

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2022 р.

**ДИПЛОМНА
(КВАЛІФІКАЦІЙНА) РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Телекомунікаційна мережа на базі технології Power Line Communications» .

Виконавець: _____ Андрій МИРОШНИЧЕНКО
(підпис)

Керівник: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи

Мирошніченка Андрія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної (кваліфікаційної) роботи: «Телекомунікаційна мережа на базі технології Power Line Communications»

затверджена наказом ректора від «25» квітня 2022 р. №433/ст

2. Термін виконання роботи: з 23.05.2022 р. по 17.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: існуюча телекомунікаційна мережа села

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз технології Power Line Communications, огляд пропозицій ведучих постачальників обладнання професіональних систем PLC класу

In-Door, побудова мережі та розрахунок навантаження

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft PowerPoint

-

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів дипломної (кваліфікаційної) роботи	23.05.2022- 25.05.2022	Виконано
2	Вступ	25.05.2022	Виконано
3	Написання першого розділу	26.05.2022- 29.05.2022	Виконано
4	Написання другого розділу	30.05.2022- 02.06.2022	Виконано
5	Написання третього розділу	03.06.2022- 08.06.2022	Виконано
6	Усунення недоліків та захист дипломної роботи	09.06.2022- 17.06.2022	Виконано

7. Дата видачі завдання: “20” травня 2022 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис керівника)

Денис БАХТІЯРОВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Андрій МИРОШНИЧЕНКО

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота «Телекомунікаційна мережа на базі технології Power Line Communications» містить 51 сторінку, 21 рисунок, 3 таблиці, 20 використаних джерел.

POWER LINE COMMUNICATIONS, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, ІНТЕРНЕТ, ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ.

Мета дипломної роботи: розробити широкосмугову мережу PLC; дослідити важливі характеристики, а також середовище, для передачі через електричні мережі та продемонструвати технічні рішення для реалізації широкосмугових систем PLC на прикладі невеликого мережі невеликого села..

Об'єктом дослідження – є передача інформації за допомогою мереж електропостачання.

Предметом дослідження – є широкосмугова мережа PLC.

Практичне значення отриманих результатів.

Проєкт широкосмугової мережі PLC може знайти практичне використання при розгортанні телекомунікаційних мереж на місцевості, що не має заздалегідь прокладених телекомунікаційних кабелів.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ POWER LINE COMMUNICATIONS	10
1.1. Технологія PLC.....	10
1.2. Технологічні причини застосування PLC-рішень	15
1.3. Огляд технологій широкосмугового абонентського доступу на основі PLC	15
1.4. PLC та коаксіальні мережі	18
1.5. Технології та стандарти.....	20
1.6. Проблеми розвитку технології PLC	22
1.7. Переваги та недоліки технології PLC	24
1.8. Постачальники обладнання.....	25
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПРОПОЗИЦІЙ ВЕДУЧИХ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ОБЛАДНАННЯ	26
ПРОФЕСІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ PLC КЛАСУ IN-DOOR.....	26
2.1. Варіанти виконання PLC-мереж.....	26
2.2. Можливі варіанти архітектури мереж технології PLC	30
2.3. Точка-точка.....	30
2.4. Точка-багатоточка.....	31
2.5. Множинна точка-багатоточка.....	32
РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕННЯ.....	34
3.1. Устаткування, що використовується для організації цієї мережі	35
3.2. Пристрій інжекції.....	39
3.3. Клієнтські модеми.....	39
3.4. Розрахунок навантаження	41
3.5. Міжміське навантаження	45
3.6. Міжнародне навантаження	46
3.7. Навантаження на інформаційну мережу «Інтернет».....	46

3.8. Розрахунок кількості трактів	46
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЛОМ – Локально-обчислювальна мережа. LAN

– Local Area Network.

PLC – Power Line Communications.

WAN – Wide Area Network.

ПЗ – Програмне забезпечення.

БФП – багатофункціональний пристрій. Wifi

– Wireless Fidelity.

БД – база даних.

OSI – Open Systems Interconnection Basic Reference Model.

MTBF – Mean time between failures.

QoS – Quality of service.

PoE – Power over Ethernet.

ЕМІ – електромагнітний імпульс.

ВСТУП

Мережі доступу реалізують взаємозв'язок клієнтів/абонентів до мереж загального зв'язку. Вони дозволяють великій кількості абонентів користуватися різними телекомунікаційними послугами. Однак витрати на реалізацію, встановлення та обслуговування мереж доступу дуже високі, часто становлять понад 50% інвестицій в мережу. Тому провайдери мереж намагаються реалізувати мережу

доступу за якомога нижчою ціною, щоб підвищити свою конкурентоспроможність на дерегульованому телекомунікаційному ринку [1].

У більшості випадків мережі доступу досі є власністю провідних мережевих провайдерів (наприклад, колишніх телефонних компаній-монополістів). Через це нові провайдери мереж намагаються знайти рішення для реалізації власних мереж доступу. Перспективну можливість для реалізації мереж доступу пропонує технологія Power Line Communications (PLC). Технологія Power Line Communications дозволяє використовувати мережі електропостачання для цілей зв'язку, а сьогодні також організувати широкосмуговий зв'язок. Основною ідеєю PLC є зниження експлуатаційних витрат і витрат на реалізацію нових телекомунікаційних мереж. Використання електричних мереж для телекомунікацій також відоме з початку ХХ століття. Таким чином, високо-, середньо- та низьковольтні мережі живлення використовувалися для внутрішніх комунікацій електричних мереж та для виконання завдань дистанційного вимірювання та контролю [1-20].

PLC також використовується у внутрішніх електричних установках у будинках (так званий PLC у домі) для різних комунікаційних застосувань. Загалом, ми можемо розділити системи PLC на дві групи: вузькосмугові PLC, що надають комунікаційні послуги з відносно низькою швидкістю передачі даних (до 100 кбіт/с) і забезпечують реалізацію різноманітних програм автоматизації та керування, а також декілька голосових каналів, і широкосмугові системи PLC, що дозволяють передавати дані. швидкість понад 3000 Мбіт/с і, відповідно, паралельна реалізація ряду типових телекомунікаційних послуг, таких як телефонія та доступ до Інтернету [7].

Широкосмуговий PLC в низьковольтних мережах живлення здається економічно ефективним рішенням для мереж зв'язку «останньої милі», так званих мереж доступу PLC. Нині існує багато заходів, пов'язаних з розробкою та застосуванням технології PLC у зоні доступу. Таким чином, ми знаходимо низку виробників, які пропонують продукти PLC, які забезпечують швидкість передачі даних від 1000 до 2000 Мбіт/с, і анонують нові системи PLC зі швидкістю передачі даних до 3000 Мбіт/с і більше.

У всьому світі також проводяться численні польові випробування PLC, а також декілька мереж доступу PLC, які використовуються в комерційних цілях. Таким чином, технологія PLC зараз перебуває на дуже важливому етапі розвитку, який визначить її майбутнє, сфери застосування та її проникнення у світ телекомунікацій у конкуренції з іншими широкосмуговими технологіями.

Через відсутність стандартів і, зрозуміло, детальну публікацію чутливих дослідницьких матеріалів виробниками PLC, в літературі дуже мало інформації про широкосмугові системи та мережі PLC. З іншого боку, є багато публікацій, що описують загальні теми, що стосуються PLC, але без технічного змісту або з дуже невеликим вмістом. Тому необхідно дослідити більш глибоко широкосмугові мережі PLC, що включає як загальну інформацію про технологію PLC, так і технічні деталі, важливі для реалізації систем PLC [1-20].

Мета дипломної роботи: розробити широкосмугову мережу PLC; дослідити важливі характеристики, а також середовище, для передачі через електричні мережі та продемонструвати технічні рішення для реалізації широкосмугових систем PLC на прикладі невеликого мережі невеликого села.

Об'єктом дослідження – є передача інформації за допомогою мереж електропостачання.

Предметом дослідження – є широкосмугова мережа PLC.

Практичне значення отриманих результатів.

Проект широкосмугової мережі PLC може знайти практичне використання при розгортанні телекомунікаційних мереж на місцевості, що не має заздалегідь прокладених телекомунікаційних кабелів.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2022 р.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ POWER LINE COMMUNICATIONS

1.1. Технологія PLC

Технологія PLC (Power Line Communications), також звана PLT (Power Line Telecommunications), є провідною технологією, спрямованою на використання кабельної інфраструктури силових електромереж для організації високошвидкісної передачі даних та голосу. Залежно від швидкості передачі поділяється на широкосмугову (BPL) зі швидкістю понад 1000 Мбіт/с та вузькосмугову (NPL) [1].

Системи управління та прогнозу стають все більш інтелектуальними та розгалуженими, вимагаючи все більшу пропускну здатність каналів зв'язку. Останнім часом поширення отримують нові види інформаційного обміну, що застосовуються в пристосуваннях сімейної автоматики, комп'ютерних мережах невеликих кабінетів, в розподілених системах охоронної, пожежної та іншої сигналізації, які ще потребують освіченої інфраструктури мережі та інтелектуальних засобів взаємодії.

В даний час створено і експлуатується безліч швидкісних магістральних інформаційних мереж, але можливість включення до них кінцевих покупців часом все ще залишається проблематичною. Більшість включень здійснюється шляхом прокладання кабелю від швидкісної лінії до кабінету або квартири користувача. У силу низки причин набивання кабелю може виявитися дуже непотрібною або навіть неможливою. Наприклад, напевно, відбувається у випадку невеликих компаній, що часто змінюють орендовані будівлі. Оскільки необхідність включення до Інтернету стала обов'язковою часткою ведення комерції багатьох компаній, дуже цікава можливість використовувати вже наявну в будь-якій будівлі проводку.

При цьому кожна електрична розетка може бути точкою включення до масової мережі - знадобиться тільки PLC-модем. Електричні мережі поділяються на 3 класи: високовольтні (100 кв. і більше), лінії середньої напруги (4...50 кв.) і низьковольтні (по 0,4 кв.) [1].

Конструкція мереж енергопостачання та галузі впровадження PLC-технології наведено на рис 1.1.

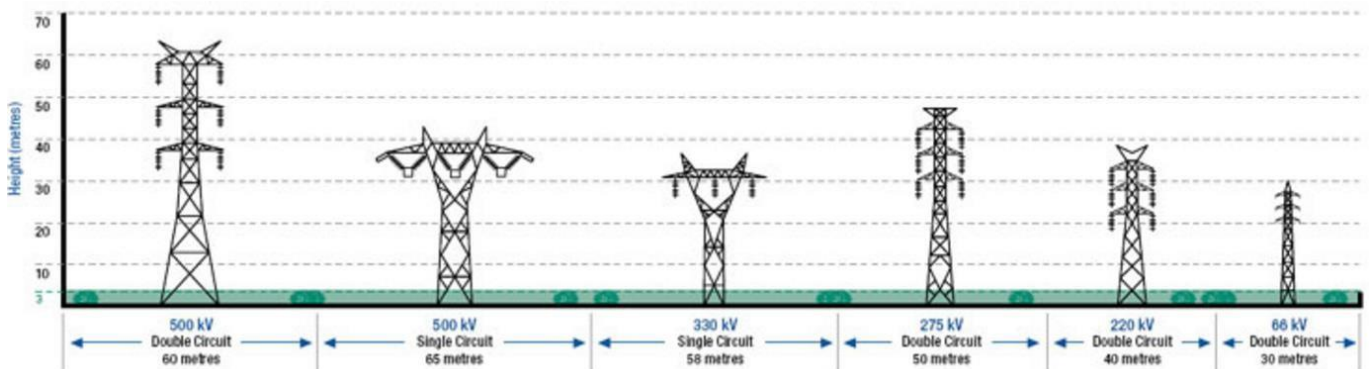


Рис. 1.1. Конструкція мереж електропередач та способи впровадження PLCтехнології

PLC-технологія розкриває нові можливості реалізації концепції «розумного будинку», в якому вся домашня електроніка з'єднана в єдину інформаційну мережу з ймовірністю централізованого управління. Електрична мережа - ідеальне середовище передачі правлячих сигналів між домашніми пристроями, що працюють від мережі 110/220 В. Вбудовані в різні прилади спеціалізовані мікросхеми можуть забезпечити можливість прийому/передачі даних через електромережу, а також обмін даними через Інтернет, що створюється для пристроїв: веб-пилососа, веб-морозильника, вебпральної машинки і т.д. (Інше питання, для чого і кому, напевно, потрібно). Крім того, можна також здійснити передачу даних вимірювачів охоронної сигналізації, аудіоданих, збільшити і подовжити телефонні лінії і т.д. [2]. PLC-технологія може знайти використання в розподілених системах управління та обліку в цехах; у системах життєзабезпечення з будівель (ліфтах, системах кондиціонування та вентиляції тощо); системах складського збереження; засобів обліку споживання електрики, води, газу, тепла; системах охоронної та пожежної сигналізації у заміських містечках, гаражних кооперативах тощо. Майже інформаційну мережу можна розгорнути на будь-якій ділянці, де вже є лінії електропостачання. PLC-розробка

може успішно використовуватися в засобах сімейної автоматики для управління домашніми пристроями.

Широке використання PLC логічно в країнах з економікою, що розвивається, які зазвичай не мають розгорнутої телефонної або радіозв'язкової інфраструктури. Єдине середовище взаємозв'язку досягає кожного покупця електричної енергії, – електричний мережний провід, в такий спосіб використання PLC для взаємозв'язку з електровимірювальними пристроями найбільш нормально.

Тестування широкопasmового доступу в Інтернет через електромережу було запущено в Шотландії. Ця ініціатива належить електроенергетичній компанії Scottish Hydro Electronics [2].

Невисока ціна доступу до Інтернету забезпечує хорошу конкурентоспроможність, але якість часом викликає нарікання потенційних та справжніх абонентів.

У технології «крайньої милі» є одна загальна вада – всі вони вимагають прокладання проводів і кабелів. Напевно, викликає конкретні проблеми – дуже часто вартість прокладки кабелю становить більшу частину вартості мережі. При цьому часто з'являється ситуація коли, несподівано з'ясовується, що потрібно прокласти додаткові дроти для комп'ютерних мереж.

Тому особливий інтерес завжди викликали технології, які дозволяли обійтися без прокладання нових кабелів.

На даний момент існує 2 успішні підходи до цієї проблеми – це бездротові мережі Wi-Fi та технології PLC. Технології PLC дозволяють побудувати комп'ютерні локальні мережі з урахуванням існуючих рядів електропередач. Так, використовуючи технології PLC, ви можете побудувати невелику домашню локальну мережу, використовуючи ту електричну проводку, яка вже прокладена [2-4].

PLC - порівняно нова телекомунікаційна технологія, по суті, рід технологій взаємозв'язку, заснованих на використанні середовища для швидкісного обміну

інформацією силові електромережі. PLC - типізований термін, що включає всі можливі варіанти передачі даних по електричній мережі.

Заслуги PLC-технології обумовлені появою відповідної елементної бази, зокрема сигнальних процесорів, з допомогою яких було створено складні способи модуляції сигналу, що і дозволило, зрештою, збільшити автентичність передачі інформації. Як кандидатури конкурентів PLC-технології та електричним проводам можна назвати технологію xDSL, бездротовий доступ (Wi-Fi), супутникову асоціацію та ін, а також коаксіальні телевізійні та оптоволоконні кабелі. При виборі технології характеризуючу роль грає причина економічності - засоби взаємозв'язку повинні бути дешевими і скрізь де можна легкодоступними [3-9, 12]. У таблиці 1.1. наведено порівняльні властивості технічних параметрів наявних провідних технологій.

Таблиця 1.1

Основні параметри дротових технологій

	HFC	ADSL	VDSL	ADSL 2+	PLC	FTTH
Діапазон робочих частот, МГц (смуга частот / канал. / МГц / канал)	5 ... 1000 (6 ... 8)	До 1.1		До 2.2	1 ... 30	1000
Пропускна спроможність Мбіт / с (відстань, км)	США: 3 ... 4. Канада: до 10. Великобританія: 1 ... 8. Франція: до 100.	1.5 (5,4) ... 12 (0,3)	1.3 (1,3) ... 52 (0,3)	7.5 (2,7) ... 26 (0,3)	3 Гбіт пікова для вузла мережі 2 ... 4	1 Гбіт / канал
Максимальна відстань, км	100 (з використанням підсилювачів)	5.4	1.3	2.7	3 (10 ... 50 кВ): 0.2 (0,22 ... 0,38 кВ)	20
Параметри розгортання	Великі витрати при створенні мережі	При наявності точок підключення			Не потребує прокладки кабелю	Великі складнощі прокладки кабелю
Переваги	Можна використовувати існуючі мережі кабельного ТБ	Можливість використовувати вже існуючих точок підключення			Наявність розгалуженої інфраструктури	Дуже широкий діапазон частот
Недоліки	Обмежена пропускна спроможність	Швидкість залежить від відстані. Асиметричність.			Відсутність єдиного стандарту	Затрати при створенні мережі

Успіх технології PLC полягає в тому, що якщо вибрати такий метод модуляції, який міг би забезпечити більш швидкісну передачу даних, і сучасний засіб зв'язку готовий. Особлива роль приділяється процесору цифрової обробки сигналів.

Процесор цифрової обробки сигналів (digital signal processor - DSP) - це спеціалізований програмований мікропроцесор, призначений для маніпулювання в реальному масштабі часу потоком цифрових даних. DSP-процесори широко використовуються для обробки потоків графічної інформації, аудіо та відеосигналів.

Отже, розвиток PLC-технологій впирався у темпи розвитку DSP процесорів, і щойно стали справлятися з просунутими алгоритмами ефективною модуляції, виникли нові технології організації таких мереж. На цей момент у PLC-технологіях

використовується OFDM-модуляція, яка дозволяє досягати великої швидкості передачі даних та хорошої стійкості сигналу до перешкод [7].

1.2. Технологічні причини застосування PLC-рішень

При побудові мереж доступу великою мірою залежить успіх бізнесу операторів зв'язку, і навіть ефективного функціонування відомчих і корпоративних мереж зв'язку. «На масовому ринку абонентського доступу сьогодні найбільш затребуваною вважається технологія xDSL, яка забезпечує користувачам доступ до мережі Інтернет, друку та інших інфокомунікаційних телефонних ліній. Певну частку в сегменті істинно займають також такі технології як широкопasmовий бездротовий доступ і супутниковий доступ, доступ по мережах телебачення, пакетна передача у мережах зв'язку мережах стільникової 3G-5G. Такі фактори, як поширеність електричних мереж 0,2 0,4 кВ відсутність необхідності дорожнього будівництва кабельної інфраструктури та прокладання кабелів комунікацій сприяє дослідженню силових мереж як альтернативного середовища передачі даних та розвиток чергової технології широкопasmового доступу PLC. На даний час максимальна швидкість передачі даних мереж PLC становлять 100-140 Мб/с [6]. Однак останні досягнення в галузі мікроелектроніки дозволили створити PLC-системи третього покоління, які забезпечують швидкість передачі даних до 300 Мб/с при використанні стандартних ліній електропередачі, відкриваючи нові можливості для впровадження широкопasmового доступу.

1.3. Огляд технологій широкопasmового абонентського доступу на основі PLC

Особливий ентузіазм викликає ймовірність загального застосування PLC технології з іншими технологіями широкопasmового підключення для передачі даних, наприклад, PLC + WiMAX, PLC + WLAN, PLC + Satellite, PLC + 3-4G та ін [7].

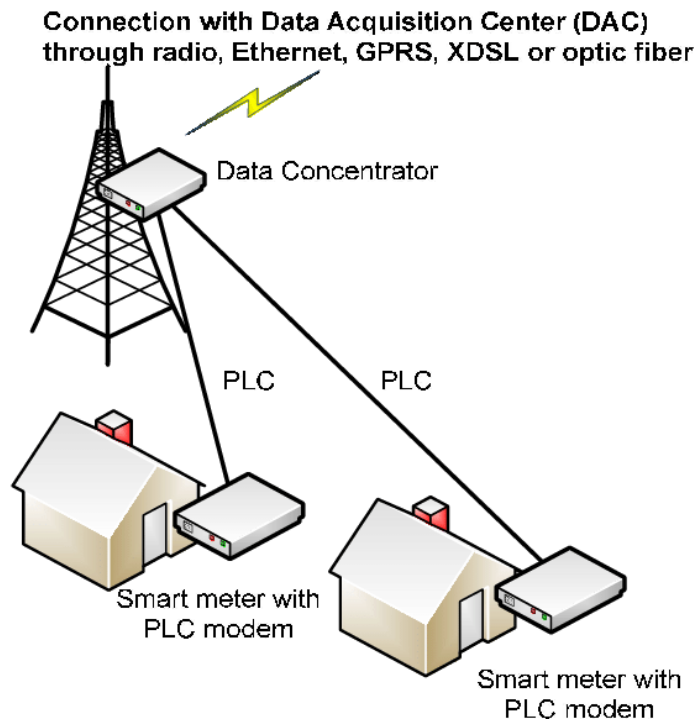


Рис. 1.2. Приклад використання комбінованої технології PLC

Сучасні PLC-системи, орієнтовані рішення широкопasmового абонентського доступу, переважно використовують дві технології. Перший сигнал застосовується так званий (spread spectrum - SS), що значно підвищує імунітет передачі. Використання SS-модуляції збільшує потужність сигналу з розподілом ширшої смуги пропускання, що робить сигнал непомітним на тлі шумів. На приймальній стороні важлива інформація відділяється з шумоподібного сигналу за допомогою унікальної частини псевдовипадкової послідовності коду сигналу. За допомогою різних кодів, якими можна надсилати кілька повідомлень у широкому діапазоні частот. Описаний принцип лежить в основі методу множинного доступу з кодовим поділом каналів (CDMA). Зверніть увагу, що на додаток імунітет SS-модуляції забезпечує високий рівень захисту даних. Як базовий використовується QPSK-модульований сигнал. Друга технологія заснована orthogonal frequency division multiplexing з одночасної передачі сигналів multicarrier (OFDM-Orthogonal Frequency Division Multiplex). Цей метод також гарантує високу надійність та стійкість до спотворення сигналу [8].

Подальший розвиток отримав другий варіант, який пропонує компанія американської фірми Intllon. Тут застосовується змінений OFDM сигнал, при якому вихідний потік даних розбивається на пакети і передачу їх будь-якої з діапазонів частот 4.3-20.9 МГц за допомогою відносної фазової модуляції у власній колірній піднесучій (DBPSK або DQPSK – Diffrential Quadrature PhaseShift Keying). Максимальна швидкість передачі інформації досягає сотень Мбіт/с. PLC-технологія реалізує принцип множинного доступу "точка - безліч точок". Місцеві трансформаторні підстанції постачають певну кількість будівель з електрикою і одночасно надають користувачам послуги передачі даних, IP-телефонії та ін. Основне кінцеве обладнання – PLC-модем, який, як правило, реалізує інтерфейс зв'язку з комп'ютером: USB, або - Ethernet. Таким чином, модем підключається до джерела інформації - розетки 220В, і вихід на відповідний інтерфейс до комп'ютера. Можливо, що комп'ютер підключено паралельно до телефону, який підтримує режим VoIP [8, 11, 14].

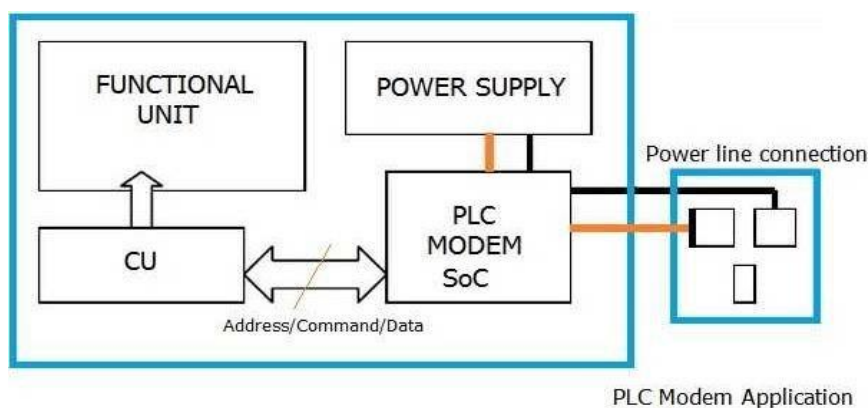


Рис. 1.3. Компоненти PLC-модему

На відміну від DSL-підключення через домашню мережу, технологія дозволяє набагато більшій кількості людей мати широкопasmовий доступ в Інтернет. Технологія PLC - найдешевший спосіб створення домашньої мережі, що не вимагає від користувача установки додаткових кабелів і дозволяє підключити до мережі PLC жителів цілого блоку. Один майстер-пристрій може надати доступ до інтернету через

мережу PLC для 500 користувачів. Для цього користувачі повинні мати у своїх квартирах адаптер пристрою, що містять PLC-модеми. Звичайно, найуспішніші проекти для надання послуг широкосмугового доступу по електромережі реалізовані у США - батьківщині Інтернет. PLC пропонують компанії у Німеччині, Австрії, Швеції, Нідерландах.

1.4. PLC та коаксіальні мережі

Незважаючи на те, що обладнання, призначене для експлуатації програмного забезпечення через силової електропроводки PLC, через фізичні причини, коаксіальні з'єднання відіграють також дуже важливу роль. Коаксіальний кабель є найкращим засобом для PLC передачі даних сигналу. Тому весь опис модулів головних станцій лінії дупу з коаксіальними виходами. Особливість PLC модемів з коаксіальними виходами - повна Сумісність із сучасними мережами кабельного телебачення. Також можемо сказати, що коаксіальний PLC є привабливим рішенням для розгортання невеликих мереж кабельного телебачення в багатоповерховій будівлі, в умовах, коли DOCSIS розгортання не рентабельне. Ще одним цікавим варіантом є застосування PLC в будівництві малих коаксіальних мереж послуг телебачення та доступу в Інтернет у сільських районах, де недостатній платоспроможний попит не дозволяє реалізувати ВОЛЗ. У більшості випадків, PLC системи класифікуються відповідно до лінії електропередачі, на яких вони використовуються. При передачі сигналів через блок живлення можуть виникнути великі згасання в функції передачі на певних частотах, що може призвести до втрати даних [9].

Power Line технологія – спеціальний метод вирішення цієї проблеми - динамічне включення та відключення сигналу (dynamically turn in go і даних carry in signals). Суть цього методу полягає в тому, що пристрій здійснює постійний моніторинг каналу передачі для визначення частини спектру у перевищенні певного порогового значення згасання. Існує також проблема імпульсних перешкод (до 1

мікросекунди), джерелами яких можуть бути галогенні лампи, а також включення та вимкнення потужних побутових приладів, оснащених електродвигунами [11]. Отже, потрібно врахувати, що встановлення з'єднання може зайняти кілька хвилин. Модемом буде визначено оптимальну швидкість передачі даних. Зв'язок між фізичною швидкістю та загасанням у смузі можна побачити на графіку (рис. 1.4.).

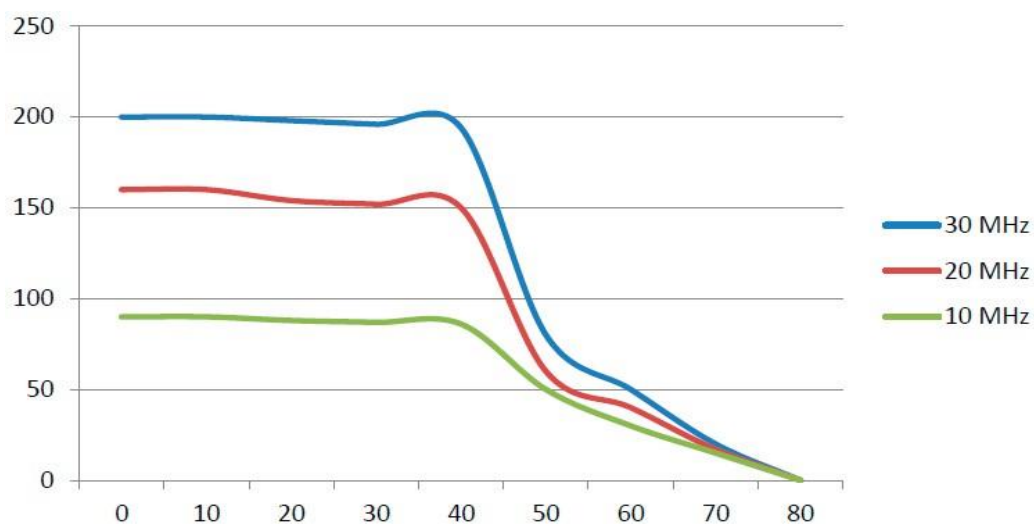


Рис. 1.4. Графік залежності загасання від швидкості

У свою чергу, між фактичною швидкістю та фізичною швидкістю передачі даних існує певний зв'язок. Не забувайте, що у фізичному середовищі PLC протокол працює у напівдуплексному режимі, так це значення розбито на дві зони, як правило, з малою асиметрією (рис. 1.5.).

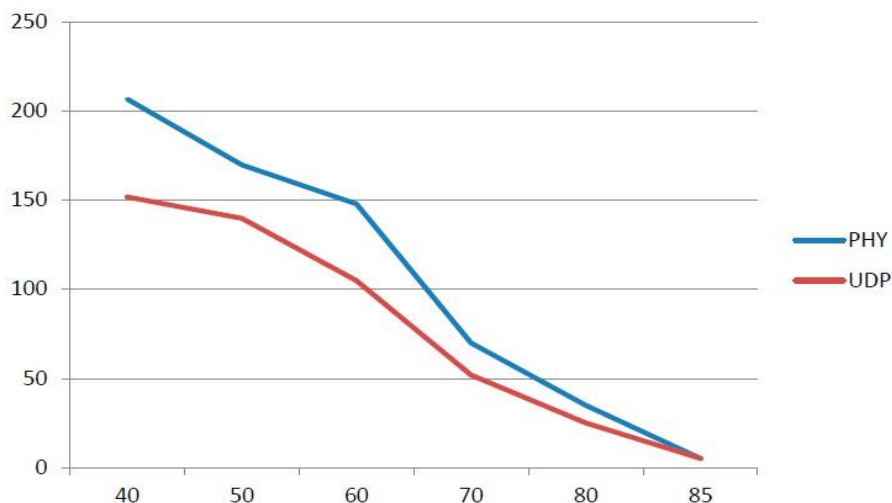


Рис. 1.5. Асиметрія швидкості та згасання

Виробники говорять про типовий діапазон мереж PLC в 300 метрів, але з-за багатьох факторів, що впливають на розповсюдження сигналу, неможливо, загалом визначити граничну відстань. Варто зазначити, що в розгалужених і неякісних рівнях електропостачання шуми дуже значні.

1.5. Технології та стандарти

Є кілька різновидів класифікації PLC-систем. По-перше, технології передачі даних за електромережами прийнято поділяти на широкосмугові (Broadband over Power Lines) і вузькосмугові (Narrowband over Power Lines). Широкополосні системи (зі швидкістю 1...300 Мб/с) орієнтовані на системи швидкісного доступу до Інтернету, на створення сімейних комп'ютерних мереж, а також на програми, що вимагають швидкісного обміну даними: потокове відео, системи відеоконференцзв'язку, цифрової телефонії і т.д. Вузькосмугові (низькошвидкісні) системи орієнтовані використання у засобах IoT, управлінням найпростішими домашніми пристроями тощо (0,1...100 Кбіт/с) [10]. Для кінцевого користувача найбільш близька класифікація за призначенням, по суті, по області застосування. Використовується також класифікація PLC-систем по виду використовуваних ліній електропередачі.

Розробка X-10 була винайдена ще 1978 р. з участю схожої фірми X-10 (www.x10.com) і призначалася для реалізації дистанційного управління найпростішими домашніми пристроями. Для передачі цифрових даних у цій технології використовується амплітудно-частотна маніпуляція. Враховується надання радіоімпульсів з частотою заповнення 120 кГц (при цьому швидкість передачі даних становить 50/60 біт/с). Така методика кодування підібрана не випадково, оскільки знижується вплив інших приладів, приєднаних до електромережі [12-13]. Сигнали кодуються наступним чином (рис. 1.6).

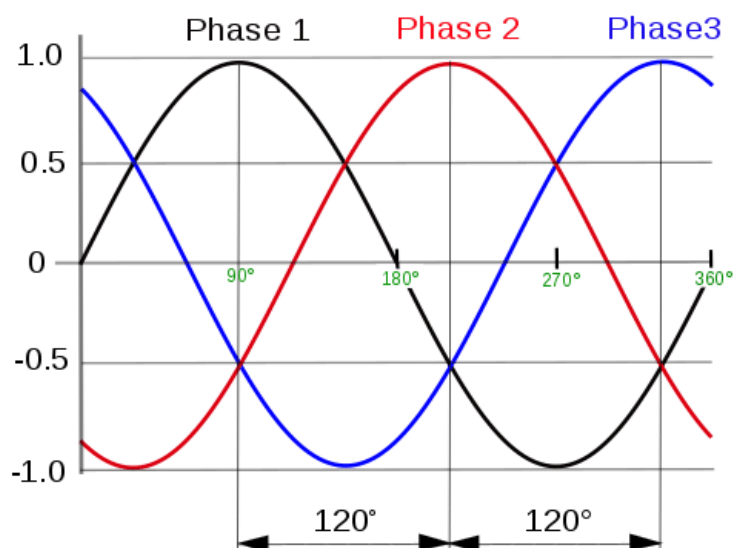


Рис. 1.6. Приклад формування сигналу для трифазної мережі

Для застосування в технології X-10 була винайдена особлива система команд управління найпростішими пристроями, що працюють від електричної мережі, - ON, OFF, DIM, BRIGHT, ALL LIGHTS ON і ALL UNITS OFF. В даний час контролери та адаптери, що використовують цю технологію для управління домашніми пристроями, випускаються майже всіма компаніями США та Європи.

Стандарт CEBus (Consumer Electronic Bus - шина споживчої електроніки) був підтверджений у вересні 1992 р. і просувається Альянсом електронної індустрії EIA (Electronic Industries Alliance), що з'єднує виробників електричного обладнання з метою вивчення одиничних електрод і багатофункціональних специфік. У стандарті CEBus враховано надання даних із використанням проводів домашньої електромережі, крученої пари чи коаксіального кабелю, а також бездротове надання в радіо – чи інфрачервоному діапазоні частот. Швидкість обміну даними не залежить від обраного середовища передачі і становить 7,5 Кбіт/с (середнє значення). У стандарті CEBus був використаний метод передачі з розширенням спектра (Spread Spectrum — SS), порекомендований і використовуваний фірмою Intellon у її перших дослідженнях [14].

Американська фірма Adaptive Networks для реалізації схожої технології вигадала комплект мікросхем для зведення PLC, що підключає ІМС AN1000 (з

середньою пропускнуою спроможністю 100 Кбіт/с), AN192 (19,2 Кбіт/с) та AN48 (4,8 Кбіт/с) . Мікросхеми AN1000/AN192 виконують передачу даних по електромережі в частотному діапазоні по 450 кГц відповідно до нормативів комісії FCC (Federal Communication Commission). Щоб задовольнити запити стереотипів, що працюють у європейських енергосистемах, у таких додатках як автоматична реєстрація показань лічильників, автоматизація та прогноз розподілених об'єктів була розроблена мікросхема AN48, розрахована на передачу даних у діапазоні 9...95 кГц [14].

Стандарт LonWorks, прийнятий інститутом ANSI (American National Standards Institute) в 1999 р., орієнтований на використання у розподілених системах автоматизації з будівель, автотранспортних мережах, системах автоматизації промислових підприємств. В якості середовища передачі в технології LonWorks передбачено використання проводки, крученої пари, коаксіального кабелю або радіоканалу. LonWorks ґрунтується на використанні технології вузькосмугової передачі даних [14].

Протокол LonTalk, що лежить в основі технології LonWorks, гарантує можливість створення мереж з практично безмежною кількістю вузлів і націлений на укладання завдань автоматизації, коли необхідні високі непорушність і швидкість передачі даних. Вузлами мережі LonWorks можуть бути датчики температури і освітленості, різні контролери систем кондиціонування/вентиляції і т.д. Протокол LonTalk включає 7 значень еталонної моделі протоколів передачі даних OSI. Прилади, створені на складі платформи LonWorks, широко використовується при управлінні промисловим обладнанням, в системах освітлення міських вулиць, системах опалення та кондиціонування повітря, інтелектуальних пристроях вимірювання та обліку електрики, системах контролю та управління ходом поїздів, системах безпеки, пожежної сигналізації та пожежі.

1.6. Проблеми розвитку технології PLC

Складність організації зв'язку за характеристиками електромережі полягає в тому, що наявні електромережі спочатку не призначалися для передачі даних. Вони відрізняються високим рівнем перешкод і великим загасанням частотного сигналу, а також тим, що параметри лінії, найчастіше постійні для стандартних фізичних середовищ передачі даних, істотно змінюються в часі в залежності від поточного навантаження.

Ще одна проблема - низька якість і старість проводки в багатоквартирних будинках старої споруди. До останнього часу в цих будинках застосовувалися алюмінієві дроти, які володіють найменшою електропровідністю в порівнянні з мідними. Крім того, скручування проводів, які часто є в домашній проводці, ще негативно впливають на розповсюдження сигналу. Тому до технології PLC краще пристосовані будівлі нової споруди, в яких найчастіше використовуються мідні дроти та інноваційні технології їх з'єднання та підключення.

На автентичність передачі дуже великий вплив здійснюють перешкоди від різних електроприладів, ламп денного освітлення тощо., що створюють перешкоди у проводах. Найбільший вплив імпульсних перешкод, що виникають при роботі електродвигунів, зварювального обладнання та НВЧ-печей.

Проте, достовірні методи кодування і шифрування даних, використовувані в передових PLC-розробках, гарантують не тільки високий рівень правдивості при передачі інформації, але і її захист від несанкціонованого доступу. Крім того, при організації взаємозв'язку має бути забезпечена електромагнітна сумісність, тобто. Необхідно зменшувати другорядні електромагнітні випромінювання у процесі передачі [15-17]. Багато в чому орієнтація PLC-технології на використання в невеликих кабінетах (Small Office / Home Office - SOHO) обумовлена не тільки простотою реалізації і мобільністю пристроїв у її складі, але й тим, що ця технологія більш ефективна тільки на ділянці т.

зв. "крайньої милі". Швидкість передачі даних грубо знижується при підвищенні відстані.

1.7. Переваги та недоліки технології PLC

До недоліків можна віднести такі фактори [16]:

- Порушення радіоприймання у приміщеннях, де працюють PLC-модеми, особливо на середніх та коротких хвилях, але на дуже невеликій відстані близько 3-5 метрів від модему.
- Пропускна спроможність мережі електропроводки ділиться між усіма учасниками. Наприклад, якщо в одній мережі дві пари адаптерів активно обмінюються інформацією, то швидкість обміну для кожної пари становитиме приблизно по 50% від загальної пропускної здатності.
- На стабільність і швидкість роботи PLC впливає якість виконання електропроводки, наявність стиків з різних матеріалів (наприклад, мідного та алюмінієвого провідника), а також кількість з'єднань провідника.
- Не працює через мережеві фільтри та ДБЖ, не обладнані спеціальними розетками "PLC RADY".
- На якість зв'язку можуть негативно впливати дешеві енергозберігаючі лампи, тиристори домерю, імпульсні блоки та зарядні пристрої. Максимальний вплив на швидкість в мережі перераховані пристрої роблять для підключення безпосередньо поблизу PLC-модема.

Переваги [16]:

- не потрібне прокладання кабелю, укладання його в короби, свердління стін та опорних конструкцій;
- Простота використання;
- швидкість монтажу;
- більш стабільний зв'язок;
- велика безпека інформації;
- Підходить для передачі Multicast-трафіка, наприклад, IPTV;

- На якість зв'язку не впливає матеріал і товщина стін у квартирі.

1.8. Постачальники обладнання

На вітчизняному ринку технологія PLC відома, перш за все, рішеннями типу «Домашня мережа з електропроводки» які представлені такими брендами як Asus, Dlink, Qlan, TP-Link. Одним із популяризаторів даних рішень виступила компанія Електриком зі слоганом «Інтернет із розетки», що довела своїм прикладом працездатність технології. У той же час, технологія PLC не обмежується тільки домашнім застосуванням, існує цікавий клас рішень, що отримав назву BPL (Broad Band pro Power Line), який призначений для операторів зв'язку та системних інтеграторів, що займаються розгортанням корпоративних мереж. У цей момент, скільки мені відомо в нашій країні найбільш помітні на цьому ринку два європейські постачальники рішень

BPL - французька компанія DfiDv і канадсько-словацька компанія Corinх.

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ПРОПОЗИЦІЙ ВЕДУЧИХ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ОБЛАДНАННЯ ПРОФЕСІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ PLC КЛАСУ IN-DOOR

2.1. Варіанти виконання PLC-мереж

На малюнку можна побачити варіанти створення мереж PLC за допомогою обладнання DfiDv.

Зовнішній варіант використання середньовольтної та низьковольтної проводки (рис. 2.1, показані варіанти з'єднання з репітерами та без репітерів).

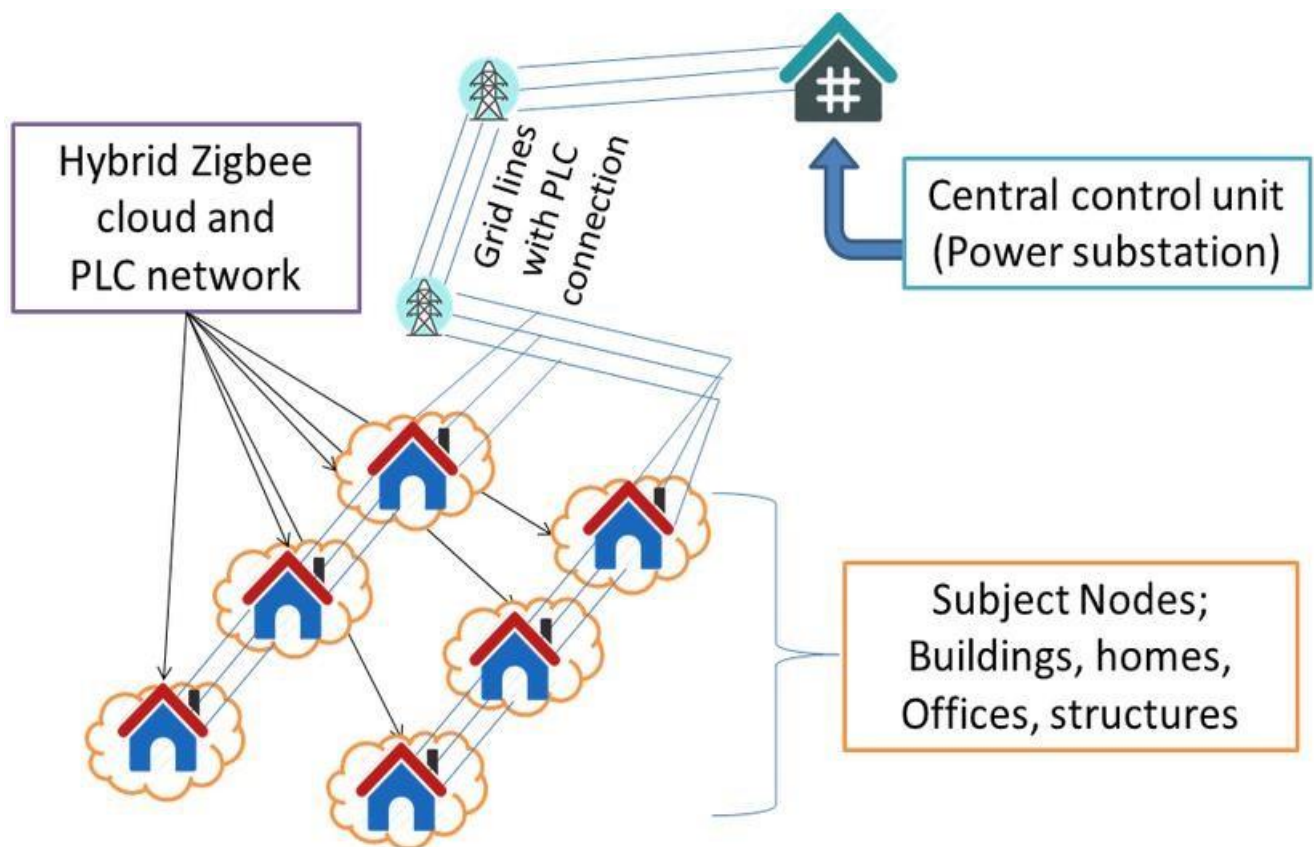


Рис. 2.1. Зовнішній варіант виконання PLC-мережі

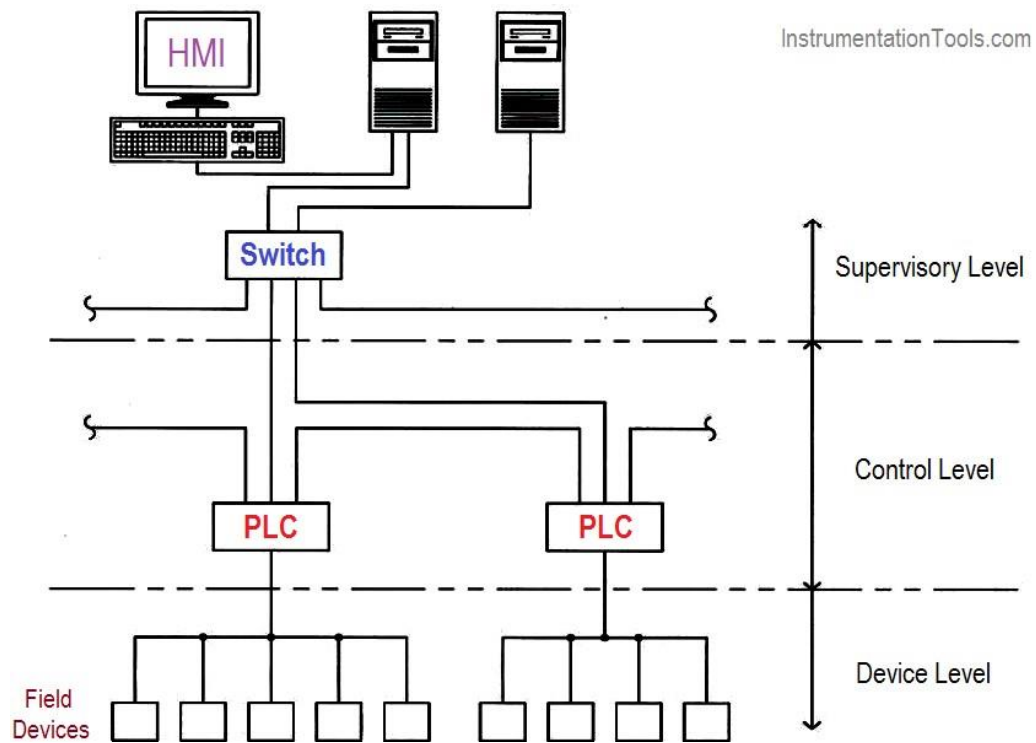


Рис. 2.2. Варіант виконання PLC-мережі всередині будівлі: організація сегменту PLC-мережі

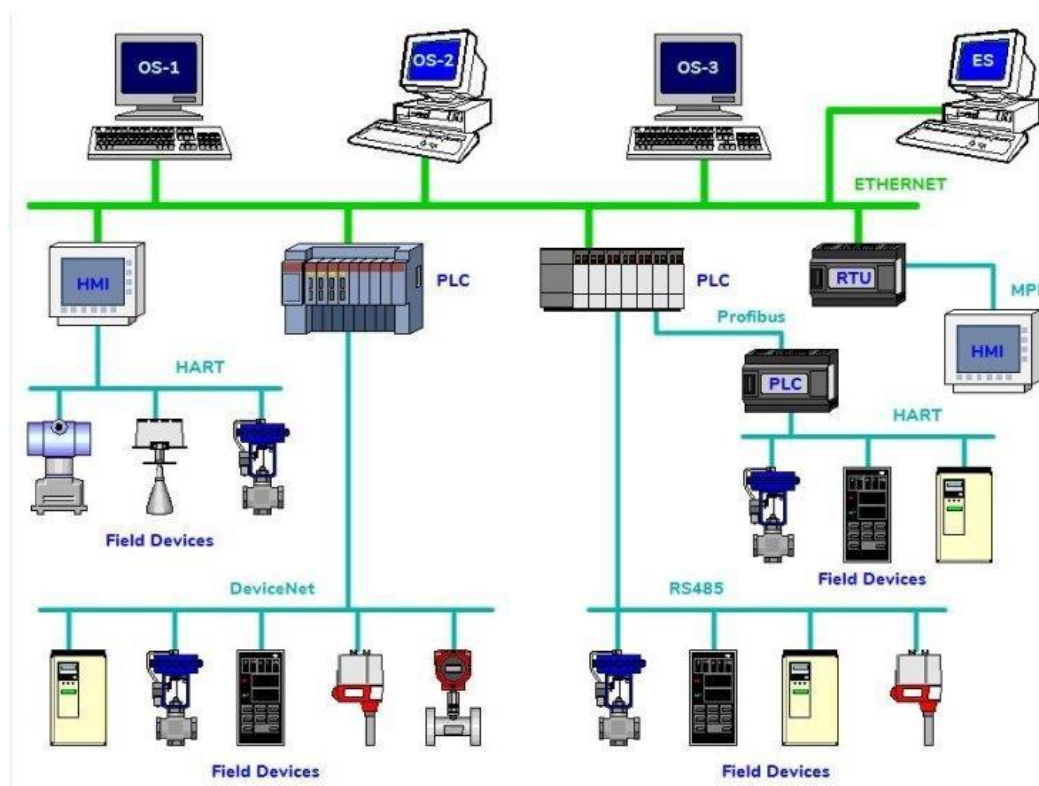


Рис. 2.3. Варіант виконання PLC-мережі всередині будівлі: багато сегментна

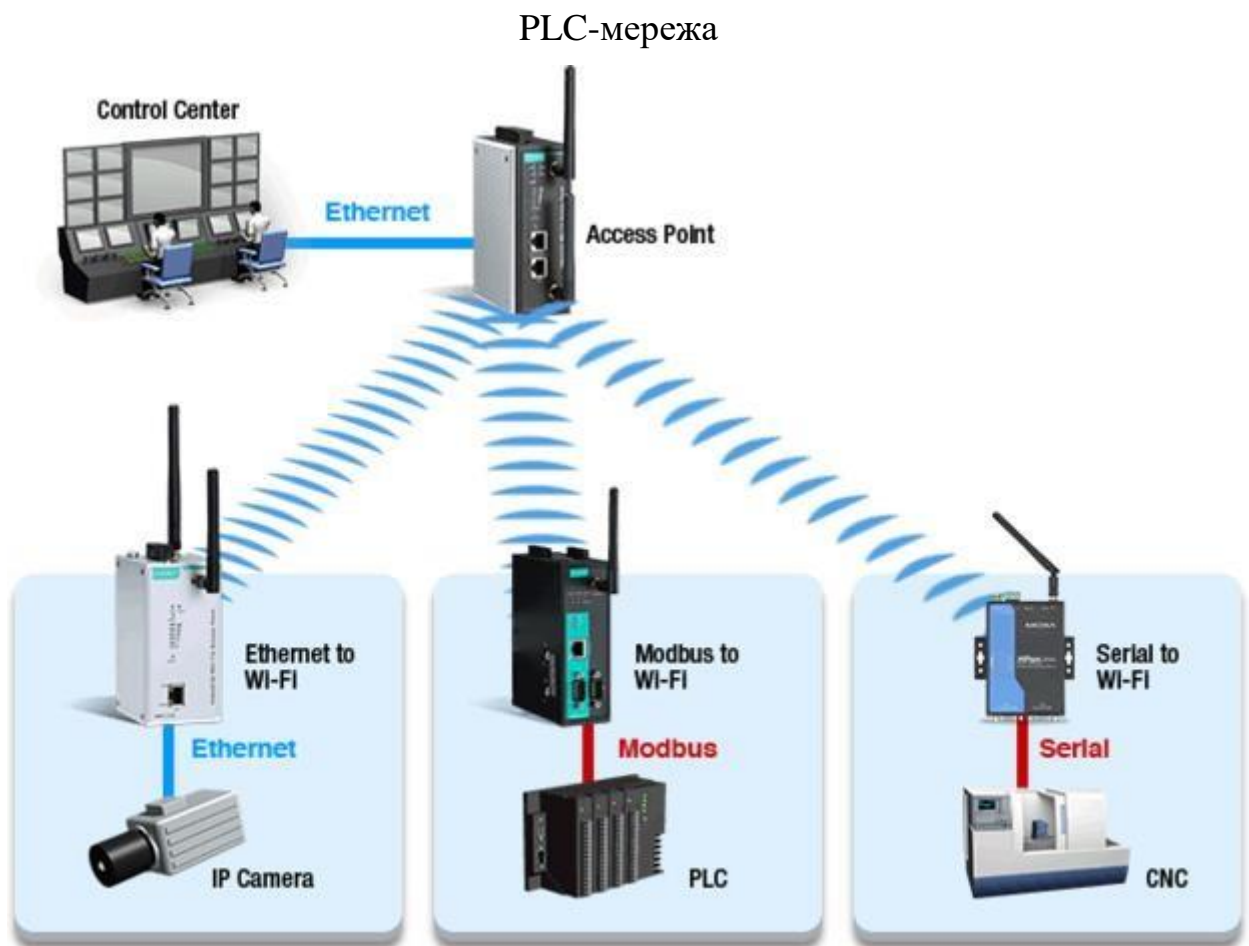


Рис. 2.4. Спільне використання PLC та бездротових технологій

Управління PLC-мережею може реалізовуватися як за допомогою власної системи керування, так і завдяки системам керування сторонніх виробників, наприклад HP OpenView.

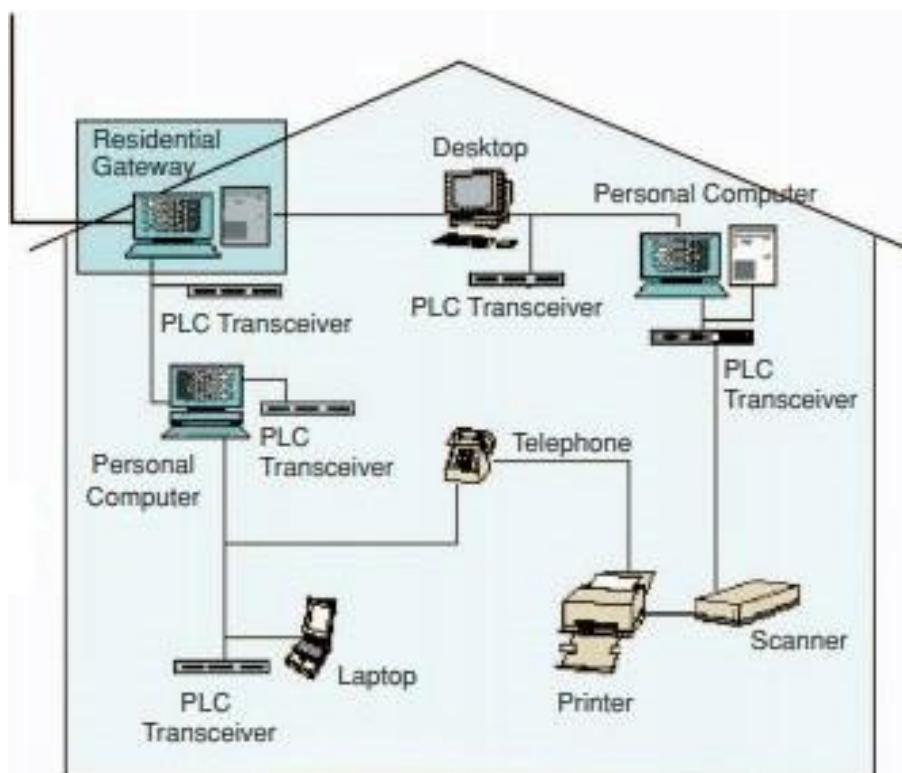


Рис. 2.5. Схема підключення корпоративних користувачів до Інтернету за технологією PLC

Склад PLC-мережі:

- Автоматизовані робочі місця користувачів (АРМ) - ПК, ноутбуки, смартфони, планшетні ПК. Крім того, може бути підключене різне обладнання, наприклад, багатофункціональні мережні пристрої, телефони/IP телефони;
- абонентські PLC-пристрої (адаптери) з інтерфейсами Ethernet (1), USB (2) або Wi-Fi (3);
- прикордонний PLC-модем із вбудованими функціями маршрутизації, автентифікації та ADSL-доступу до магістральної телекомунікаційної мережі;
- електропроводка: пристрої фазового сполучення, щити розподілу електроживлення (вторинні розподільні панелі), автомати електрозахисту (автоматичні вимикачі), електричні розетки.

2.2. Можливі варіанти архітектури мереж технології PLC

Порівняємо можливі архітектури нашої мережі (Рис. 2.6) [17].

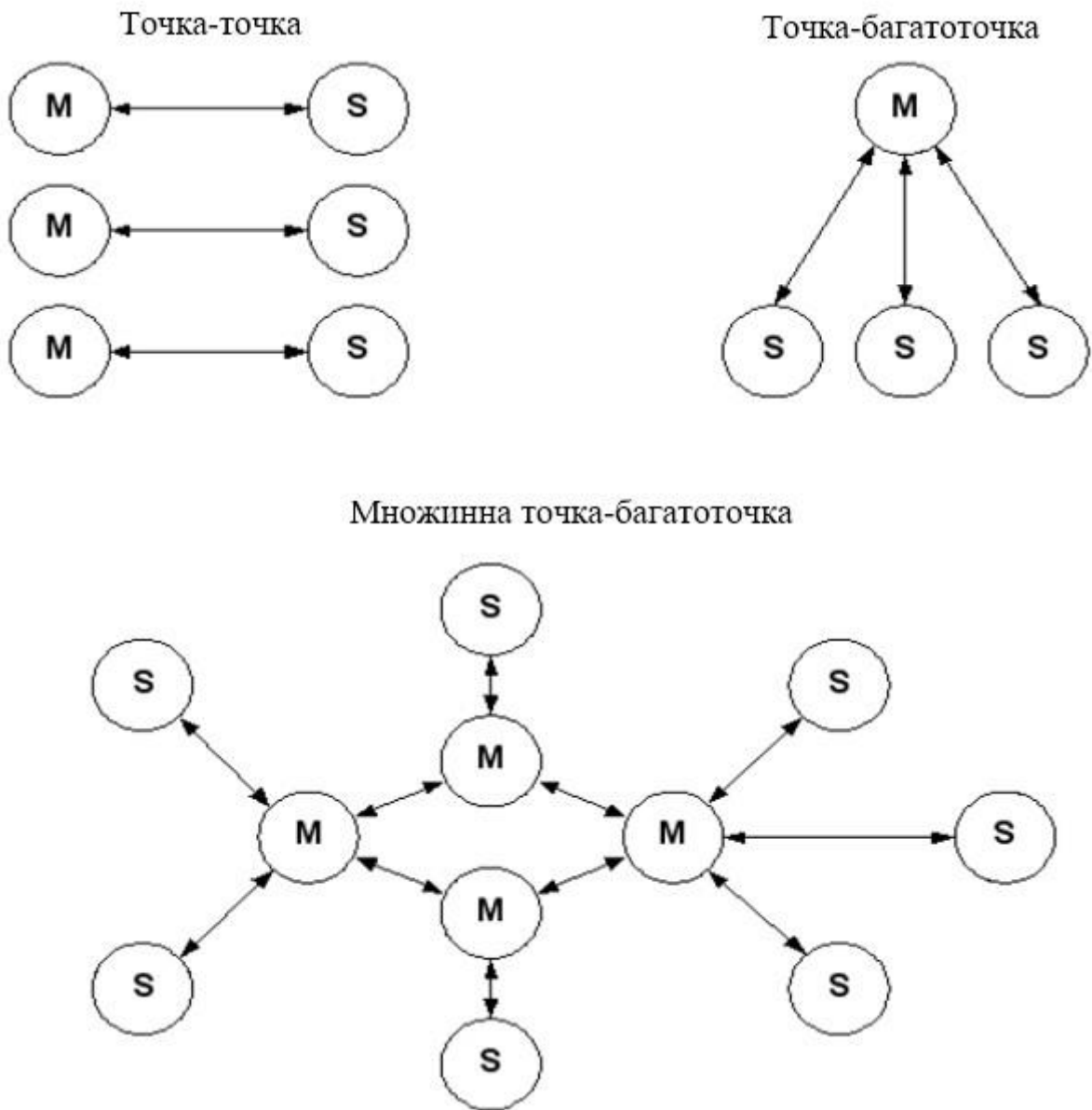


Рис. 2.6. Архітектура мережі

2.3. Точка-точка

Проста система, що, зазвичай, складається з спеціалізованих послідовних портів RS-232 зв'язку між пристроями. Мікропроцесор з обладнання, що знаходиться в експлуатації та забезпечення прозорості щодо існуючих протоколів дозволяє хостам,

які не підтримують спеціальні мережні драйвери та програмне забезпечення, підтримувати промисловий програмований логічний контролер PLC. Послідовний інтерфейс middleware отримав велику кількість високих споживчих оцінок та може бути використаним в реальних середовищах клієнта, наприклад, комерційного або промислового використання у зв'язку типу ПК-ПК, додатків або інших RS-232, що вимагають високої якості зв'язку [17].

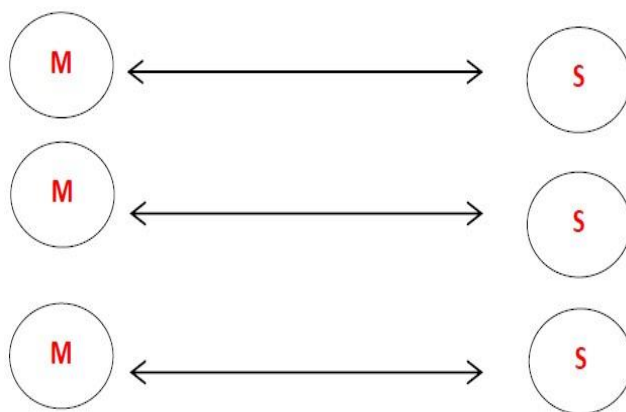


Рис. 2.7. Точка-точка

2.4. Точка-багатоточка

Множинність систем збору даних та систем управління складається з датчиків, сканерів та керованих приводів, що контролюються мікропроцесором. Мережа, що складається з сайту, майстер-пристроїв, драйверів та ПЗ, як правило, встановлюється на хост-машині (в Master node), який взаємодіє з підлеглими вузлами у визначеній послідовності. Управління підлеглими вузлами вимагає прозорості послідовних інтерфейсів на хост-машині. Ця функція надає засіб для прошивки за допомогою версії команди реагування. Відповідь командної мережі використовується одним основним осередком, відповідальним за контроль веденими пристроями [17]. Таким чином, прошивки, видаляє головоломки організації мережі PLC на верхньому рівні в хост-машинах, і контролює рівень у middleware, а не на рівні програми майстер-секції. При необхідності, цю версію прошивки можна використовувати з пакетами

звичайного формату. Ця версія підходить Prosystem з використанням архітектури "Master/Slave" Slave пристроїв і прозорості, про розвантаження вузла мережі у верхньому рівні, і дозволяє Master підтримувати протокол доступу вибору (опитування рівних Master/Slave вузлів). Цей принцип заснований на EMC-mail символах, який використовується для проведення опитування та доставки [17]. Цю версію мікропрограми, ви можете використовувати як інструменти керування закритими системами.

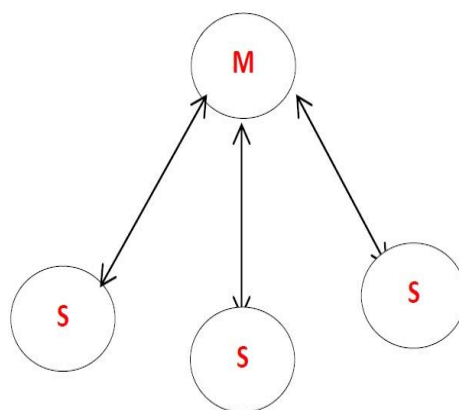


Рис. 2.8. Точка-багатоточка

2.5. Множинна точка-багатоточка

Якщо ви використовуєте команду загального призначення хост-машина зберігає повну гнучкість управління доступом символічним постачанням, налаштуванням та експлуатацією мережі в цілому. Мікропроцесорний інтерфейс хост-машини повністю відповідає вимогам протоколу та підтримує мережу мікропроцесорного контролера. Додаткова гнучкість досягається за рахунок послідовного потоку middleware та дозволяє організувати один крок і multi-step топології мережі "точка-багатоточка".

[17].

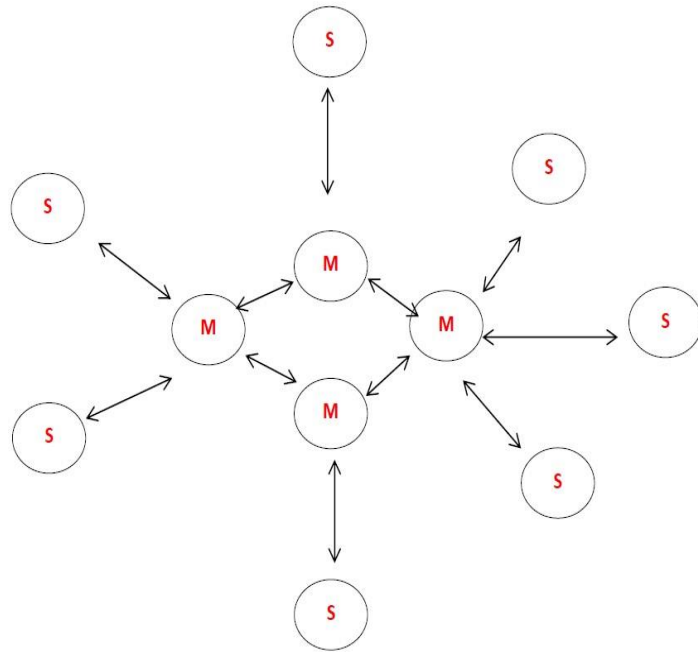


Рис. 2.9. Множинна точка-багатоточка

Для побудови цієї мережі використовується архітектура мережі точка - багатоточка. Для цього в трансформаторну підстанцію встановлюється магістральне обладнання. У будинках встановлюються Клієнтські PLC модеми (Рис. 2.10).

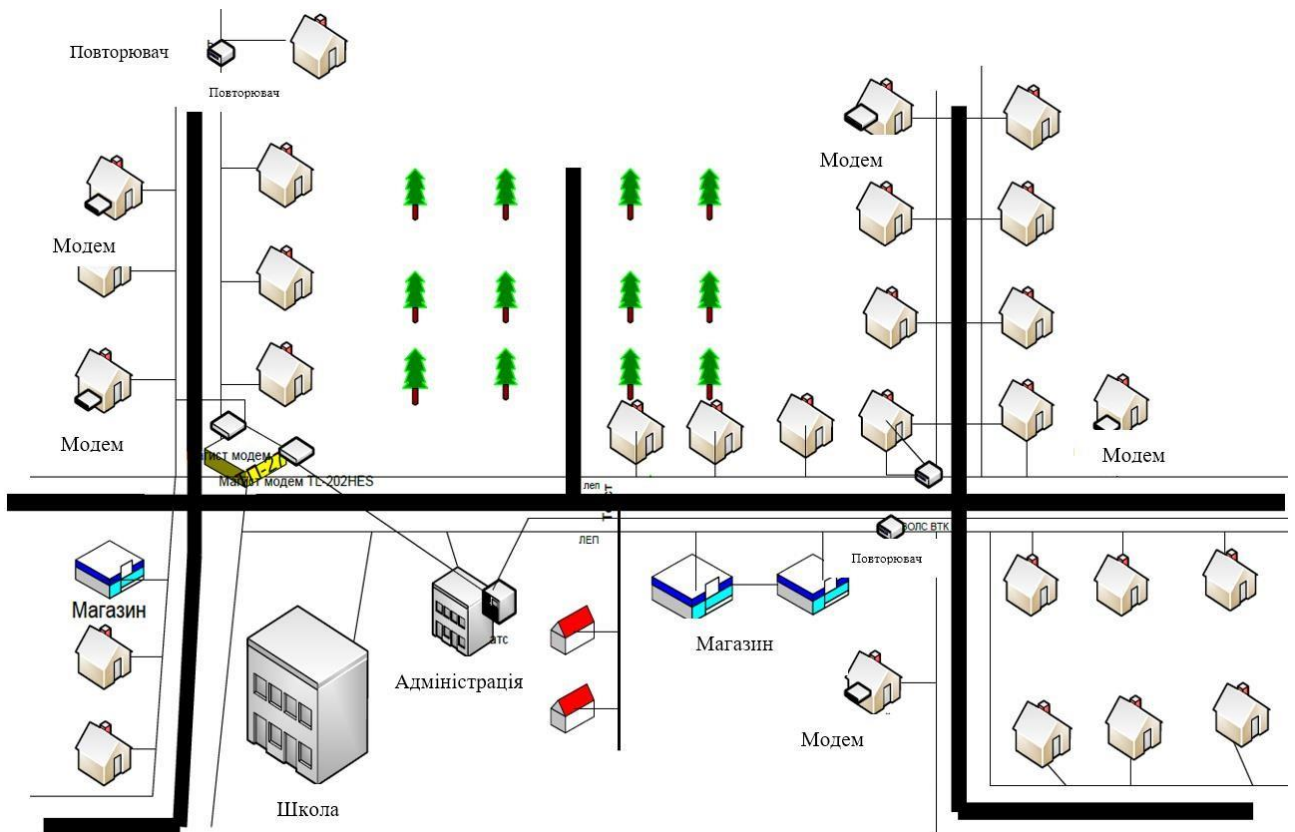


Рис. 2.10. Побудова мережі

Множинність систем збору даних та систем управління складається з датчиків, сканерів та керованих приводів, що контролюються мікропроцесором. У мережу майстер-вузол та безліч вузлів, драйвери та програмне забезпечення, як правило, встановлюється на хост-машині (на головному вузлі), який взаємодіє з набором підлеглих вузлів у визначеній послідовності. Управління підлеглими вузлами вимагає прозорості послідовного інтерфейсу хост-машини. Ця функція надає засіб для прошивки за допомогою команди реагування. Відповідь командної мережі використовується одним основним осередком, відповідальним за моніторинг мережевих пристроїв. Усі з'єднання ініціюються з головного вузла. Таким чином, прошивка, видаляє завдання організації мережі PLC на верхньому рівні в хост-машині, і контроль рівня проміжного ПЗ, а не на рівні програми головного вузла. При необхідності, цю версію прошивки можна використовувати з пакетами звичайного формату. Ця версія підходить для систем, що використовують архітектуру Master/Slave та прозорості Slave-пристрою для розвантаження вузла мережі, на верхньому рівні, і дозволяє Master підтримувати протокол доступу вибору (опитування рівних Master/Slave вузлів). На основі цього принципу характер ЕМС-mail використовується для здійснення опитування, символічної доставки. Ця версія прошивки та засоби можуть бути використані для керування замкнутими системами.

РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕННЯ

Схема мережі, за принципом якої розроблятиметься мережа в невеликому селищі, зображена на Рис. 3.1.

В селищі доступ до мережі Інтернет наявний лише в Школі для потреб навчального процесу. У зв'язку з карантинними обмеженнями спричиненими пандемією COVID-19 діти вимушені навчатись дистанційно з дому, що викликало

необхідність побудови широкосмугової телекомунікаційної мережі в межах села в найкоротший термін. В якості технології для швидкого розгортання мережі широкосмугового доступу без додаткової прокладки кабелю та залученням значних фінансових витрат була обрана технологія PLC, пропускна спроможність мережі отримана за її допомогою буде повністю задовольняти вимоги дистанційного навчання.

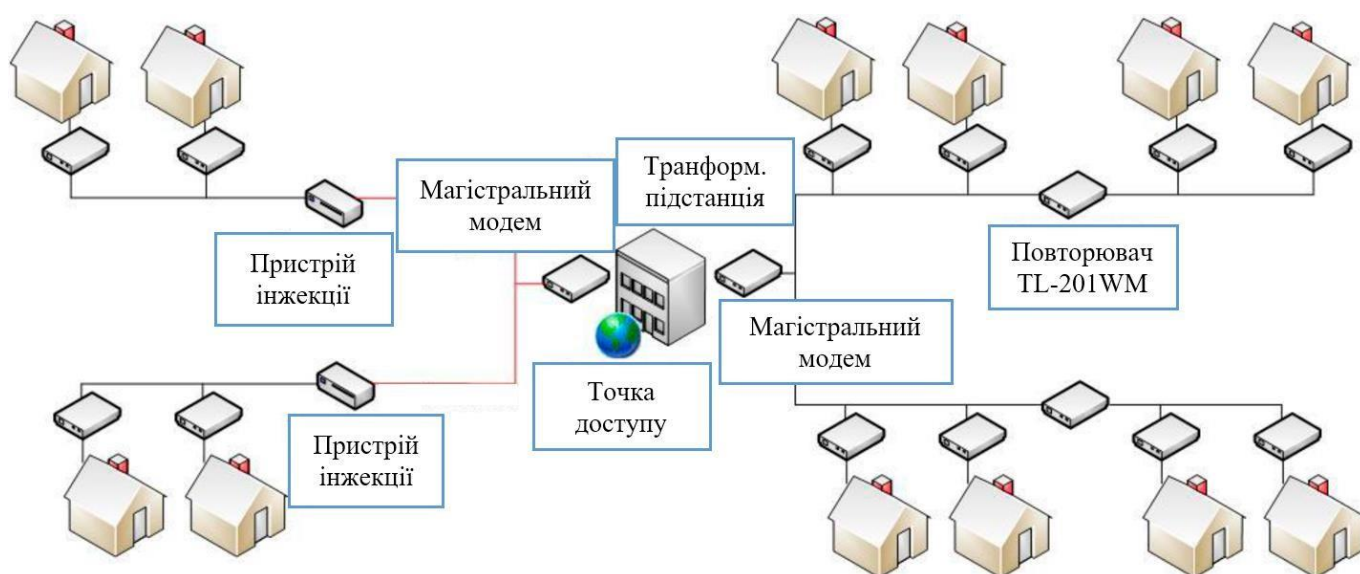


Рис. 3.1. Схема організації мережі за технологією PLC

Як ми можемо помітити, схема включає і протяжний коаксіальний кабель, і повторювач, і пристрій інжекції. А точка доступу буде розташована на Трансформаторній підстанції.

3.1. Устаткування, що використовується для організації цієї мережі

Усе PLC обладнання для розгортання мережі будинку або офісу з доступом до Інтернету поділяється на три групи. Перша – обладнання для організації "останньої милі". Майстер-пристрій встановлюється на вході в будинок (у провід живлення) або трансформаторну підстанцію - близько до кореня дерева живлення для максимального охоплення (відстань між двома точками не повинна перевищувати 300

м для першого покоління модемів і 1,5 км - для другого). Кожен майстер-пристрій підтримує кілька десятків підлеглих (Slave), у той час для організації деревоподібної структури ведений (repeater), як правило, використовує той же майстер-пристрій. Швидкість каналу сучасного обладнання PLC (300 Мб/с) – це швидкість на виході Головного пристрою. Друга група, що встановлюються в приміщенні спеціальні адаптери (модеми CPE). Модем має серію 100BaseT стандартних інтерфейсів та USB для з'єднання з ПК та аналоговий вихід для телефонного зв'язку (як правило, модем CPE)

[19].

Для побудови мережі PLC з доступом до Інтернету, в свою чергою, потребує трьох компонентів: адаптер PLC, майстер-пристрій та інтерфейс зі шлюзом (Gateway), DSLAM трансивер. Шлюз підключений до Ethernet (LAN / WAN) і в результаті транспортного середовища для головного пристрою стає Ethernet шлюзом. Налаштування шлюзу контролю програмного забезпечення (у тому числі білінгу та моніторингу) здійснюється постачальником домашньої мережі, що може обробляти трафік PLC та пропонує різні тарифні плани. Таким чином, обладнання PLC – системи операторського класу. Після підключення майстер-пристрій біля входу в будівлю, у всіх сусідів принаймні один вхід буде на загальній шині Ethernet. Щоб підключитися до будинкової мережі, користувачеві необхідно отримати MAC-адресу її постачальника, використовуючи існуючі служби управління доступом, передбачає, серед іншого, недопущення монополії смуги пропускання, що займається, для доступу в інтернет.

Третя група - пасивне обладнання, яке може передавати відомості, що становлять сигнал через трансформатори і електричний струм без видалення. Цей клас пристроїв представлений фільтрами, ємності та індуктивності. Цей фільтр не тільки ЧМ PLC, але й несуча частота, тому сигнал на виході пристрою від частоти 50 Гц має найкращі характеристики. Прості фільтри на межі мережі можуть усунути шум за межами мережі. Фільтри можуть бути використані для оптимізації топології мереж,

створення способів обходу, найкоротший маршрут. За допомогою цього рішення інформаційна складова передається протягом першої половини електричного кабелю. Технологія PLC реалізує фізичний і канальний рівень моделі OSI, з точки зору моніторингу, управління та забезпечення безпеки мережі PLC не принципово відрізняється від традиційних мереж передачі даних. Контроль та управління здійснюються на більш високих рівнях та стандартний протокол SNMP. Точка доступу в трансформаторній підстанції включає магістральне обладнання - TL-201WM і TL-201WMF

Клієнтський/магістральний модем TL-201WM показаний на рис. 3.2.



Рис. 3.2. TL-201WM

Специфікація: Режими: провідний, ведений, повторювач Швидкість передачі даних: До 300 МВps.

Фізичний рівень: Модуляція OFDM с 1536 несучими для Прийому/Передачі ПЗ.

Програмоване посилення передачі: 33 dB і 21 dB.

Програмоване посилення прийому: Від -12dB до +30dB, з кроком в 6dB.

Динамічний діапазон: 90 dBmin.

Протоколи другого рівня MAC (MediaAccessControl - управління доступом до носія): MAC для домашнього обслуговування малих мереж LAN. Доступ до LV (логічного тому) для великих мереж LAN здійснюється програмним забезпеченням Master Slave.

Динамічний QoS (Якість передачі даних): Конфігурація залежить від сервісного класифікатора.

Протокол сполучного дерева: 802.1D VLAN (Віртуальна локальна мережа): 802.1Q, до 16 активних VLAN в LV інтерфейсі.

Пріоритет трафіку: 802.1p мережевий протокол)

Безпека Ідентифікація: CP (Центральний Обробний Елемент) LMAC адреси реєструються на провідному елементі для запобігання несанкціонованому доступу. Відповідає протоколу RADIUS.

Розділення на другому рівні: Пристрої TILink підтримувані VLAN засновані на стандартному протоколі 802.1Q.

Поділ на фізичному рівні: Зв'язок між одним CP та ведучим залежить від особливого кодування для запобігання декодуванню сигналу іншого CP.

Конфігурація та керування: Дистанційне керування у всіх модемах TILink виконується ПЗ стандартного протоколу SNMP, IP ПЗ DHCP (протоколу динамічної конфігурації хоста) FTP клієнта, конфігурація та оновлення файлів ПЗ TFTP.

Можливість взаємодії мереж з маршрутизаторами та іншими мережними пристроями, такими як DNS сервери, DHCP сервери та завантажувальні сервери налаштовується ПЗ стандартним протоколам. Клієнтський/магістральний модем для коаксіальних ліній TL-201WMF показаний на рис. 3.3.



Рис. 3.3. TL-201 WMF

Чіпсет 9001. Режими - майстер, Slave, повторювач.

Кількість підтримуваних з'єднань: 32.

Інтерфейси: Ethernet 100/1000 Протоколи: DHCP, TCP/IP (IPv4-6), TFTP, SNMP, VLAN (802.1q), OVLAN, VPN, TFTP, STP, HTTP, UDP, 8 QoS.

Шифрування – AES+розширене: Швидкість – до 300 Мб/с.

3.2. Пристрій інжекції

Пристрій інжекції включає TL-201WMF та MPC-2 (УП F) (рис.3.4).



Рис.3.4. MPC-2

Міжфазний ретранслятор сигналу MPC-2 – застосовують як ємнісний об'єднувач фаз, фільтр для обходу проблемних зон, що затримують PLC сигнал та інжекції сигналу з коаксіальної лінії в електропроводку

3.3. Клієнтські модеми

Клієнтські модеми для побудови нашої мережі – TL-200WM (Рисунок 3.5).

Швидкість передачі: До 300 МВps.

Фізичний рівень

Модуляція: OFDM з 1536 несучими для Прийому/Передачі ПР каналу зв'язку, симетрична, адаптивна за допомогою несучої з символом 10 Bit

Крок передачі потужності: 1dB PSD (Щільність Спектральної Потужності):
>56 dBm/Hz.

Програмоване посилення передачі: 33 dB та 21 dB

Програмоване посилення прийому: Від -12dB до +30dB, з кроком 6dB

Динамічний діапазон: 90 dBmin

Протоколи другого рівня

MAC (Media AccessControl - управління доступом до носія): MAC для домашнього обслуговування малих мереж LAN. Доступ до LV (логічного тому) для великих мереж LAN здійснюється програмним забезпеченням Master Slave.



Рис. 3.5. TL-200WM

Динамічне QoS (Якість передачі даних): Конфігурація залежить від сервісного класифікатора.

Протокол сполучного дерева: 802.1D VLAN (Віртуальна локальна мережа):
802.1Q, до 16 активних VLAN в LV інтерфейсі.

Пріоритет трафіку: 802.1p мережевий протокол

Безпека Ідентифікація: CP (Центральний Обробний Елемент) LMAC адреси реєструються на провідному елементі для запобігання несанкціонованого доступу.

Відповідає протоколу RADIUS. CP і ведучим залежить від особливого кодування для запобігання декодування сигналу іншого CP.

Конфігурація та керування: Дистанційне керування у всіх модемах TLink виконується за стандартним протоколом SNMP.

Версія МІВ (Бази Керуючої Інформації): МІВ IV ITF RFC124 SNMP (Простої Протокол Мережевого Управління): Підтримується SNMP v2c-3.

Ініціалізація: Конфігурація IP ПЗ DHCP (протоколу динамічної конфігурації хоста) FTP клієнта, конфігурація та оновлення файлів ПЗ TFTP Можливість взаємодії мереж з маршрутизаторами та іншими мережними пристроями, такими як DNS сервери, ДН ПЗ стандартних протоколів.

3.4. Розрахунок навантаження

Розрахунок міжмережєвих зв'язків проводиться з метою визначення необхідної кількості ліній (каналів), які забезпечать зв'язком абонентів Fast Link.

Розрахунок числа каналів, своєю чергою, виробляються з розрахунку інтенсивності телефонного навантаження, та її розподіл МТС, на напрям на супутниковий зв'язок, на глобальну інформаційну мережу «Internet». Телефонне навантаження є важливим параметром, оскільки визначає обсяг всіх видів обладнання, у тому числі і лінійного.

Виникаюче навантаження створюють виклики (заявки на обслуговування), що надходять від абонементів (джерел) і що займають певний час різні з'єднувальні пристрої станції.

Структурний склад джерел, тобто. число апаратів різних категорій, визначається дослідженнями параметрів (C_a , T_a , P_p) – статистичними спостереженнями на діючої АТС S-12.

При цьому інтенсивність місцевого навантаження, що виникає, може бути визначена, якщо відомі такі основні параметри:

- $N_{ПК}$, $N_{ТФ}$ - число персональних комп'ютерів та телефонних апаратів, відповідно;

- $C_{ПК}$, $C_{ТФ}$ - середня кількість викликів у ЧПН від одного джерела вищезгаданих категорій;

- $T_{ПК}$, $T_{ТФ}$ – середня тривалість однієї розмови абонентів вищезгаданих категорій у ЧПН;

- P_p – частка викликів, що оплачувалися передачею інформації.

Значення параметра P_p беруться, виходячи із загальної ємності системи.

Інтенсивність місцевого навантаження джерел i -ї категорії, виражена в Ерлангах, визначається за формулою:

$$Y_i = \frac{1}{3600} \times N \times C \times t_i, \quad (3.1)$$

де t_i -середня тривалість одного заняття, с.

$$t_i = \alpha \times P_p \times (t_{co} + n \times t_H + t_Y + t_{ПВ} + Ta), \quad (3.2)$$

Тривалість окремих операцій із встановлення зв'язку, що входять у формулу 3.2, приймають такою:

- час слухання сигналу відповіді станції $t_{co} = 3$;

- час набору n знаків номера з тастатурного ТА $ПХТ_H = 0,8$ хп, с;

- час здійснення виклику абоненту, що викликається, при розмові, що відбулася, $T_{ПВ} = 7-8$ с;

– час встановлення з'єднання з моменту закінчення набору до підключення до лінії абонента $t_y=2$ с.

Коефіцієнт $\alpha = 1,05$ враховує тривалість заняття приладів викликами, що не закінчилися розмовою (зайнятість, не відповідь абонента, що викликається, помилки викликаючого).

Його величина переважно залежить від середньої тривалості розмови, і частки викликів, які закінчилися розмовою, P_p .

Знаючи кількість ISDN телефонів у мережі, які зазвичай визначаються шляхом дослідження, (у нашому випадку за відомої кількості аналогових телефонів, кількість телефонів ISDN візьмемо рівним 31% від задіяної ємності АТС). Знаходимо по таблиці 3.1, параметри навантаження та зводимо їх у таблицю 3.2.

Таблиця 3.1

Параметри навантаження

	Кількість термі- налів, N_i	C_i	T_i , с	P_p
ISDN термінали	432	3.1	300	0.9
Клієнтські термі- нали	1000	4.2	120	0.5

Для телефонів ISDN

$$t_{ISDN} = 1,05 \times 0,9 \times (3 + 6 \times 0,8 + 2 + 7 + 300) = 299,4 \text{ с}$$

Навантаження, що надходить від телефонів ISDN широкосмугового абонентського доступу, визначається за формулою 3.1 і дорівнюватиме:

$$Y_{ISDN} = \frac{1}{3600} \times 432 \times 3,1 \times 299,4 = 111,346 \text{ ЕРЛ}$$

Аналогічно розрахуємо t_i та Y_i для аналогових телефонів мережі абонентського доступу.

$$t_{T\neq} = 1,22 \times 0,5 \times (3 + 6 \times 0,8 + 2 + 7 + 120) = 83,45 \text{ с}$$

$$Y_{T\Phi} = \frac{1}{3600} \times 1000 \times 4,2 \times 83,45 = 97,4 \text{ ЕРЛ}$$

Результати розрахунків зведено до таблиці 3.2

Таблиця 3.2.

Інтенсивність навантажень від різних категорій абонентів

Категорія джерел навантаження	a_i	T_i, c	$Y_i, \text{Ерл}$
ISDN термінали	1.05	299.4	111.35
Клієнтські термінали	1.22	83.45	97.4

Загальне середнє навантаження, що надходить від абонементів мережі широкопasmового абонентського доступу, підраховується за формулою 1.3:

$$Y^{11} = Y_{\text{ПК}}^{11} + Y_{\text{мф}}^{11} = Y_{\text{ПК}} + Y_{\text{мф}} = 111,35 + 97,4 = 208,75 \text{ ЕРЛ, (1.3)}$$

Місцеве навантаження від абонентів мережі абонентського доступу, розподіляється за різним напрямом. Розподіл навантаження має випадковий характер, що залежить від взаємної абонентів, що не піддається обліку, в переговорах і передачі даних. Тому точне визначення міжмережєвих потоків навантаження під час проектування мережі неможливе. Це можна зробити лише після введення станції в експлуатацію шляхом аналізу виконаних вимірювань. Відомі наближені методи розподілу навантаження на основі спеціальних коефіцієнтів (r , f і розподілу навантаження та спеціальних коефіцієнтів). Однак у всіх випадках при проектуванні нових мереж для прогнозування значень самих коефіцієнтів необхідно мати дані спостережень за закономірностями змін діючих мереж. Тут буде розглянуто спосіб розподілу навантаження, за яким достатньо знати місцеве навантаження, що виникає, на мережі широкопasmового абонентського доступу.

$$\eta_c = 100\% \times Y_i^1 / Y^1, \quad (1.4)$$

де η_c – частка або коефіцієнт, що визначається за значенням коефіцієнта ваги, η_c , який є відношенням навантаження Y_i^1 – до аналогічного навантаження всієї мережі. Щоб визначити навантаження, обчислимо коефіцієнт ваги за формулою 1.4:

$$\eta_{\text{СТФ}} = 100\% \times 97,4 / 208,75 = 46,65\%$$

За допомогою таблиці 3.2 знаходимо коефіцієнт внутрішньомережевого трафіку.

$$\eta_{\text{ТФ}} = 46,65\%$$

Тепер визначимо навантаження, яке замикатиметься всередині мережі широкосмугового абонентського доступу.

$$Y_{\text{ТФ}}^1 = 46658,682 / 100 = 466,58 \text{ Ерл}$$

3.5. Міжміське навантаження

Міжміське вихідне навантаження, тобто. навантаження на замовно-з'єднувальні лінії від одного абонента можна вважати рівним 0,003 Ерл. Навантаження, що входить на станцію по міжміським сполучним лініям (СЛМ), приймають рівним вихідному по ЗСЛ навантаженню УСЛМ=УЗСЛ. Внаслідок великої тривалості розмови ($T_m = 200$ с - 400 с).

$$Y_{ИСК.МГ.ТФ} = 0,003 \times 1000 = 3 \text{ ЕРЛ}$$

3.6. Міжнародне навантаження

Аналогічно міжміському навантаженню, вихідне та вхідне міжнародне навантаження вважаємо рівним 0,006 Ерл на одного абонента, і його потрібно додати до місцевого навантаження.

$$Y_{ИСК.МН.ТФ} = 0,006 \times 1000 = 6 \text{ ЕРЛ}$$

3.7. Навантаження на інформаційну мережу «Інтернет»

Через інформаційну мережу «Інтернет» абоненти мають доступ до колосальної бази даних всього світу. Щодня через цю мережу передається по кілька десятків файлів різного характеру, відповідно різного обсягу. Вихідне навантаження приймається у кількості 0,002 Ерл на один ПК.

$$Y_{ИСК.ИИТ.} = 0,002 \times 432 = 0,86 \text{ ЕРЛ}$$

3.8. Розрахунок кількості трактів

Щоб розрахувати кількість ліній від нашої мережі до комунікаційної станції, ми повинні розрахувати загальне навантаження, тобто;

$$Y = Y_{ISDH} + Y_{ТФ} + Y_{МК} + Y_{МН} + Y_{ИИТ} = 111,35 + 97,4 + 32 + 63,9 + 0,86 = 305,51 \text{ ЕРЛ}$$

По таблицях першої формули Ерланга інтенсивності навантаження Y (в Ерлангах) для V - в залежності від втрат, знайдемо число ІКМ ліній.

$$V = E(Y; P) = E(305,51; 0,0001) = 350 \text{ каналів ІКМ}$$

А число ІКМ ліній:

$$V_{\text{ІКМ}} = 350/30 = 11,6 \approx 12 \text{ ІКМ ліній}$$

Це означає, що ми повинні поставити 1 інтерфейс V5.2, тому що один інтерфейс VS 2 підтримує до 16 трактів 2048 Кбіт/с:

$$12/16 = 0,75 \approx 1 \text{ інтерфейс V5.2.}$$

При розрахунку кількості ліній від кожного ONU та OLT ми повинні розрахувати навантаження від кожного ONU з урахуванням того, що трафік кожного абоненту телефонної мережі загального користування 0,1 Ерл, а трафік кожного абоненту ISDN, 0,2 Ерл.

$$Y_{\text{RV1/1}} = 240 \cdot 0,1 + 5 \cdot 5 \cdot 0,2 = 24 + 1 = 25 \text{ Ерл.}$$

$$Y_{\text{RV1/2}} = 235 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 = 23,5 + 0,8 = 24,3 \text{ Ерл.}$$

За першою формулою Ерланга

$$V_{\text{RV1/1}} = E(25; 0,001) = 46 \text{ каналів ІКМ.}$$

$$V_{\text{RV1/1}} = 46/30 = 1,5 \cdot 2 \text{ ІКМ лінії.}$$

$$V_{\text{RV1/2}} = E(24,3; 0,0001) = 44 \text{ канали ІКМ.}$$

$$V_{\text{RV1/2}} = 44/30 = 1,46 \cdot 2 \text{ ІКМ лінії.}$$

ВИСНОВКИ

В рамках даної дипломної роботи було побудову телекомунікаційну мережу невеликого селища на базі існуючої мережі електропостачання з використанням технології PLC. Низьковольтні мережі мають складну топологію, яка може сильно відрізнятися від однієї мережі до іншої. Ця відмінність походить від того факту, що вони мають параметри, значення яких можна змінювати, наприклад, щільність користувачів, активність користувачів, підключені пристрої тощо. Загалом можна зробити висновок, що низьковольтні мережі живлення, включаючи домашню частину мережі, мають топологію фізичного дерева. Однак на логічному рівні мережу доступу PLC можна вважати мережею шин, що представляє спільне середовище передачі.

Оскільки мережі PLC працюють на спільному носії, існує потреба в політиці керування доступом до середовища. Це завдання бере на себе базова станція, яка контролює доступ до середовища по всій або лише частині розглянутої мережі PLC. Базова станція також є точкою, через яку здійснюється можливий доступ до глобальної мережі. Також можуть бути реалізовані додаткові пристрої PLC, такі як повторювачі та/або шлюзи. Низьковольтні мережі були розроблені тільки для розподілу енергії серед домогосподарств, а широкий спектр приладів можна вмикати або вимикати в будь-якому місці і в будь-який час. Така зміна заряду мережі призводить до сильного коливання опору середовища. Ці коливання імпедансу та розриви призводять до багатопроменевої поведінки каналу PLC, що робить його використання для передачі інформації більш делікатним.

Крім цих порушень каналу, шум, присутній в середовищі PLC, ускладнює прийом безпомилкового сигналу зв'язку. Шум у мережах PLC різноманітний і описується як суперпозиція п'яти типів адитивного шуму, які поділяються на два основні класи – з одного боку, це фоновий шум, який залишається нерухомим протягом довгих інтервалів часу, а з іншого – це імпульсивний шум, який є основною перешкодою для вільної передачі даних через його відносно високу інтенсивність. Цей імпульсивний шум призводить до спалахів помилок, тривалість яких може перевищувати межу, яку зазвичай потрібно виявити та виправити за допомогою кодів

для виправлення помилок. Тому імпульсний шум у мережах PLC має бути представлений у відповідних моделях завад.

ЕМС є першою вимогою, якій повинен відповідати будь-який пристрій, перш ніж він виходить на ринок і навіть до того, як він увійде в широку фазу виробництва. Однак це залишається основною проблемою, з якою стикається спільнота PLC. Кілька служб використовують одну або декілька частин спектру 0–30 МГц, на які орієнтована система PLC. Незважаючи на це, заходи зі стандартизації тривають і намагаються досягти міжнародних гнучких стандартів для меж напруженості електричного поля, подібно до тих, які встановлює FCC.

Елементи мережі PLC, такі як модем і базова станція, роблять можливим обмін інформацією між різними комунікаційними пристроями через електричні мережі. Модем PLC зазвичай має кілька інтерфейсів для з'єднання з різними системами кінцевого користувача, тоді як базова станція PLC забезпечує інтерфейси для взаємозв'язку через магістральну мережу. Усі ці функції мережевих елементів PLC задаються в мережевих рівнях еталонної моделі ISO/OSI.

Особливою функцією мережі PLC та її елементів є зв'язок по електромережах та підключення комунікаційних пристроїв до електроустановки. Це забезпечується окремими методами з'єднання, передачі та зв'язку, а також протоколами доступу та механізмами обробки помилок, зазначеними на перших двох мережевих рівнях, фізичному та каналному рівні, які створюють специфічний стек протоколів PLC. Мережа доступу PLC розглядається як телекомунікаційна послуга-носіє, що передає різні телепослуги, які використовуються різними програмами зв'язку. Щоб мати можливість конкурувати з іншими технологіями доступу, PLC повинен забезпечити реалізацію великої палітри телекомунікаційних послуг з достатнім QoS. Таким чином, мережі доступу PLC повинні надавати різні категорії послуг-носіїв, що дозволяють передавати різні потоки трафіку, викликані різними телекомунікаційними послугами. Для дослідження стеку протоколів PLC різні послуги представлені відповідними вихідними моделями, які відображають їх характеристики трафіку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. R Broadridge "Power line modems and networks" 4'th International Conference on Metering Applications and Tariffs for Electricity Supply IEE conf., London.
2. B.E. Eyre, "Results of a comprehensive field trial of a United Kingdom customer telemetry system using mainsborne signalling," Proceedings of the Sixth International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, IEE Conference Publication.
3. Hitoshi Kubota, Kazumasa Suzuki, Isamu Kawakami, Mamoru Sakugawa, and Hiroyuki Kondo High, Frequency Band Dispersed-Tone Power Line Communication Modem for Networked Appliances, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 52, No. 1, FEBRUARY 2016.
4. Niovi Pavlidou, Aristotle University of Thessaloniki A. 1. Han Vinck, University of Essen Javad Yazdani and Bahram Honaty, University of Lancaster, Power Line Communications: State of the Art and Future Trends, IEEE Communications Magazine April 2020.
5. T. Shirai, S. Nomura, M. Itami, K. Itoh, Study on reduction of the affectation of impulse noise in OFDM transmission, Proceedings of the 6th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC), Athens, Greece, March 27–29, 2012.
6. J. Siwko, I. Rubin, Connection admission control for capacity-varying networks with stochastic change times, IEEE/ACM Transactions on Networking, 9(3), 351–359 June 2017.
7. D. Sommer, Beiträge zur Anwendung codierter OFDM-Modulation für drahtlose Übertragungssysteme, Dissertation, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Dresden, Deutschland, April 2020, in German.
8. R. Steele, L. Hanzo, Mobile Radio Communications: Second and Third Generation Cellular and WATM Systems, Second Edition, Wiley, New York, 2019.

9. P. Strong, Regulatory & consumer acceptance of powerline products, Proceedings of the 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC), Malmo, Sweden, April 4–6, 2014.
10. E. Stroem, T. Ottosson, A. Svensson, An Introduction to Spread Spectrum Systems, Department of Signals and Systems, Chalmers University of technology, Goeteborg, Sweden, 2018.
11. S. Tachikawa, M. Nari, M. Hamamura, Power line data transmission using OFDM and DS/SS systems, 6 th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC2002), Athens, Greece, March 27–29, 2020.
- A. S. Tanenbaum, Computer Networks, Third edition, Prentice-Hall Inc., USA, 2018, German edition.
12. Y. C. Tay, K. C. Chua, A capacity analysis for the IEEE 802.11 MAC protocol, Wireless Networks, 7, 159–171 2017.
13. L. Tihanyi, Electromagnetic Compatibility in Power Electronics, IEEE Press, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 2015.
14. C. Trabelsi, H. K. Choi, Simulation and modeling of MAC protocols for wireless packet data networks using web traffic, 2 nd UMTS Workshop.
15. P. Tran-Gia, D. Staehle, K. Leibnitz, Source traffic modeling of wireless applications, AEU International Journal of Electronics and Communications, (1), 2011.
16. D. Umehara, M. Kawai, Y. Morihira, An iterative detection for M-ary SS system over impulsive noise channel, Proceedings of the 6th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC), Athens, Greece, March 27–29, 2016.
17. R. Vick, Radiated emission of domestic main wiring caused by power-line communications systems, Proceedings of the International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility EMC 2000, Wroclaw, Poland, June 27–30, 2020.
18. B. H. Walke, Mobile Radio Networks – Networking and Protocols, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.

19. T. F. Wong, Spread Spectrum and Code Division Multiple Access: Introduction to Spread spectrum Communications, Electrical and Computer Engineering, University of Florida, Fall 2012.
20. C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, R. D. Murch, Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 17(10), 1747–1758 October 2019.