

Вінницький національний технічний університет  
Факультет радіотехніки, зв'язку та приладобудування  
Кафедра телекомунікаційних систем і телебачення

**Презентація**

до дипломної роботи

# **Розробка PLC модему для побудови інформаційних ліній зв'язку.**

Виконав: студент \_1\_ курсу, групи \_ТКсп-15 напрямку підготовки (спеціальності)  
7.05090303-Технології та засоби телекомунікацій  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Голянчук Л. С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Нікольський О.І.  
(прізвище та ініціали)

Вінниця ВНТУ 2016

**Об'єктом дослідження** є процес побудови пристрою з покращеними характеристиками.

**Предметом дослідження** є ідеологія технічного розвитку PLC модема.

**Метою дипломної роботи** є розробка PLC модема.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати технічний розвиток і галузь до якої відноситься пристрій що розробляється провести порівняльну характеристику пристрою з вже існуючими аналогами та прототипом;
- проаналізувати електричну принципову схему пристрою;
- зробити аналіз технічних вимог до конструкції пристрою;
- провести компонування елементів друкованої плати та трасування з'єднань;
- провести електричні розрахунки друкованої плати, розрахунки електромагнітної сумісності, розрахунок надійності;
- провести моделювання та оптимізацію вхідних каскадів PLC модема в ORCAD PSPICE;
- розрахувати параметри еквівалентної схеми двопровідної лінії передачі даних для PLC;
- розрахувати економічні показники PLC модема;
- розглянути питання цивільної оборони та охорони праці.

# РОЗДІЛ 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ПРИБРОЮ

1. Суть технічної проблеми, що викликана на сучасному етапі розвитку науки, техніки і PLC технології

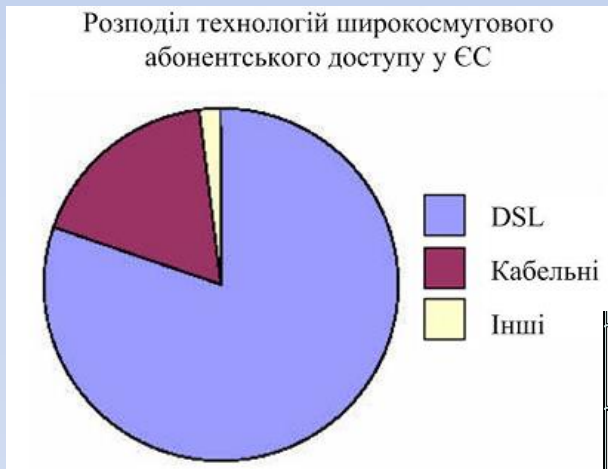


Рисунок 1.1 - Розподіл технологій в сегменті широкопasmового абонентського доступу у країнах ЄС

Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз основних технологій широкопasmового доступу для вирішення завдання «останньої милі»

ADSL	Вниз: до 24 Мбіт/с. Вверх: до 3,3 Мбіт/с.	Дальність до 5 км.
3,5 ГГц радіодоступ	До 10 Мбіт/с.	Максимальна зона обслуговування: 20 км.
Кабельні модеми	Вниз: до 10 Мбіт/с. Вверх: до 2 Мбіт/с.	Спільне використання та розподілення між активними користувачами.
PLC або VPL	500 Мбіт/с в магістральному сегменті. 100 Мбіт/с в сегменті користувача.	Спільне використання та розподілення між активними користувачами. Дальність, у випадку без застосування повторювачів: - в магістральному сегменті: 500 м; - в сегменті користувача: 300 м (Homeplug стандарт).
Супутник	Вниз: до 2 Мбіт/с. Вверх: до 1 Мбіт/с.	Дуплексний зв'язок можливий із додатковим застосуванням ТМЗК.

Таблиця 1.2 - Порівняльний аналіз основних технологій широкосмугового доступу для вирішення завдання «останнього дюйма» (усередині будівель)

	Стандартний Ethernet	HomePNA	Бездротовий: IEEE 802.11	Бездротовий: HomeRF	Бездротовий: Bluetooth	PLC (BPL/PLT)
Технологічна основа	Використовує пару категорії 5	Використовує існуючу телефонну розводу та FDM	Використовує радіодоступ між користувачем і точкою доступу	Використовує радіодоступ на частоті 4,2 ГГц	Використовує радіодоступ на частоті 4,2 ГГц	Використовує існуючу електричну розводу
Специфікації та Організації із стандартизації	IEEE 802.3 IEEE 802.5	Home Phoneline Networking Association HomePNA 1.0 HomePNA 2.0 IEEE and WTU	IEEE 802.11 HR IEEE 802.11	HomeRF Working Group SWAP-протокол	Bluetooth Special Interest Group (SIG)	Приватні
Швидкості	Від 10 Мбіт/с до 100 Мбіт/с	HPNA 1.0: до 1 Мбіт/с HPNA 2.0: до 10 Мбіт/с	802.11 HR: до 11 Мбіт/с 802.11n до 450 Мбіт/с	10 Мбіт/с	1 Мбіт/с	Від 1 Мбіт/с до 200 Мбіт/с
Дальність	До 500	До 500 між вузлами	Від 100 до 300	До 100	До 35	До 700
Застосування	PP, ПД, ДК, ДА, РД	PP, ПД, ДК, ДА, РД	PP, ПД, ДК, ДА, РД	PP, ПД, HS, ДК, РД	ПД, РД	RS, ПД, ДК, ДА, РД
Сумісність з апаратним і програмним забезпеченням та сервісами високошвидкісного доступу в Інтернет	Повна мережева сумісність	Повна мережева сумісність	Повна мережева сумісність	Повна мережева сумісність	Сумісна на рівні Bluetooth-чипів	Повна мережева сумісність
Гнучкість	Розширення вимагає додаткових кабельних з'єднань та мережевих пристроїв.	Адаптери вимагають підключення до інших пристроїв.	Адаптери вимагають підключення до інших пристроїв та у випадку великої віддаленості	Адаптери вимагають підключення до інших пристроїв	Тільки нові пристрої з Bluetooth-чипом	Адаптери вимагають підключення до інших пристроїв
Надійність	Висока	Висока	Від високої до середньої	Від високої до середньої	Від високої до середньої	Середня
Вартість	Висока	Низька	Мінлива	Середня	Середня	Низька
Безпека	Висока	Висока	Висока	Висока	Висока	Висока

Додаток Д - Порівняльний аналіз основних технологій широкосмугового доступу та їх протоколів [1÷12]

Мережа	Протокол	Переваги	Недоліки	Примітка
WAN	Бездротовий (стільникові мережі 2G / 3G / LTE, GPRS)	Обширна легкодоступна інфраструктура стільникових мереж; великий обсяг зібраних даних може передаватися на великі відстані	Енергокомпанія повинна оплачувати оренду інфраструктури стільникового оператора для щомісячного доступу; енергокомпанія не володіє інфраструктурою	Бездротовий інтерфейс зазвичай є кращим варіантом
NAN	Бездротовий протокол ISM- діапазону	Великий радіус дії; можливість обходити трансформатори	В даний час є пропрієтарним; «Мертві» зони ускладнюють установку та обслуговування	Застосовується в деяких топологіях, наприклад у США
	IEEE® 802.15.4g	Великий радіус дії; можливість обходити трансформатори	Поки не отримав схвалення в якості стандарту	Підходить для деяких топологій
	ZigBee®	Можливість роботи від батарей завдяки низькому енергоспоживанню; низька вартість; популярний стандарт	Низька швидкість передачі даних; дуже малий радіус дії; поганий зв'язок через перешкоди	Навряд чи знайде застосування в місцевих мережах
	PLC першого покоління (FSK, Yitran, Echelon®)	Невисока вартість	Низький рівень надійності; вузька полоса пропускання	Смуга пропускання і рівень надійності не відповідають вимогам інтелектуальних електромереж
	Вузькосмуговий OFDM (мультиплексоване з ортогональним частотним поділом каналів) першого покоління	Поліпшені характеристики (дальність дії, смуга пропускання і надійність) в порівнянні з протоколом FSK	Не підтримує обмін даними через трансформатори; не може використовуватися разом з першим поколінням протоколів PLC	Не рекомендується для нових розробок через високу вартість і проблеми сумісності

Мережа	Протокол	Переваги	Недоліки	Примітка
	Широкопasmуговий PLC	Висока швидкість обміну даними	Не підтримує обмін даними через трансформатори	Для більшості великомасштабних реалізацій вартість інфраструктури неприйнятно висока
	G3-PLC	Висока надійність, передача даних на великі відстані; підтримка обміну даними через трансформатори; зниження вартості інфраструктури; висока швидкість дозволяє здійснювати частий обмін даними; може використовуватися разом з протоколом FSK; відкритий стандарт; підтримує протокол IPv6	Поки не отримав схвалення в якості стандарту. (Відповідає проекту стандарту IEEE 31901.2 для передачі даних в інтелектуальних електромережах.)	Відмінно підходить для місцевих мереж по всьому світу
HAN	ZigBee	Широко поширений стандарт, який забезпечує низьку вартість і мале енергоспоживання	Вкрай обмежений радіус дії; поганий зв'язок при наявності перешкод	Відмінний варіант для обміну даними з лічильниками витрати води і газу

Мережа	Протокол	Переваги	Недоліки	Примітка
	Wi-Fi®	Популярна технологія з високою швидкістю обміну даними	Середній радіус дії; сигнал пагано проникає через стіни і фундаменти будівель	Добре підходить для побутових додатків, але не відповідає цілям комунальних компаній
	PLC першого покоління (FSK, Yitran, Echelon®)	Невисока вартість	Не підходить для використання в домашніх умовах	Використання в домашніх умовах малоімовірно через високого рівня перешкоди
	Вузькосмуговий OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів) першого покоління	Поліпшені характеристики (дальність дії, полоса пропускання і надійність) в порівнянні з протоколом FSK	Не підтримує обмін даними через трансформатори; не може використовуватися разом з першим поколінням протоколів PLC	Не рекомендується для нових розробок через високу вартість і проблеми сумісності
	Широкопсмуговий PLC	Широка смуга пропускання	Малий радіус дії, недостатній для місцевих мереж	Добре підходить для побутових додатків, але не відповідає цілям комунальних компаній
	G3-PLC	Висока надійність; достатня швидкість обміну даними; підтримка протоколу IPv6 забезпечує обмін даними з багатьма пристроями	Поки не отримав схвалення в якості стандарту. (Відповідає проекту стандарту IEEE 31901.2 для передачі даних в інтелектуальних електромережах.)	Відмінно підходить для домашніх мереж по всьому світу

Пошук аналогів та прототипу до розроблювального пристрою

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики PLC-пристроїв

Найменування	Виробник	Модель	Індикатори LAN/USB	Чіпсет	Вартість, \$
Powerline to Ethernet	Planet Technology	PL-101E	Link-LAN, 100 Mbps	Intellion INT5130A/100A	130
USB to Powerline Network Adapter	Planet Technology	PL-101U	Нет	Intellion INT5130A/100A	130
Ethernet to Powerline bridge	Dynamix	PL-E	Link-LAN, 100 Mbps	Intellion INT5130A/100A	155
Home Plug USB adapter	Dynamix	PL-U	Нет	Intellion INT5130A/100A	155
Powerline bridge (OEM)	Surecom	PLB11	Link, 10, 100 Mbps, Col	Intellion INT51X1A	110
Powerline USB adapter (OEM)	Surecom	PLU11	Нет	Intellion INT51X1A	100
HomePlug USB adapter	Surecom	NE-6201/A1	Нет	Intellion INT5130A/100A	110
HomePlug Ethernet bridge	Surecom	NE-6211/A1	Link-act	Intellion INT5130A/100A	110

Таблиця 1.4 - Основні технічні показники аналога і нової розробки.

Показники	Прототип - PLC - модем M-2.01	Нова розробка
Максимальна швидкість в каналі PLC, бит/с	до 2500	до 2500
Максимальна швидкість по інтерфейсу RS-485, бит/с	от 300 до 115200 с битом контроля нечетности и без него	от 2400 до 38400 с битом контроля нечетности и без него
Максимальна відстань - точка-точка, км	1.0	2
Смуга займаних частот для обміну даними (кГц)	3 - 150	3 - 150



## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ PLC ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ PLC МОДЕМА

В другому розділі результаті виконання дипломного проекту отримано практичні навички розрахунків та конструювання радіоелектронної апаратури. Розроблений пристрій передачі інформації по лініям електроживлення 220 вольт.

Для конструкції було вибрано двосторонню друковану плату, яка характеризується високими комутаційними якостями, підвищеною міцністю з'єднань виводу навісного елемента з рисунком плати. Матеріал для плати вибрано склотекстоліт фольгований склотекстоліт СФ-2-35-1,5 ГОСТ 10316-78, оскільки матеріал друкованої плати повинен мати хорошу технологічність, високі електрофізичні властивості, високу адгезію.

Було проведено порівняльну характеристику приладу, що розробляється з вже існуючими прототипами та аналогами, вказані переваги та недоліки. Запропонована електрична принципова схема пристрою на основі мікроконтролера та спеціалізованої мікросхеми .

На основі електричної принципової схеми проведено трасування та встановлені розміри плати виробу 110×94 мм і розрахована маса 287 г.

Були проведені розрахунки друкованого рисунку плати, електромагнітної сумісності елементів друкованої плати, розрахунок на надійність. Розрахунок плати на електромагніту сумісність провідників - взаємну паразитну ємність та індуктивність провідників які розташовані на одній поверхні друкованої плати становили 83 пФ та 74 мкГн. Паразитні реактивності знаходяться в межах норми і не потрібно додаткових засобів з їх зниження. Під час розрахунку плати на надійність, було отримано 68965 годин безвідмовної роботи.

Згідно розрахунків можна констатувати, що пристрій задовольняє всі техніко-технологічні характеристики та може бути введений у експлуатацію.

Таблиця 2.2 - Рішення ТІ для реалізації різних стандартів [10÷12]

<b>Стандарт</b>	<b>Тип модуляції</b>	<b>Діапазон частот, кГц</b>	<b>Швидкість обміну даними, кБод</b>	<b>Цільовий процесор</b>	<b>Аналогова підсистема</b>
<b>IEC 61334 (G1)</b>	SFSK	60...76	1,2...2,4	F28027	AFE030/AFE031
<b>PRIME</b>	OFDM	42...90	21...128	F28069/F28M3 5x	AFE031
<b>ERDF G3</b>	OFDM	35...90	5,6...45	F28069/F28M3 5x	AFE031
<b>P1901.2/G3 FCC</b>	OFDM	35...450	34...234	F28M35x	AFE03x
<b>PLCLite (патент ТІ)</b>	OFDM	42...90	2,4...21	F28035/F28027	AFE031
<b>FlexOFDM (патент ТІ)</b>	OFDM	<10...FCC*	2,4...128	F28069/F28M3 5x	AFE031
* – обмежений місцевими регуляторними вимогами.					

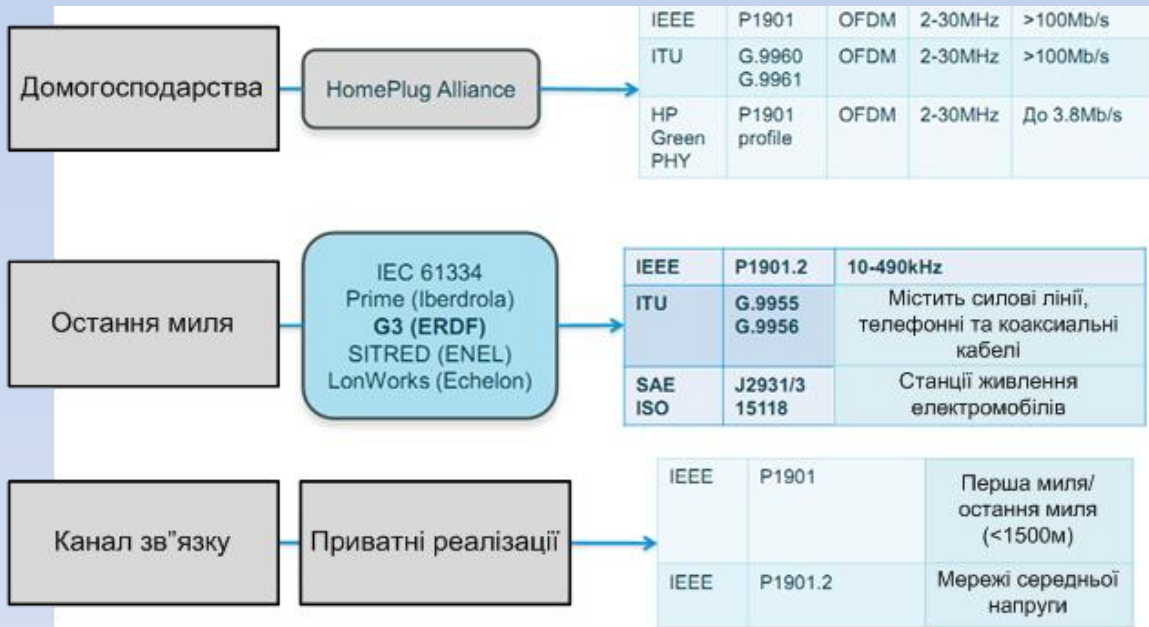


Рисунок 2.1 - Стандартизація технології PLC

## 2.1 Аналіз загальної топології мережі доступу на основі технології PLC



Рисунок 2.2 - Сфери застосування засобів зв'язку на основі електричних мереж

## PLC Access and Distribution Network

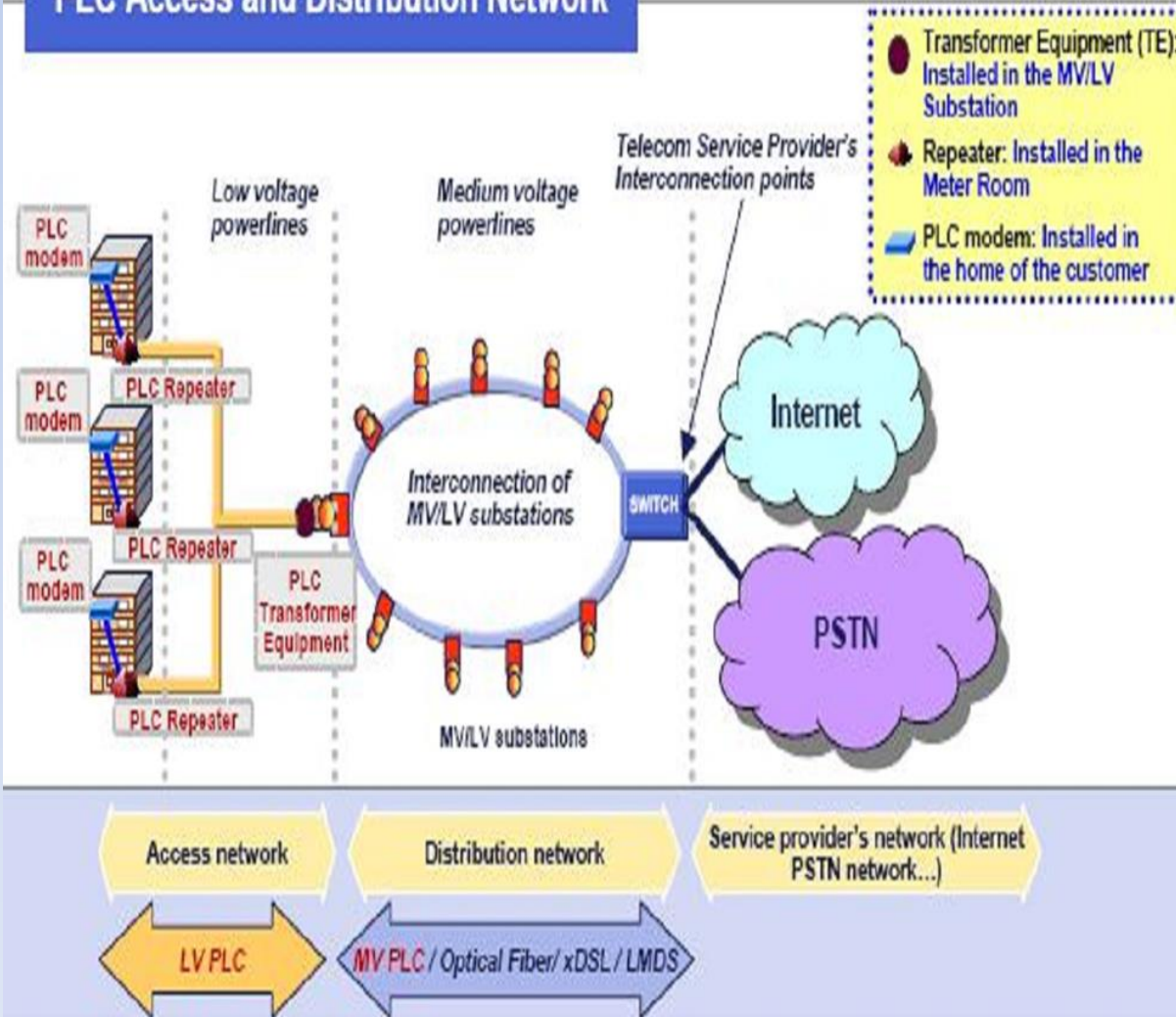


Рисунок 2.5 - Загальна топологія мережі доступу на основі технології PLC

PLC equipment in the Access and Distribution Network

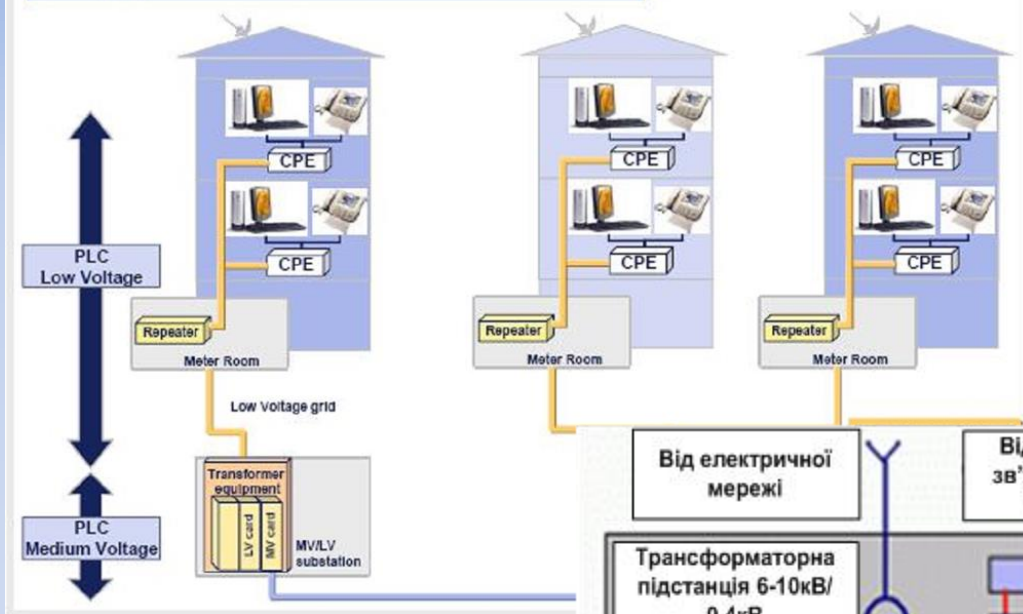


Рисунок 2.6 - Топологія мережі електроживлення, що використовується як середовище доступу

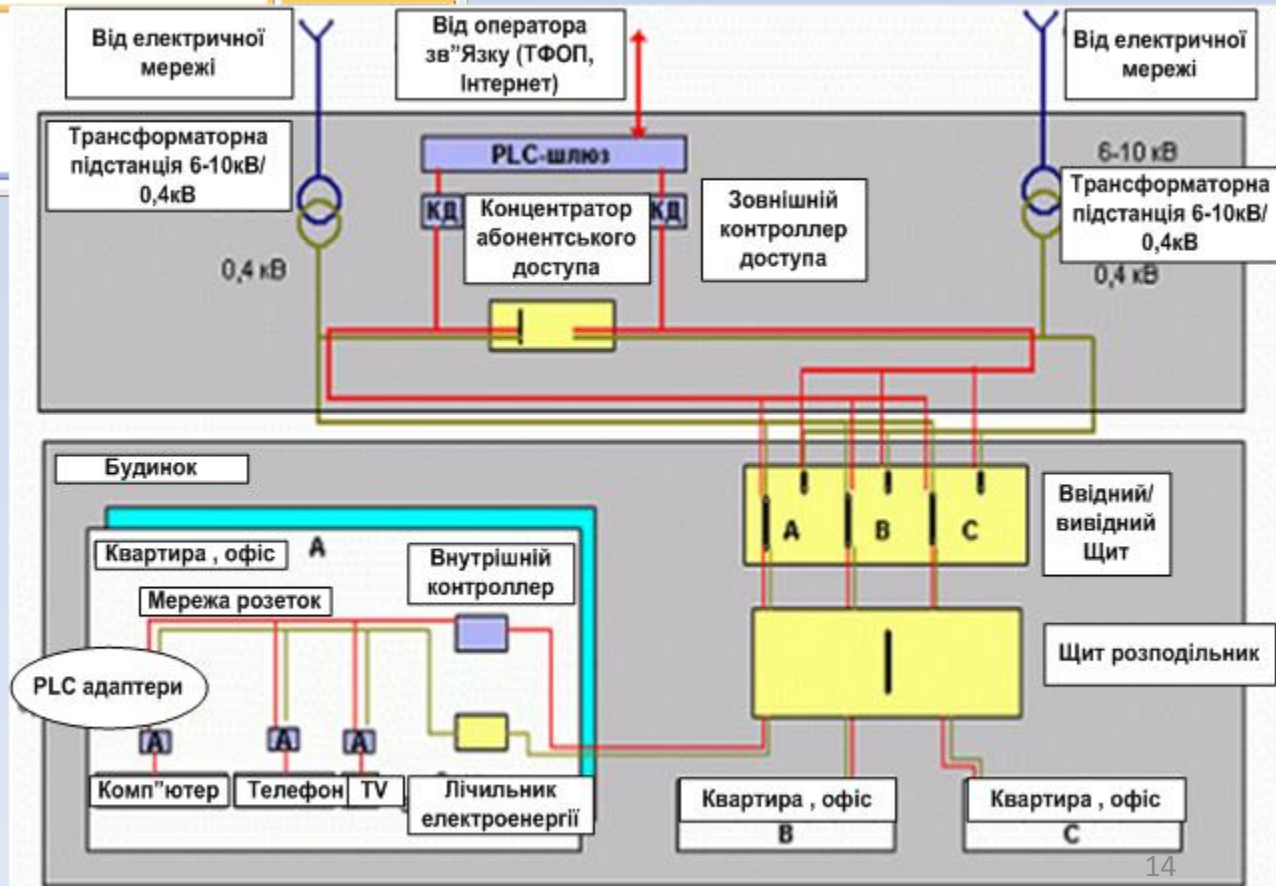


Рисунок 2.7 - Основні елементи мережі доступу на основі PLC

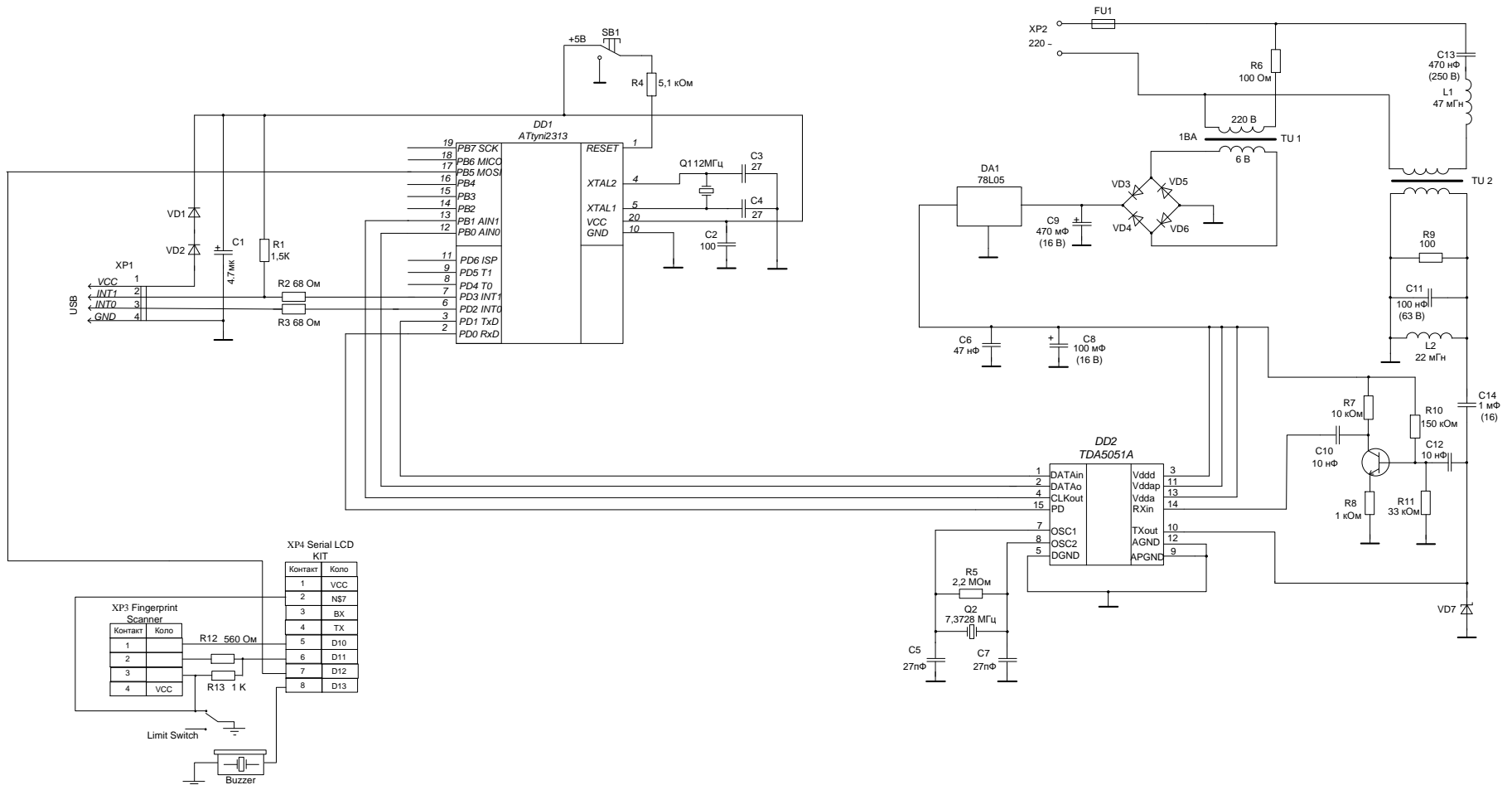
# Розробка PLC модему для побудови інформаційних ліній зв'язку.

## Схема структурна



# PLC модем для побудови інформаційних ліній зв'язку.

## Схема електрична принципова

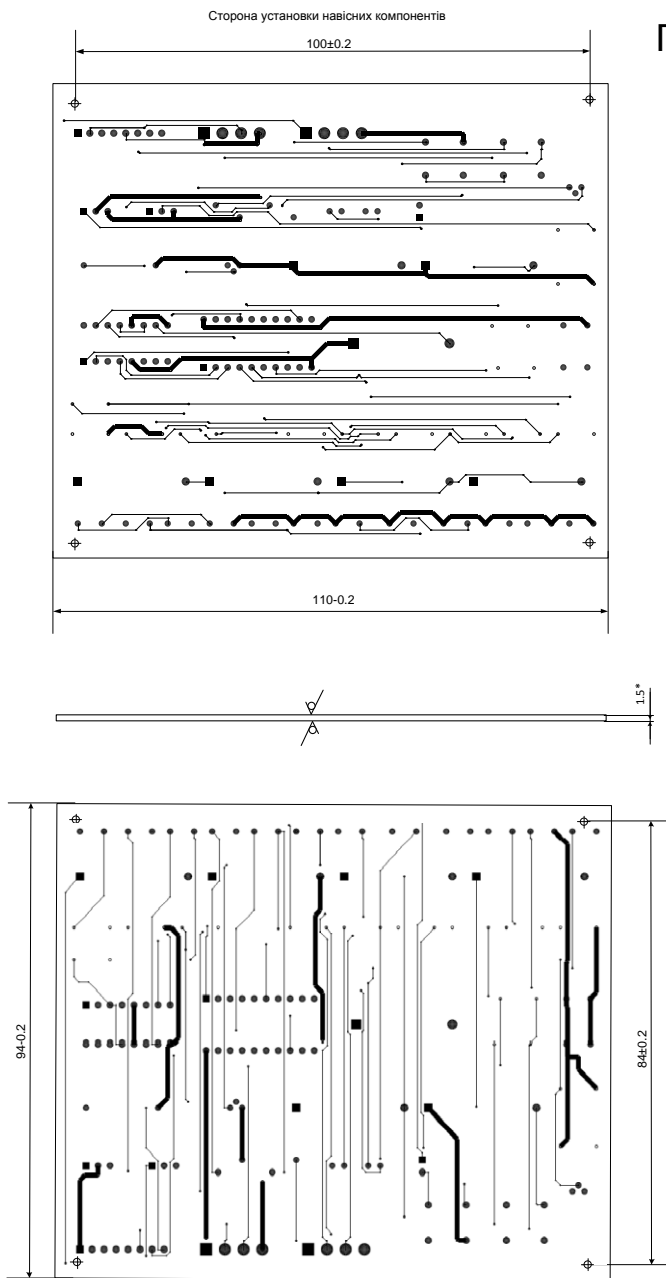




# Розробка PLC модему для побудови інформаційних ліній зв'язку.

## Плата друкована

√ Rz40 (√)



Таблиця 1

Умовне позначення отворів	Діаметр отвору, мм	Діаметр конт. площ.	Наваність металізації	Кількість отворів
•	0,8	1,1	€	45
■	0,8	1,3×1,3	€	9
●	0,8	1,3	€	59
●	1,6	2,1	€	1
■	1,6	2,1×2,1	€	2
○	3	-	-	4

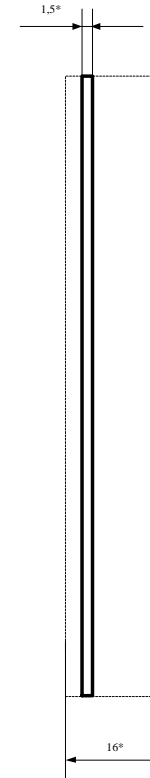
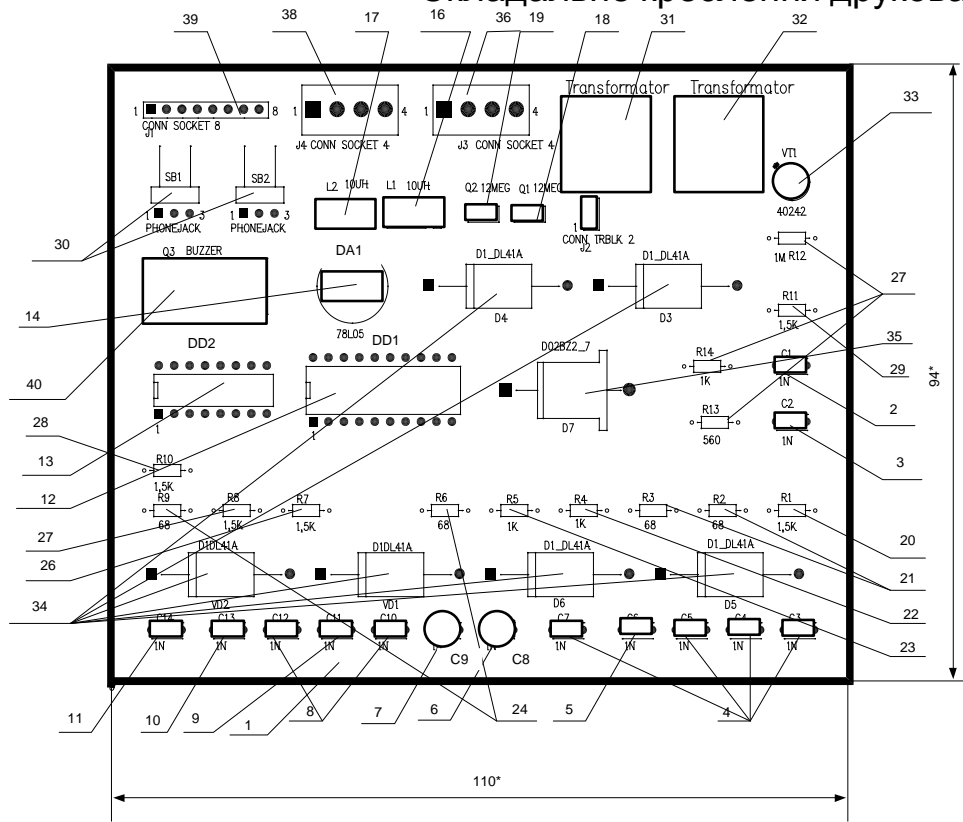
Таблиця 2

Параметри друкованого рисунку	Розміри, мм	
	в ширинних місцях	у вузьких місцях
Ширина провідника	1,0	0,25
Відстань між провідниками	1,25	0,25

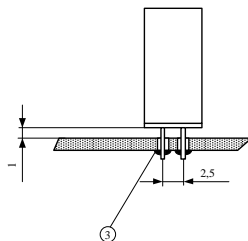
- \*Розміри для довідок.
- Плату виготовити комбінованим методом.
- Плата повинна відповідати ГОСТ 23751-86.
- Допускається форма контактних площадок довільна,  $V_{\text{мін}} = 0,1$  мм.
- Міжосьова відстань між довільними двома отворами становить + 0,1 мм.
- Параметри друкованого рисунку виконати згідно з таблицями 1, 2.
- На плату зі сторони пайки нанести захисну маску.
- На платі виконати маркування елементів.
- Заводський номер і дату виготовлення виконати фарбою БМ білою, шрифтом ЗПр-3.

# Розробка PLC модему для побудови інформаційних ліній зв'язку.

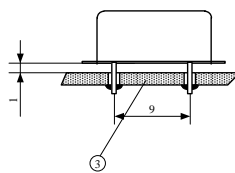
## Складальне креслення друкованої плати



Установка електролітичних конденсаторів  
M2.5:1



Установка кварцового резонатора ZQ1  
M2.5:1



- \*Розміри для довідок.
- Установку радіоелементів здійснити за ОСТ4.010.030-82: конденсатори постійної ємності по варіанту 2в; резистори по варіанту 2а; електролітичні конденсатори - за кресленням; мікросхеми по варіанту 8а; діоди по варіанту 2а; транзистори по варіанту 2в.
- Паяти: припой ПОС-61 ГОСТ 21931-76.
- Покриття УР-231 ІV.
- Таврувати знак ВТК.

# РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВХІДНИХ КАСКАДІВ PLC МОДЕМА В ORCAD PSpICE

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВХІДНИХ КАСКАДІВ PLC МОДЕМА В ORCAD PSpICE

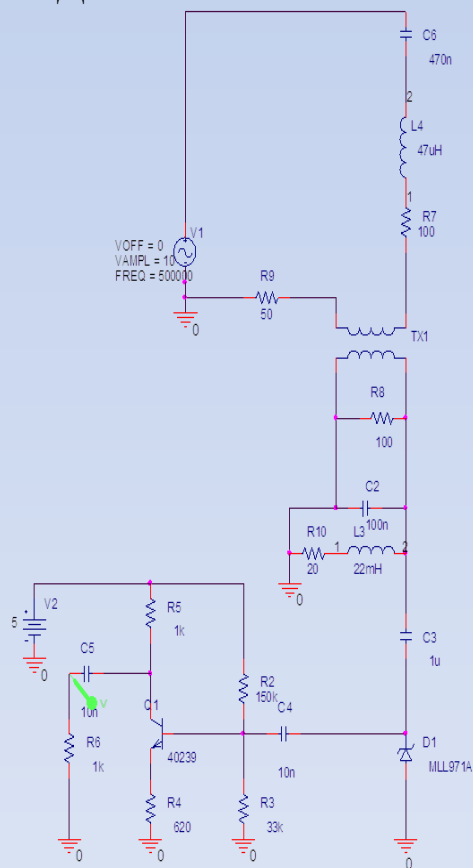


Рисунок 3.1- Вхідні та вихідні каскади схеми електричної принципової PLC модема.

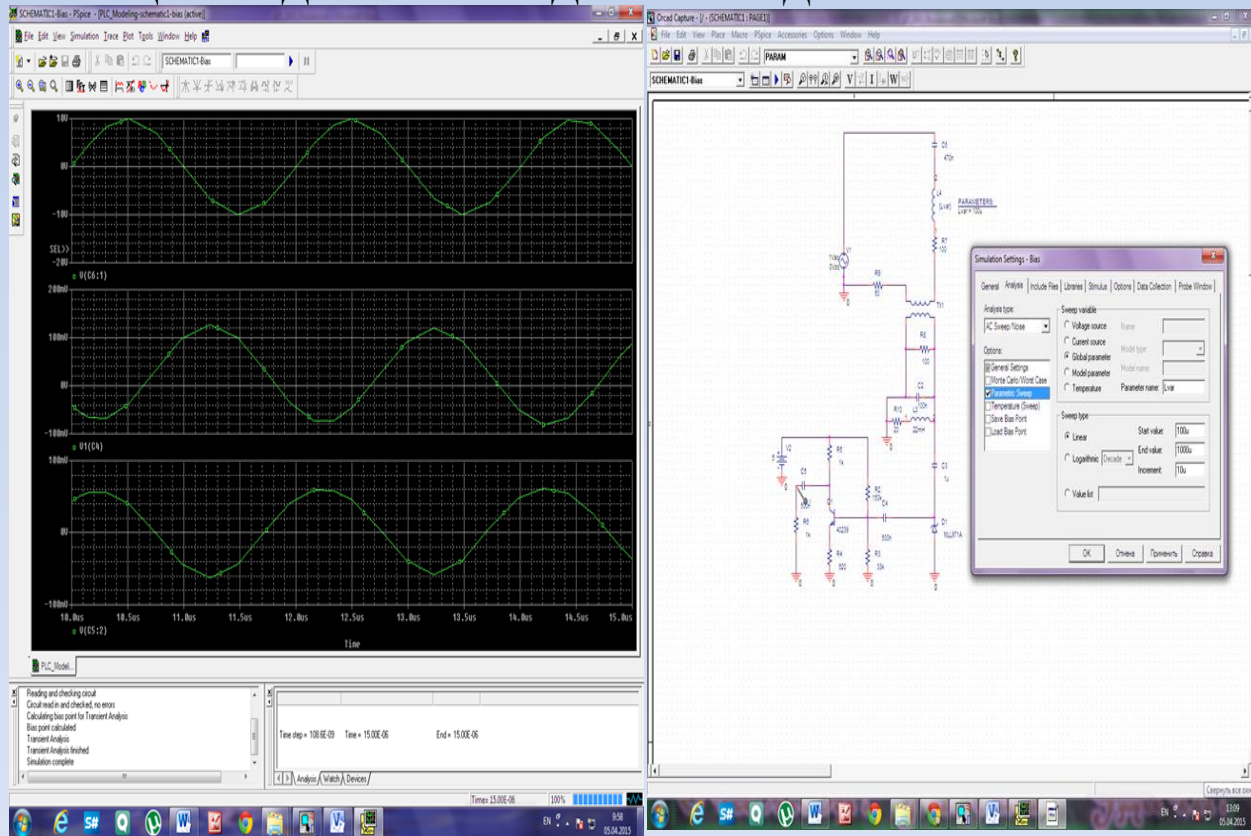


Рисунок 3.2- Моделювання часових діаграм в вузлах схеми U (C6:1) - на вході схеми перед першим фільтром C63L4, U1 (C4) – на вході підсилювального каскаду на транзисторі, та U (C5:2) – на виході підсилювального каскаду на транзисторі.

Рисунок 3.3- Моделювання та оптимізація сімейства амплітудно-частотних характеристик вхідних та вихідних каскадів схеми електричної принципової PLC модема.

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВХІДНИХ КАСКАДІВ PLC МОДЕМА В ORCAD PSPICE

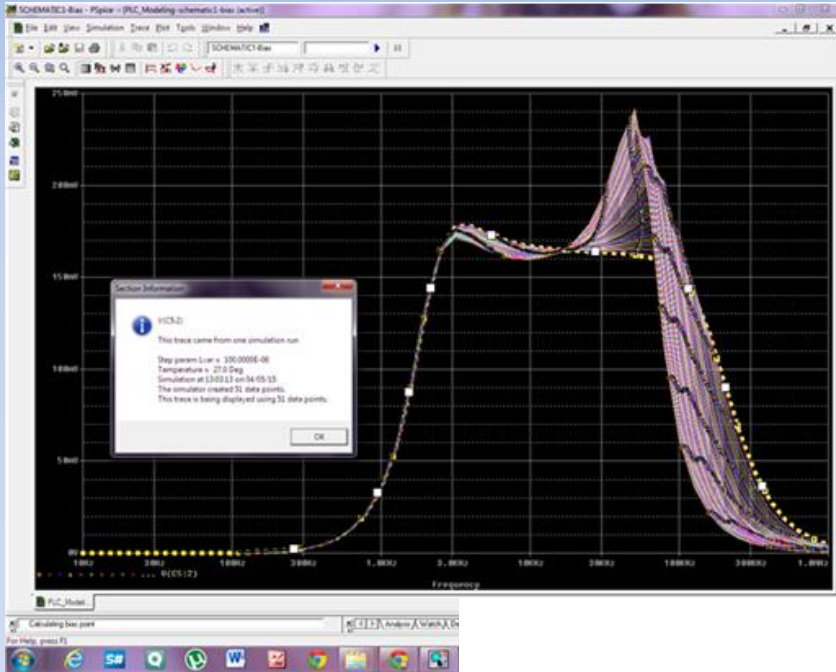
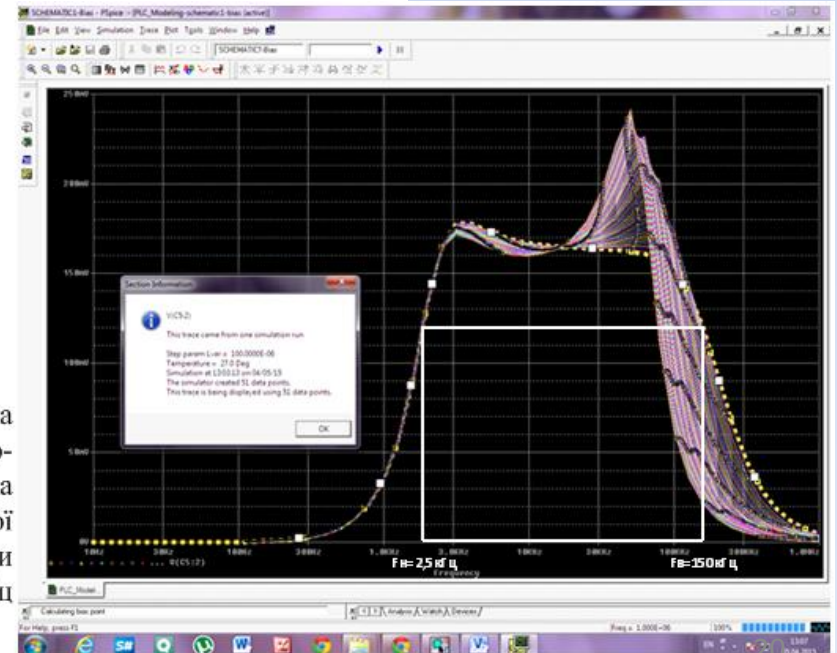


Рисунок 3.4- Моделювання сімейства амплітудно-частотних характеристик при зміні  $L_4$  в діапазоні  $100 \div 1000 \mu\text{H}$  з кроком  $10 \mu\text{H}$  в першому фільтрі вхідних каскадів схеми електричної принципової PLC модема.

Рисунок 3.5- Моделювання та оптимізація сімейства амплітудно-частотних характеристик вхідних та вихідних каскадів схеми електричної принципової PLC модема. Ширина смуги пропускання  $F_n = 2,5 \text{ кГц} \div F_n = 150 \text{ кГц}$  при оптимізації  $L_4 = 100 \mu\text{H}$



# Аналіз моделі еквівалентної схеми двопровідної лінії передачі в PLC технології та розрахунок її параметрів

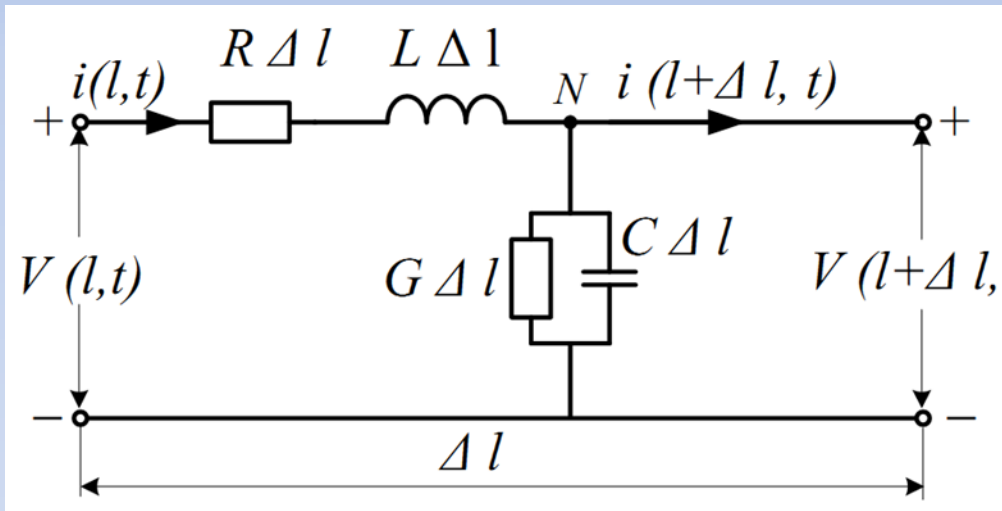


Рисунок 3.6 - Еквівалентна схема двопровідної лінії передачі

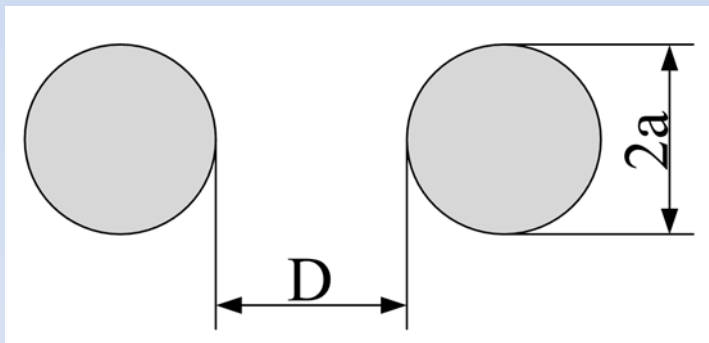


Рисунок 3.7 - Двопровідна лінія

Таблиця 3.1 - Значення параметрів двопровідної лінії на один погонний метр довжини

$C$ (пФ/м)	123
$L$ (нГн/м)	79.2
$G$ (пСм/м)	48

## ВИСНОВКИ

Передача даних в даному діапазоні частот можлива але на передаточній характеристиці можуть бути присутні вузькосмугові затування на певних частотах. Ці загасання пояснюються наявністю скруток в мережі, які визивають відбиття. Відбиття призводить до похибок при передачі даних. Тому, в PLC модемах необхідно застосовувати динамічне включення та вимкнення передачі сигналу на певних частотах. Тобто модем повинен здійснювати моніторинг каналу передачі з метою виявлення ділянки спектра з перевищенням певного порогового значення загасання. Також, для забезпечення необхідної завадостійкості, при проектуванні такої мережі, потрібно використовувати один з наступних методів модуляції: метод прямої послідовності (DS); метод частотних стрибків (FH); мультиплексування з ортогональним частотним розділенням (OFDM).

**Дякую за увагу!**