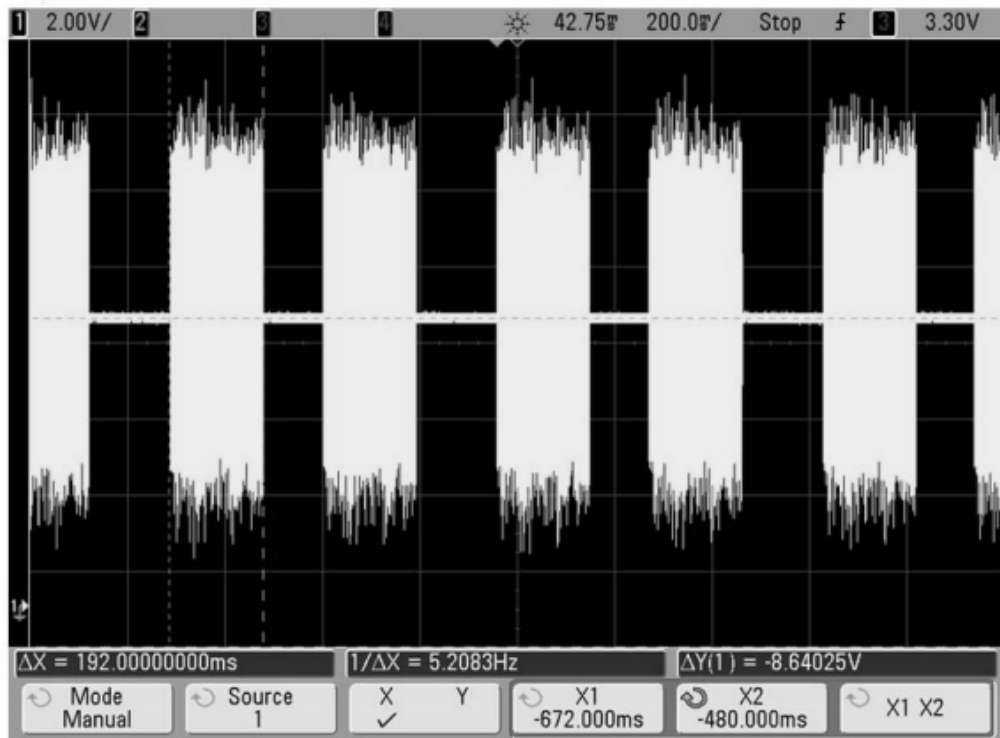


Рисунок 4.3 – Тривалість інформаційних пакетів

В ході експериментальних досліджень було встановлено, що інформаційні відправлення даних йдуть з частотою 25 Гц (період 40 мс). Тривалість інформаційного пакету складає близько 400 мкс (рис. 4.3).

4.2 Дослідження можливості несанкціонованого зняття даних в мережі PLC

Встановлено, що для здійснення потайного підключення до мережі необхідно декілька адаптерів, в залежності від стратегії підключення. Наприклад, в якійсь організації відсутнє підключення до мережі Інтернет, але реалізована внутрішня локальна мережа для обміну даними між співробітниками.

Ця мережа реалізована стандартними методами (наприклад, за допомогою витії пари або оптоволоконної лінії). Зловмисник може тайно підключити перший комплект адаптерів до ділянки цієї мережі. Поняття "тайно підключити" є відносним. Фактично він має підключитись в мережу,

яка є на підприємстві до точки введення електричної енергії – трансформатора з силової станції [23]. Побічно це може бути помітно за зміною швидкості передачі даних, якщо швидкість передачі в мережі організації вища, ніж дозволяють реалізувати в мережі 220 В мережеві адаптери зловмисника.

У мережі 220 В створюється тіньова мережа, що поширюється приблизно на 300 м від існуючих вузлів, як заявлено виробником. Після цього зловмисник може підключитися до цієї мережі третім мережевим адаптером із зручного йому місця в межах допустимої дальності.

Це підключення встановлюється автоматично впродовж 60 с і не відображається в мережі, але при цьому атакуюча сторона, по суті, є рівноправним учасником мережі і може спостерігати увесь трафік за допомогою мережевого перехоплювача Wireshark.

У перехоплюваному трафіку порушник може побачити, зокрема, IP-адреси як передавача так і приймача, що в подальшому може бути використано для організації атаки на один з вузлів, або простому пасивному перехопленні даних. При подальшому рівні атаки, атакуюча сторона може спробувати видавати себе за певного користувача і стати легальним учасником мережі.

Виробником мережевого устаткування реалізована можливість шифрування даних. Зазвичай запропоновано використання протоколу AES для потоку даних, що передається через мережеві адаптери PLC. Це зроблено з метою не допустити можливість несанкціонованого підключення до іншої PLC-мережі, якщо використовується однакове за стандартом обладнання, з іншої такої мережі через єдину електромережу 220 В.

Головною мірою захисту від подібної атаки є перевірка стану комунікацій, особливо на робочих місцях операторів ЕОМ і в суміжних приміщеннях, у тому числі у разі, якщо не встановлені мережеві фільтри, або зловмисник обходить їх, оперуючи в межах контрольованої зони. Важливо

звертати увагу, які пристрої включені в мережу на конкретних робітниках місцях.

У роботі експериментально встановлено, що описаний канал передачі можна закрити за допомогою подання в мережу шумоподобного сигналу амплітудою більше 8 В, але це працює тільки при попаданні сигналу перешкоди на OFDM, що піднесуть, в сигналі PLC. Важливу роль грає рівномірний розподіл сигналу перешкоди по широкій ділянці частотного діапазону [24].

4.3 Моделювання процесу виявлення сигналів з багатьма піднесучими, що передаються по електромережах

У системах зв'язку завжди виникає ситуація невизначеності при спостереженні на вході приймача випадкового сигналу $x(n)$, який може бути або шуми каналу зв'язку $\xi(n)$ або суміш інформаційної послідовності $S(n)$ і шумів $\xi(n)$. Завдання PLC приймача на цьому етапі полягає в тому, щоб прийняти рішення про наявність або відсутність інформаційної послідовності в спостережуваному випадковому сигналі.

У багатьох джерелах [33, 34, 35, 41] показано, що оптимальний алгоритм виявлення дискретного сигналу на тлі адитивного незалежного шуму гауса реалізується за допомогою погодженого цифрового фільтру.

Для використання алгоритму погодженої фільтрації потрібно апріорні відомості про форму шуканого інформаційного повідомлення $s(n)$. На практиці цю проблему часто вирішують шляхом передачі еталонних сигналів, по яких на стороні приймача відбувається виявлення і синхронізація інформаційних кадрів [33, 34, 35, 41].

Недоліком цього методу є те, що окрім початкового інформаційного повідомлення $s(n)$ потрібно передачу і еталонного синхросигналу. Це

призводить до зниження пропускної спроможності каналу зв'язку, в деяких випадках дуже значному, і додатковим витратам енергії передавача.

Проте, замість еталонного синхросигналу, який використовується кореляційним приймачем для виявлення, можна передавати імпульсну характеристику фільтру, погодженого з початковим інформаційним повідомленням $s(n)$. Тоді інформаційний кадр повинен складатися з двох симетричних в часі половин - початкового інформаційного сигналу $s(n)$ і його інверсної (дзеркальної) копії $s^*(n)$ (рис. 4.4).

Виявлення такого інформаційного кадру може бути виконане безпосередньо за результатами розрахунку кореляції між двома половинами $x_1(n)$ і $x_2(n)$ випадкової послідовності $x(n)$, що приймається.

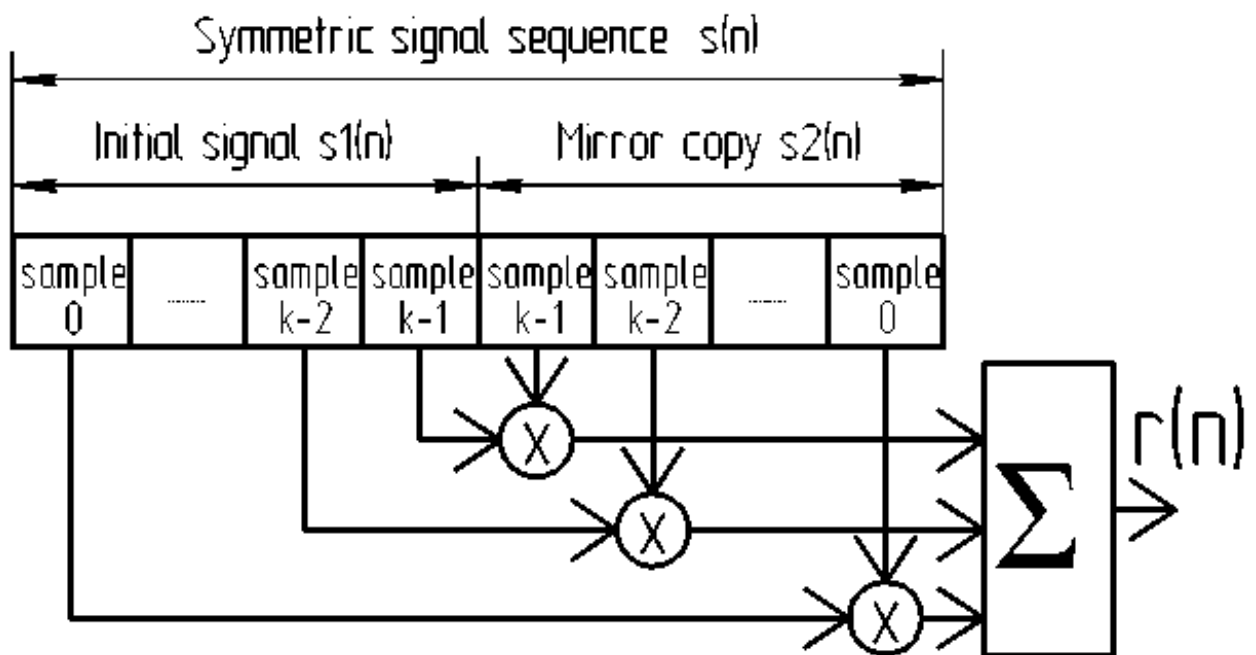


Рисунок 4.4 – Структура передаваного симетричного інформаційного кадру і схема розрахунку кореляції між двома його половинами

4.3.1 Алгоритм виявлення та синхронізації

Пропонований алгоритм виявлення має декілька важливих відмітних особливостей, на які слід звернути особливу увагу :

1. Виходячи з того, що у приймачі розраховується кореляція між початковим сигналом і його інверсною копією, які спотворені каналом зв'язку і шумами, то цей спосіб виявлення можна розглядати в якості псевдопогодженого фільтру. Тому можна припустити, що для даного псевдопогодженого фільтру будуть характерні багато властивостей класичного погодженого фільтру.

2. Оскільки інформаційний кадр спочатку симетричний в часі і складається з початкового сигналу і його інверсної копії, то це дає можливість на приймальній стороні складати між собою його половини. Таке складання буде рівносильне складанню двох реалізацій корисного сигналу і приведе до підвищення відношення сигнал-шум (у разі дії на сигнал аддитивного білого шуму (АБГШ) гауса виграш складе 3 дБ). У свою чергу, підвищення відношення сигнал-шум дає можливість збільшити кратність модуляції. Тому збільшення тривалості передаваного інформаційного кадру спричиняє за собою також і підвищення швидкості передачі і за рахунок цього не призводить до енергетичних втрат.

3. Оскільки переданий інформаційний кадр повністю симетричний в часі, то спектри складових його половин є комплексно зв'язаними. Передатна характеристика каналу зв'язку однаково впливатиме на окремі частотні складові обох половин переданого симетричного кадру і тому не порушить первинну різницю фаз (180°) між ними. Іншими словами розузгодження між двома половинами переданого інформаційного кадру вносять тільки діючі в каналі зв'язку шуми. Ця властивість дозволяє здійснювати виявлення переданого симетричного сигналу без використання квадратурного корелятора.

4. Пропонований метод формування і виявлення інформаційних кадрів

переважно використати для систем шумоподібних [34, 35, 41] сигналів. В цьому випадку на виході кореляційного приймача (мал. 1), можливо отримати відгук (взаємно-кореляційну функцію (ВКФ) між двома половинами передаваного симетричного кадру) з дуже малою тривалістю основного піку і низьким рівнем бічних пелюсток (див. мал. 6, 9а, 9б). Необхідно відмітити, що при формуванні інформаційного кадру з початкового сигналу і його затриманої в часі копії (без інверсії) відгук кореляційного приймача матиме трикутну, а не пікоподібну, форму і буде протяжнішим в часі.

Метод виявлення симетричних в часі шумоподібних сигналів довгий час залишався без належної уваги з боку вітчизняних фахівців в області зв'язку. Найцікавіше і дивовижніше при цьому залишається те, що методи виявлення періодичних в часі, але не симетричних, сигналів і послідовностей вже давно відомі і досліджені. На сьогодні це припущення використовується, а саме припущення активно використовується в патенту на винахід «Спосіб і пристрій для виявлення сигналу і синхронізації в системах безпроводного зв'язку» [40].

Винахід [40] у тому числі включає і спосіб виявлення сигналів що мають властивість тимчасової симетрії шляхом розрахунку кореляції між їх симетричними частинами (п. 9 формул винаходу [40]). Пропонований в статті метод виявлення відрізняється від методу, описаного в [40], способом формування передаваного інформаційного повідомлення, при якому з'являється можливість уникнути додаткових енергетичних втрат (див. п. 2 приведених на сторінці 3 особливостей методу) і зниження пропускнуої спроможності каналу зв'язку.

4.3.2 Вибір сигнальної конструкції

У ряді робіт, наприклад [33, 34, 35, 36, 41] показано, що відгук погодженого фільтру при зменшенні рівня шумів і спотворень каналу зв'язку прагне до автокореляційної функції шуканого сигналу (АКФ). Тому

максимальне стискування (відношення тривалості T_{sig} вхідного сигналу до тривалості τ реакції погодженого фільтру) і максимальне збільшення відношення сигнал-шум на виході погодженого фільтру забезпечуватиметься для сигнальних конструкцій з найбільшою базою B [34, 35, 41]:

$$B = T_{sig} \cdot \Delta f = \frac{P_0}{P_1} = \frac{T_{sig}}{\tau},$$

де P_1 – пікова потужність вхідного корисного сигналу;

P_0 - пікова потужність вихідного корисного сигналу погодженого фільтру;

Δf - ширина вхідного спектру сигналу;

T_{sig} - тривалість вхідного сигналу

τ – тривалість реакції погодженого фільтру на вхідний сигнал тривалістю T_{sig} .

В роботах [34, 35, 41] τ визначена як час між двома першими нульовими значеннями основної пелюстки реакції погодженого фільтру. Також в цих роботах показано, що тривалість реакції залежить тільки від ширини спектру шуканого сигналу $s(n)$ і дорівнює $2/\Delta f$.

Одним з типів сигналів, що мають велику базу являються сигнали з багатьма несучими, що є взаємно ортогональними, [34, 35]. Тобто сигнали, що сформовані за принципом OFDM. База такого сигналу співпадає з числом ортогональних частот, що несуть :

$$B = T_{sig} \cdot \Delta f = \frac{\Delta f}{\Delta f_0} = \frac{N \cdot \Delta f_0}{\Delta f_0} = N,$$

де T_{sig} – тривалість багаточастотного сигналу;

Δf_0 – ширина спектру окремої ортогональної частоти сигналу, що несе;
 Δf – сумарна ширина спектру, займаючи усіма ортогональними частотами, що несуть;

N – число ортогональних частот, що несуть, в сигналі.

Сигнал з багатьма частотами на інтервалі посилки є сумою N ортогональних гармонійних коливань з частотами f_k і в дискретному часі може бути записаний як:

$$s(n) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k \cos(2\pi f_k nT) + b_k \sin(2\pi f_k nT), \quad n = 0..(2N-1)$$

де f_k - частота k -ї ортогональної гармоніки;

N - число гармонік в сигналі;

a_k, b_k – амплітуди синфазної і квадратурної складових на k -ой частоті;

T - інтервал дискретизації;

n - номер дискретного відліку.

Дискретний енергетичний спектр такого сигналу $s(n)$ (у області як негативних, так і позитивних частот) на k -ій частоті, що несе, дорівнює:

$$|s_k|^2 = s_k \cdot s_{-k} = \frac{a_k^2 + b_k^2}{4} = \frac{A_k^2}{4},$$

де s_k – амплітудний спектр сигналу на k -ой частоті, вчислений за допомогою дискретного перетворення Фур'є.

Згідно з теоремою Винера-Хинчина автокореляційна функція (АКФ) сигналу знаходиться як зворотне перетворення Фур'є від його енергетичного спектру. Вираження для обчислення дискретної кореляційної функції $R(n)$ може бути записане у виді [42]:

$$R(n) = \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} |s_k|^2 e^{i2\pi f_k n T} = \frac{1}{4} \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} (a_k^2 + b_k^2)^2 e^{i2\pi f_k n T} .$$

У разі, якщо в сигналі енергії на усіх частотах, що несуть, рівні і відсутня постійна складова, то:

$$R(n) = \frac{a_k^2 + b_k^2}{4} \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} H_k^2 e^{i2\pi f_k n T} = \frac{A^2}{4} \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} \cos(2\pi f_k n T)$$

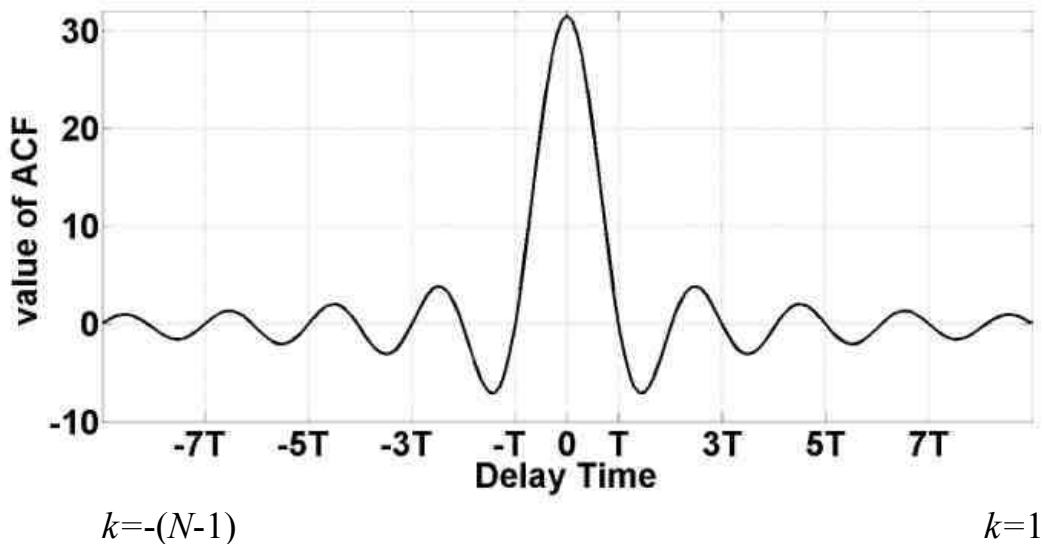


Рисунок 4.5 – Автокореляційна функція OFDM сигналу, що складається з 63 частот, що несуть, з амплітудами $(a_k + b_k)$ рівними одиниці і що не має постійної складової. Значення часу T відповідає періоду дискретизації

Як видно по рис.4.5, АКФ OFDM сигналу, чії частоти f_k , що несуть, рівномірно розташовані по усьому наявному діапазону частот шириною $2/T$, має центральний пік тривалістю в два періоди дискретизації T і різко затухаючі бічні пелюстки (рівень бічних пелюсток необхідно оцінювати в моменти часу кратні періоду дискретизації T). Тому можна зробити припущення, що симетричний OFDM сигнал може бути використаний не

лише для виявлення інформаційного кадру, але і для точної тактової синхронізації приймача і передавача.

4.3.3 Виявлення сигналів з багатьма що несуть в каналі

Припустимо, що для пропонованого методу виявлення, також як і для погодженого фільтру, оптимальними є сигнали з великою базою. Тому в якості використовуваної сигнальної конструкції виберемо OFDM сигнал, що має базу значно більше одиниці, і перевіримо можливість його виявлення пропонованим методом в каналі з АБГШ. При моделюванні вважатимемо, що частоти OFDM сигналу, що несуть, рівномірно розподілені по усьому наявному діапазону частот.

Оскільки при виявленні важливо знайти значення кореляції для форми сигналу, то необхідно виключити вплив амплітуди сигналів і наявність постійної складової. Тоді для ухвалення рішення про наявність інформаційної послідовності в прийнятому випадковому сигналі використовуватимемо нормований коефіцієнт кореляції Пірсона, який не залежить від потужності аналізованих сигналів :

$$r(n) = \frac{\text{cov}(x_1(n), x_2^*(n))}{\sigma_{x_1} \cdot \sigma_{x_2}}$$

где $x_1(n) = s_1(n) + \xi_1(n)$ – перша половина прийнятого випадкового сигналу;

$x_2(n) = s_2(n) + \xi_2(n)$ – друга половина прийнятого випадкового сигналу;

$\xi_1(n) = \{\xi_1(nT), \xi_1((n+1)T), \dots, \xi_1((n+k-1)T)\}$ – реалізація АБГШ у момент часу nT ;

$\text{cov}(x_1(n), x_2^*(n))$ – коваріація між дискретними послідовностями $x_1(n)$ та $x_2^*(n)$;

$\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}$ – середньоквадратичні відхилення першої і другої половини інформаційного кадру відповідно.

Компоненти s_1, s_2 є послідовності відліків першої і другої половин інформаційного повідомлення $s(n)$.

В мить, коли по каналу зв'язку не здійснюється передача інформації, відліки послідовностей $s_1(n)$ дорівнюють нулю. Якщо передаване інформаційне повідомлення повністю знаходиться у буфері приймача, то:

$s_1(n) = \{s(0), s(T), \dots, s((k-1)T)\}$ – дискретна послідовність відліків першої половини інформаційного повідомлення.

$s_2(n) = \{s(kT), s((k+1)T), \dots, s((2k-1)T)\}$ – дискретна послідовність відліків другої половини інформаційного повідомлення.

Так як шум $\xi(n)$ є широкосмуговим, а інформаційна послідовність $s(n)$ має досить велику тривалість і не містить постійної складової, те вираз може бути записане у виді [36]:

$$r(n) = \frac{\sigma_{s_1}^2}{\sigma_{s_1}^2 + \sigma_{\xi}^2}$$

Вираз був отриманий в роботі [36] при виведенні нормованого коефіцієнта автокореляції для зашумлених періодичних послідовностей. Граничний перехід у вираженні (2) справедливий тільки у тому випадку, коли шум $\xi(n)$ і інформаційна послідовність $s(n)$ є незалежними випадковими процесами, а тривалість кореляційної функції шуму $\xi(n)$ набагато менше тривалості інформаційної послідовності $s(n)$. Тому чим довше інформаційна послідовність $s(n)$ і чим більше широкосмуговий шум

$\xi(n)$ є присутнім в каналі зв'язку, тим більше точним є перехід у вираженні (2).

Для встановлення імовірнісних характеристик коефіцієнта кореляції був проведений експеримент. Мета експерименту полягала в тому, щоб зрозуміти характер зміни імовірнісних характеристик коефіцієнта кореляції (1) залежно від довжини передаваного симетричного OFDM кадру і рівня шумів в каналі зв'язку.

При моделюванні передбачалося, що усі частоти OFDM сигналу, що несуть, мають випадкову початкову фазу, одиничну амплітуда і займають усю наявну смугу частот. Також передбачалося, що спотворення передаваного симетричного OFDM сигналу викликані тільки дією АБГШ.

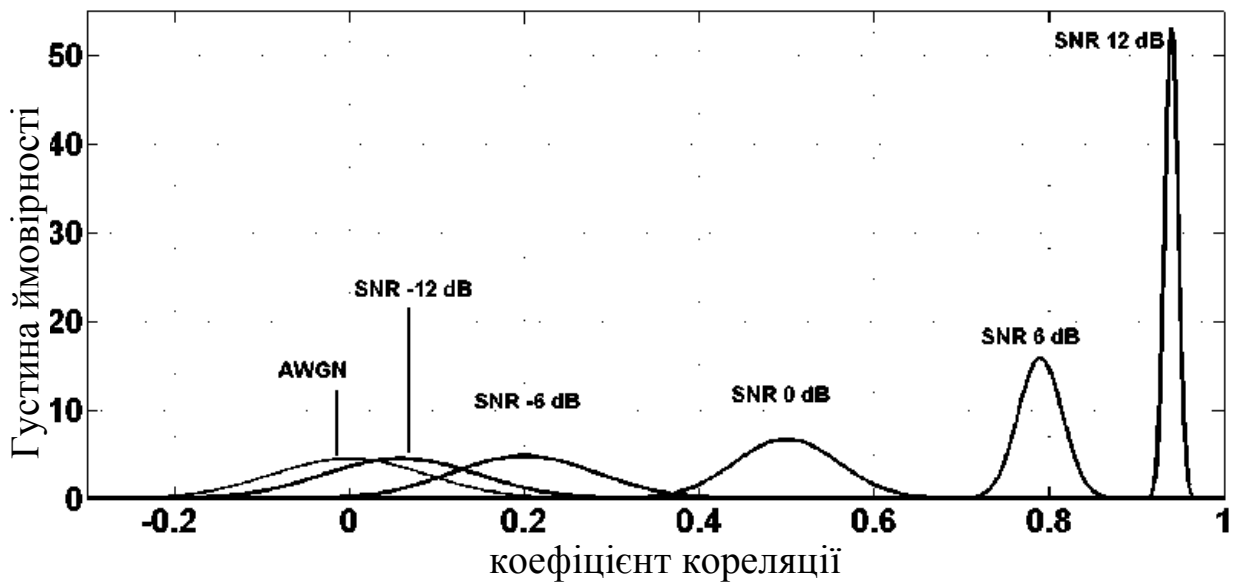


Рисунок 4.6 – Щільність вірогідності коефіцієнта кореляції залежно від ВСП (SNR - signal to noise ratio) на вході приймача. Загальна довжина інформаційного кадру, що приймається, 256 відліків (довжина однієї половини кадру 128 відліків, а число частот кожної половини, що несуть, дорівнює 127).

Розрахунки були виконані для OFDM кадрів завдовжки 256 (рис. 4.6) і 8192 (рис.4.7) відліків. При розрахунках передбачалося, що увесь передаваний інформаційний кадр $x(n)$, спотворений АБГШ $\xi(n)$, повністю знаходиться в приймальному буфері тієї ж довжини. Цей випадок відповідає піку коефіцієнта кореляції (див. рис. 4.6, 4.5). Тому, приведені закони розподілу, не відображають характеру зміни в часі коефіцієнта кореляції.

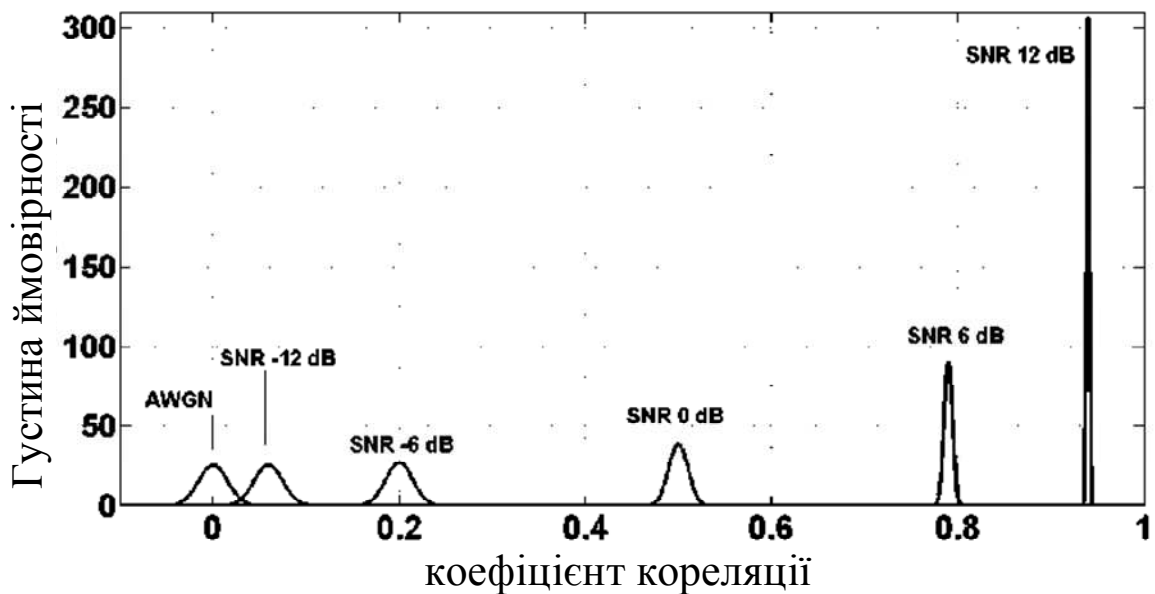


Рисунок 4.7 – Щільність вірогідності коефіцієнта кореляції залежно від ВСШ (SNR - signal to noise ratio) на вході приймача. Загальна довжина інформаційного кадру 8192 відліків (довжина однієї половини кадру 4096 відліків, а число частот кожної половини, що несуть, дорівнює 2047), що приймається.

Для кожного рівня відношення сигнал-шум (ВСШ) була розрахована окрема крива розподілу коефіцієнта кореляції. На рис. 4.6 та рис. 4.7 кожна крива має ім'я, що відповідає даному ВСШ. Криві з ім'ям AWGN (англ. Additive white Gaussian noise - аддитивний білий шум гауса) відповідають випадку, коли в приймальному буфері знаходиться тільки АБГШ.

Процес зміни рівня коефіцієнта кореляції при послідовному заповненні приймального буфера зашумленим інформаційним кадром представлений на рис. 4.8, 4.9 відповідає роботі алгоритму при відносно короткому інформаційному кадрі і високому відношенні сигнал-шум на вході приймача (6 дБ). Рис. 4.9 показує роботу алгоритму при довгому інформаційному кадрі і низькому відношенні сигнал-шум (- 6 дБ). Також по цих малюнках видно, що чим більше довжина передаваного інформаційного кадру, тобто чим більше відліків береться для розрахунку коефіцієнта згідно з вираженням (1), тим менше рівень кореляції між двома реалізаціями АБГШ, що знаходяться в приймальному буфері.

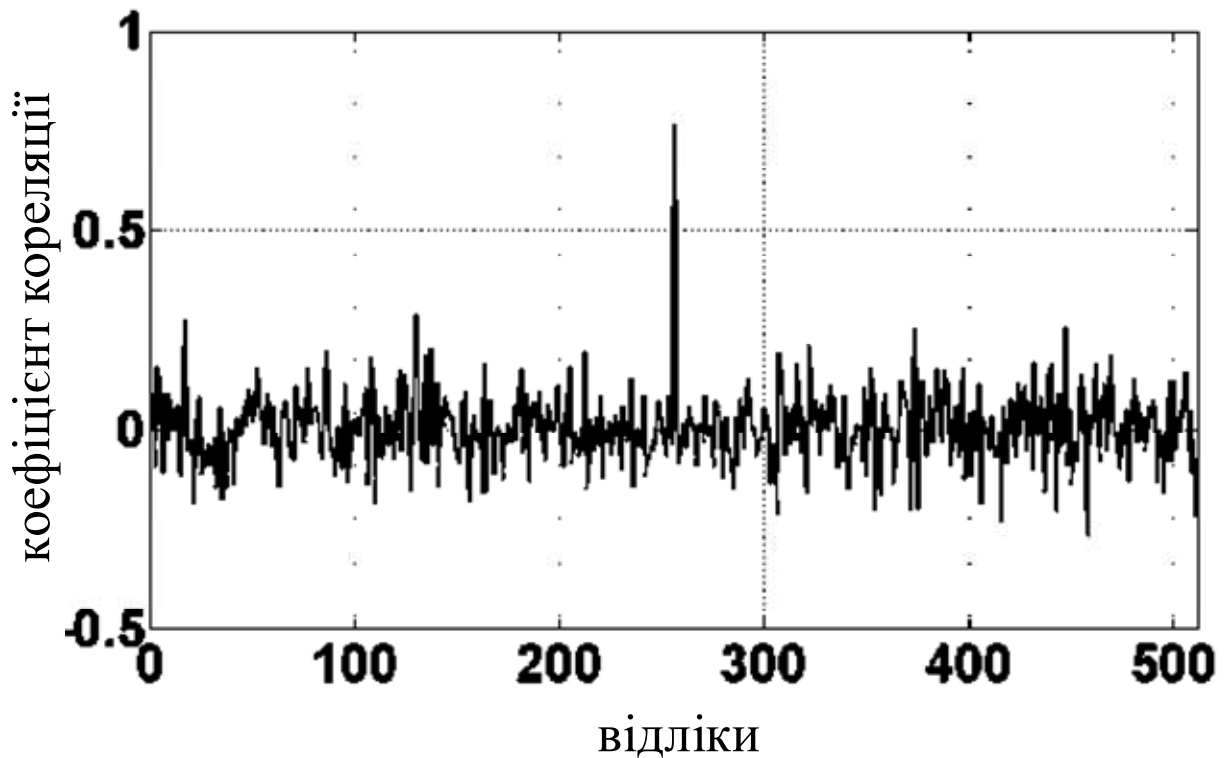


Рисунок 4.8 – Приклад розрахунку коефіцієнта кореляції для інформаційного кадру завдовжки 256 відліків. Пік відповідає моменту, коли передаваний інформаційний кадр повністю поступив в приймальний буфер тієї ж довжини. Відношення сигнал-шум на вході приймача дорівнює 6 дБ.

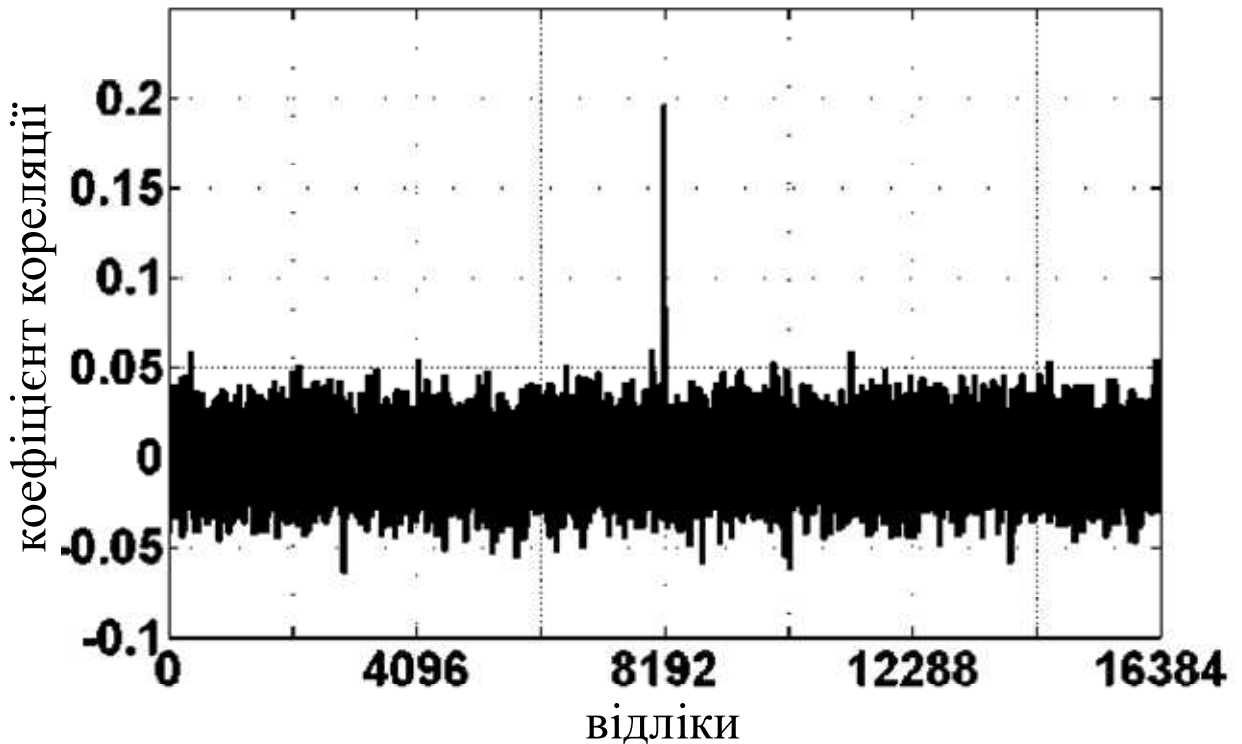


Рисунок 4.9 – Приклад розрахунку коефіцієнта кореляції для інформаційного кадру завдовжки 8192 відліки. Пік відповідає моменту, коли передаваний інформаційний кадр повністю поступив в приймальний буфер тієї ж довжини. Відношення сигнал-шум на вході приймача рівно мінус 6 дБ.

Результати моделювання, приведені на малюнках, доводять достовірність висуненої гіпотези про можливість виявлення симетричних шумоподібних сигналів тільки за результатами їх обробки і без використання додаткових ресурсів каналу зв'язку. В ході моделювання було підтверджено, що чим більше база передаваної сигнальної послідовності, тим вище відношення сигнал-шум на виході пропонованого квазіпогодженого фільтру.

4.3.4 Експериментальне виявлення сигналів OFDM по електромережах

Результати роботи пропонованого алгоритму виявлення для систем передачі даних по електромережах представлені на рис. 4.10. Моделювання проведене для випадку передачі даних по електромережах під'їздів житлових

будинків з першого на дев'ятий поверх. При передачі використовувалися смуги частот 40-90 кГц і 95-145 кГц [37, 38]. Передавані OFDM сигнали мали ширину спектру 40 кГц (з наявних 50 кГц було залишено в якості захисних інтервалів по 5 кГц згори і знизу діапазону).

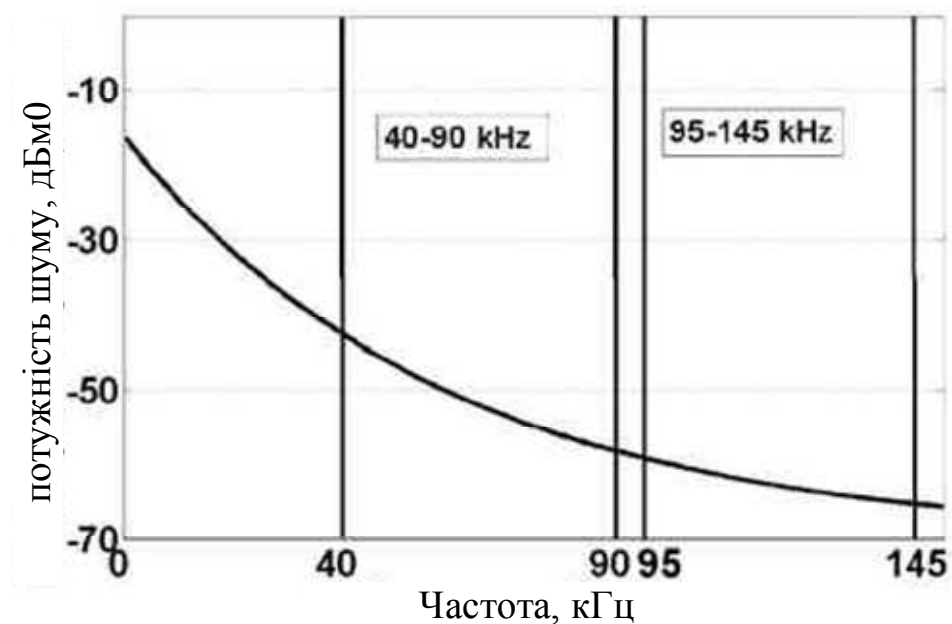
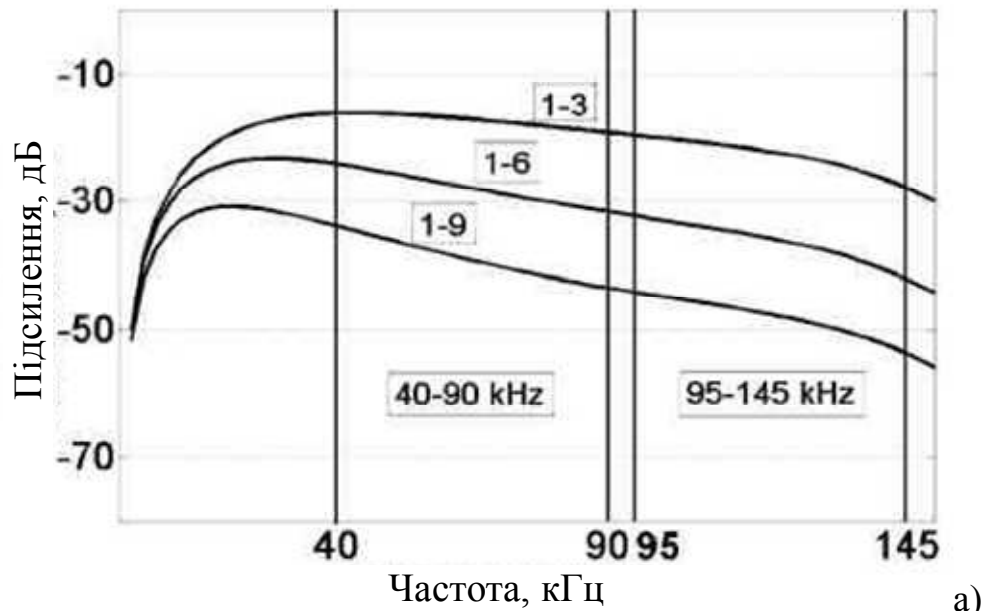


Рисунок 4.10 – виміряні характеристики розгалужених електромереж : а) усереднені амплітудно-частотні характеристики між першим і іншими (3-им, 6-им, 9-им) поверхами під'їздів житлових будинків; б) типова спектральна щільність потужності шуму в електромережах

Характеристики електромереж і шумів були отримані за результатами вимірів [38, 39] і представлені на рис.4.10. Спектральні співвідношення на виході передавача (1-й поверх) [5] і на вході приймача (9-й поверх) для інформаційного повідомлення і шуму показані на рис.4.11.

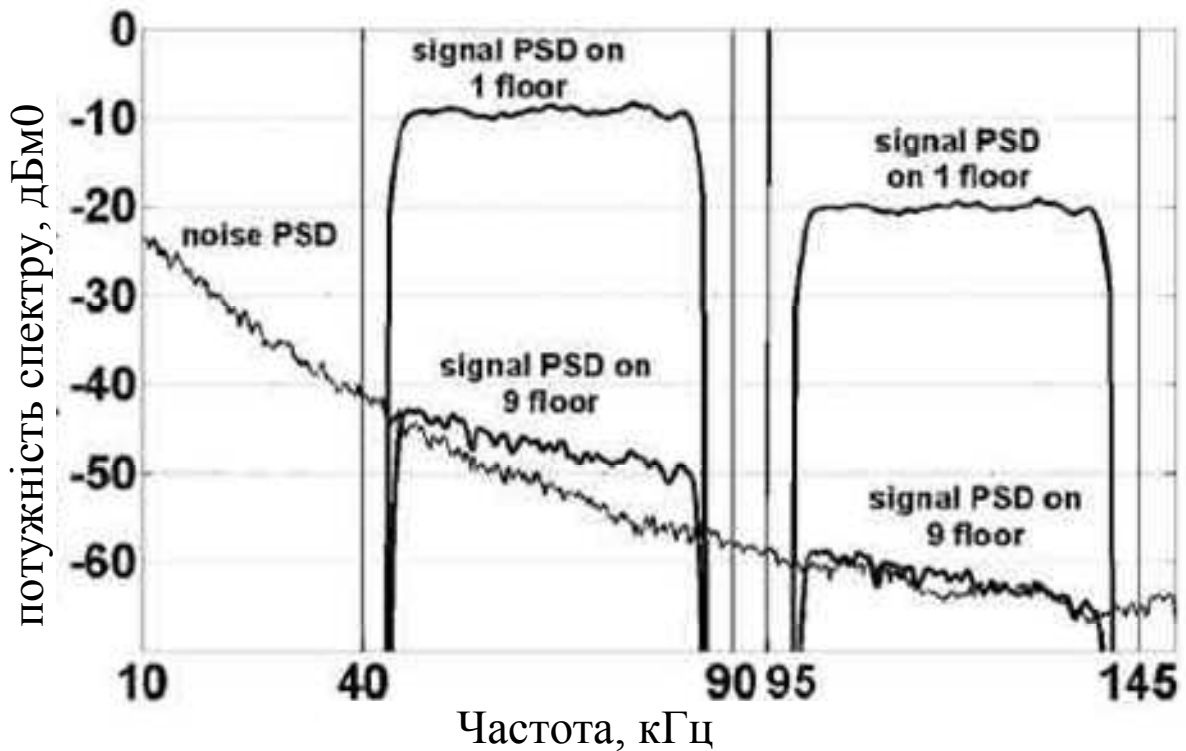


Рисунок 4.11 – Спектральна щільність потужності сигналів, що передаються по електромережах під'їздів житлових будинків та фонового шуму для діапазонів частот 40-90 кГц і 95-145 кГц.

При моделюванні розрахунок коефіцієнта кореляції (рис.4.12), згідно з виразами, проводився після перенесення спектру сигналу з робочого діапазону частот в смугу 0-50 кГц на кожному такті дискретизації. Пік коефіцієнта кореляції відповідає моменту, коли увесь симетричний кадр знаходиться у буфері приймача.

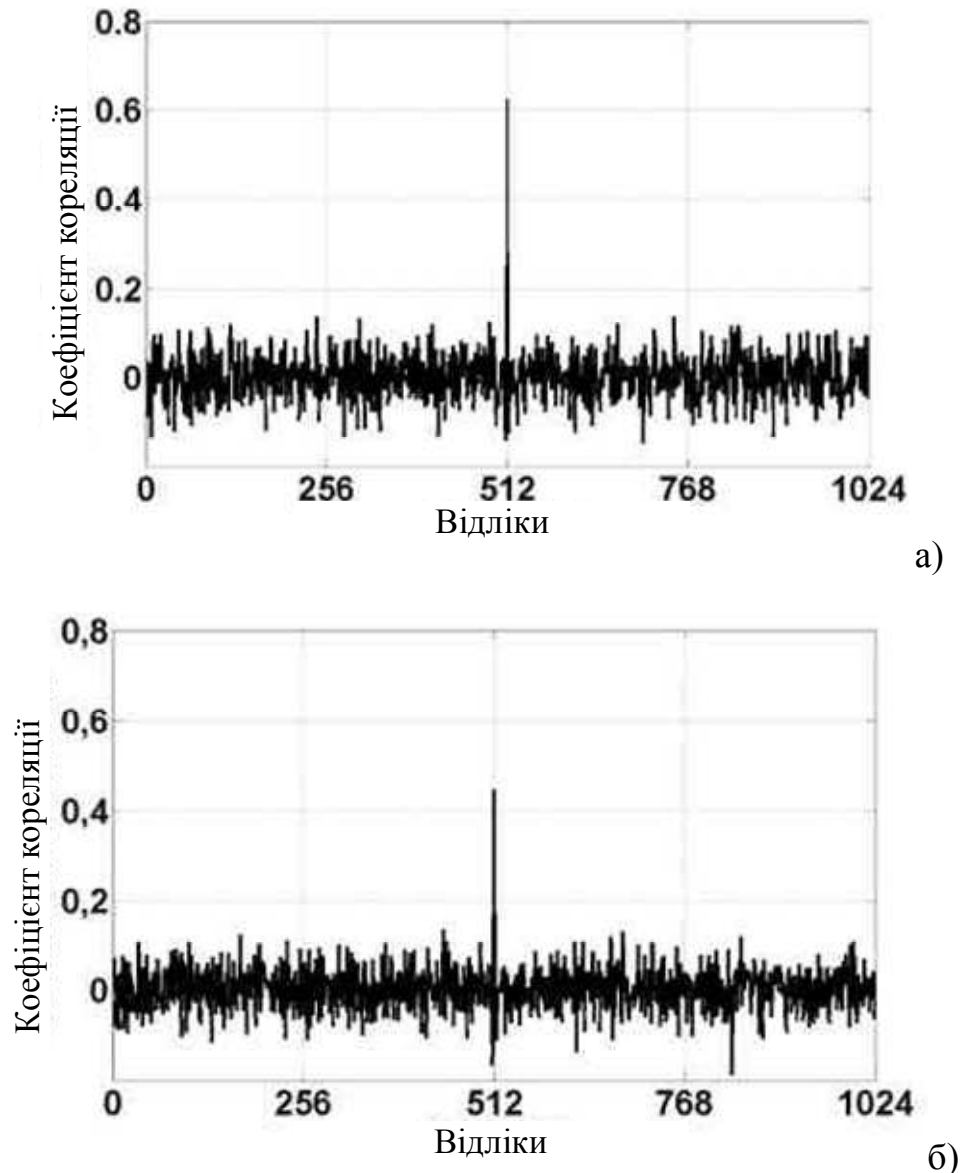


Рисунок 4.12 – Розрахований коефіцієнт кореляції в різні моменти часу для симетричних сигналів з багатьма що несуть при моделюванні передачі даних з 1-го на 9-й поверхи: а) передача по електромережі в діапазоні 40-90 кГц (ВСШ згідно (4) дорівнює 2.4 дБ); б) передача по електромережі в діапазоні 95-145 кГц (ВСШ згідно (4) рівно - 0.7 дБ).

Умови граничного переходу у вираженні (3) були описані в роботі [36] (глава 5.2) і коротко викладені при описі вираження (2).

Після перетворень вираження (3) для наближеного розрахунку коефіцієнта кореляції $r(n)$ набере вигляду [36]:

$$r(n) \approx \frac{\sigma_{y_1}^2}{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{\xi_1}^2} \approx \frac{1}{1 + \left(\frac{\sigma_{\xi_1}}{\sigma_{y_1}}\right)^2}.$$

Тоді для шумоподібних сигналів, що передаються по каналах зв'язку з АЧХ, близькою до рівномірної, і з широкосмуговими перешкодами, ВСШ на вході приймача може бути оцінено за допомогою вираження [36]:

$$\frac{S}{N} (dB) \approx 10 \log \left(\frac{r(0)}{1 - r(0)} \right)$$

ВСШ на вході приймача при моделюванні передачі даних по електромережах, згідно з вище наведеним виразом, дорівнює:

1. 2.4 дБ при передачі даних з 1-го на 9-й поверхи в смузі частот 40-90 кГц;
2. -0.7 дБ при передачі даних з 1-го на 9-й поверхи в смузі частот 90-145 кГц.

Висновки з розділу

1. Проведено аналіз роботи експериментальних зразків адаптерів серії TL-PA2010KIT стандарта AV200 щодо вимірювання характеристик формування вихідного сигналу, оцінювання інформаційних пакетів та спектру сигналу. Встановлено, що сигнал подається окремими послідовностями. Тривалість інформаційного пакету складає близько 400 мкс, частота повторення – 25 Гц.

2. Виконано моделювання виявлення симетричних в часі шумоподібних сигналів для задачі не тільки виявлення інформаційного кадру, але і для точної тактової синхронізації приймача і передавача.

3. В ході моделювання було підтверджено, що чим більше база передаваної сигнальної послідовності, тим вище відношення сигнал-шум на виході пропонованого квазіпогодженого фільтру. А також перевірено теоретично достовірність гіпотези про можливість виявлення симетричних шумоподібних сигналів тільки за результатами їх обробки і без використання додаткових ресурсів каналу зв'язку.

4. Виконано оцінку передачі інформації для умов житлового будинку при моделюванні передачі даних по електромережах. Встановлено, що відношення сигнал-шум, згідно з виразами, дорівнюють: 2.4 дБ при передачі даних з 1-го на 9-й поверхи в смузі частот 40-90 кГц; та –0.7 дБ при передачі даних з 1-го на 9-й поверхи в смузі частот 90-145 кГц.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених досліджень, були виконані аналіз існуючих тенденцій та апаратних рішень щодо впровадження технології PLC, що мають місце на сучасному ринку телекомунікаційних послуг. Існує широкий набір стандартів передачі інформації, що є наступниками один одного та розширеннями, це HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C, а також 1.4.5 HomePlug GP. Основними організаціями і співтовариствами, що регламентують вимоги до PLC пристроями є IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA і HomePlug Powerline Alliance

2. Застосування технології ортогонального частотно-розділеного мультиплексування OFDM дозволяє підвищити завадостійкість системи передачі. У свою чергу це дозволяє підвищити надійність передачі інформації по незалежних каналах. Використання пристроїв PLC стандарту може бути обмежено в наслідок існування зовнішніх завад, що впливають на канал передачі даних та створюють завади при роботі.

3. В ході моделювання було підтверджено, що чим більше база передаваної сигнальної послідовності, тим вище відношення сигнал-шум на виході пропонованого квазіпогодженого фільтру. Також встановлено теоретично достовірність гіпотези про можливість виявлення симетричних шумоподібних сигналів тільки за результатами їх обробки і без використання додаткових ресурсів каналу зв'язку. Автокореляційна функція забезпечує ідентифікацію початку сигналу з одночасною умовою знаходження повного інформаційного блоку у вхідному буфері.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Охрименко В. PLC-технологии // Электронные компоненты. 2009. № 10.
2. Официальный сайт компании Semtech. www.semtech.com
3. Product brochure. EV8000: Single-chip multimode PLC modem. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8000_Brochure.pdf
4. Product brochure. EV8010: Single-chip standardsbased PLC modem. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8010_Brochure.pdf
5. Product brochure. EV8020: Single-chip standardsbased PLC modem. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8020_Brochure.pdf
6. Product brochure. EV8100: Split-meter display SoC with integrated PLC. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8100_Brochure.pdf
7. Product brief. Power line communication products. www.semtech.com/images/datasheet/EnvervEcoSystem_pb.pdf
8. White Paper: Comparison Of Access Technologies. - OPERA Consortium, 2009 www.ist-opera.org.
9. Gagliardo P. Take advantage of powerline communications in nextgen home networking & IPTV designs. CommsDesign, 2009.
10. HomePlug 1.0 Technology. White Paper. - HomePlug PowerLine Alliance, 2008 www.homeplug.org.
11. HomePlug AV. White Paper. - HomePlug PowerLine Alliance, 2008 www.homeplug.org.
12. HomePlug Command & Control (C&C). Overview. White Paper. - HomePlug PowerLine Alliance, 2008 www.homeplug.org.
13. First Draft of the OPERA Specification Version 2. - OPERA, June 2007 www.ist-opera.org.
14. www.upapl.org.
15. www.hd-plc.org.

16. Охрименко В. Р. Технологии передачи данных по электросетям, часть 2 // Электронные компоненты и системы. - 2009. - №9. - С.18 - 25.
17. REMPLI. Publishable Final Project Report. - REMPLI, 2006 (www.rempli.org).
18. Sharma K., Saini L. M. Power-line communications for smart grid: Progress, challenges, opportunities and status // Renewable and Sustainable Energy Reviews. September 2016. P. 705–751.
19. Kaczmarczyk V., Bradac Z., Arm J. An indoor positioning system based on NanoPAN modules // IFAC-PapersOnLine. 2015. P. 89–94.
20. Sung Y.-S., Lee J.-H., Kim Y.-H. Optimal subcarrier pairing scheme for maximal ratio combining in OFDM power line communications // International Journal of Electronics and Communications (AEÜ). April, 2014. P. 1–6.
21. Охрименко В. PLC-технологии // Электронные компоненты. 2009. № 10. С. 58–62.
22. Хорев А. А. Средства перехвата информации с проводных линий связи. М., 2008. 24 с.
23. Хорев А. А. Организация защиты информации от утечки по техническим каналам. Информационная система «Техника для спецслужб» // Бюро научно-технической информации, 2000. 13 с.
24. Götz M., Rapp M., Dostert K. Power Line Channel Characteristics and Their Effect on Communication System Design // IEEE Communications Magazine. April, 2004. P. 78–86.
25. Katayama M, Yamazato T., Okada H. A Mathematical Model of Noise in Narrowband Power Line Communication Systems // IEEE Journal on Selected Areas In Communications. – Jul. 2006. – Vol. 24. – No. 7. – P. 1267–1276.
26. Zimmermann M., Dostert K. An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks // Proceedings of ISPLC. – 2000. – P. 131–138.
27. Benyoucef D. A new statistical model of the noise power density spectrum for Powerline communication // Proceedings of ISPLC. – 2003. – P. 136–141.

28. ГОСТ Р 51317.3.8–99 (МЭК 61000-3-8-97).
29. Шишкина А. Л. Измерение параметров сетей общего назначения переменного тока напряжением до 0,4 кВ // 12-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение» : материалы докладов. Т. 2. – М. : Типография ООО «Инсвязьиздат», 2010. – С. 195–197.
30. Прохоров С. А. Математическое описание и моделирование случайных процессов / Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2001. – 209 с.
31. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.
32. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1989. – 656 с.
33. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.: ил.
34. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами.- М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
35. Вакман Д. Е. Сложные сигналы и принцип неопределенности в радиолокации. – М.: Советское радио, 1965. - 304 с.
36. Айфичер Эмануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. Пер. с англ. -М.:издательский дом «Вильямс», 2004.-992 с.
37. ГОСТ Р 51317.3.8-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Передача сигналов по электрическим сетям. Уровни сигналов, полосы частот и нормы электромагнитных помех. М.: Из-во стандартов. 2000.
38. Климов И.З., Шишкин А. Л. Оценка пропускной способности электросети в диапазоне частот 9..148,5 кГц // Интеллектуальные системы в производстве. - 2011. – №2.-с. 279-286.
39. Шишкина А.Л. Измерение параметров сетей общего назначения переменного тока напряжением до 0,4 кВ // Труды РНТОРЭС им. А. С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Выпуск: XII.

Том 2. Москва, 2010. С. 195-197.

40. Патент РФ на изобретение № RU 2433553 С2 от 05.11.2007. Парк Дзу Вон, Парк Дзонг Хиеон, Ким Дзе Воо. Способ и устройство для обнаружения сигнала и синхронизации в системах беспроводной связи. Опубликовано: 10.11.2011. Бюл. № 31.

41. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Пер. с англ. под ред. В. С. Кельзона.-М.: «Советское радио», 1971.- 568 с.

42. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. Пер. с англ. С. А. Кулева под ред. А. С. Ненашева. - М. : Техносфера, 2006. - 855 с.

43. Шкарин Ю. П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи - М.: НТО Энергопресс, Энергетик, 2001. - 70с. (Серия «Библиотечка электротехника»).

44. Охрименко В. PLC-технологии. Часть 1. Электронные компоненты. 2009, № 10, с. 58-62.

45. Дубровин В. С, Мариниченко А. А. Модернизация системы передачи данных по ЛЭП на участке «Рузаевка-Арзамас». Электроника и информационные технологии. 2009, №2 (7).

46. Официальный сайт HomePlugAlliance - [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.homeplug.org

47. Официальный сайт ZyXEL - [Электронный ресурс] -Режим доступа: www.zyxel.ru

48. Сайт «Время электроники» - [Электронный ресурс] -Режим доступа: www.russianelectronics.ru

49. www.ist-opera.org.

50. www.upaplс.org.

51. www.hd-plc.org.

52. www.сerса.org.

53. www.homegridforum.org/home.

54. <http://grouper.ieee.org/groups/1901>

55. M. S. Yousuf and M. El-Shafei. Power Line Communications: An Overview - Part I. 4th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), pages 218–222, November 2007.

56. N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, J. Yazdani, and B. Honary. Power Line Communications: state of the art and future trends. IEEE Communications Magazine, 41(4):34–40, April 2003.

57. IEEE Standard 1901- 2010 - IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications, 2010. IEEE. Website: www.standards.ieee.org/findstds/standard/1901-2010.html, (20/08/2015).

58. G.9960 : Unified high-speed wireline-based home networking transceivers - System architecture and physical layer specification, 2010. ITU-T. Website: www.itu.int/rec/T-REC-G.9960-200910-T/en, (20/08/2015).

59. V. Oksman and S. Galli. G.hn: The new ITU-T home networking standard. IEEE Communications Magazine, 47(10):138–145, October 2009

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2020

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Том 1

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2020, Issue 5, Volume 289

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Категорія «Б», РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2020, № 5(289)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Горященко С. Л. , к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н., Говорущенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Захаркевич О.В., д.т.н., Злотенко Б.М., д.т.н., Зубков А.М., д.т.н., Каплун П.В., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Місяць В.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Параска О.А., к.т.н., Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатиї Р.В., д.т.н., Харжевський В.О., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н., професор, Бубуліс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчинські Томаш, доктор наук (Польща), Коробко Євгенія Вікторівна, д.т.н. (Білорусія), Лунтовський Андрій Олегович, д.т.н. (Німеччина), Матушевський Мацей, доктор наук (Польща), Мушлевський Лукаш, доктор наук (Польща), Мушял Януш, доктор наук (Польща), Натріашвілі Тамаз Мамієвич, д.т.н., (Грузія), Попов Валентин, доктор природничих наук (Німеччина)

<i>Технічний редактор</i>	Горященко К. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 3 від 29.10.2020 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

т	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@gmail.com		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2020
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2020

DOI 10.31891/2307-5732-2020-289-5-184-187

УДК 621

М.О. БАЖУРА, О.С. ПИВОВАР

Хмельницький національний університет

О.В. ЦИРА

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

ОГЛЯД СТАНДАРТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ МЕРЕЖЕЮ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Технологія PLC, передачі інформації по силових лініях, розвивається з початку 20 століття. Починаючи з розв'язку простих задач передачі інформації від датчиків, сучасна PLC є конгломератом ряду технологій. Стандарти, що описують технологію PLC: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C. Технологія передачі в загальному визначається застосуванням OFDM модуляції. Сучасний підхід базується на формуванні спектру сигналу із застосуванням FFT та Wavelet способів. Кількість частот несучих досягає 4096, а швидкість передачі даних – до 2 Гбіт/с. Проте, одною з проблем OFDM модуляції для PLC є задача швидкої ідентифікації завад на певних частотах та ідентифікація несучих частот в прийнятому сигналі.

Ключові слова: силова лінія, передача даних, перетворення Фур'є.

М.О. BAJURA, O.S. PIVOVAR

Khmelnytsky national university, Ukraine

O. TSYRA

Odessa national academy of communication named by O. Popov

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ МЕРЕЖЕЮ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

PLC technology, the transmission of information about power lines, has been evolving since the early 20th century. Starting with the simple tasks of transmitting information from sensors, modern PLC is a conglomeration of a number of technologies.

Standards describing PLC technology: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C. Transmission technology will generally determine the application of OFDM modulation. The modern approach is based on the formation of the signal spectrum using FFT and Wavelet methods. The number of carrier frequencies reaches 4096, and data rates - up to 2 Gbps. However, along with the problem of OFDM modulation for PLC, there is the task of rapid identification of interference at certain frequencies and identification of carrier frequencies in the received signals.

Keywords: power line, data transmission, Fourier transform.

Вступ

Спочатку перші застосування, що використовують передачу по лініях електропередач, були зроблені для управління, захисту ліній електропередач, обслуговування та зарядки [1]. Пізніше кілька факторів, таких як дерегуляція ринку телекомунікацій у США, Європі та Азії, а також зародження та вибуховий ріст Інтернету, який супроводжувався більшим попитом на послуги цифрового зв'язку, зробили PLC технологією, що дозволяла закрити необхідність в термінових задачах забезпечення зв'язку для багатьох інших застосувань.

Перші патенти в цій галузі датуються початком 1900-х років [2]. У 1913 році були виготовлені автоматичні електромеханічні ретранслятори лічильників, а в 1922 році розпочався вузькосмуговий пристрій, коли перші несучі частотні системи почали працювати по лініях високої напруги в діапазоні частот від 15 до 500 кГц для телеметричних систем обробки даних.

Перші системи передачі даних по електричних мережах з'явилися ще в 1930-х роках, в основному вони використовувалися для сигналізації в енергосистемах і на залізницях, характеризуючись дуже низькою пропускною спроможністю [1]. У кінці 1990-х років ряд компаній здійснили перші великі проекти в цій області, проте в процесі експлуатації були виявлені серйозні проблеми, основною з яких була слабка завадозахищеність.

Дослідження в напрямку розвитку PLC систем активізувались і набули більшої популярності за останні два десятиліття, оскільки були запропоновані нові методи модулювання та кодування контролю помилок, а також нові стандарти галузевих альянсів та органів стандартизації. Сьогодні нові технології PLC стають перспективними як для споживачів, так і для постачальників енергії. Тому інтерес до PLC охоплює декілька важливих програм, таких як широкосмуговий доступ до Інтернету, програми Smart Grid (вдосконалене вимірювання та контроль, ціноутворення енергії в режимі реального часу, пікове гоління, моніторинг електромережі, розподілене виробництво енергії тощо), внутрішні дротові локальні Районні мережі (ЛВС) для житлових та ділових приміщень, передачі даних у транспортному засобі, літаках, управління світлофорами та вуличного освітлення

Технологія передачі даних по електричних мережах отримала належне комерційне застосування тільки на початку поточного століття, а її впровадження і широке поширення обумовлене появою відповідної елементної бази, у тому числі високопродуктивних контролерів і швидких DSP-процесорів, що дозволяють

реалізувати складні методи модуляції сигналу і сучасні алгоритми шифрування даних. Це забезпечило не лише високий рівень достовірності при передачі інформації, але і її захист від несанкціонованого доступу. Також важливе значення мало вирішення проблеми стандартизації різних аспектів технології.

Нині основними організаціями і співтовариствами, що регламентують вимоги до PLC пристроями є IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA і HomePlug Powerline Alliance. Остання з них є міжнародним альянсом, що об'єднує близько 80 відомих на ринку телекомунікацій компаній, серед яких Siemens, Motorola, Samsung і Philips. Діяльність альянсу, організованого в 2000 році, спрямована на проведення наукових досліджень і практичних випробувань сумісності обладнання різних виробників, що використовують цю технологію, а також на підтримку і просування єдиного стандарту під назвою HomePlug.

Технологія PLC, яка використовує електричну мережу як середовище передачі, є телекомунікаційною технологією з довгою історією виникнення, широким спектром застосувань та реалізацій. До теперішнього часу більше уваги приділяється збільшенню швидкості передачі даних у ПЛК, тоді як енергоефективність досі не вивчалася дуже сильно.

Завдяки швидкому розвитку технології PLC, енергетична ефективність, безсумнівно, є пріоритетом для проектування майбутніх систем PLC.

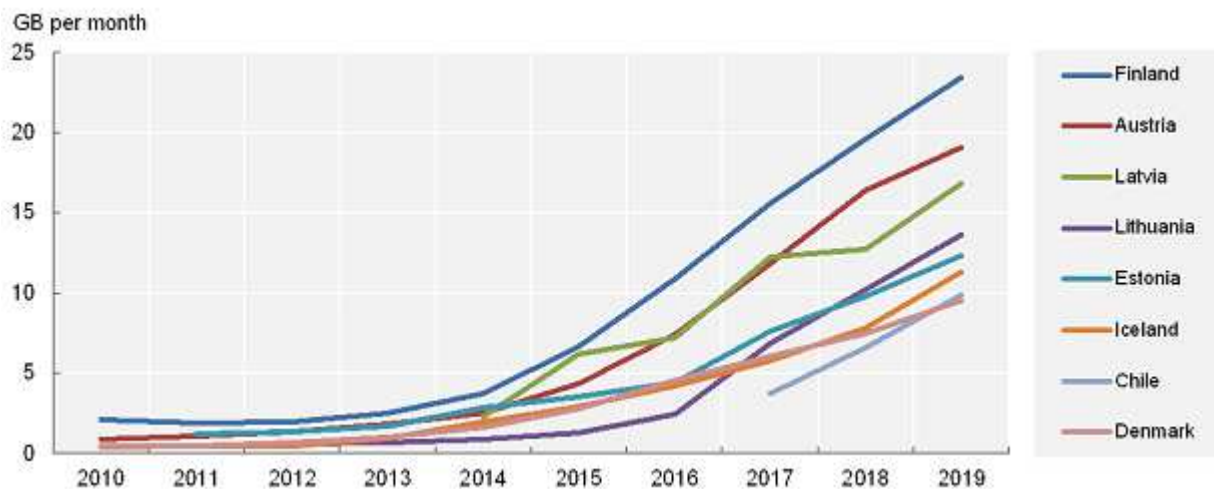


Рис. 1. Фактичне проникнення широкосмугового доступу 2010-2019 роках

Як видно на рисунку 1, в світі (2003-2008 роки та 2010-2019 роки) має місце стрімке насичення ринку послугами широкосмугового доступу. Причому є країни, як Корея, Тайвань де зростання вже наблизилося до свого максимуму по насиченню, так є країни, які тільки почали входити в процес насичення телекомунікаційними мережами – Чилі, Ісландія, Естонія.

Застосування PLC технології

Усе існуючі PLC-системи прийнято розділяти на широкосмугові (BPL – Broadband over Power Lines) і вузькосмугові (NPL – Narrowband over Power Lines). Спектр вирішуваних з їх допомогою завдань дуже широкий, а вибір необхідного методу заснований на характеристиках і об'ємі переданої інформації. Широкосмугові пристрої (зі швидкістю від 1 до 200 Мбіт/с) орієнтовані на системи доступу до Інтернету, на створення домашніх комп'ютерних мереж, а також на додатки, що вимагають високошвидкісного обміну даними: потокове відео, системи відеоконференцв'язку, цифрової телефонії і т. д.

Найбільший інтерес для розробників апаратури представляють вузькосмугові PLC-модеми у зв'язку з їх відносною дешевизною і поліпшеними характеристиками, що дозволяють працювати не лише в звичайних мережах, але і в мережах з підвищеним рівнем перешкод. Мікросхеми і модулі для вузькосмугових модемів (з пропускною спроможністю каналу від 0,1 до 100 кбіт/с) широко застосовуються у складі різних виробів побутового і промислового призначення, при створенні розподілених систем автоматизованого контролю і управління в цехах і системах життєзабезпечення будівель (ліфтах, обладнанні кондиціонування і вентиляції), засобах обліку споживання електроенергії, води, газу, тепла, приладах охоронної і пожежної сигналізації.

PLC технології застосовуються для створення мобільних високошвидкісних локальних мереж в офісах, будівлях і реалізації нових концепцій розумних будинків і т. п. Інші перспективні сфери застосування PLC технології [3, 4]:

- системи безпеки;
- системи управління вуличним освітленням;
- системи автоматизації;
- диспетчерські системи;
- системи сигналізації;
- системи збору інформації датчиків витрат;

- промислові системи моніторингу і управління.

Важливою є можливість спільного використання PLC технології з іншими широкосмуговими технологіями передачі даних, наприклад PLC + WiMAX, PLC + WLAN кт. п.

Стандартизація передачі даних по електромережах

Єдиного уніфікованого стандарту передачі даних по електромережах досі не існує. Проте, зацікавлені сторони, в першу чергу виробники електронного устаткування, створили організації, покликані врегулювати і упорядкувати ситуацію на ринку PLC устаткування.

Існує кілька міжнародних стандартів, що регулюють PLC. Домінуючими стандартами PLC на ринку є IEEE1901 [5] та ITU-T G.hn [6, 7].

З одного боку, готові до продажу продукти, що відповідають IEEE 1901, були сертифіковані або HomePlug Powerline Alliance, в США та Європі, або альянсом HD-PLC, переважно в Японії. З іншого боку, готові до продажу продукти, що відповідають ITU-T G.hn, були сертифіковані альянсом HomeGrid Forum.

Стандарти групи IEEE 1901 розроблено робочою групою IEEE P1901 і визначає технологію високошвидкісного зв'язку ліній електропередач. Стандарти визначають методи як для домашньої мережі, так і для мереж доступу – Інтернет.

Аналіз параметрів технологій PLC

Стандарт IEEE 1901.2010 використовує частоти передачі нижче 100 МГц і забезпечує високі швидкості передачі даних до 500 Мбіт / с на фізичному рівні. Він включає два різні фізичні рівні, один заснований на модуляції ортогонального мультиплексування з частотним поділом для швидкого перетворення Фур'є (OFDM). Це головним чином використовується у США та Європі. А другий - на основі модуляції Wavelet OFDM (обмежений для Японії). Стандарт також відповідає обмеженням електромагнітної сумісності, встановленим національними та міжнародними регуляторними органами, щоб забезпечити успішне співіснування з бездротовими та іншими телекомунікаційними системами.

Основними на сьогодні являються стандарти, створені міжнародним альянсом HomePlug Powerline Alliance, відкритим європейським альянсом OPERA, європейською асоціацією UP A, а також альянсом HD-PLC. Організація HomePlug Powerline Alliance (засновники і учасники : Cisco, Intel, Inellon, Motorola, Texas Instruments, Enikia та ін.) на сьогодні розробила три стандарти:

- HomePlug 1.0 (2001 рік);
- HomePlug AV (2005 рік);
- HomePlug C&C (2007 рік).

HomePlug GP і HomePlug AV2 повністю сумісні з HomePlug AV та IEEE P1901, хоча кожна надає окремий набір можливостей, зосереджених на різних аспектах та питаннях, пов'язаних з різними програмами та робочими середовищами. Порівняльний огляд основних відмінностей між HomePlug AV, HomePlug AV2 та HomePlug GP наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння HomePlug, HomePlug AV2 та HomePlug GP

Стандарт	HomePlug AV	HomePlug AV2	HomePlug GP
Властивості			
Головне застосування	Мультимедіа	Мультимедіа для мереж наступного покоління	Домашні мережі SMARTGRID
Фізична швидкість	200 Mbps	2 Gbps	10 Mbps
Частотний діапазон (МГц)	2-30	1.8-86	2-30
Кількість піднесучих	1155	4096	1155
Тип модуляції на піднесучих	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM, 4096 QAM	QPSK only
Код корегування помилок, відношення	1/2, 16/21	1/2, 16/21, 16/18	1/2

Продукти сімейства HomePlug є найбільш поширеними на ринку. Характеристики, доступні через альянс для широкосмугових PLC, є [8]: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2 та HomePlug Green PHY (GP). Далі ми докладно опишемо основні стандарти та технічні характеристики PLC.

Особливості технології формування несучих частот

Для передачі інформації використовуються ряд частот. Для покращення ідентифікації, зменшення міжчастотного впливу використовується OFDM-модуляція – частотне розділення із застосуванням ортогональної модуляції несучих частот. В цьому методі частоти обираються так, щоб сусідні частоти знаходились в вузлах мінімального впливу від певної несучої частоти.

Порівняно з методом OFDM-модуляції, де використовується швидке перетворення Фур'є (FFT), OFDM-модуляція типу Wavelet відрізняється найкращими характеристиками фільтрації та забезпечує більшу глибину режекцію сигналів приміщень. Це, у свою чергу, дозволяє легше пристосуватися до змінних умов передачі та забезпечує надзвичайно високу стійкість до приміщень та пошукових сигналів, викликаних

багатолучовою інтерференцією, а також іншими причинами. Можливість програмувати спектр генерованих в лінії сигналів дозволяє не лише позбавитись від завад, що наводяться в лініях, але і попереджує небажані побічні електромагнітні завади провідниками ліній, наприклад, у короткочастотному діапазоні радіолюбительського мовлення.

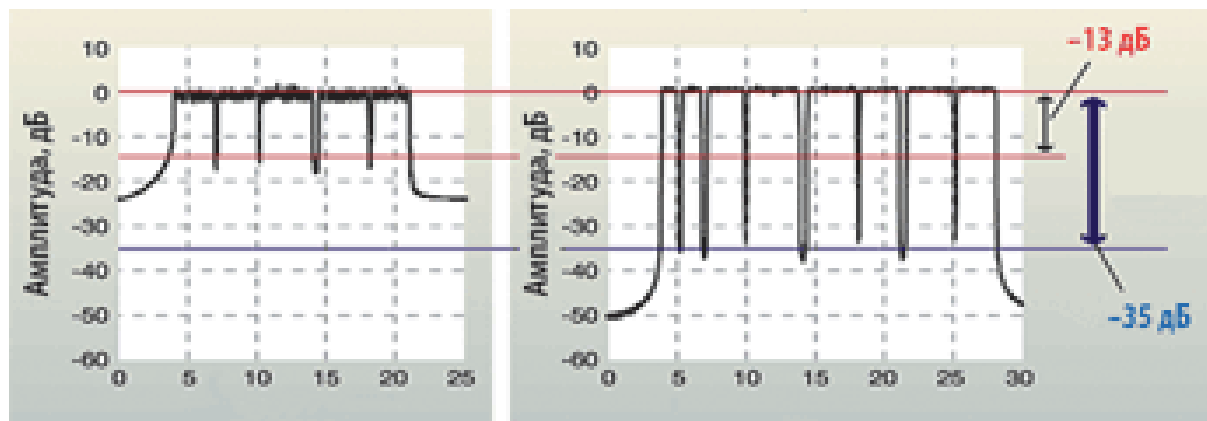


Рис.3. Спектри OFDM-сигнала з використанням FFT-перетворення (а) та Wavelet-перетворення (б)

Запропоновані алгоритми адаптації в PLC стандартах до умов поширення сигналів в електромережі, а також наявність наявних приміщень, що дозволяють знаходитись із співвідношення сигналів / приміщень, вибирають оптимальну швидкість передачі, щоб забезпечити найбільшу достовірність прийнятих даних. На рис. 3 представлені спектри OFDM-сигналів, отримані в результаті ШПФ- та Wavelet-перетворення [5, 6, 7]. Як видно з приведенного рисунка, при модуляції типу Wavelet OFDM, за порівнянням з FFT OFDM, забезпечується більша глибока частотна частота.

Висновок

1. Технологія передачі інформації по лініях електроживлення виникла на початку 20 століття і були направлені на задоволення потреб у віддаленому зборі інформації від датчиків та передачі її по існуючих провідних лініях.
2. Поточний розвиток PLC-технології багато в чому пов'язаний з появою загальноприйнятих регламентуючих стандартів і вдосконаленням відповідної елементної бази, що дозволяють створювати стійкий і захищений канал зв'язку при його досить високій пропускній спроможності.
3. Існує широкий набір стандартів передачі інформації, що є наступниками один одного та розширеннями, це: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C, а також 1.4.5 HomePlug GP.
4. Технологія PLC має широке розповсюдження, проте використання сигналів FFT та Wavelet OFDM

References

1. M. S. Yousuf and M. El-Shafei. Power Line Communications: An Overview - Part I. 4th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), pages 218–222, November 2007.
2. N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, J. Yazdani, and B. Honary. Power Line Communications: state of the art and future trends. IEEE Communications Magazine, 41(4):34–40, April 2003.
3. White Paper: Comparison of Access Technologies. - OPERA Consortium, 2009 www.ist-opera.org.
4. Gagliardo P. Take advantage of powerline communications in nextgen home networking & IPTV designs. CommsDesign, 2009.
5. IEEE Standard 1901- 2010 - IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications, 2010. IEEE. Website: www.standards.ieee.org/findstds/standard/1901-2010.html, (20/08/2015).
6. G.9960 : Unified high-speed wireline-based home networking transceivers - System architecture and physical layer specification, 2010. ITU-T. Website: www.itu.int/rec/T-REC-G.9960-200910-T/en, (20/08/2015).
7. V. Oksman and S. Galli. G.hn: The new ITU-T home networking standard. IEEE Communications Magazine, 47(10):138–145, October 2009
8. <http://grouper.ieee.org/groups/1901>

Рецензія/Peer review : 09.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.12.2020 р.

Дипломна робота

магістра із спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

тема роботи:

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ МЕРЕЖЕЮ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Студент:

Бажура Максим Олегович, гр. ТРМ-19-1

Керівник

к.т.н., доц. Пивовар Олег Сергійович

Мета роботи:

визначення факторів застосування технології передачі інформації по проводах електроживлення за забезпечення задачі формування телекомунікаційної мережі з метою зменшення апаратних витрат та покращення виявлення завад в каналах при передачі інформаційних посилок

Об'єкт

технологія передачі інформації із застосуванням

дослідження

проводової мережа електроживлення

Предмет

методи передачі інформації по електричних мережах

дослідження

загального застосування за умов існування завад різного походження

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Проаналізувати існуючі тенденції та апаратні рішення щодо впровадження технології PLC, що мають місце на сучасному ринку телекомунікаційних послуг. Розглянути стандарти технології PLC, використані технічні рішення та визначити технічні показники.

2. Розглянути моделі шумів в низьковольтних мережах електромереж загального застосування. Розглянути можливість застосування методу виявлення високочастотних складових для реалізації задачі виявлення та синхронізації прийняття пакетів для систем PLC.

3. Виконати моделювання PLC систем та проаналізувати особливості використання щодо зменшення впливу завад на OFDM сигнал, що використовується в технології PLC.

Науково-практичне значення отриманих результатів

1. На основі проведених досліджень, представлено оцінку стійкості мережі на основі технології PLC на роботу за умов змінних в часі завад. Показано особливості взаємодії та розроблено практичні рекомендації щодо впровадження.

СТАН ПРОБЛЕМАТИКИ НАДАННЯ ШИРОКОСМУГОВОДУ ДОСТУПУ

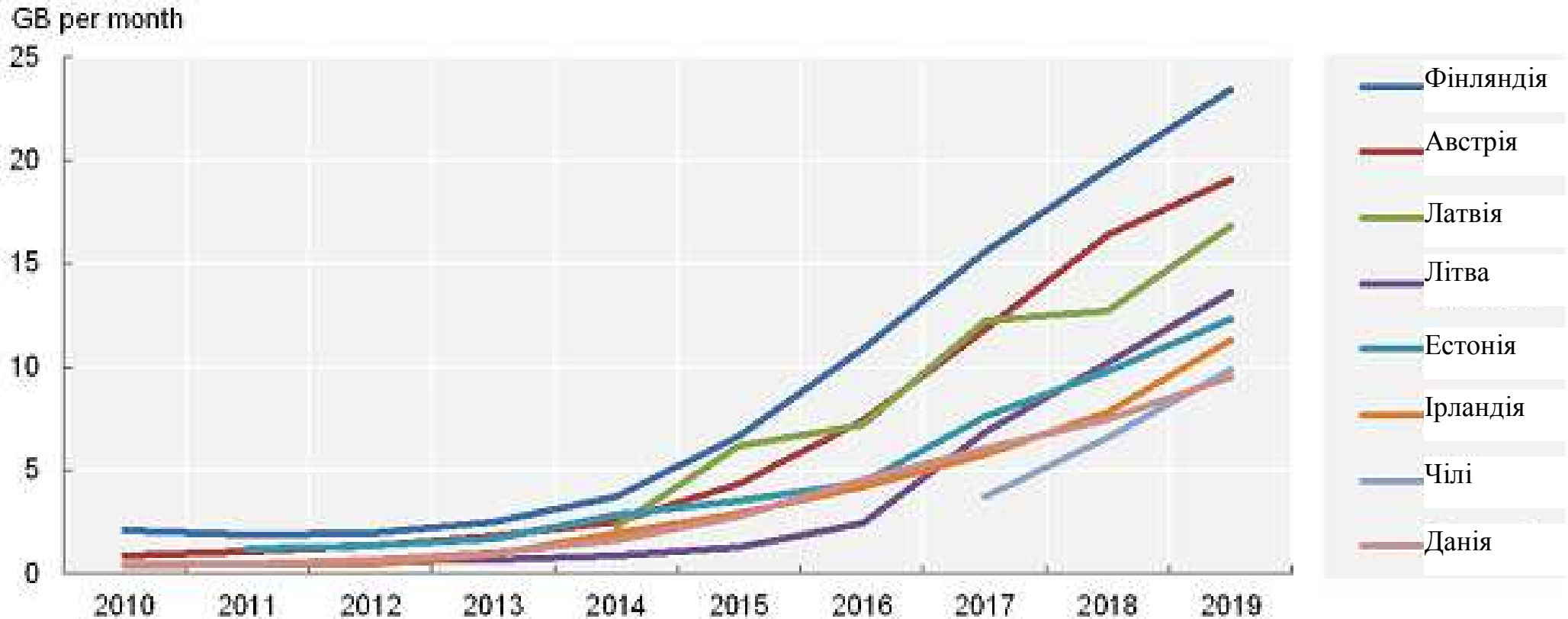


Рисунок 3.1 – фактичне проникнення широкосмугового доступу 2010-2019 роках

Як видно на рисунках, в світі має місце стрімке насичення ринку послугами широкосмугового доступу. Причому є країни, як Корея, Тайвань де зростання вже наблизилося до свого максимуму по насиченню, так є країни, які тільки почали входити в процес насичення телекомунікаційними мережами – Чілі, Ісландія, Естонія.

ТЕХНОЛОГІЯ ОРТОГОНАЛЬНОГО МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ З ЧАСТОТНИМ ПОДІЛОМ ДЛЯ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є (OFDM FFT) ЯК ОСНОВА ЗВ'ЯЗКУ ПО ЛІНІЯХ ЖИВЛЕННЯ (PLC, POWER LINE COMMUNICATIONS)

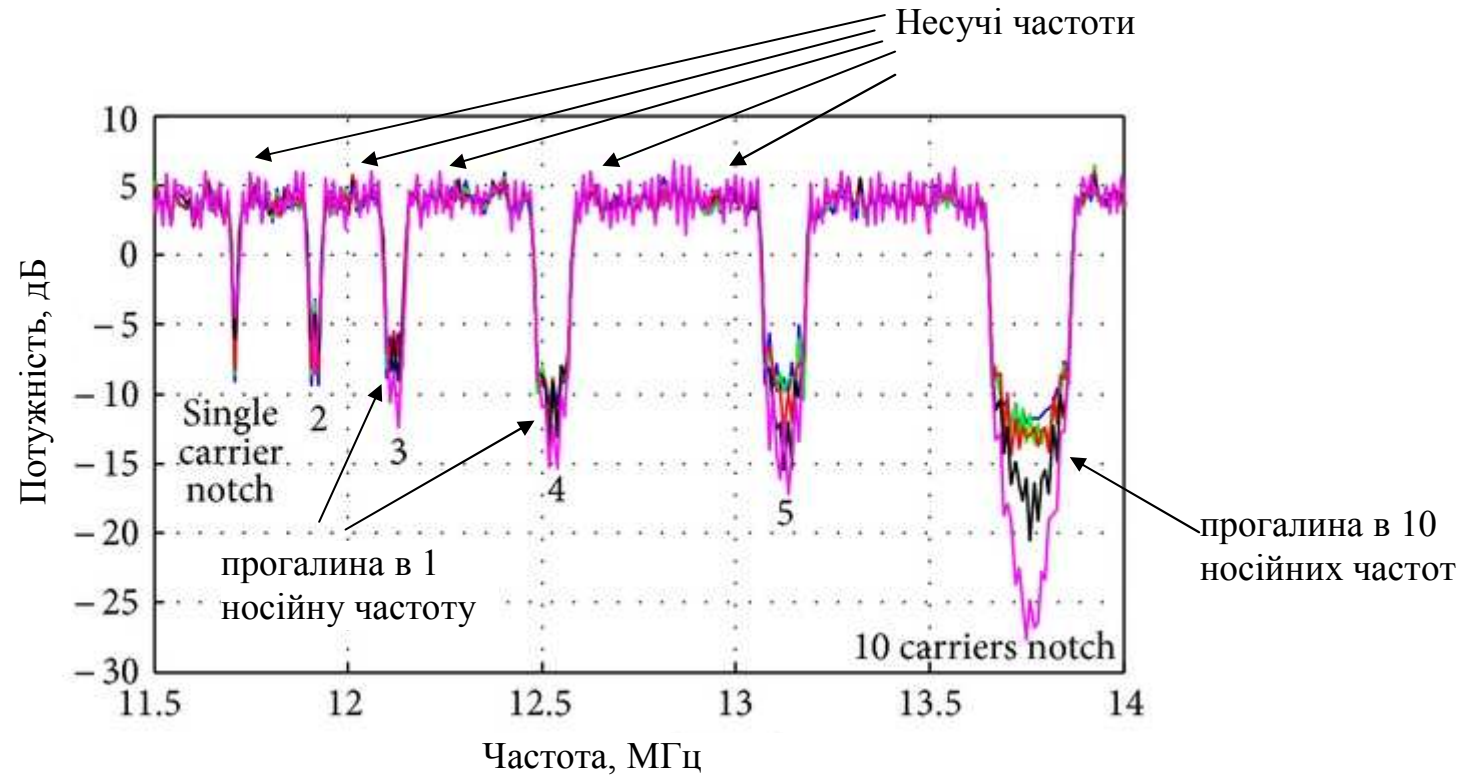


Рисунок 4.1 - розподіл спектру в стандарті HomePlug AV

ПОРІВНЯННЯ ІСНУЮЧИХ СТАНДАРТІВ

Домінуючими стандартами PLC на ринку є – стандарт IEEE1901

Стандарт IEEE 1901.2010 використовує частоти передачі нижче 100 МГц і забезпечує високі швидкості передачі даних до 500 Мбіт / с на фізичному рівні.

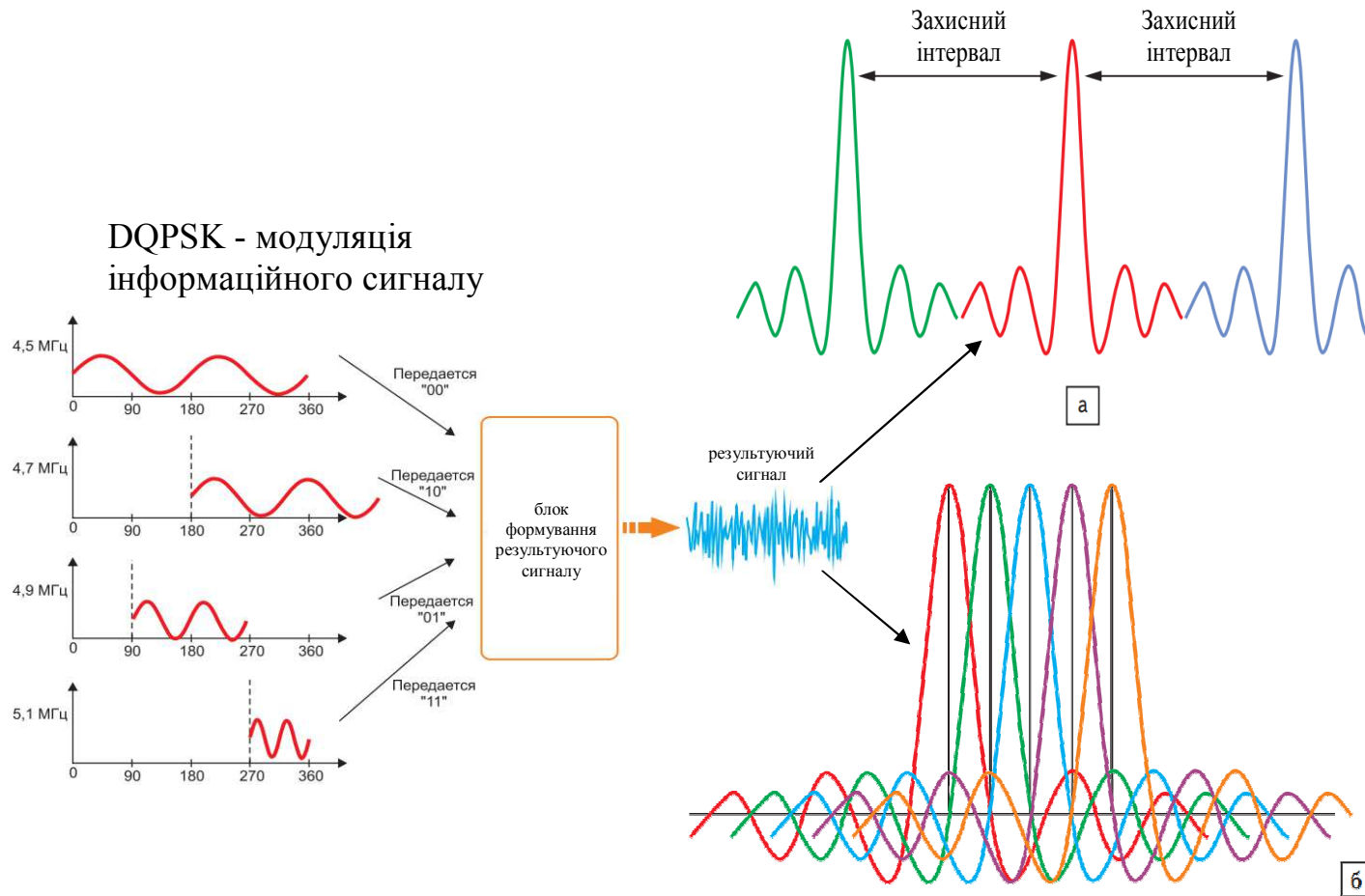
Основними на сьогодні являються стандарти, створені міжнародним альянсом HomePlug Powerline Alliance, відкритим європейським альянсом OPERA, європейською асоціацією UP A, а також альянсом HD-PLC. Організація HomePlug Powerline Alliance (засновники і учасники : Cisco, Intel, Inellon, Motorola, Texas Instruments, Eureka та ін.) на сьогодні розробила три стандарти:

- HomePlug 1.0 (2001 рік);
- HomePlug AV (2005 рік);
- HomePlug C&C (2007 рік).

Таблиця 5.1 – Порівняння HomePlug, HomePlug AV2 та HomePlug GP

Стандарт \ Властивості	HomePlug AV	HomePlug AV2	HomePlug GP
Головне застосування	Мультимедіа	Мультимедіа для мереж наступного покоління	Домашні мережі SMARTGRID
Частотний діапазон (МГц)	2-30	1.8-86	2-30
Кількість піднесучих	1155	4096	1155
Тип модуляцій на піднесучих	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM, 4096 QAM	QPSK only
Код корегування помилок (турбокод), відношення	1/2 16/21	1/2 16/21 16/18	1/2
Фізична швидкість	200 Mbps	2 Gbps	10 Mbps

УТВОРЕННЯ СИГНАЛУ OFDM



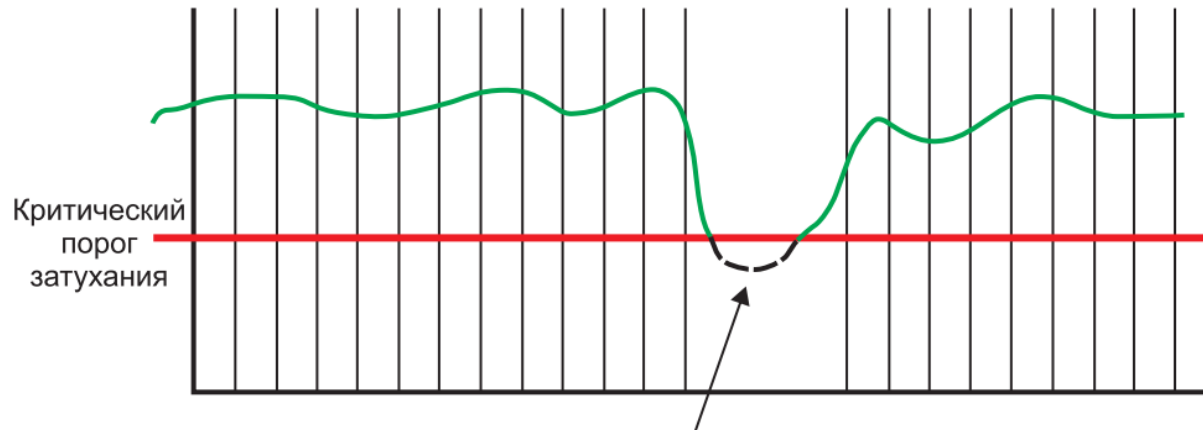
При використанні звичайної модуляції з частотним розділенням (**FDM** — Frequency Division Multiplexing) доступний спектр витрачається неефективно. Пов'язано це з наявністю захисних інтервалів між носійними частотами

В PLC-пристроях застосовується ортогональне частотно-розділене мультиплексування (**OFDM** — Orthogonal Frequency Division Multiplexing), при якому центри частот, що піднесуть, розміщуються так, щоб пік кожного подальшого сигналу співпадав з нульовим значенням попереднього. Доступна смуга частот в цьому випадку витрачається раціональніше

Рисунок 6.1 – Спектр сигналів з методами модуляції : а) FDM; б) OFDM

Технічно усунення небажаного взаємного впливу реалізується застосуванням налаштувань, так званих Signal Mode і Power Mask, на пристроях, в яких передбачена відповідна можливість. Signal Mode — програмний метод визначення робочого діапазону частот, а Power Mask — програмний метод обмеження спектру використовуваних частот. За рахунок цього PLC-пристрої можуть спокійно співіснувати в одному фізичному середовищі і не зашумлять діапазони частот, призначені для радіозв'язку.

ЗАВАДИ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ПО МЕРЕЖІ



Передача данных выключена из-за превышения величины затухания на данных частотах

Рисунок 7.1 – адаптивна передача даних

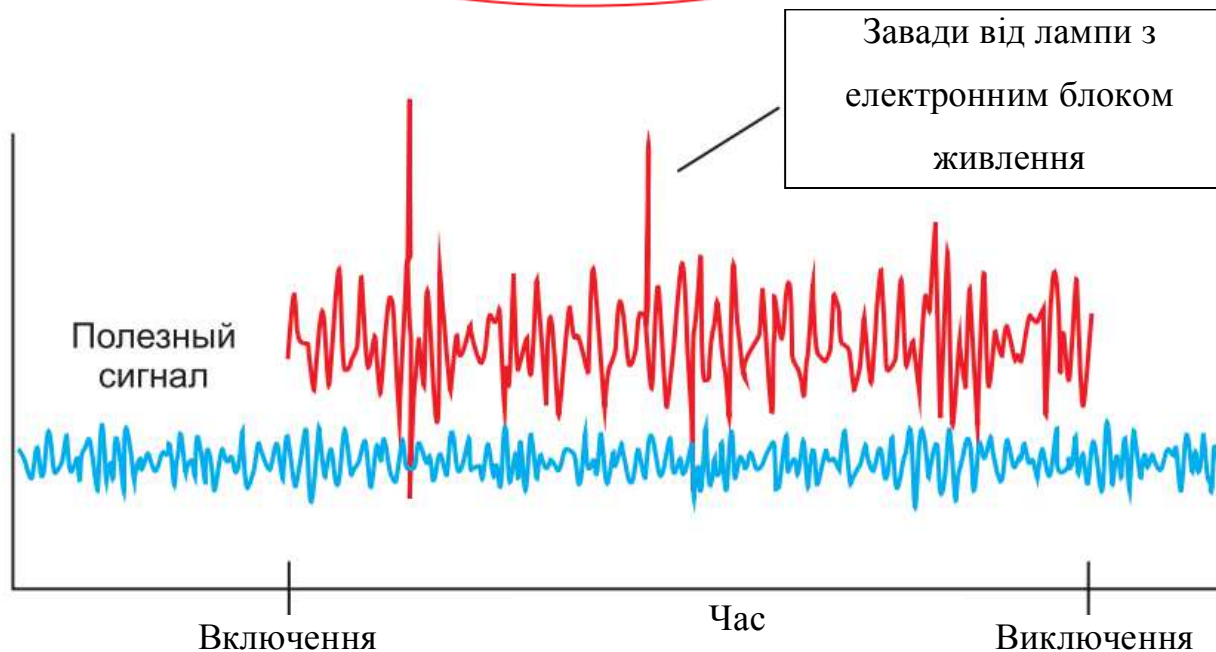


Рисунок 7.2 – вплив імпульсних завад, що виникають в часі на передачу даних

МОДЕЛЬ ШУМІВ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

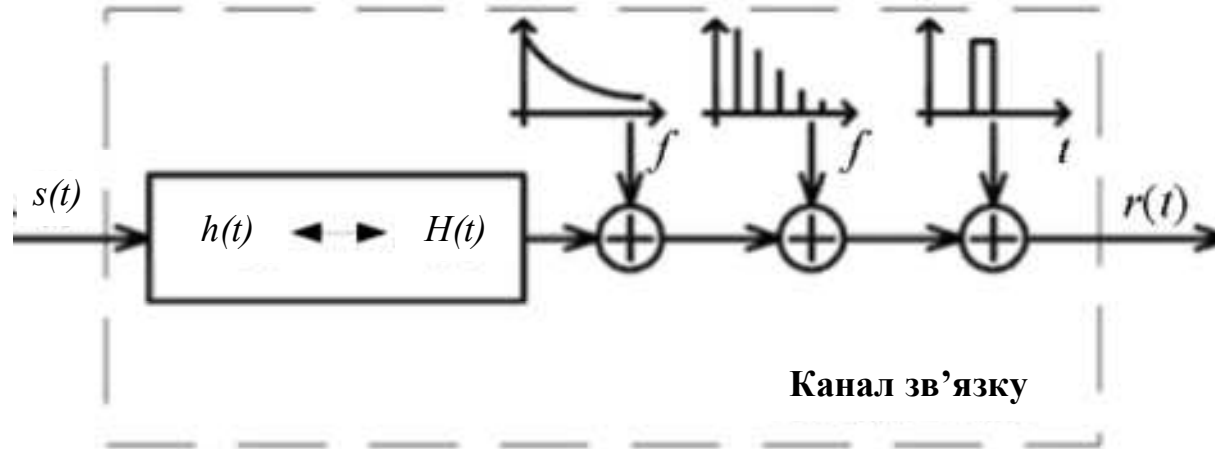


Рисунок 8.1 – спрощена модель електромережі

Тоді модель шумів виглядатиме як сума трьох доданків :

$$n(t) = n_{\text{фон}}(t) + n_{\text{уз}}(t) + n_{\text{имп}}(t),$$

де $n_{\text{фон}}(t)$ – фоновий шум,
 $n_{\text{уз}}(t)$ – шум вузлів;
 $n_{\text{имп}}(t)$ – імпульсний шум.

МОДЕЛЬ ШУМІВ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

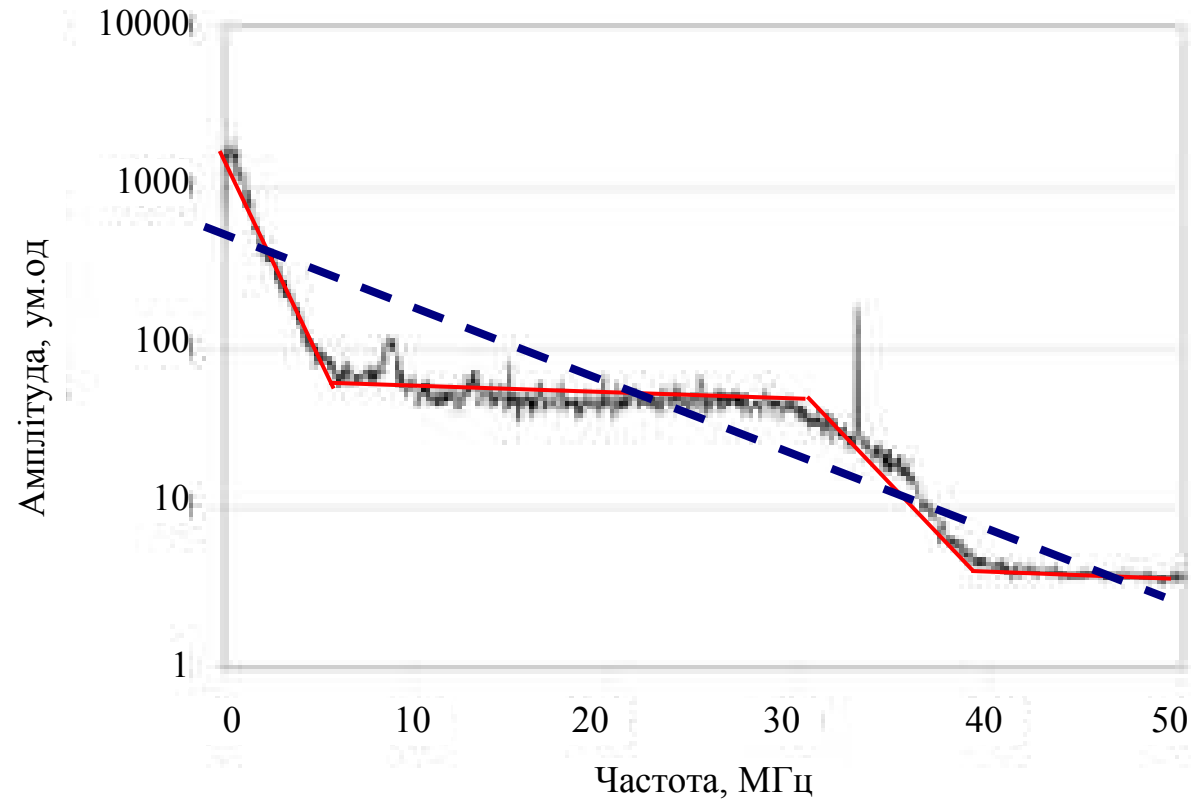


Рисунок 9.1 – апроксимація спектру потужності фонових шумів

У загальному випадку вузькосмугові перешкоди можна представити у вигляді суми N -го числа незалежних синусоїд :

$$n_{yz}(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \cdot \sin(2\pi f_i t + \varphi_i)$$

МОДЕЛЮВАННЯ PLC СИСТЕМ

Для експериментальних досліджень були використані одні з найбільш дешевих та доступних адаптерів фірми TrLink. Для проведення експериментів використовувалися адаптери TL-PA2010KIT стандарту AV200 Nano



Рисунок 10.1 – Адаптери серії TL-PA2010KIT стандарту AV200

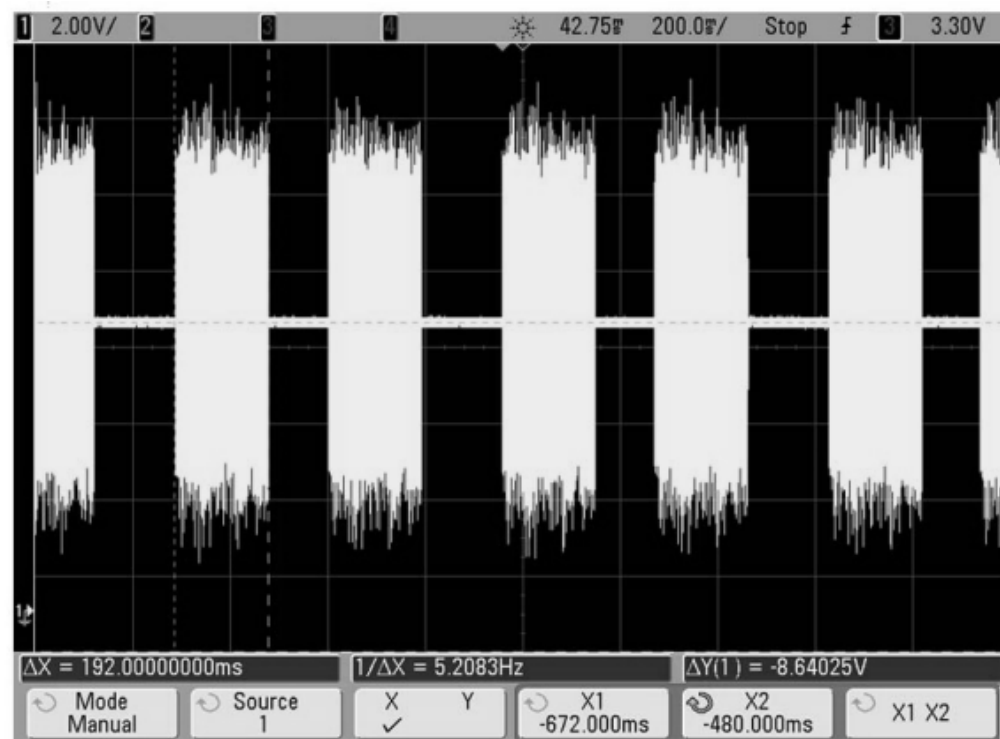


Рисунок 10.2 – тривалість інформаційних пакетів

АЛГОРИТМ ВИЯВЛЕННЯ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ PLC-СИГНАЛІВ

Відомий метод: виконується передача 2-сигналів: прямого та його дзеркальної копії

Запропонований метод: використати передачу сигналу, де друга половина сигналу інвертується.

Переваги:

1. У приймачі розраховується кореляція між початковим сигналом і його інверсною копією, які спотворені каналом зв'язку і шумами, то цей спосіб виявлення можна розглядати в якості псевдопогодженого фільтру. Можна припустити, що для даного псевдопогодженого фільтру будуть характерні багато властивостей класичного погодженого фільтру.

2. Складання початкового сигналу і його інверсної копії буде рівносильне складанню двох реалізацій корисного сигналу і приведе до **підвищення відношення сигнал-шум** (у разі дії на сигнал аддитивного білого шуму (АБГШ) гауса виграш складе 3 дБ). У свою чергу, підвищення відношення сигнал-шум дає **можливість збільшити кратність модуляції**. Наслідок: підвищення швидкості передачі.

3. Розузгодження між двома половинами переданого інформаційного кадру вносять тільки діючі в каналі зв'язку шуми. Ця властивість дозволяє здійснювати виявлення переданого симетричного сигналу без використання квадратурного корелятора.

4. На виході кореляційного приймача можливо отримати відгук з дуже малою тривалістю основного піку і низьким рівнем бічних пелюсток.

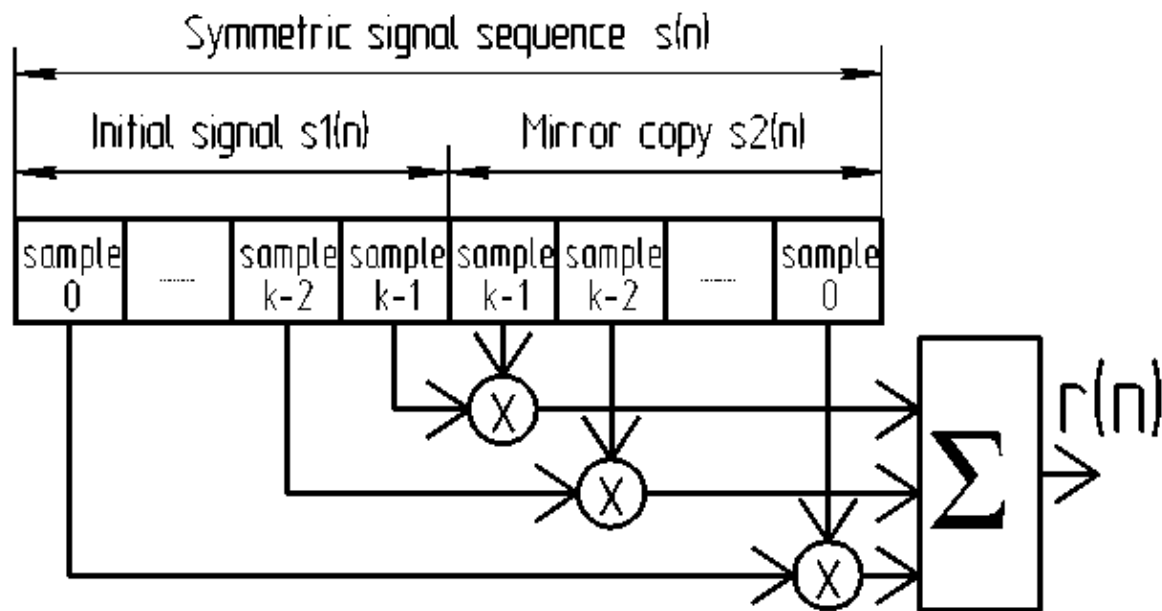


Рисунок 11.1 – структура передаваного симетричного інформаційного кадру і схема розрахунку кореляції між двома його половинами

Initial signal – початковий сигнал

Mirror copy – дзеркальна копія

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

База сигналу з багатьма несучими, що є взаємно ортогональними співпадає з числом ортогональних частот, що несуть :

$$B = T_{sig} \cdot \Delta f = \frac{\Delta f}{\Delta f_0} = \frac{N \cdot \Delta f_0}{\Delta f_0} = N,$$

де T_{sig} – тривалість багаточастотного сигналу;
 Δf_0 – ширина спектру окремої ортогональної частоти сигналу, що несе;
 Δf – сумарна ширина спектру, займаючи усіма ортогональними частотами, що несуть;
 N – число ортогональних частот, що несуть, в сигналі.

Сигнал з багатьма частотами на інтервалі посилки є сумою N ортогональних гармонійних коливань з частотами f_k і в дискретному часі може бути записаний як:

$$s(n) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k \cos(2\pi f_k nT) + b_k \sin(2\pi f_k nT), \quad n = 0..(2N-1)$$

де f_k – частота k -ї ортогональної гармоніки;
 N – число гармонік в сигналі;
 a_k, b_k – амплітуди синфазної і квадратурної складових на k -ой частоті;
 T – інтервал дискретизації;
 n – номер дискретного відліку.

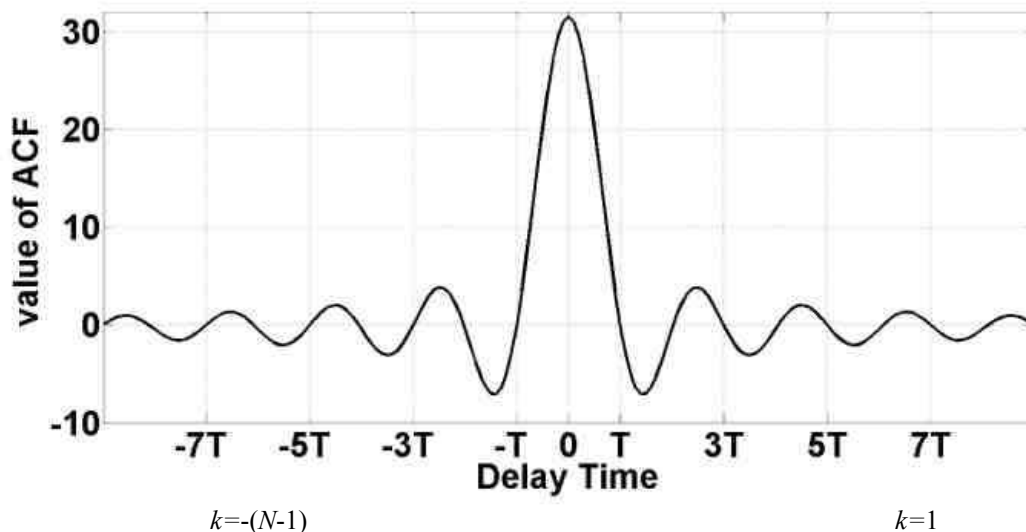


Рисунок 12.1 – Автокореляційна функція OFDM сигналу, що складається з 63 частот, що несуть, з амплітудами $(ak_2 + bk_2)$ рівними одиниці і що не має постійної складової. Значення часу T відповідає періоду дискретизації

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

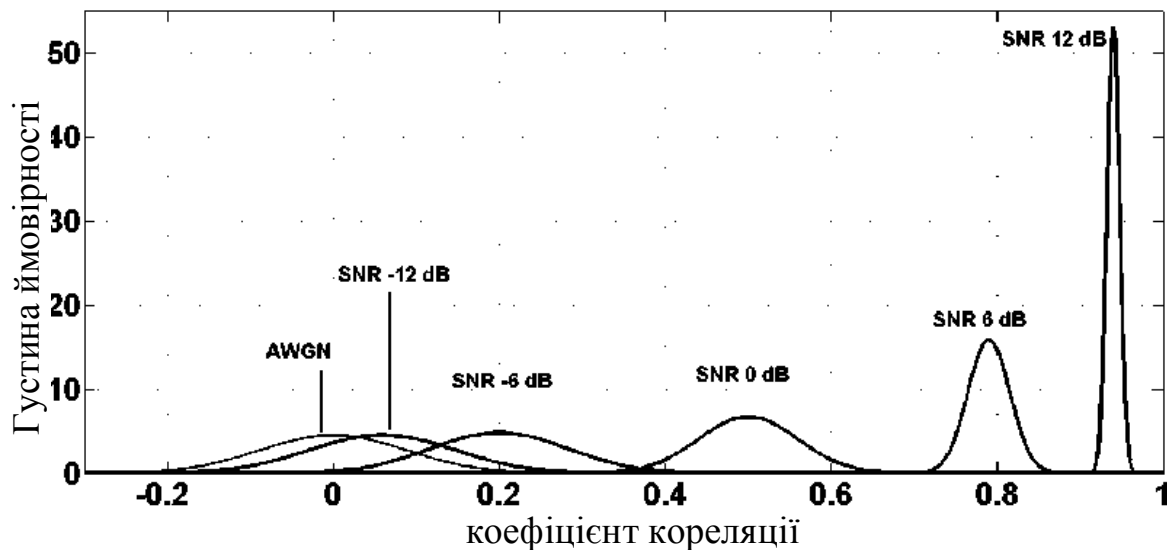


Рисунок 13.1 – Щільність вірогідності коефіцієнта кореляції залежно від ВСШ (SNR - signal to noise ratio) на вході приймача.

Загальна довжина інформаційного кадру, що приймається, 256 відліків (довжина однієї половини кадру 128 відліків, а число частот кожної половини, що несуть, дорівнює 127).

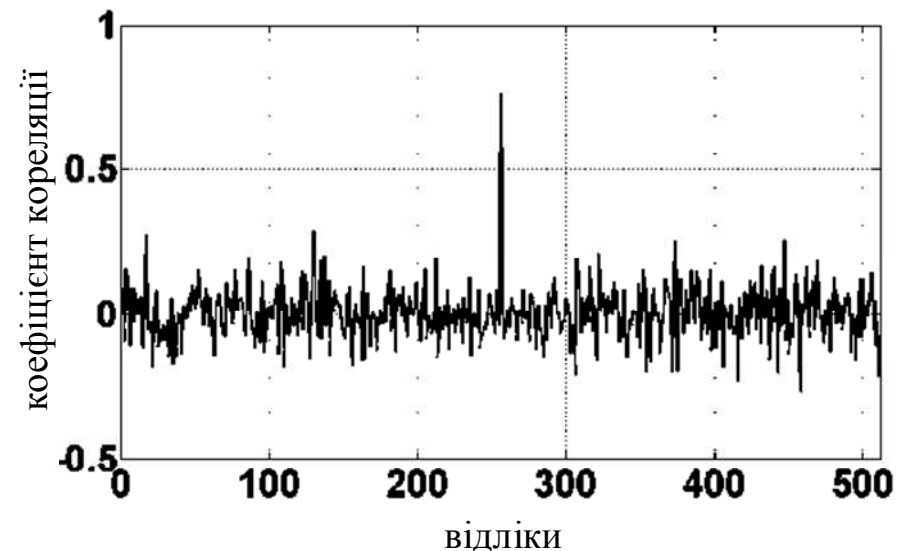


Рисунок 13.2 – Приклад розрахунку коефіцієнта кореляції для інформаційного кадру завдовжки 256 відліків.

Пік відповідає моменту, коли передаваний **інформаційний кадр повністю поступив** в приймальний буфер тієї ж довжини. Відношення сигнал-шум на вході приймача дорівнює 6 дБ.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених досліджень, були виконані аналіз існуючих тенденцій та апаратних рішень щодо впровадження технології PLC, що мають місце на сучасному ринку телекомунікаційних послуг. Існує широкий набір стандартів передачі інформації, що є наступниками один одного та розширеннями, це HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C, а також 1.4.5 HomePlug GP. Основними організаціями і співтовариствами, що регламентують вимоги до PLC пристроями є IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA і HomePlug Powerline Alliance

2. Застосування технології ортогонального частотно-розділеного мультиплексування OFDM дозволяє підвищити завадостійкість системи передачі. У свою чергу це дозволяє підвищити надійність передачі інформації по незалежних каналах. Використання пристроїв PLC стандарту може бути обмежено в наслідок існування зовнішніх завад, що впливають на канал передачі даних та створюють завади при роботі.

3. В ході моделювання було підтверджено, що чим більше база передаваної сигнальної послідовності, тим вище відношення сигнал-шум на виході пропонованого квазіпогодженого фільтру. Також встановлено теоретично достовірність гіпотези про можливість виявлення симетричних шумоподібних сигналів тільки за результатами їх обробки і без використання додаткових ресурсів каналу зв'язку. Автокореляційна функція забезпечує ідентифікацію початку сигналу з одночасною умовою знаходження повного інформаційного блоку у вхідному буфері.

Завідувачу
кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних
технологій (ТМІТ)
Підченко С.К.
здобувача вищої студента
Бажури Максима Олегович
2 курсу, гр. ТРМ-19-1

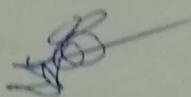
ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.20



Бажура М.О.

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 10%

ID: 82574 Название: Технологія передачі сигналів мережею електроживлення Добавлено в БД: 2020-12-06 Авторы: Бажура Максим Олегович Руководители: Пивовар Олег Сергійович Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	79308	1205	1760 (2%)	28 (2%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

Дата проверки:
07.12.2020 12:39:00 EET

Дата отчета:
07.12.2020 16:30:06 EET

ID проверки:
1005386796

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

ID пользователя:
100005657

Название файла: Бажура_ТрМ-19-1

Количество страниц: 84 Количество слов: 13985 Количество символов: 106864 Размер файла: 1.81 MB ID файла: 1005669448

1787 слов помечены как "исключенные" и не учитываются в подсчете слов

2.53%

Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.73% с источником из Библиотеки (ID файла: 1005654684)

1.96% Источники из Интернета

159

Страница 86

0.73% Источники из Библиотеки

3

Страница 87

0.1% Цитат

Цитаты

1

Страница 88

Не найдено ни одной ссылки

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы

9

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу студента групи ТРМ-19-1

Бажури Максима Олеговича

"Технологія передачі сигналів мережею електроживлення"

Дипломна робота присвячена розгляду питань застосування технологія передачі даних із застосуванням OFDM, що використовується в таких стандартах, як передача даних по лініях електропередачі (PLC), цифрові абонентські лінії (DSL), у безпроводних ширококомовних застосуваннях, таких як цифрове аудіо мовлення (DAB) і цифрове телевізійне мовлення (DVB).

Як відомо, технологія OFDM припускає ефективне використання спектру за рахунок передачі даних паралельно по безлічі близько розташованих вузькосмугових частотних каналів. Проте, наслідком многоканальності є нерівномірний розподіл потужності в частотному спектрі сигналу, а також актуальною є проблема як ідентифікації сигналу кожної носійної частоти, так і визначення моменту присутності саме початку кодової послідовності.

В дипломній роботі магістра ставиться та виконується декілька завдань, а саме:

- проведено аналіз щодо технології в цілому та існуючих апаратних рішень щодо впровадження технології PLC, що мають місце на сучасному ринку телекомунікаційних послуг, а також приділена увага стандартам технології PLC;
- представлена модель шумів в низьковольтних мережах електромереж загального застосування, що дозволяє представити метод виявлення високочастотних складових для реалізації задачі виявлення та синхронізації прийняття пакетів для систем PLC;
- проведено моделювання роботи PLC систем щодо запропонованого методу ідентифікації та зменшення впливу завад на OFDM сигнал, що використовується в технології PLC.

Робота складається з 4-х розділів, кожен з яких відповідає суті поставлених задач. Загальний обсяг роботи – 78 сторінок. В роботі 59 посилань на літературні джерела, а також 33 рисунки та 3 таблиць. За змістом робота є ґрунтовною. Містить посилання на літературу з вказанням джерел відповідних запозичень. Висновки з отриманих результатів сформовані технічно грамотно.

Викладення матеріалу в розділах є послідовним та логічно пов'язаним, застосовується достатня кількість власних та запозичених ілюстрацій. Наведені у роботі формули, припущення та висновки мають достатнє обґрунтування та детальне пояснення. Мова викладення роботи є технічно грамотною, зрозумілою. Оформлення пояснювальної записки знаходиться на належному рівні, граматичних та стилістичних помилок дуже обмежена кількість.

Серед позитивних сторін магістерської роботи слід відмітити наступне:

1. Проведений достатньо ґрунтовний аналіз апаратних рішень щодо впровадження технології PLC, спираючись на опис стандартів та відповідних технічних засобів. Проведений огляд включає найбільш актуальні сучасні стандарти – HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C, а також 1.4.5 HomePlug GP.

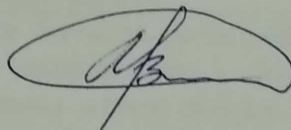
2. Проведено аналіз виникнення шумів та їх вплив на сигнал ортогонального частотно-розділеного мультиплексування OFDM як за своїми фізичними параметрами, так і з врахуванням часу дії, що дозволяє оцінити як завадостійкість системи передачі, так і загальні проблеми забезпечення передачі інформації.

3. Результати моделювання, а також експериментального опрацювання результатів застосування пристроїв PLC стандарту дозволило оцінити технічні показники, в міру застосування наявного технічного обладнання. Проведене теоретичне моделювання підтвердило теоретичні засади, що покладено у основу роботи.

В цілому дипломна робота магістра Бажури Максима Олеговича на тему "Технологія передачі сигналів мережею електроживлення" повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт магістра та заслуговує на оцінку "відмінно", а її автор – на присвоєння кваліфікаційного рівня магістра зі спеціальності 172 – "Телекомунікації та радіотехніка".

Рецензент:

д.т.н., проф., зав.каф. АКІТ



Мартинюк В. В.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ ПО КАФЕДРИ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
 ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Технологія передачі сигналів мережею електроживлення

Автор: Важура Микенм Олегович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Спеціальна програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: к.т.н., доц. Пивовар Олег Сергійович

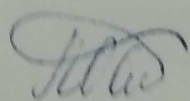
Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самотійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнуті. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 2,53% виявлені в роботі містять посилання на відповідні джерела літератури, що використані в роботі. Результати досліджень не містять запозичень. Висновки по роботі є унікальними та також не містять запозичень. Робота приймається до захисту.

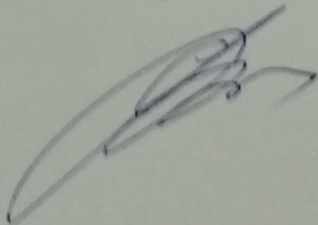
02.12.2020 р.

Науковий керівник роботи:



О.С. Пивовар

Зав. каф. ТМІТ



С.К. Підченко