

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи РА-41
спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)

Сергієнко М.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Хвостівська Л.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Хвостівська Л.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Сергієнку Максиму Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах

Керівник роботи Хвостівська Лілія Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи частота несучої – 120кГц; швидкість передачі даних – до 56,2 біт/с
дальність передачі по одній фазі – до 10км; тип термінального інтерфейсу – RS-232; спосіб
передачі даних – пакетний; напруга живлення 220В з частотою 50Гц

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1.Основна частина

Розробка структурної схеми пристрою; вибір і обґрунтування компонентної бази; компоновка
друкованого вузла; опис режимів та налаштування пристрою

2. Спеціальна частина

3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Схеми структурна

2. Схеми електрично принципова

3. Складальне креслення друкованого вузла

4. Плата друкована

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «PLC-модем передачі даних в низькочастотних електромережах». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, групу РА-41.// Тернопіль, 2026р. // с.-72 , рис.-17, табл.- 4, бібліог.-25 , додат.-.14

Ключові слова: PLC-МОДЕМ, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, МЕРЕЖА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЦИФРОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ДРУКОВАНА ПЛАТА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ГАЛЬВАНІЧНА РОЗВ'ЯЗКА, СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ, МЕРЕЖЕВИЙ ФІЛЬТР

Роботу присвячено розробці PLC-модема передачі даних у низьковольтних електромережах, який забезпечує обмін інформацією через існуючі лінії електроживлення без використання додаткових каналів зв'язку. Пристрій побудовано на сучасній елементній базі та містить вузли узгодження з мережею, гальванічної розв'язки та захисту від перенапруг.

PLC-модем призначений для використання в системах телеметрії, автоматизації, розумного будинку та дистанційного моніторингу, де необхідна надійна передача даних по силових лініях електромережі.

Основні технічні параметри: частота несучої - 120кГц, швидкість передачі даних - 56,2 біт/с, дальність передачі по одній фазі - 10км, тип термінального інтерфейсу - RS-232, спосіб передачі даних - пакетний, напруга живлення 220В з частотою 50Гц

ANNOTATION

Theme of the qualification work: "PLC modem for data transmission in low-voltage power grids". Bachelor's qualification work// Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy , Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RA-41.// Ternopil, 2026p. // p.-72 , fig.-17 , tab.-4 , bibl.-25 , app.-.14

Keywords: PLC MODEM, DATA TRANSMISSION, POWER SUPPLY NETWORK, DIGITAL COMMUNICATION, PRINTED BOARD, AUTOMATION, GALVANIC ISOLATION, VOLTAGE STABILIZER, NETWORK FILTER

The work is devoted to the development of a PLC-modem for data transmission in low-voltage power networks, which provides information exchange through existing power lines without the use of additional communication channels. The device is built on a modern element base and contains nodes for coordination with the network, galvanic isolation and surge protection.

The PLC-modem is intended for use in telemetry, automation, smart home and remote monitoring systems, where reliable data transmission over power lines of the power network is required.

Main technical parameters: carrier frequency - 120 kHz, data transmission rate - 56.2 bit/s, transmission distance per phase - 10 km, terminal interface type - RS-232, data transmission method - packet, supply voltage 220 V with a frequency of 50 Hz

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Основна частина.....	8
1.1 Аналіз технічного завдання.....	8
1.2 Розробка структурної схеми PLC-модема передачі даних.....	15
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електрично принципової схеми PLC-модема.....	19
1.3.1 Розрахунок вузла підсилювача PLC-модема.....	21
1.3.2 Розрахунок вузла формувача рівня сигналу.....	23
1.3.3 Розрахунок вузла індикації.....	24
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....	26
1.5 Компоновка друкованого вузла.....	34
1.5.1 Опис та аналіз складального креслення друкованого вузла.....	37
1.5.2 Технічні вимоги та технологія монтажу.....	38
1.5.3 Конструктивно-технологічний опис друкованої плати.....	41
1.5.4 Аналіз топології та параметрів провідного малюнка.....	41
1.5.5 Опис схеми електрично принципової.....	43
1.6 Висновок до розділу 1.....	45
2. Охорона праці та безпека життєдіяльності.....	47
2.1 Пожежні ризики під час експлуатації PLC-модема.....	47
2.2 Заходи електробезпеки при розробці PLC-модема.....	50
2.3 Висновки до розділу 2.....	53
Висновки.....	54
Список використаних джерел.....	55
Додатки.....	59

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Сергієнко МС.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Хвостівська ЛВ.</i>				6	53
<i>Реценз.</i>					ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Хвостівська ЛВ.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Динець В.Л.</i>					
PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах Пояснювальна записка							

Вступ

PLC-модем для низьковольтних електромереж — це компактний електронний пристрій, який перетворює звичайну силову проводку на лінію високошвидкісної передачі даних. Його назва розшифровується як Power Line Communication. Принцип роботи базується на тому, що стандартний електричний струм у мережі має низьку частоту, а модем накладає поверх нього свій цифровий сигнал дуже високої частоти. Вони не заважають один одному, тому кабель одночасно живить прилади електрикою і транслює інформацію. Головне призначення такого модему полягає у забезпеченні зв'язку там, де прокласти нові інформаційні кабелі занадто дорого, а радіосигнал не пробиває стіни чи екрановані перешкоди.

Одні з головних переваг PLC-модему. Економія коштів: відсутність необхідності прокласти нові дроти для локальної мережі. Легкість монтажу: для підключення використовується стандартна силова розетка. Масштабованість: покриття мережею всієї будівлі, обмежене лише наявністю електричної проводки.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						7
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 Основна частина

1.1 Аналіз завдання на роботу

1.1.1 Обґрунтування актуальності теми

У сучасних умовах розвитку енергетики та інформаційних технологій одним із пріоритетних напрямків є створення інтелектуальних систем керування та обліку ресурсів. Впровадження концепції Smart Grid («розумних мереж») та масовий перехід на автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) вимагають розгортання надійних, економічно вигідних та масштабованих каналів зв'язку між кінцевими споживачами (лічильниками, датчиками) та центральними серверами збору даних.

Традиційні бездротові технології передачі даних (GSM/GPRS, ZigBee, Wi-Fi) у низьковольтних електромережах часто стикаються з низкою суттєвих обмежень. До них належать: висока вартість регулярного оплачуваного трафіку мобільних операторів, обмежена проникаюча здатність радіохвиль у підвальних приміщеннях чи залізобетонних спорудах (де найчастіше встановлюють щитові та лічильники), а також проблема затухання радіосигналу на великих відстанях у сільській місцевості. Провідні інтерфейси (наприклад, RS-485 або волоконно-оптичні лінії) забезпечують високу стабільність, проте вимагають значних капітальних інвестицій на етапі проектування та монтажу додаткових кабельних трас.

На цьому тлі технологія PLC (Power Line Communication), що передбачає використання існуючих низьковольтних ліній електропередач (0,4 кВ / 50 Гц) як середовища для високочастотного обміну інформацією, є найбільш перспективним та економічно виправданим рішенням. Головна перевага PLC полягає у повній відсутності потреби в прокладанні додаткових комунікаційних дротів, оскільки інформаційна інфраструктура розгортається безпосередньо поверх уже існуючої силової мережі.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проте, низьковольтні розподільчі мережі є одним із найскладніших та «ворожих» середовищ для передачі інформаційних сигналів. Вони характеризуються: Динамічною зміною імпедансу (опору): підключення та вимкнення побутових приладів постійно змінює параметри лінії. Високим рівнем промислових перешкод: імпульсні блоки живлення, світлодіодне освітлення, частотні перетворювачі та побутова техніка генерують значні завади саме в низькочастотних діапазонах. Високим згасанням сигналу: при передачі на великі відстані (до 10 км, особливо у розгалужених сільських фідерах) амплітуда корисного сигналу різко падає. У зв'язку з цим виникає гостра науково-технічна потреба в розробці завадостійких, надійних та вузькосмугових PLC-модемів. Зниження швидкості передачі даних до 56,2 біт/с при роботі на несучій частоті 120 кГц дозволяє суттєво звужити смугу прийому та застосувати прецизійні високодобротні фільтри селекції. Це забезпечує унікальну перевагу — здатність «пробивати» зашумлені лінії на надвеликі відстані (до 10 км) по одній фазі, що є критично важливим для енергетичного сектору України, зокрема для модернізації мереж у приватному секторі та віддалених населених пунктах.

Таким чином, розробка PLC-модему для низьковольтних електромереж із підвищеною завадостійкістю, можливістю пакетної передачі даних та інтеграцією стандартного термінального інтерфейсу RS-232 є актуальним інженерним завданням, спрямованим на енергоефективність, автоматизацію обліку та цифровізацію вітчизняної інфраструктури електропостачання.

По-перше, в сучасних умовах розвитку цифрових технологій особливого значення набувають системи передачі даних, які можуть працювати в існуючій інфраструктурі без прокладання додаткових комунікаційних ліній. Одним із таких рішень є технологія PLC (Power Line Communication), яка дозволяє передавати інформацію безпосередньо по існуючих низьковольтних електромережах. Це значно знижує витрати на розгортання мережі та підвищує гнучкість систем автоматизації.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По-друге, актуальність розробки PLC-модема обумовлена потребою у створенні надійного каналу зв'язку в умовах промислових та побутових електромереж, де традиційні дротові або бездротові рішення можуть бути ускладнені через перешкоди, відстань або екранування. Використання електромережі як середовища передачі даних дозволяє інтегрувати пристрої моніторингу, обліку та керування без зміни існуючої електричної інфраструктури.

По-третє, сучасні мікроконтролерні системи забезпечують можливість реалізації складних алгоритмів кодування, декодування та обробки сигналів у реальному часі. Це дозволяє підвищити завадостійкість каналу зв'язку та забезпечити стабільну передачу даних навіть в умовах значного електромагнітного шуму, характерного для силових мереж.

В підсумку, розробка PLC-модема для передачі даних у низьковольтних електромережах є актуальним і перспективним напрямом у сфері промислової автоматизації та “розумних” енергетичних систем. Такий пристрій може застосовуватись у системах “розумного будинку”, дистанційного обліку електроенергії, а також у промислових мережах керування.

У зв'язку з цим сформульовано технічне завдання, згідно з яким об'єктом розробки є PLC-модем для передачі даних по низьковольтній електромережі 220 В, що забезпечує двонаправлений обмін інформацією між вузлами системи. Пристрій побудований на основі мікроконтролера (сумісного з 8051-архітектурою), який виконує функції керування передачею та прийомом даних, а також синхронізації роботи модемного каналу.

Схема містить вузли гальванічної розв'язки на оптопарах, що забезпечують захист цифрової частини від високовольтних завад електромережі. Для узгодження сигналів використовуються трансформаторні або ємнісні розв'язувальні елементи, які виконують функцію зв'язку з силовою лінією. Живлення цифрової частини здійснюється від стабілізованого

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

джерела постійної напруги (типово +5 В та +12 В), сформованого через понижувальні перетворювачі від мережі 220 В.

Передача даних реалізується через послідовний інтерфейс (UART-подібний обмін), із застосуванням формування імпульсних сигналів та їх модуляції для передачі по силовій лінії. На стороні приймача здійснюється фільтрація, підсилення та демодуляція сигналу з подальшою обробкою мікроконтролером.

До основних вимог, які планують технічне завдання, належать:

- наявність гальванічної розв'язки між силовою та цифровою частинами;
- стійкість до імпульсних та високочастотних завад;
- сумісність із типовою елементною базою;
- можливість інтеграції з мікроконтролерними системами;
- низька собівартість та простота виготовлення.

Проект призначений для використання в системах моніторингу та керування, де необхідна передача даних без прокладання окремих ліній зв'язку. Особливу увагу приділено завадостійкості каналу зв'язку, оскільки силова мережа характеризується значним рівнем шумів та нестабільністю параметрів.

Для підвищення надійності передачі даних у схемі передбачено використання роздільних трактів обробки сигналу для передачі та прийому, а також застосування оптоелектронної розв'язки, що мінімізує вплив високовольтних імпульсів на логічну частину пристрою.

З метою оцінки доцільності реалізації пристрою було проаналізовано декілька побутових підсилювачів, які мають набір функцій, наближених до поставленого технічного завдання.

Honeywell–Elster AM540 / AS3x00 G3-PLC модуль-модем.

Модуль-модем Honeywell–Elster AM540 (G3-PLC) є спеціалізованим комунікаційним пристроєм, який застосовується для інтеграції з трифазними електролічильниками серії AS3000 та AS3500 (Alpha Smart). Його основним

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призначенням є організація обміну даними між лічильником та концентратором інформації через існуючу силову електромережу без використання додаткових каналів зв'язку.

Пристрій реалізує технологію G3-PLC (Power Line Communication), що базується на передаванні даних по електричних мережах із використанням OFDM-модуляції. Такий підхід забезпечує високу стійкість до електромагнітних завад, що є критично важливим при роботі в умовах промислових і побутових електромереж із нестабільними параметрами сигналу.

Модуль AM540 інтегрується безпосередньо в архітектуру лічильника та функціонує як комунікаційний інтерфейс системи автоматизованого обліку електроенергії. Він забезпечує зчитування вимірювальних даних, їх тимчасове зберігання та подальшу передачу до централізованого концентратора або диспетчерської системи. Окрім основних вимірювальних параметрів, може передавати службову інформацію, включаючи діагностичні повідомлення та журнали подій. Вигляд даного приладу на Рис. 1.1



Рисунок 1.1 - Модем Honeywell–Elster AM540 (G3-PLC)

Модем ModemTec MT49S є спеціалізованим пристроєм для організації передачі даних по низьковольтних електричних мережах у складі систем Power Line Communication (PLC). Він призначений для створення надійного

каналу зв'язку між віддаленими пристроями автоматизації, лічильниками або контролерами без необхідності прокладання додаткових комунікаційних ліній.

Пристрій розрахований на роботу в мережах змінного та постійного струму напругою до 230–400 В і забезпечує передавання даних через існуючу силову інфраструктуру. Завдяки використанню технології G3-PLC модем реалізує високошвидкісний та завадостійкий канал зв'язку, що адаптується до умов електромережі та її параметрів у реальному часі.

MT49S підтримує багатофазні конфігурації (одно- та трифазні версії), що дозволяє застосовувати його як у побутових, так і в промислових системах. Передача даних виконується у прозорому режимі, що дає можливість використовувати стандартні протоколи обміну, такі як Modbus, DLMS/COSEM та інші промислові протоколи без їх модифікації.

Інтерфейсна частина пристрою побудована на основі послідовних каналів RS485 та RS232, що забезпечує сумісність з мікроконтролерами, ПЛК та іншими цифровими системами керування. Вбудовані алгоритми маршрутизації та адаптивної передачі дозволяють формувати самоналаштовувану мережу з автоматичним вибором оптимальних шляхів передачі даних. Зображення даного приладу на Рис. 1.2



Рисунок 1.2 - Модем ModemTec MT49S

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

STMicroelectronics ST8500 є високопродуктивною однокристальною мікросхемою PLC-модема, призначеною для організації передачі даних по силових лініях у вузькосмугових мережах NB-PLC (Narrowband Power Line Communication). Пристрій розроблений для застосування в системах автоматизованого обліку електроенергії, мережах Smart Grid, промисловій автоматизації та інших телеметричних системах, де необхідно забезпечити надійний зв'язок через існуючу електромережу.

Мікросхема підтримує міжнародні стандарти G3-PLC та PRIME 1.4, які є одними з найбільш поширених протоколів вузькосмугового PLC-зв'язку. Завдяки цьому ST8500 може використовуватися в сумісних інтелектуальних мережах електропостачання та легко інтегруватися до сучасних систем автоматизованого збору даних.

Архітектура пристрою поєднує аналогову та цифрову обробку сигналів на одному кристалі. Вбудований цифровий сигнальний процесор виконує функції модуляції, демодуляції, кодування та корекції помилок, що дозволяє підвищити якість передачі інформації в умовах значних електромагнітних завад. Використання OFDM-модуляції забезпечує ефективне використання смуги частот і високу завадостійкість каналу зв'язку.

ST8500 підтримує роботу як у низьковольтних, так і в середньовольтних електромережах, що дозволяє організовувати зв'язок на значних відстанях без прокладання окремих комунікаційних ліній. Завдяки адаптивним алгоритмам передачі даних пристрій автоматично підлаштовується під параметри мережі та підтримує стабільний зв'язок навіть за складних умов експлуатації. Приклад пристрою на Рис. 1.3.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 - STMicroelectronics ST8500

Проведений аналіз технічного завдання та існуючих рішень у сфері PLC-зв'язку показав, що технологія передачі даних по силових лініях є перспективним напрямом розвитку систем автоматизації та дистанційного моніторингу. Розглянуті аналоги забезпечують надійний обмін інформацією через електромережу, проте більшість із них орієнтовані на промислове використання, мають складну структуру або високу вартість реалізації.

У результаті аналізу встановлено, що розроблюваний PLC-модем повинен забезпечувати стабільну передачу даних по низьковольтній мережі, мати достатню завадостійкість, просту схемотехнічну реалізацію та можливість інтеграції з мікроконтролерними системами. Реалізація такого пристрою дозволить отримати функціональне та економічно доцільне рішення для побудови систем збору та передачі даних без використання додаткових каналів зв'язку.

1.2 Розробка структурної схеми PLC-модема передачі даних

Структурна схема PLC-модема, яка зображена на Рис. 1.4, показує загальну організацію пристрою та взаємозв'язок його основних функціональних вузлів. Вона дозволяє наочно представити процес передачі та

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймання даних через силову мережу, а також взаємодію цифрових та аналогових блоків системи.

В основу побудови пристрою покладено принцип передачі цифрової інформації через низьковольтну електричну мережу з використанням спеціалізованих вузлів узгодження та гальванічної розв'язки. Структурна схема включає такі основні блоки: мікроконтролерний блок керування, передавальний тракт, приймальний тракт, блок оптичної розв'язки, вузол зв'язку з мережею, інтерфейс обміну даними та блок живлення.

Основним елементом пристрою є мікроконтролер AT89C2051, який забезпечує формування, приймання та обробку інформаційних сигналів. Через послідовний інтерфейс здійснюється обмін даними із зовнішнім обладнанням, після чого інформація надходить до передавального тракту.

Передавальний тракт виконує функцію формування сигналу, придатного для передачі через силову мережу. Для цього використовуються транзисторні ключі та елементи узгодження, які забезпечують введення інформаційного сигналу в лінію електроживлення. Сформований сигнал через вузол зв'язку подається безпосередньо до мережі змінного струму.

Приймальний тракт виконує зворотну функцію. Сигнал, що надходить із силової мережі, проходить через вузол виділення та фільтрації корисної інформації, після чого подається на вхід мікроконтролера для подальшої обробки. Наявність фільтрувальних елементів дозволяє зменшити вплив завад, які характерні для силових електромереж.

Для забезпечення електричної безпеки та захисту низьковольтних кіл від впливу високої напруги використовується блок гальванічної розв'язки, реалізований на оптопарах 4N25. Використання оптоелектронної ізоляції дозволяє виключити прямий електричний зв'язок між силовою та цифровою частинами пристрою, що значно підвищує надійність його роботи.

Важливим елементом системи є вузол зв'язку з мережею, який забезпечує узгодження параметрів сигналу між електронною схемою модема

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та силовою лінією. Саме через цей вузол здійснюється введення та приймання інформаційних сигналів без порушення основної функції електромережі щодо передачі електричної енергії.

Живлення PLC-модема здійснюється від стабілізованого джерела постійної напруги. Для цифрової частини формується напруга +5 В, необхідна для роботи мікроконтролера та оптоелектронних компонентів. Стабілізація напруги дозволяє забезпечити надійну роботу пристрою незалежно від можливих коливань параметрів джерела живлення.

Таким чином, розроблена структурна схема PLC-модема забезпечує передачу та приймання цифрових даних через силову мережу, необхідний рівень електробезпеки та завадостійкості, а також можливість інтеграції пристрою до систем автоматизованого керування, дистанційного моніторингу та обліку енергоресурсів.

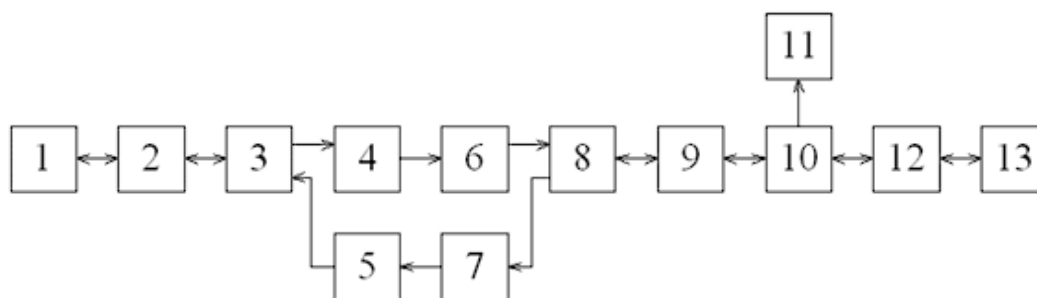


Рисунок 1.4 – Структурна схема PLC-модема

На Рис. 1.4 позначено наступні елементи PLC-модема:

- 1 – Мережа 220В;
- 2 – Трансформатор;
- 3 – Фільтр;
- 4 – Каскад;
- 5 – Трансформатор;
- 6 – Генератор;
- 7 – Блок захисту;

- 8 – Підсилювач;
- 9 – Модем;
- 10 – Мікроконтролер;
- 11 – Вузол індикації;
- 12 – Формувач рівня сигналу;
- 13 – ПК.

При прийомі інформації сигнал з мережі 220В 1 в модельованому виді поступає на вхід силового трансформатора 2, де сигнал трансформується, і з другої обмотки трансформатора, поступає на вхід узгоджуючого трансформатора, вхідним колом якого є фільтр 3, який настроєний на частоту несучої, і з виходу його вторинних обмоток поступає на вхід блоку захисту 7. Далі сигнал з виходу блоку захисту, поступає на вхід підсилювача 8, де він підсилюється до необхідного рівня, який необхідний для входу модему 9, з виходу модему сигнал в паралельному двійковому коді з виходу регістрів поступає на вхід мікроконтролера 10, де сигнал пакується в певному форматі, який необхідний для входу Com-порту ПК 13. З мікроконтролера сигнал поступає на вхід формувача рівня сигналу 12, який узгоджує вихід мікроконтролера з виходом Com-порту ПК. При передачі інформації сигнал з виходу Com-порту ПК 13 поступає на вхід мікроконтролера 10 через формувач рівня сигналу 12. З виходу мікроконтролера в паралельному коді з регістрів поступає на вхід модему 9, де він пакується і з виходу поступає на вхід підсилювача 8, де він підсилюється до необхідного рівня і поступає на вхід керуючого напругою генератора прямокутних імпульсів 6. Далі сигнал з генератора подається на вихідний каскад 4. В коло якого включений трансформатор 2, первинна обмотка якого настроєна на частоту несучої, і з виходу трансформатора сигнал поступає в мережу 1. Передача даних відображається вузлом індикації.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми PLC-модема

Принципова електрична схема є основним технічним документом, який визначає склад елементів пристрою та електричні зв'язки між ними. Вона відображає повну функціональну взаємодію вузлів PLC-модема, зокрема мікроконтролерного блока керування, передавального та приймального трактів, вузлів гальванічної розв'язки, синхронізації з мережею та живлення. Кожний елемент схеми має відповідне позиційне позначення та виконує визначені функції у процесі передачі та приймання даних через силову мережу.

Основою пристрою є мікроконтролер AT89C2051 (U3), який виконує функції формування та обробки інформаційних сигналів. Робота мікроконтролера синхронізується кварцовим резонатором X1 з частотою 11,0592 МГц, що забезпечує стабільність тактових імпульсів та коректний обмін даними через послідовний інтерфейс. Конденсатори C12 і C13 утворюють коло запуску кварцового генератора, а елементи R11 та C11 формують схему автоматичного скидання при подачі живлення.

Передача даних у силову мережу здійснюється за допомогою передавального вузла, до складу якого входять оптопара U1 та транзистори VT1 і VT2. Сигнал від мікроконтролера надходить на світлодіод оптопари, що забезпечує гальванічну розв'язку між цифровою частиною пристрою та мережею. Далі інформаційний сигнал підсилюється транзисторним каскадом і через узгоджувальні елементи подається до лінії електроживлення.

Для введення інформаційного сигналу в мережу використовується вузол зв'язку з силовою лінією, побудований на RC-ланцюгах та елементах захисту. Цей вузол забезпечує передачу високочастотної складової сигналу без впливу на основну частоту електромережі 50 Гц та виконує функцію узгодження параметрів каналу зв'язку.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймальний тракт виконує виділення корисного сигналу із силової мережі. Отриманий сигнал проходить через фільтрувальні та узгоджувальні елементи, після чого надходить на оптопару U2, яка забезпечує його електричну ізоляцію. Подальше підсилення та формування цифрових імпульсів здійснюється транзисторами VT3 і VT4, після чого сигнал передається на вхід мікроконтролера для декодування та обробки.

Для підвищення завадостійкості системи у схемі реалізовано вузол синхронізації з мережею на основі оптопар U4. Даний вузол формує сигнали переходу мережевої напруги через нуль, що дозволяє синхронізувати процес передачі інформації з фазою мережевого сигналу. Такий підхід сприяє зменшенню рівня перешкод та підвищує надійність обміну даними.

Особливу роль у схемі відіграє блок гальванічної розв'язки, реалізований на оптопарах 4N25. Використання оптоелектронної ізоляції дозволяє відокремити низьковольтну цифрову частину пристрою від силової мережі 220 В, що підвищує безпеку експлуатації та захищає електронні компоненти від перенапруг і імпульсних завад.

Живлення PLC-модема здійснюється від стабілізованого джерела постійної напруги +5 В. Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера та інших вузлів схеми використовуються фільтрувальні конденсатори, які зменшують рівень пульсацій та високочастотних завад. Правильна організація системи живлення дозволяє підвищити надійність роботи пристрою та забезпечити стабільність параметрів передавання даних.

На рисунках нижче наведено фрагменти електричної принципової схеми, що відповідають окремим функціональним вузлам PLC-модема: мікроконтролерному блоку, передавальному та приймальному трактам, вузлу синхронізації, блоку гальванічної розв'язки та системі живлення.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.1 Розрахунок вузла підсилювача PLC-сигналу

Для розрахунку було обрано блок активного підсилювача (рисунки 1.4), оскільки він є критичним з погляду виділення корисного ВЧ-сигналу несучої частоти на тлі потужної низькочастотної завади мережі живлення 50 Гц. Розрахунок проводиться для робочої частоти несучої $f_0 = 120$ кГц відповідно до технічного завдання.

Оскільки канали пристрою є симетричними, розрахунок проведено для одного каналу (елементи DA5: 2, R_{29} , R_{31} , R_{32} , C_{33}). Для забезпечення стабільної роботи ОП та ефективного підсилення на частоті 120 кГц обираємо номінал змінного резистора зворотного зв'язку $R_{29} = 10$ кОм, а опір захисного резистора на виході каскаду $R_{31} = 100$ Ом. Вхідний опір каскаду для інвертуючої схеми на високих частотах визначається реактивним опором конденсатора C_{33} та еквівалентним опором попереднього каскаду узгодження (приймемо $R_{вх} = 2$ кОм).

Амплітудне значення коефіцієнта підсилення каскаду:

$$\Delta H = \frac{R_{29}}{R_{вх}} \quad (1.1)$$

$$\Delta H = \frac{10000}{2000} = 5$$

де ΔH амплітудне відношення сигналу.

Звідси випливає, що каскад забезпечує стабільне підсилення корисного сигналу несучої частоти на рівні 14 дБ.

Ємність вхідного роздільного конденсатора C_{33} розраховується з умови забезпечення мінімального затухання на робочій частоті несучої $f_0 = 120$ кГц за формулою для фільтра першого порядку:

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta H_{\text{ВЧ}} = \frac{1}{2\pi f_0 C_{33} R_{\text{ВХ}}}$$

(1.2)

Виразивши ємність C_{33} для отримання оптимального узгодження ($\Delta H_{\text{ВЧ}} \approx 1$) отримуємо:

$$C_{33} = \frac{1}{2\pi \cdot f_0 \cdot \Delta H_{\text{ВЧ}} \cdot R_{\text{ВХ}}} \quad (1.3)$$

$$C_{33} = \frac{1}{2\pi \cdot 120000 \cdot 1 \cdot 2000} \approx 6.63 \cdot 10^{-10} \text{ Ф} \approx 680 \text{ пФ}$$

Зі стандартизованого ряду номіналів E24 обираємо конденсатор ємністю $C_{33} = 680 \text{ пФ}$.

$$R_{32} = \frac{R_{29} \cdot R_{\text{ВХ}}}{R_{29} + R_{\text{ВХ}}}$$

(1.4)

$$R_{32} = \frac{10000 \cdot 2000}{10000 + 2000} \approx 1666 \text{ Ом}$$

Зі стандартизованого ряду номіналів E24 обираємо резистор $R_{32} = 1.6 \text{ кОм}$. Для надійної фільтрації завад по шинах живлення мікросхеми $\pm 5 \text{ В}$ використано керамічні блокуювальні конденсатори $C_{34} = C_{35} = 0.1 \text{ мкФ}$. Таким чином, параметри каскаду повністю задовольняють вимогам ТЗ щодо пропускання та підсилення пакетних даних на несучій частоті 120 кГц при швидкості передачі до 56.2 біт/с на дальність до 10 км.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

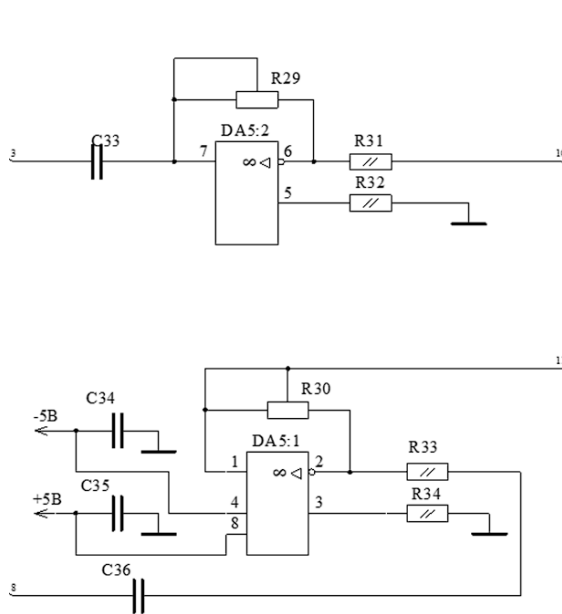


Рисунок 1.5 – Підсилювач

1.3.2 Розрахунок вузла формувача рівня сигналу

Для розрахунку було обрано блок формувача рівня сигналу (Рис. 1.5), який здійснює узгодження логічних рівнів мікроконтролера (0 ... + 5 В) та зовнішнього інтерфейсу RS – 232(±12 В). Основним завданням вузла є забезпечення правильного формування крутизни фронтів імпульсів при пакетній передачі даних та захист цифрових кіл від синфазних завад. Розрахунок параметрів елементів формувача виконано для швидкості передачі даних до 56,2 біт/с (кбіт/с) та струму комутації світлодіодів оптопар $I_{\phi} = 10$ мА. Канал формування вхідного сигналу мк. RxD здійснює детектування рівнів напруги лінії RS-232 за допомогою оптопари DA₄. Опір вхідного обмежувального резистора R₂₂ розраховується виходячи із забезпечення робочого струму через світлодіод від ізолюваного джерела інтерфейсної лінії

$$R_{22} = \frac{U_{\text{ізол}} - U_{\text{діода}}}{I_{\phi}} \quad (1.5)$$

$$R_{22} = \frac{12 - 1,2}{0,01} = 1080 \text{ Ом}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Зі стандартизованого ряду номіналів обираємо резистор $R_{22} = 1 \text{ кОм}$.

$$R_{26} = \frac{U_{\text{жив}}}{I_{\phi} \cdot \text{CTR}} \quad (1.6)$$

$$R_{26} = \frac{5}{0,01 \cdot 1,0} = 500 \text{ Ом}$$

Резистори частотної корекції (шунтування бази) R_{27} та R_{28}

$$R_{27} = R_{28} = 100 \text{ кОм}$$

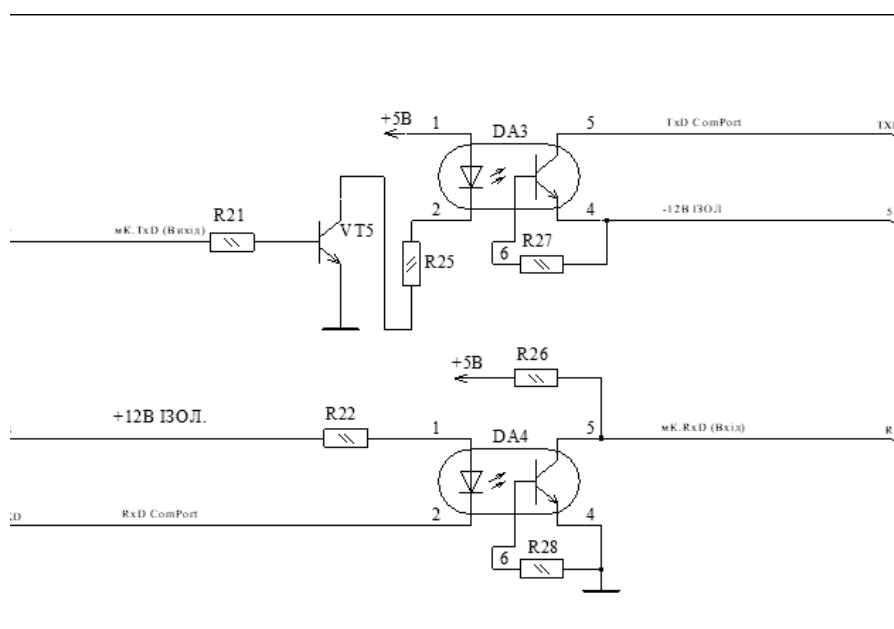


Рисунок 1.6 - Формувач рівня сигналу

1.3.3 Розрахунок вузла індикації

Для розрахунку було обрано блок світлодіодної індикації (Рис. 1.6), призначений для візуального контролю процесів прийому та передачі пакетних даних. Розрахунок параметрів елементів каскаду проводиться для стандартних індикаторних світлодіодів із робочим струмом $I_{\text{св}} = 5 \text{ мА}$ прямим падінням напруги $U_{\text{св}} = 2,0 \text{ В}$ (для світлодіодів зеленого або жовтого

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СМС 2.000.001 ПЗ

Арк.

24

кольору свічення) та напруги живлення каскаду $U_{\text{жив}} = +5$ В. Оскільки канали індикації є абсолютно симетричними, розрахунок виконано для одного каналу (елементи $H_2, VT_3, R_{19}, R_{23}$).

Розрахунок струмообмежувального резистора R_{23} у колекторному колі транзисторного ключа VT_3 який задає яскравість свічення світлодіода H_2 :

$$R_{23} = \frac{U_{\text{жив}} - U_{\text{св}} - U_{\text{ке.нас}}}{I_{\text{св}}} \quad (1.6)$$

$$R_{23} = \frac{5,0 - 2,0 - 0,2}{0,005} = \frac{2,8}{0,005} = 560 \text{ Ом}$$

де $U_{\text{ке.нас}} = 0,2$ В – напруга насичення колектор-емітер відкритого транзистора VT_3 .

Зі стандартизованого ряду номіналів E24 обираємо резистор $R_{23} = 560$ Ом (для другого каналу відповідно $R_{24} = 560$ Ом).

Розрахунок базового обмежувального резистора R_{19} Для надійного та швидкого переключення транзистора в режим насичення під час пакетної передачі даних, струм бази повинен задовольняти умову:

$$I_b \geq \frac{I_{\text{св}}}{\beta \cdot k_{\text{нас}}} \quad (1.7)$$

де $\beta = 100$ – мінімальний статичний коефіцієнт передачі струму бази транзистора; $k_{\text{нас}} = 2 \dots 5$ – коефіцієнт насичення ключа (приймемо $k_{\text{нас}} = 3$)

$$I_b = \frac{0,005 \cdot 3}{100} = 0,00015 \text{ А} = 0,15 \text{ мА}$$

Опір базового резистора розраховується за формулою:

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{19} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бе.нас}}}{I_{\text{б}}} \quad (1.8)$$

Для забезпечення чіткого і швидкого спрацьовування транзисторного ключа від цифрових виходів пристрою та з урахуванням стандартизованого ряду номіналів, опір базових резисторів оптимізується у бік зменшення і приймається рівним:

$$R_{19} = R_{20} = 10 \text{ кОм}$$

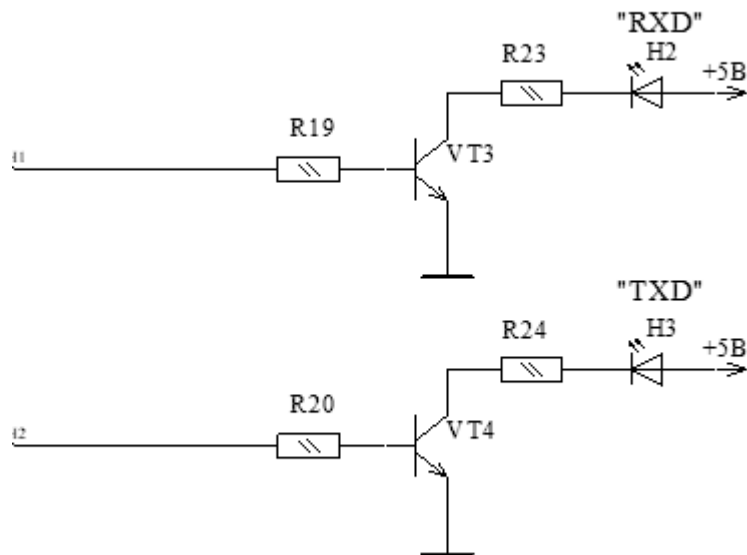


Рисунок 1.7 - Вузол індикації

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

У процесі проєктування PLC-модема для передачі пакетних даних по низьковольтних лініях електропередач ключовим етапом став детальний аналіз та обґрунтований підбір елементної бази. Оскільки розроблюваний пристрій призначений для безперервної взаємодії із силовою мережею напругою 220 В і водночас оперує високочастотними інформаційними

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СМС 2.000.001 ПЗ

Арк.

26

сигналами на частоті несучої 120 кГц, до його компонентів висувалися підвищені інженерні вимоги. Головними критеріями відбору електронних елементів стали їхня висока електрична міцність і здатність стабільно протистояти імпульсним перенапругам та завадам, що є характерним явищем для силових ліній. Разом із цим особлива увага приділялася частотним характеристикам аналогового тракту, який повинен забезпечувати чітке виділення і підсилення корисного сигналу без внесення додаткових спотворень. Також визначальними факторами виступили експлуатаційна надійність, висока температурна стабільність за умови цілодобової роботи, оптимальні масогабаритні показники для компактного розміщення вузлів фільтрації та гальванічної розв'язки на друкованій платі, а також економічна доступність компонентів на ринку та їхня повна сумісність із сучасною стандартизованою базою для спрощення подальшого серійного виробництва. Нижче наведено характеристику основних елементів пристрою

Таблиця 1.1 - Транзистор BC547:

Напруга колектор-база $U_{кбо}$ (max)	50В
Напруга колектор-емітер $U_{кео}$ (max)	45В
Допустимий струм колектора I_k (max)	0,1А
Статичний коефіцієнт передачі струму h_{21e} (min)	450
Гранична частота коефіцієнта передачі струму $f_{гр}$.	450
Потужність, що розсіюється	0,63Вт
Корпус	ТО-92
Комплементарна пара	BC557 (PNP)

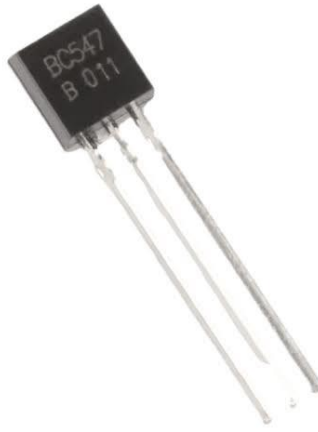


Рисунок 1.8 - Транзистор BC547

BC547 — це універсальний кремнієвий n-p-n транзистор, призначений для роботи в малопотужних сигнальних колах. Він виконує роль швидкого електронного ключа для керування світлодіодами та оптронами, або використовується як підсилювач слабких сигналів. Транзистор розрахований на напругу до 45 В і струм до 100 мА, що робить його оптимальним вибором для низьковольтних вузлів PLC-модема

Таблиця 1.2 - Стабілітрон BZX55C5V6

Виробник:	SEMTECH
Тип корпусу:	DO-35(DO-204AH)
Монтаж	ТНТ
Конфігурація	Односторонній
Напруга стабілізації	5.6
Izt -Тестовий струм стабілізації, мА	5
Pd - Розсіювана потужність, Ватт	0.5
Похибка, %	5%
Мін. робоча температура, С	-65
Макс. робоча температура, С	175



Рисунок 1.9 - Стабілітрон BZX55C5V6

BZX55C5V6 — це малопотужний кремнієвий стабілітрон (діод Зенера) з номінальною напругою стабілізації 5,6 В та максимальною потужністю розсіювання 500 мВт. Його головна суть полягає в підтриманні постійної напруги на рівні 5,6 В у колах живлення та опорної напруги, захищаючи чутливі входи мікроконтролера PLC-модема від небезпечних стрибків напруги.

Таблиця 1.3 - Характеристики трансформатора ТОТ4

Вхідний опір (первинна обмотка) між виводами 1–2:	350 Ом
Вхідний опір (первинна обмотка) між виводами 1–3:	1440 Ом
Опір навантаження (вторинна обмотка): між виводами 4–5:	125 Ом
Опір навантаження (вторинна обмотка): між виводами 4–6:	500 Ом
Максимальна напруга первинної обмотки:	3 × 2 В

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СМС 2.000.001 ПЗ

Арк.

29



Рисунок 1.10 - Трансформатор ТОТ4

ТОТ-4 — це низькочастотний мініатюрний узгоджувальний трансформатор, який слугує для гальванічної розв'язки та узгодження опорів між різними каскадами електронних пристроїв. Його суть полягає в передачі змінного сигналу (наприклад, корисного ВЧ-сигналу в PLC-модемах) за допомогою магнітного поля пермалоевого осердя, повністю ізолюючи при цьому низьковольтні цифрові кола від високовольтної силової мережі. Завдяки наявності середніх точок в обмотках, він також зручний для використання у симетричних (диференційних) схемах прийому-передачі.

Таблиця 1.4 – Характеристики мікросхеми LM7805

Вихідна напруга: фіксована:	+5 В
Вхідна напруга:	від +7 В до +35 В
Максимальний вихідний струм:	до 1.5 А
Падіння напруги (Dropout Voltage):	близько 2 В
Робочий температурний діапазон:	від 0 °С до +125 °С
Максимальний вихідний струм:	до 1.5 А



Рисунок 1.11 – Мікросхема LM7805

LM7805 — це одна з найвідоміших і найпопулярніших мікросхем у радіоелектронній інженерії, яка виконує роль монолітного лінійного стабілізатора додатної напруги. Головне завдання LM7805 — приймати на свій вхід нестабільну постійну напругу вищого рівня і видавати на виході чітко фіксовані 5В із максимальним струмом навантаження до 1.5А (для класичного корпусу TO-220). Вона працює як «електронний клапан», який гасить усе зайве, перетворюючи надлишкову потужність на тепло. У контексті вашого PLC-модема ця мікросхема є базовим елементом вузла живлення: вона бере напругу після первинного випрямляча силового трансформатора і забезпечує стабільні 5В, необхідні для живлення цифрової логіки, мікроконтролера DD3 та оптичних ізоляторів (оптопар).



Рисунок 1.12 – Діод 1N4148

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1N4148 — це один із найвідоміших і найпоширеніших кремнієвих діодів у світовій електроніці, який належить до класу швидких імпульсних напівпровідникових приладів. Його головна суть полягає в забезпеченні однонаправленого проходження електричного струму з мінімальним часом затримки при перемиканні, що робить його незамінним для обробки високочастотних сигналів та захисту логічних елементів. У схемах низьковольтних PLC-модемів цей діод найчастіше інтегрується у приймально-передавальні каскади, вузли формування імпульсів та кола захисту входів мікроконтролера від зворотних струмів і випадкових сплесків напруги, де звичайні випрямні діоди не впоралися б через свою інерційність.

Головною технічною перевагою діода 1N4148 є його надзвичайно висока швидкодія, оскільки час зворотного відновлення становить всього 4 наносекунди, що дозволяє йому безперешкодно працювати із високочастотними сигналами, включаючи робочу частоту модема 120 кГц. Прилад здатний витримувати максимальну зворотну напругу до 100 В та забезпечує стабільний середній прямий струм на рівні 200 мА, при цьому в коротких імпульсах він може пропускати струми силою до декількох ампер. Завдяки кремнієвій структурі пряме падіння напруги при номінальному струмі становить близько 1 В, а значення власної ємності переходу не перевищує 4 пікофарад, що мінімізує внесення паразитних спотворень у корисний інформаційний пакет даних.

З конструктивного погляду діод випускається в компактному скляному корпусі DO-35 з гнучкими выводами для наскрізного монтажу в отвори, що повністю узгоджується з технологічними параметрами вашої друкованої плати. При компонуванні друкованого вузла PLC-модема його характеристики дозволяють монтувати елемент за стандартними варіантами формування выводів у безпосередній близькості до комутаційних транзисторів BC547 або операційних підсилювачів. Висока температурна стабільність із робочим діапазоном від мінус 65 до плюс 175 градусів Цельсія гарантує тривалу та

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безвідмовну роботу захисних кіл пристрою навіть при цілодобовому підключенні модема до розподільчої електромережі

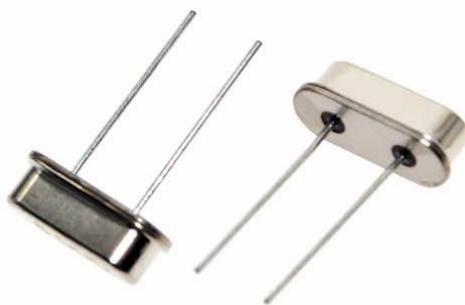


Рисунок 1.13 - Кварцевий резонатор 4 MHz HC-49S

Кварцовий резонатор на 4 МГц у корпусі HC-49S — це високостабільний пасивний електронний компонент, призначений для стабілізації та задання тактової частоти роботи цифрових мікросхем. Його головна суть полягає у використанні зворотного п'єзоелектричного ефекту, за якого механічні коливання кварцової пластини під дією електричного поля перетворюються на високоточний електричний сигнал заданої частоти. У структурі вашого PLC-модема цей елемент є «серцем» системи тактування мікроконтролера DD3. Він генерує базові опорні імпульси, на основі яких процесор виконує програмний код, координує пакетну передачу даних, відраховує часові інтервали та забезпечує точну роботу інтерфейсу RS-232, де навіть мінімальне відхилення частоти може призвести до повної втрати синхронізації та появи помилок у лінії.

З погляду технічних характеристик цей резонатор налаштований на номінальну резонансну частоту 4 МГц і володіє надзвичайно високою точністю, оскільки стабільність частоти зазвичай становить близько плюс-мінус 20 або 30 часток на мільйон. На відміну від звичайних RC-генераторів, кварцовий кристал має колосальну добротність, що мінімізує фазові шуми та дрейф частоти при зміні зовнішніх умов. Елемент розрахований на роботу в

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

широкому температурному діапазоні від мінус 20 до плюс 70 градусів Цельсія, має еквівалентний послідовний опір не більше 150 Ом і потребує для коректного запуску генератора підключення двох зовнішніх навантажувальних конденсаторів невеликої ємності, зазвичай номіналом від 18 до 22 пікофарад.

Конструктивне виконання у низькопрофільному металевому корпусі НС-49S робить його дуже зручним для сучасного монтажу. На відміну від старого високого корпусу НС-49U, модифікація із суфіксом «S» має висоту всього близько 3,5 міліметрів, що повністю відповідає обмеженням вашого складального креслення, де максимальна висота плати не повинна перевищувати 25 міліметрів. На самому кресленні друкованого вузла для елементів Z1 та Z2 показано специфіку їхнього встановлення: через металевий корпус резонатора та його чутливість до вібрацій, під час складання його гнучкі виводи монтуються в отвори за варіантом щільного прилягання, а сам корпус додатково фіксується до поверхні склотекстоліту за допомогою краплі клею БФ-4. Це захищає паяні з'єднання від руйнування та гарантує стабільну генерацію тактових імпульсів в умовах безперервної експлуатації модема.

1.5 Компоновка друкованого вузла пристрою

Загальні принципи та конструктивні основи компонування друкованого вузла PLC-модема полягають у забезпеченні оптимального просторового розташування електронних компонентів на друкованій платі з урахуванням жорстких електричних, технологічних, теплових та заводозахисних вимог. Оскільки цей пристрій поєднує в собі високовольтні силові кола напругою 220 В та чутливі низьковольтні цифрові інтерфейси, етап компонування є визначальним для досягнення необхідної надійності, електробезпеки та заводостійкості модема в умовах тривалої експлуатації.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним критерієм розміщення елементів на платі є функціонально-зонавана логіка. Поверхня друкованої плати чітко розділяється на три автономні області: блок високочастотного аналогового прийому-передачі на частоті 120 кГц, низьковольтний цифровий блок обробки даних мікроконтролером та високовольтний вузол узгодження із силовою мережею 220 В. Таке фізичне рознесення дозволяє локалізувати імпульсні перешкоди, суттєво спрощує подальше трасування сигнальних доріжок і мінімізує взаємні наведення між вузлами.

Важливим фактором є мінімізація довжини провідників у високочастотному аналоговому тракті. Компоненти активного підсилювача та фільтра на базі операційного підсилювача DA5 розташовуються в безпосередній близькості один до одного, що дозволяє зменшити паразитні ємності та індуктивності, які здатні викривити форму пакетних сигналів. При цьому елементи розміщуються за логікою послідовного проходження сигналу від вхідного інтерфейсу до вихідних каскадів сполучення з лінією.

Особлива увага при компонуванні приділяється ізоляції аналогових ліній від цифрових шин мікроконтролера та інтерфейсу RS-232. Для запобігання проникненню цифрового шуму в чутливий приймальний тракт, ці зони максимально віддаляються одна від одної. Блокувальні керамічні конденсатори кіл живлення мікросхем встановлюються у безпосередній близькості до виводів живлення ОП та мікроконтролера, що забезпечує ефективне придушення локальних високочастотних пульсацій струму.

Тепловий режим пристрою оптимізується шляхом винесення потужних компонентів, таких як лінійні стабілізатори напруги та струмообмежувальні резистори, ближче до периферійних ділянок плати. Це створює умови для кращого природного охолодження та запобігає локальному перегріву друкованої основи.

Забезпечення електромагнітної сумісності пристрою реалізується через правильну організацію системи заземлення та екранних поверхонь. Для

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розділення завад силова земля інтерфейсної частини та аналогова земля низьковольтних кіл виконуються у вигляді ізольованих полігонів, які з'єднуються лише в одній точці за принципом зірки, або повністю розв'язуються за допомогою спеціалізованих трансформаторів та оптопар.

Технологічність виготовлення друкованого вузла передбачає уніфікацію орієнтації корпусів напівпровідникових елементів, транзисторів BC547 та мікросхем для спрощення процесу автоматизованого або ручного монтажу. Між компонентами витримуються нормативні зазори, що враховують габарити паяльного обладнання та забезпечують вільний доступ до елементів під час проведення ремонтних чи налагоджувальних робіт.

Трасування друкованих провідників виконується з урахуванням амплітуди струмів та напруг. Доріжки, які зв'язують плату з мережею 220 В, проєктуються з підвищеною шириною для виключення їхнього нагріву і прокладаються без гострих кутів, виключно з поворотами під кутом 45 градусів, що запобігає концентрації електричного поля та відшаруванню мідного фольгованого шару. Між високовольтними та низьковольтними провідниками витримується гарантований повітряний зазор, який унеможливорює ризик електричного пробоя ізоляції текстоліту.

Для реалізації гальванічної розв'язки ліній інтерфейсу RS-232 елементи формувача рівня сигналу та оптопари розміщуються безпосередньо на межі розподілу цифрової та ізольованої зон, утворюючи суцільний ізоляційний бар'єр на платі. Елементи світлодіодної індикації, що відображають пакетну передачу даних, виносяться на край друкованого вузла для зручності візуального контролю експлуатаційного стану модема.

У процесі конструкторського планування використовуються сучасні програмні комплекси, зокрема САПР Altium Designer, яка дозволяє автоматично контролювати дотримання правил проєктування через модулі електричної та геометричної перевірки. Завдяки тривимірній візуалізації компоновання стає можливим заздалегідь оцінити правильність взаємного

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташування габаритних вузлів зв'язку, таких як трансформатор Т0Т-4, та виключити інженерні помилки ще до етапу виробництва друкованої плати. Таким чином, раціональне компоновання друкованого вузла низьковольтного PLC-модема є результатом компромісу між високою заводостійкістю інформаційного тракту, тепловою стабільністю компонентів та гарантуванням повної електробезпеки для обслуговуючого персоналу пристрою.

1.5.1 Опис та аналіз складального креслення друкованого вузла

Складальне креслення друкованого вузла PLC-модема передачі даних у низьковольтних електромережах (СМС 2.000.001 СК) є основним конструкторським документом, який визначає архітектуру модуля, геометричні параметри розміщення елементів та технічні вимоги до його фінішного складання та монтажу.

На кресленні представлено друковану плату з габаритними розмірами 210x100 мм (настановні розміри між кріпильними отворами становлять 200x90 мм). Товщина друкованої основи із фольгованого склотекстоліту становить 1,5 мм, а максимальна висота вузла в зборі з урахуванням найвищих елементів (мережевих фільтрів, трансформатора Т2 та роз'ємів) не перевищує 25 мм, що дозволяє компактно інтегрувати плату в стандартні приладові корпуси.

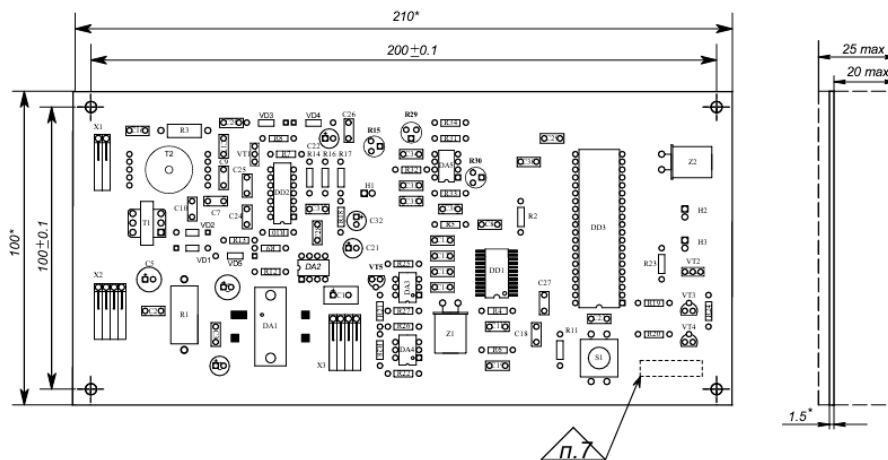


Рисунок 1.14 – Складальне креслення друкованого вузла

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СМС 2.000.001 ПЗ

Арк.

37

1.5.2 Технічні вимоги та технологія монтажу

Відповідно до наведених на кресленні технічних вимог, процес виготовлення та контролю якості друкованого вузла базується на суворих національних та міжнародних стандартах:

Підготовка та пайка: Підготовка елементів до монтажу здійснюється згідно з ДСТУ 2779, а сам процес пайки виконується олов'яно-свинцевим припоєм марки ПОС-61 (ДСТУ 2784) відповідно до вимог ДСТУ 2783-94. Для автоматизованого або ручного контролю якості монтажу електронних компонентів закладено жорсткий міжнародний стандарт IPC-A-610 із кроком координатної сітки 1,25 мм.

Захисне покриття: Для забезпечення вологозахисту, надійної ізоляції високовольтних кіл та стійкості до струмопровідного пилу в умовах промислової експлуатації, плата покривається спеціальним електроізоляційним лаком марки ЕП-730-413 (ТУ-10-1539-76). Захисним шаром покривається вся поверхня плати, за винятком місць зовнішніх під'єднань (роз'єми X1, X2, X3) та маркувальних зон.

Особливості кріплення елементів: Креслення містить виносний елемент (вузол специфікації деталей Z1, Z2 у масштабі 2:1), який демонструє технологію механічного кріплення компонентів (наприклад, кварцових резонаторів або важких фільтрів). Для запобігання пошкодженню від вібрацій вони додатково фіксуються до друкованої плати за допомогою клею БФ-4 (або аналогічного) згідно з п.11 технічних вимог.

Процес конструкторської розробки друкованого вузла PLC-модема передачі даних у низьковольтних електромережах у середовищі САПР Altium Designer базувався на принципі наскрізного проектування, що дозволило забезпечити прямий зв'язок між електричною принциповою схемою та топологією друкованої плати. Першим етапом роботи стало перенесення бази даних електричних з'єднань та специфікації компонентів у графічний редактор

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

друкованих плат за допомогою команди Design – Update PCB. Після імпорту компонентів було визначено фізичні контури плати відповідно до заданих габаритних розмірів 210x100 мм та товщини матеріалу 1,5 мм, а також сформовано чотири кріпильні неметалізовані отвори діаметром 3,5 мм по кутах плати.

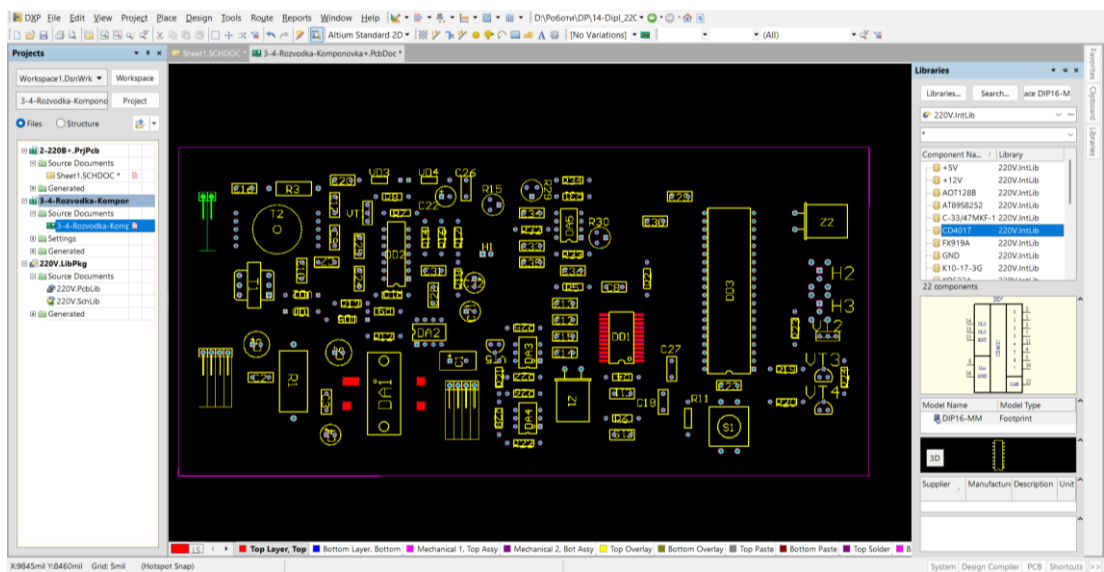
Наступним критично важливим кроком стало конфігурування менеджера стеків шарів (Layer Stack Manager) та налаштування глобальних проектних правил (Design Rules). Враховуючи необхідність забезпечення високої завадостійкості пристрою, що працює на несучій частоті 120 кГц, та жорсткі вимоги електробезпеки при взаємодії з мережею 220 В, у правилах Clearance Constraint було задано диференційовані зазори: не менше 2,5 мм для вільної зони та 1,25 мм у вузьких місцях між провідниками та контактними майданчиками. У правилах Routing Width було визначено ширину сигнальних доріжок на рівні 0,5 мм, а для ланцюгів живлення стабілізатора LM7805 та високовольтних провідників зв'язку — підвищено до 1,0 мм, що повністю виключає їхнє нагрівання за умови використання фольгованого склотекстоліту марки СФ-2-50-1,5.

Процес просторового розміщення елементів на платі виконувався вручну на основі попередньо визначеного функціонального зонування. Компоненти високовольтного вхідного фільтра, захисних варисторів та погоджувальних трансформаторів Т1 і Т2 були локалізовані у лівій верхній частині плати поблизу силового роз'єму Х1. Цифровий блок, що охоплює мікроконтролер АТ89LS8252, тактовий кварцовий резонатор на 4 МГц та мікросхему модема Fx919А, було зміщено в центральну область друкованого вузла. Операційний підсилювач DA5 аналогового тракту та оптопари 4N25 гальванічної розв'язки інтерфейсу RS-232 разом із вихідним роз'ємом Х3 розміщено у правій частині плати. Таке групування дозволило сформувавши чіткі межі розподілу сигналів та створити суцільний ізоляційний бар'єр.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Трасування провідників здійснювалося в інтерактивному режимі з використанням ортогонального розведення під кутами 45 градусів, що дозволило уникнути відшарування мідного шару при виробництві та мінімізувати паразитну індуктивність ліній. На шарі Top Layer було розведено переважну більшість сигнальних ліній цифрової шини даних та інтерфейсних зв'язків, тоді як шар Bottom Layer було максимально відведено під формування суцільних екрануючих полігонів загального дроту («землі»), які з'єднуються в одній точці за принципом зірки для придушення високочастотних комутаційних завад. Блокувальні керамічні конденсатори ємністю 0,1 мкФ у процесі трасування були розміщені на мінімальній відстані від виводів живлення мікросхем.

На завершальному етапі проектування в Altium Designer було проведено повну верифікацію топології за допомогою модуля автоматизованого контролю проектних правил (Design Rule Check). Перевірка підтвердила відсутність помилок нерозведених з'єднань, порушень технологічних зазорів та перетинів сигнальних ліній. Завдяки інтегрованому модулю тривимірного моделювання (3D PCB) було виконано реалістичний візуальний аналіз друкованого вузла у зборі, що дозволило точно проконтролювати висоту розташування габаритних елементів у межах заданого обмеження 25 мм.



						<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Рисунок 1.15 – Компонування друкованого вузла (реалізована в Altium Designer)

1.5.3 Конструктивно-технологічний опис друкованої плати

Друкована плата PLC-модема (креслення СМС 7.102.001) є двосторонньою (ДПП) з габаритними розмірами 210x100 мм та товщиною 1,5 мм. Як базовий матеріал для виготовлення обрано фольгований склотекстоліт марки СФ-2-50-1,5, що має двостороннє покриття мідною фольгою товщиною 50 мкм. Цей матеріал забезпечує високу механічну міцність, відмінні діелектричні властивості та стійкість до розшарування при термічних навантаженнях, що є критично важливим для пристроїв, підключених до силової мережі 220 В.

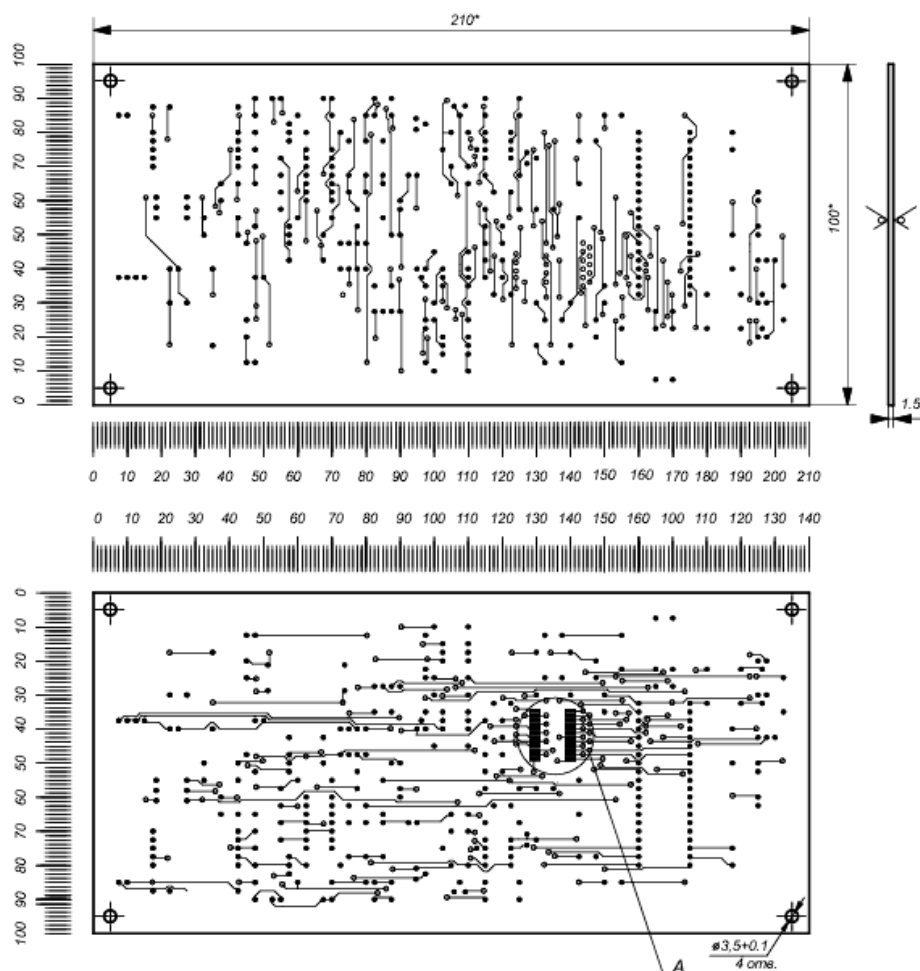


Рисунок 1.16 – Плата друкована PLC-модема

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СМС 2.000.001 ПЗ

Арк.

41

1.5.4 Аналіз топології та параметрів провідного малюнка

Розробка провідного малюнка плати виконана комбінованим позитивним методом з кроком координатної сітки 1,25 мм відповідно до 3-го класу точності згідно з ДСТУ ІЕС 61188-5-1.

Аналіз топології шарів показує чітку оптимізацію геометричних розмірів під робочі струми та частоту сигналу 120 кГц:

Ширина провідників: У вільних місцях плати ширина доріжок становить 1 мм, а у вузьких місцях (між виводами мікросхем) зменшується до 0,5 мм. Це гарантує, що силові ланцюги живлення та каскади зв'язку витримують струмові навантаження без перегріву мідного шару.

Ізоляційні відстані: Мінімальна відстань між двома провідниками, а також між провідником і контактною площадкою у вузьких місцях становить не менше 1,25 мм (у вільних зонах — 2,5 мм). Такі зазори повністю задовольняють вимогам електробезпеки та унеможливають виникнення поверхневого пробоя або паразитних наведень між високовольтною та низьковольтною частинами модема.

Отвори та металізація

Для монтажу елементів та міжшарових з'єднань на платі передбачено два типи металізованих отворів (наявність металізації підтверджена Таблицею 1 креслення):

Отвори діаметром 0,45 мм (у кількості 52 шт.) з діаметром контактної площадки 1 мм — використовуються переважно як перехідні отвори (Vias) для зв'язку між шарами.

Отвори діаметром 0,9...1,0 мм (у кількості 114 шт.) з діаметром контактної площадки 1,5 мм — призначені для встановлення вивідних (DIP) компонентів, транзисторів BC547, стабілітронів та дискретних елементів фільтрації. Крім того, по кутах плати виконано 4 кріпильні неметалізовані отвори діаметром 3,5 мм для надійної фіксації плати у корпусі за допомогою гвинтів або стійок.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

1.5.5 Опис схеми електричної принципової

Електрична принципова схема пристрою побудована за модульним принципом, де кожен функціональний вузол виконує чітко визначену роль у процесах прийому, обробки та передачі пакетних даних через силову мережу. Основним конструктивним правилом при реалізації схеми стало фізичне та електричне розділення чутливих низьковольтних інформаційних трактів від високовольтних силових ланцюгів напруги 220 В, що дозволяє досягти високої завадостійкості та гарантує повну безпеку експлуатації.

У лівій верхній частині схеми зосереджено вузол спряження з низьковольтною електричною мережею змінного струму, підключення до якої здійснюється через роз'єм X1. Цей блок містить елементи пасивного захисту (резистори, конденсатори) та два спеціалізовані трансформатори T1 і T2, які забезпечують первинну фільтрацію промислової частоти 50 Гц та виділення високочастотного корисного сигналу на частоті несучої 120 кГц. Безпосередньо під ним розташовано блок лінійного живлення. Його основою є інтегральний стабілізатор напруги DA1 типу LM7805, який разом із фільтрувальними електролітичними та керамічними конденсаторами C3, C6, C1 забезпечує фіксовану напругу 5 В для всієї цифрової логіки. Додатково застосовано перетворювач напруги DA2 типу ADM660AN, який формує негативне плече живлення, необхідне для коректної роботи аналогових каскадів підсилення.

Центральну частину схеми займає обчислювальний цифровий блок, виконаний на базі мікроконтролера DD3 типу AT89LS8252. Процесор працює у зв'язці з високостабільним вузлом тактування, який складається з кварцового резонатора Z2 на 4 МГц та двох навантажувальних конденсаторів C29 і C30, а також містить ланцюг ручного скидання із тактовою кнопкою S1. Для виконання операцій модуляції та демодуляції пакетних даних до мікроконтролера через паралельну шину D0–D7 підключено спеціалізовану

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікросхему модема DD1 типу Fx919A. Вона відповідає за перетворення цифрових команд процесора в аналогову форму для передачі в лінію та зворотне декодування прийнятих пакетів. Взаємодія між модемом та лінією підсилення керується вузлом формування імпульсів на базі логічних елементів мікросхеми DD2, що працює разом із комутаційними транзисторами VT1 і VT2.

Права частина схеми відведена під аналоговий приймально-передавальний тракт та інтерфейс зв'язку із зовнішнім обладнанням. Тут розміщено операційний підсилювач DA5, диференційні каскади якого виконують прецизійне підсилення та додаткову смугову фільтрацію слабкого ВЧ-сигналу перед його обробкою. Нижче реалізовано блок послідовного інтерфейсу для підключення до керуючого комп'ютера або промислового контролера через роз'єм X3 за стандартом RS-232. З метою захисту користувача та цифрової логіки від аварійних режимів мережі, лінії передачі TxD та прийому RxD повністю ізольовані від процесорного блока за допомогою швидкісних оптопар DA3 та DA4 типу 4N25, які забезпечують надійну гальванічну розв'язку. Візуальний контроль за поточним станом пристрою та пакетним обміном даними здійснюється за допомогою світлодіодних індикаторів H2 та H3, що підключені через ключові транзистори VT3, VT4 та VT5.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						44
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

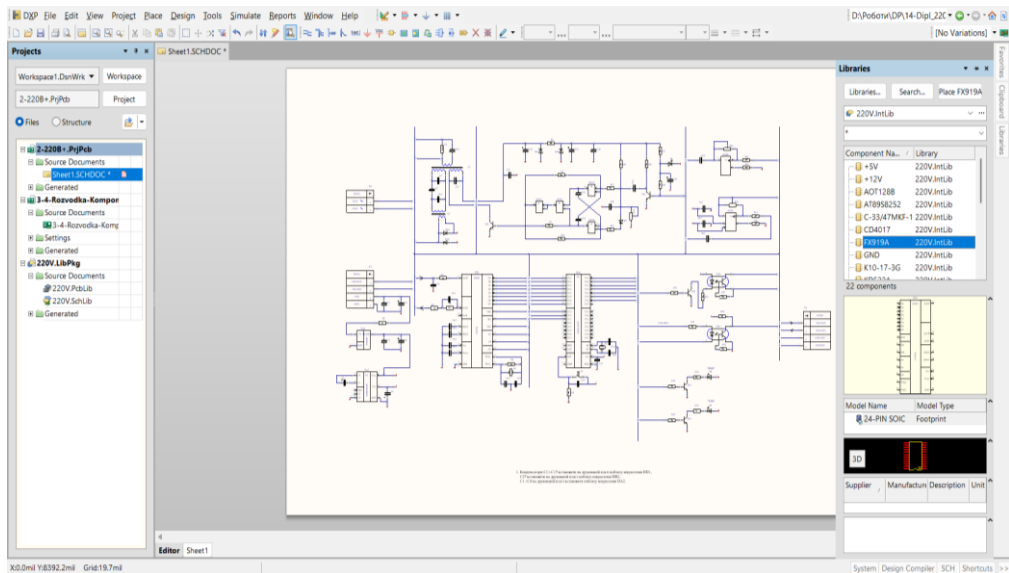


Рисунок 1.17 - Схема електрична принципова (реалізована в Altium Designer)

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі здійснено глибоке вивчення технічного завдання, логічної побудови пристрою та його електричної принципової схеми. Окрему увагу приділено моделюванню та інженерному обґрунтуванню основних функціональних вузлів. Проведений аналіз вимог до системи дозволив сформулювати перелік основних характеристик та критеріїв, необхідних для забезпечення її ефективної та стабільної роботи. Виявлено, що технічні вимоги охоплюють увесь спектр необхідних параметрів для створення надійного електронного пристрою.

Було вивчено побудову системи на рівні структурної схеми, визначено її ключові блоки та встановлено взаємодію між ними. Результати аналізу підтвердили, що така архітектура повністю узгоджується з поставленими вимогами та забезпечує ефективне функціонування. Докладно описано принцип дії кожного функціонального елемента, а також проаналізовано рівень надійності та функціональної придатності схеми. Проведено необхідні електротехнічні розрахунки для критичних ділянок, що підтвердило їх відповідність заданим технічним характеристикам.

						<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			45

Окремо розглянуто параметри друкованого монтажу, з урахуванням вимог до тепловідведення, зменшення втрат та компактності. Виконано дослідження ринку електронних компонентів з метою вибору найбільш оптимальних варіантів за критеріями доступності, вартості та довговічності. Кожен компонент підібрано з урахуванням відповідності до необхідних характеристик.

Також розроблено варіант розміщення елементів на друкованій платі, що забезпечує компактність конструкції та зручність збирання. Перевірено її відповідність нормам ергономіки та технічним вимогам. Підсумовуючи, можна стверджувати, що усі виконані роботи в межах розділу 1 демонструють відповідність розробленого пристрою поставленим завданням, підтверджують його функціональність, надійність і відповідність сучасним технічним вимогам.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						46
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Які аварійні та пожежні ризики можуть виникати під час експлуатації PLC-модема передачі даних у низьковольтних електромережах і які заходи необхідно передбачити для їх запобігання

Аварійні та пожежні ризики під час експлуатації PLC-модема передачі даних у низьковольтних електромережах та заходи щодо їх запобігання

PLC-модем призначений для передачі цифрової інформації через існуючі низьковольтні електричні мережі змінного струму напругою 220 В. Оскільки пристрій безпосередньо взаємодіє із силовою мережею, під час його експлуатації можуть виникати небезпечні та шкідливі фактори, які здатні призвести до аварійних ситуацій, пошкодження обладнання, пожежі або ураження людини електричним струмом.

Одним із найбільш поширених аварійних режимів є коротке замикання в електричних колах пристрою. Причинами виникнення коротких замикань можуть бути помилки монтажу, старіння ізоляції, механічне пошкодження друкованої плати, пробій напівпровідникових елементів, а також потрапляння вологи або струмопровідного пилу всередину корпусу. У разі виникнення короткого замикання струм у колі різко збільшується, що супроводжується значним тепловиділенням. Це може спричинити руйнування друкованих провідників, пошкодження елементів схеми та займання ізоляційних матеріалів.

Іншим небезпечним фактором є виникнення перенапруг у мережі живлення. Джерелами таких перенапруг можуть бути аварії в електромережі, комутація потужного електрообладнання, короткочасні провали або стрибки напруги, а також грозові розряди. Імпульсні перенапруги здатні викликати пробій транзисторів, оптопар, мікроконтролера та інших електронних компонентів PLC-модема. Особливо вразливими є вузли, які безпосередньо

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підключені до силової мережі та виконують функції введення і приймання сигналу.

Певну небезпеку становить перегрів електронних компонентів. У процесі тривалої роботи нагрівання можуть зазнавати резистори, транзистори, стабілізатори напруги та інші елементи схеми. Перевищення допустимої температури призводить до прискореного старіння матеріалів, погіршення електричних характеристик та зменшення терміну служби пристрою. За несприятливих умов експлуатації перегрів може стати причиною займання полімерних матеріалів корпусу або ізоляції провідників.

Особливу увагу необхідно приділяти небезпеці ураження електричним струмом. Під час монтажу, налагодження або ремонту PLC-модема персонал може контактувати з ділянками схеми, які знаходяться під напругою мережі 220 В. Навіть короткочасний дотик до струмоведучих частин може спричинити важкі наслідки для здоров'я людини. Тому під час експлуатації необхідно забезпечити надійну електричну ізоляцію та виключити можливість випадкового доступу до небезпечних ділянок схеми.

Додатковим джерелом небезпеки є електромагнітні завади та імпульсні перехідні процеси, характерні для силових мереж. Вони можуть призводити до збоїв у роботі мікроконтролера, помилок передачі даних та некоректного функціонування окремих вузлів модема. У деяких випадках такі процеси можуть викликати пошкодження електронних компонентів та подальший розвиток аварійної ситуації.

Для запобігання виникненню аварійних режимів та пожеж необхідно передбачити комплекс конструктивних, технічних та організаційних заходів безпеки. Насамперед у колі живлення пристрою доцільно встановити плавкий запобіжник або автоматичний вимикач, який забезпечуватиме автоматичне відключення живлення у разі перевищення допустимого струму.

Для захисту від імпульсних перенапруг рекомендується використовувати варистори, газорозрядники або TVS-діоди, які обмежують

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівень напруги до безпечного значення та запобігають пошкодженню елементів схеми. Ефективним заходом також є використання мережевих фільтрів, які знижують рівень високочастотних завад та покращують електромагнітну сумісність пристрою.

Важливим елементом забезпечення електробезпеки є гальванічна розв'язка між цифровою частиною модема та силовою мережею. У розроблюваному пристрої дана функція реалізується за допомогою оптопар типу 4N25, які забезпечують передачу сигналу без прямого електричного контакту між колами. Завдяки цьому значно знижується ризик пошкодження мікроконтролера та ураження користувача електричним струмом.

Для зменшення ймовірності перегріву необхідно забезпечити правильний вибір потужності електронних компонентів, дотримання допустимих режимів їх роботи та належне тепловідведення. У разі необхідності можуть застосовуватися радіатори, вентиляційні отвори або інші засоби охолодження. Корпус пристрою повинен бути виготовлений із важкогорючих або негорючих матеріалів, що відповідають вимогам пожежної безпеки.

Друкована плата повинна проектуватися з дотриманням нормативних відстаней між високовольтними та низьковольтними провідниками. Особливу увагу слід приділяти ширині струмопровідних доріжок, якості ізоляції та надійності паяних з'єднань. Це дозволяє зменшити ризик пробою ізоляції та виникнення коротких замикань.

Під час експлуатації PLC-модема необхідно здійснювати періодичний контроль технічного стану обладнання, перевіряти відсутність механічних пошкоджень, стан ізоляції та якість електричних контактів. Монтаж і обслуговування пристрою повинні виконуватися лише при відключеній напрузі з дотриманням вимог правил безпечної експлуатації електроустановок.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, основними аварійними та пожежними ризиками під час експлуатації PLC-модема є короткі замикання, перенапруги, перегрів електронних компонентів, вплив електромагнітних завад та можливість ураження електричним струмом. Реалізація комплексу технічних і організаційних заходів безпеки дозволяє суттєво підвищити надійність роботи пристрою, забезпечити його пожежну безпеку та мінімізувати ризики для обслуговуючого персоналу.

ДСТУ EN 61140:2015

Захист від ураження електричним струмом. Загальні положення щодо електроустановок і електрообладнання.

Регламентує:

- основну та додаткову ізоляцію;
- гальванічну розв'язку;
- вимоги до захисних заходів.

ДСТУ EN 62368-1:2017

Обладнання аудіо-, відео-, інформаційних та комунікаційних технологій.

2.2 Які заходи електробезпеки необхідно застосувати під час розроблення підключення налагодження та технічного обслуговування PLC-модема передачі даних у низьковольтних електричних мережах?

PLC-модем передачі даних призначений для роботи в низьковольтних електричних мережах змінного струму напругою 220 В та містить вузли, що мають безпосередній електричний зв'язок із мережею живлення. У зв'язку з цим під час розроблення, монтажу, налагодження та технічного обслуговування пристрою необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів електробезпеки, спрямованих на захист персоналу від ураження електричним струмом та забезпечення безпечної експлуатації обладнання. Під час проектування PLC-модема одним із головних заходів електробезпеки

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

є застосування гальванічної розв'язки між високовольтною частиною схеми та низьковольтними цифровими колами. У розроблюваному пристрої ця функція реалізується за допомогою оптопар 4N25, які забезпечують передачу інформаційного сигналу без прямого електричного контакту між силовою мережею та мікроконтролером. Такий підхід дозволяє значно зменшити ризик пошкодження цифрових компонентів у разі виникнення аварійних режимів роботи мережі. Для захисту від перевантажень та коротких замикань у колах живлення необхідно передбачити встановлення плавких запобіжників або автоматичних вимикачів. Захисні пристрої повинні бути розраховані на номінальний струм споживання модема та забезпечувати швидке відключення живлення у разі виникнення аварійних ситуацій. Особливу увагу необхідно приділити захисту від імпульсних перенапруг, які можуть виникати внаслідок грозових розрядів, комутації потужного обладнання або аварійних процесів в електромережі. Для цього рекомендується застосовувати варистори, TVS-діоди або інші пристрої обмеження перенапруги, які встановлюються на вході живлення та в колах підключення до мережі. Під час розроблення друкованої плати необхідно дотримуватись вимог ДСТУ EN 61140:2015 та ДСТУ EN 62368-1:2017 щодо електричної ізоляції. Відстані між струмопровідними доріжками високовольтної та низьковольтної частин повинні забезпечувати необхідний рівень електричної міцності та виключати можливість пробоя ізоляції. Рекомендується розділяти силову та цифрову частини друкованої плати окремими зонами та передбачати ізоляційні проміжки не менше нормативно встановлених значень. Під час монтажу пристрою необхідно використовувати провідники та ізоляційні матеріали, що відповідають робочій напрузі мережі. Усі струмоведучі частини повинні бути надійно ізольовані, а корпус обладнання має виключати можливість випадкового контакту користувача з елементами, що перебувають під напругою. Налаштування PLC-модема повинно виконуватися на спеціально обладнаному робочому місці з використанням ізолювального інструменту та вимірювальних приладів,

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які мають відповідну категорію безпеки. Перед проведенням будь-яких робіт необхідно перевірити справність заземлення вимірювального обладнання та відсутність пошкоджень ізоляції мережевих проводів. Усі роботи з монтажу, заміни компонентів та ремонту повинні виконуватися тільки після повного відключення пристрою від мережі живлення. Після відключення необхідно переконатися у відсутності залишкової напруги на конденсаторах та інших накопичувальних елементах схеми. Для цього рекомендується використовувати спеціальні розрядні резистори або контрольні вимірювання. Під час технічного обслуговування необхідно регулярно перевіряти стан ізоляції, надійність контактних з'єднань, відсутність механічних пошкоджень корпусу та друкованої плати. Особливу увагу слід приділяти елементам, які безпосередньо підключені до мережі 220 В, а також вузлам гальванічної розв'язки та захисту від перенапруг. Для підвищення рівня електробезпеки рекомендується використовувати розділовий трансформатор під час лабораторних випробувань та налагодження пристрою. Це дозволяє зменшити ризик ураження електричним струмом у разі випадкового контакту з елементами схеми. Таким чином, безпечна експлуатація PLC-модема забезпечується завдяки поєднанню конструктивних заходів захисту, застосуванню гальванічної розв'язки, захисту від коротких замикань і перенапруг, правильній організації робочого місця та дотриманню вимог нормативних документів з електробезпеки. Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати ризик виникнення аварійних ситуацій та забезпечити безпечні умови праці під час роботи з пристроєм.

ДСТУ EN 61140:2019 Основний документ з електробезпеки. Визначає принципи захисту від ураження струмом, захисну ізоляцію, вимоги до гальванічного розділення.

ДСТУ EN 60335-1 (часто використовується як додатковий орієнтир)
Загальні вимоги до безпечної конструкції електропристроїв

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

2.3 Висновок до розділу 2

У ході аналізу заходів електробезпеки для PLC-модема, що працює в мережі змінного струму 220 В, встановлено, що пристрій належить до обладнання підвищеної небезпеки через наявність прямого електричного зв'язку з силовою мережею. Це вимагає впровадження комплексу конструктивних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації. Основним технічним рішенням для підвищення рівня безпеки є застосування гальванічної розв'язки між високовольтною частиною та цифровими колами за допомогою оптопар, що дозволяє знизити ризик ураження електричним струмом та захистити мікроконтролер від аварійних режимів роботи мережі. Додатково передбачено використання засобів захисту від перевантажень і коротких замикань (запобіжники, автоматичні вимикачі), а також елементів обмеження імпульсних перенапруг (варистори, TVS-діоди), що підвищує надійність роботи пристрою в умовах нестабільної електромережі.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						53
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Висновки

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне теоретичне дослідження, інженерне проектування та техніко-економічне обґрунтування PLC-модема для пакетної передачі даних по низьковольтних лініях електропередач напругою 220 В. На основі глибокого аналізу вихідного технічного завдання було сформовано чіткі вимоги до апаратної архітектури пристрою, що дозволило визначити оптимальну конфігурацію його ключових функціональних модулів та встановити логіку взаємодії між високочастотним аналоговим трактом, цифровим блоком обробки на базі мікроконтролера та вузлом спряження з лінією. Всебічний аналіз принципової електричної схеми та точні інженерні розрахунки критичних каскадів підтвердили електричну відповідність параметрів елементів заданому режиму роботи на частоті несучої 120 кГц.

На основі аналізу сучасного ринку радіоелектронних компонентів здійснено обґрунтований підбір елементної бази за критеріями завадостійкості, температурної стабільності та економічної доцільності. Застосування САПР Altium Designer дозволило реалізувати наскрізний цикл проектування та створити раціональну топологію друкованої плати з функціональним зонуванням, що гарантує надійну гальванічну розв'язку цифрових кіл від високовольтної мережі 220 В. Крім того, у роботі передбачено ефективні технічні засоби захисту від пожежних та аварійних ризиків, що мінімізує небезпеку ураження струмом обслуговуючого персоналу. Завдяки системному інженерному підходу розроблений PLC-модем повністю відповідає вимогам технічного завдання, характеризується високою експлуатаційною надійністю та є повністю придатним для практичного впровадження в системах автоматизованого збору даних.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						54
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Список використаних джерел

1. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Дунець В.Л., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021, 72 с.
2. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів” для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Хвостівська Л.В., Дунець В.Л. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 109 с.
3. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Л.В.Хвостівська. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 63 с.
4. Дунець В.Л., Хвостівський М.О., Сверстюк А.С., Хвостівська Л.В. Математичне та алгоритмічно-програмне забезпечення опрацювання електрокадіосигналів при фізичному навантаженні у кардіодіагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2022. 136 с.
5. Математичне, ач’лгоритмічне та програмне забезпечення синфазного виявлення радіосигналів в електронних комунікаційних мережах із завадами / Л. Хвостівська, М. Хвостівський, В. Дунець, І. Дедів // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 48–57.
6. Розвиток математичного моделювання трафіку комп’ютерних мереж / М. О. Хвостівський, Г. М. Осухівська, Л. В. Хвостівська, Д. В. Величко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та

					СМС 2.000.001 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т.: ТНТУ, 2020. С. 187–188.

7. Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 83-89. – ISSN 2227-8842.

8. Mathematical modelling of daily computer network traffic. Khvostivskyu, M., Osukhivska, H., Khvostivska, L., Lobur T., Velychko D, Lupenko, S., Novorushchenko, T. 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2021, Ternopil. 16 November 2021 до 18 November 2021. CEUR Workshop Proceedings. Том 3039, P.107-111.

9. Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 83-89. – ISSN 2227-8842.

10 Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyu, Vasyl Dunetc, Iryna Dediv. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2022. P.314-318. ISSN 1613-0073.

11. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dediv I., Yatskiv V., Palaniza Y. Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.173-180. ISSN 1613-0073.

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskiy M., Sverstiuk A. Analysis of electricity consumption using the component method of periodically correlated random processes. INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL Computer Systems and Information Technologies, (3), 2025. P.74–82. ISSN 2710-0766.

13. Khvostivskiy M.O., Khvostivska L.V., Dediv I.Yu., Dediv L.Ye. Intelligent computer network traffic forecasting system based on synphase data processing. Visnyk of Kherson National Technical University. 2025. Vol. 1 No. 3(94). P.486-492. ISSN 2078-4481.

14. Ткаченко В. А. Електронна та мікропроцесорна техніка : навч. посібник / В. А. Ткаченко. — Харків : НТУ «ХПІ», 2019. — 264 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/123456789/28451>. (дата звернення 08.06.2026)

15. 1N4001 - 1N4007 General Purpose Rectifiers. Datasheet [Electronic resource]. — ON Semiconductor, 2012. — Mode of access: URL <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/1n4001-d.pdf>.

16. AT89C2051 8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash. Datasheet [Electronic resource]. — Atmel Corporation, 2008. — Mode of access: URL <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0265.pdf>. (дата звернення 25.05.2026)

17. BC547 / BC548 / BC549 / BC550 NPN Epitaxial Silicon Transistor. Datasheet [Electronic resource]. — Fairchild Semiconductor, 2002. — Mode of access: URL <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/BC546.pdf>. (дата звернення 26.05.2026)

18. CC1000 Single Chip Very Low Power RF Transceiver. Datasheet [Electronic resource]. — Texas Instruments, 2015. — Mode of access: URL <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1000.pdf>. (дата звернення 26.05.2026)

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. DipTrace PCB Design Software. User Manual [Electronic resource]. — Novarm Ltd, 2023. — Mode of access: URL <https://diptrace.com/books/tutorial.pdf>. (дата звернення 28.05.2026)

20. IPC-2221B. Generic Standard on Printed Board Design [Electronic resource]. — IPC International, 2012. — 170 p. — Mode of access: URL <https://shop.ipc.org/ipc-2221b-english-p>. (дата звернення 28.05.2026)

21. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.

22. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності : підручник / В.В. Зацарний. Київ : Каравела, 2023. 344 с.

23. Запорожець О.І. Безпека життєдіяльності : підручник. 2-е вид. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 448 с.

24. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с

25. Резистор підстроювальний 3329Н [електронний ресурс] – Режим доступу: URL <http://studies.in.ua/bjd-zaporojec/1211-173-osnovn-tehnchn-ta-organizacyn-zahodi-schodo-proflaktiki-virobnichogo-travmatizmu-ta-profesynoyi-zahvoryuvanost.html> (дата звернення 30.05.2026).

					<i>СМС 2.000.001 ПЗ</i>	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					СМС 2.000.001 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“ _____ ” _____ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах»

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Хвостівська Л.В. _____
“ _____ ” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РА-41
Сергієнко М.С. _____
“ _____ ” _____ 2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/9-199 від “28” 04 2026р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Сергієнко Максим Сергійович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка PLC-модему передачі даних у низьковольтних електромережах, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення розроблювального приладу;
- вибір компонентної бази розроблювального приладу;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи приладу;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати приладу

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1. Частота несучої – 120кГц;

4.1.2. Швидкість передачі даних – до 56,2 біт/с ;

4.1.3. Дальність передачі по одній фазі – до 10 км;

4.1.4. Тип термінального інтерфейсу – KS-232;

4.1.5. Спосіб передачі даних – пакетний;

4.1.6. Напруга живлення 220В з частотою 50 Гц

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема приладу;
- електрична принципова схема приладу;
- друкована плата приладу;
- друкований вузол.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

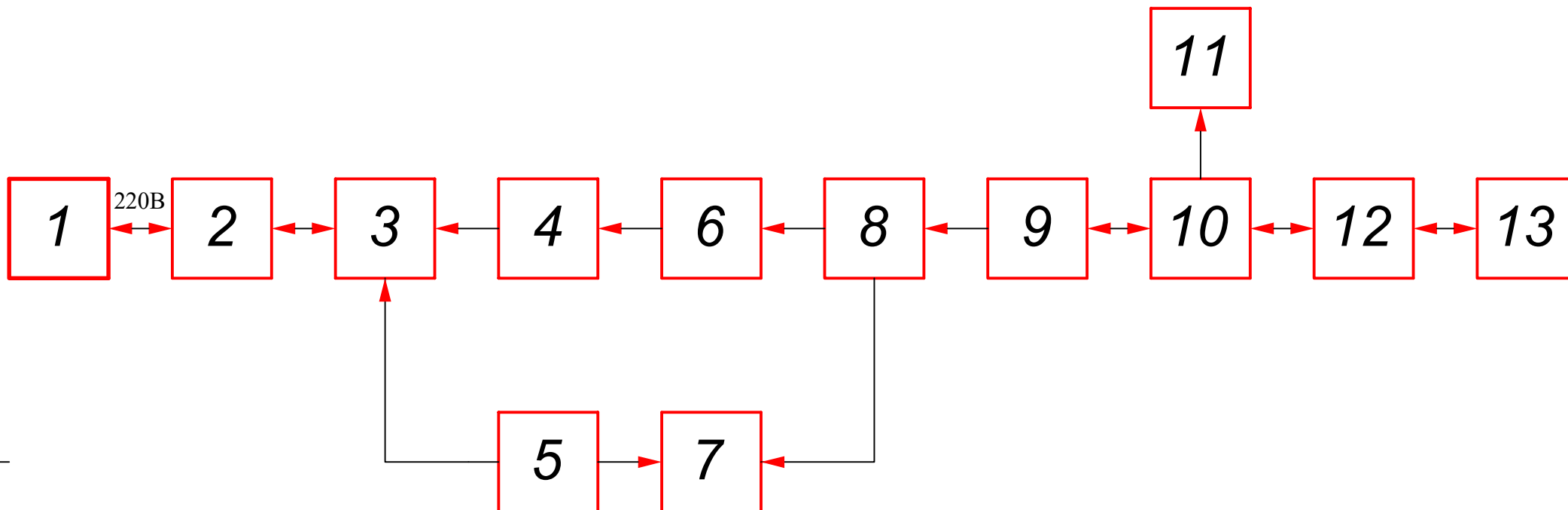
Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	
3	Розробка структурної схеми приладу	
4	Розробка схеми електрично принципової	
5	Розрахунок основних вузлів у схемі приладу	
6	Вибір компонентної бази приладу	
7	Компоновка друкованого вузла	
8	Створення допоміжної документації	
9	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	
10	Нормоконтроль	
11	Перевірка роботи на анти плагіат	
12	Попередній захист КР	
13	Захист КР	

Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

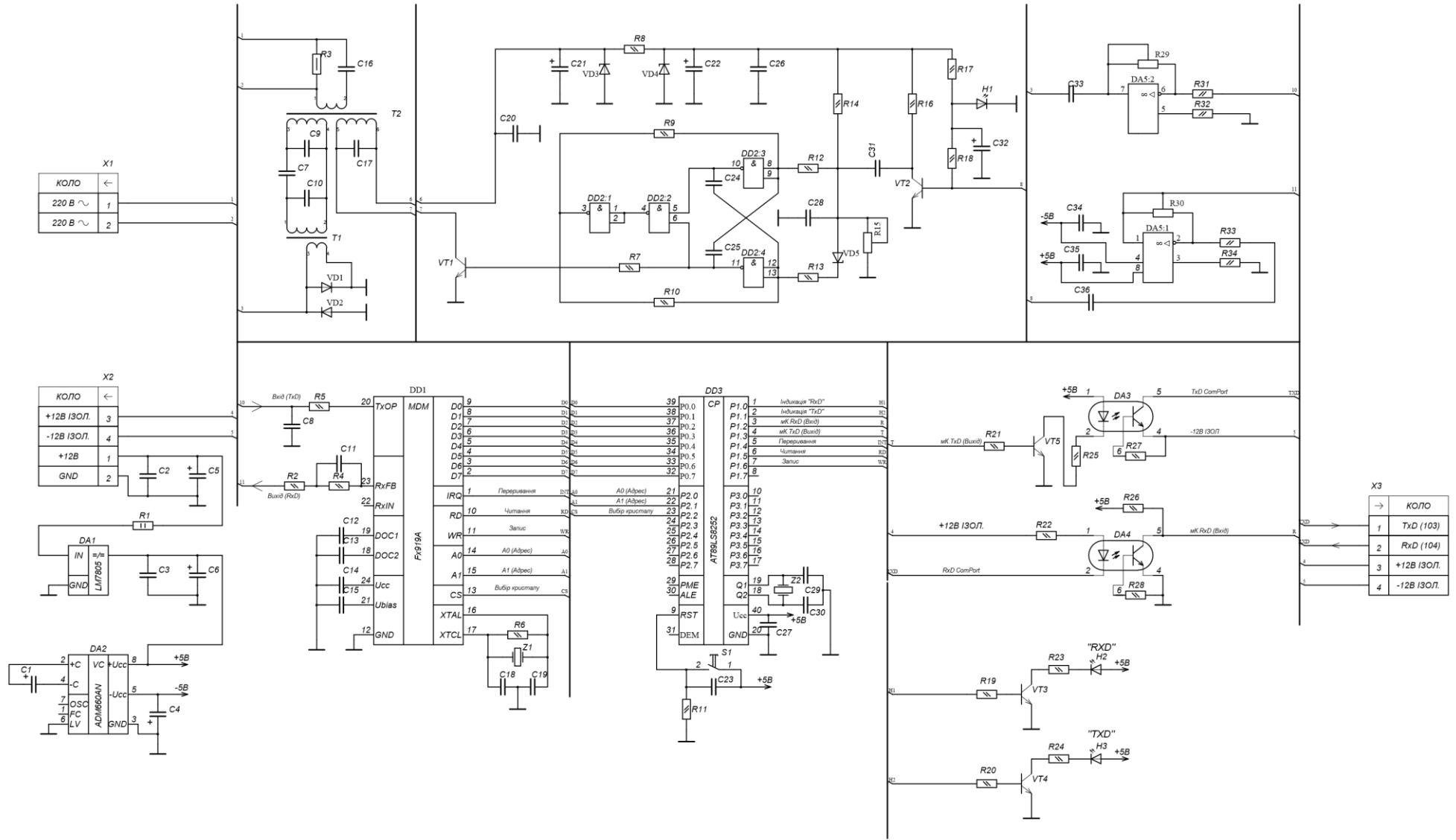
7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

7.1 Під час виконання дипломного проекту в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.



1. Мережа 220В
2. Трансформатор
3. Фільтр
4. Каскад
5. Трансформатор
6. Генератор
7. Блок захисту
8. Підсилювач
9. Модем
10. Мікроконтролер
11. Вузол індикації
12. Формувач рівня сигналу
13. ПК

				CMC 2.000.001 E1				
Зм	Арк	№ Формувенту	Ліпис	Дата	PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах	Літера	Маса	Масштаб
Кресля		Сергійко М.			Схема структурна	П	—	—
Перевірив		Харківська				Аркуш 1		
Консулт								
Т.номер		Харківська						
Регістр								
Затвер.		Дуніць В.П.						

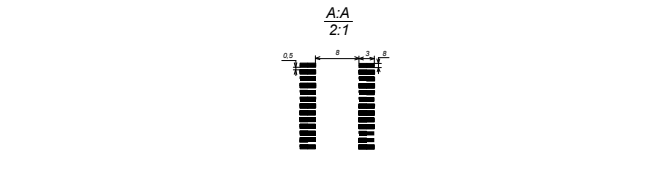
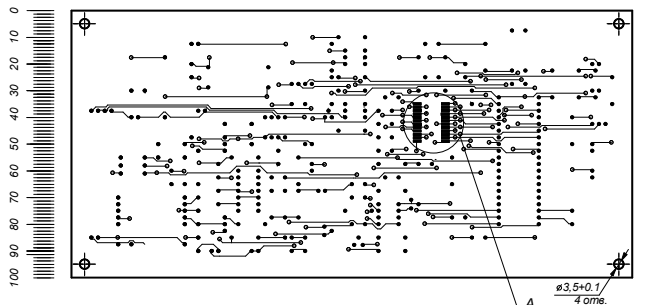
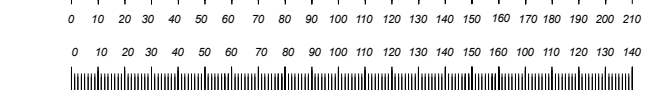
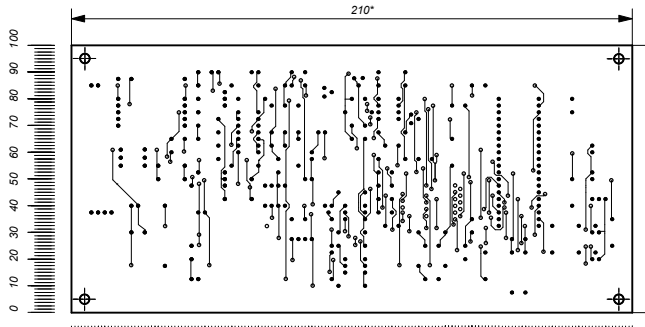


1. Конденсатори C11-C15 встановити на друкованій платі поблизу мікросхеми DD1, C27 встановити на друкованій платі поблизу мікросхеми DD2, C1 і C4 на друкованій платі встановити поблизу мікросхеми DA2.

				CMC 2.000.001 E3		
ЗМ	АРМУВ	НА ДИСКУМ	ПІДПИС	ДАТА	PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах	
РОЗРОБИВ	САХАРОВИЧ М.С.				ЛІТЕРА	МАСШ
ПЕРЕВІРИВ	КЕВЛЕСЬКА Т.В.				Т	
ПРОЄКТУВ					Схема електрична принципів	
РЕВІЗЕНТ					АРКУШ	АРКУШІВ
Н. КОМП.	ДІЩАК В.Л.				ФІЛТ, ТНТУ, ар. РА-41	
ЗАТВЕРДИВ						

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатор		
C1	CAPXON KF 16B 10мкФ±20%	1	
C2	CC4 82нФ±5% 50V NPO	1	
C3	CC4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	
C4	CAPXON KF 16B 10мкФ±20%	1	
C5	CAPXON KF 16B 100мкФ±20%	1	
C6	CAPXON KF 16B 100мкФ±20%	1	
C7	CC4 56нФ±5% 50V NPO	1	
C8	CC4 8,2нФ±5% 50V NPO	1	
C9	CC4 3300нФ±5% 50V NPO	1	
C10	CC4 3300нФ±5% 50V NPO	1	
C11	CC4 2,2нФ±5% 50V NPO	1	
C12	CC4 4,7нФ±5% 50V NPO	1	
C13	CC4 4,7нФ±5% 50V NPO	1	
C14	CC4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	
C15	CC4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	
C16	CC4 0,047мкФ±5% 50V NPO	1	
C17	CC4 3300нФ±5% 50V NPO	1	
C18	CC4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	
C19	CC4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	
C20	CC4 0,47мкФ±5% 50V NPO	1	
C21	CAPXON KF 16B 100мкФ±20%	1	
C22	CAPXON KF 470мкФ±20%	1	
C23	CC4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	
C24	CC4 150нФ±5% 50V NPO	1	

					СМС 2.000.001 ПЕЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PLC-модем передачі даних у низько-вольтних електромережах Перелік елементів	Лім.	Арк.	Аркуші
Розроб.	Сергієнко М.С.						1	4
Перевір.	Хвостівська Л.							
Реценз.								
Н. Контр.	Хвостівська Л.							
Затверд.	Дунець В.Л.				ТНТУ, ФПТ, гр. РА-41			



Таблиця 1

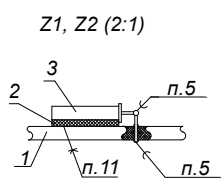
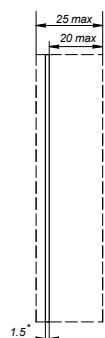
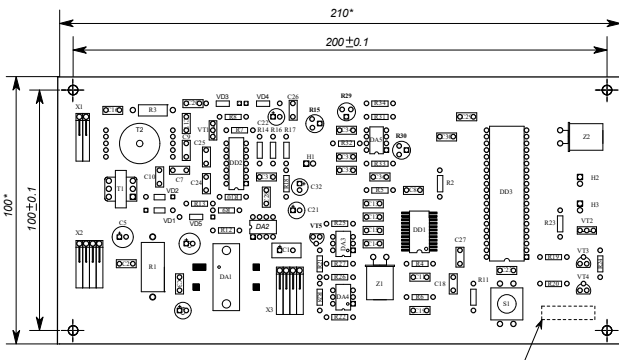
Умовне позначення	Діаметри отворів	Наявність металізації	Діаметр контактних площадок	К-ть
•	0.4 ^{+0.05} _{-0.1}	Є	1	52
•	0.9 ^{+0.05} _{-0.1}	Є	1.5	114

Таблиця 2

Параметри елементів провідного малюнку, крім місць, обумовлених окремо	Розміри (не менше), мм	
	У вільних місцях	У вузьких місцях
Ширина друкованих провідників	1	0,5
Відстань між двома друкованими провідниками	2,5	1,25
Відстань між двома контактними площадками або друкованими провідниками і контактною площадкою	2,5	2,3

- 1.* Розміри для довідок.
2. IT14/2.
3. Клас точності 3 згідно з ДСТУ ІЕС 61188-5-1.
4. Плату виконати комбінованим позитивним методом.
5. Крок координатної сітки 1,25 мм.
6. Провідники умовно позначені тонкими суцільними лініями, виконуються шириною не менше 0,5 мм.
7. Конфігурацію провідників витримувати по кресленню з відхиленням ±0,1 мм.
8. Мінімальна відстань між провідниками 0,5 мм.
9. Діаметри отворів і параметри елементів провідного малюнку у відповідності з таблицями 1 і 2.
10. Плата повинна відповідати ДСТУ ІЕС 61189-5-501, група жорсткості 2.
11. Маркування заводського номера проводити незмивною фарбою згідно з ДСТУ 3520. Шрифт Н14 згідно з ДСТУ ІСО 3098-2.

СМС 7.102.001				ЛІТЕРА	МАСШ	МАСШТАБ	
ЗМ	АРКШ	№ ДРОМ	ПІДКАС	ДАТА	Плата друкована	1:1	
ІРЕСІВ	Сиромо М.С.						
ПЕРЕКІВ	Харченко Л.						
ІНСУЛЬТ							
РЕЗОНАНТ							
ІН ІНСТР.	Харченко Л.				АРКШ 1	АРКШ 1	
ЗАТВЕРЖ.	Дунь В.Л.				Матеріал плати СФ-2-50-1,5		
						ФІТТ, ТНТУ зр. РА-41	



- 1.* Розміри для довідок
2. Підготовку до монтажу виконати згідно ДСТУ 2779
3. Позиційне позначення виконано умовно
4. Паїку елементів виконати у відповідності згідно ДСТУ 2783-94.
5. Припой ПОС-61 ДСТУ 2784.
6. Плату покрити лаком ЕП-730-413 ТУ-10-1539-76 від покриття захистити місця зовнішніх підєдань та місця маркування
7. Маркувати децимальний номер, лату, літеру зміни - шрифт 2,5 за Н0.010.007 фарбою маркувальною ТУМС-01 чорною У1ТУ29-02-890-79
8. Елементи із схемним позначенням виносом не мають
9. Монтаж елементів виконати відповідно до вимог ІРС-А-610, крок координатної сітки 1,25 мм.
10. Встановлення елементів проводимо згідно ДСТУ 2779-94:
 - конденсатори C1, C4-C6, C25, C26 - ІІв, C2, C3, C7-C24, C27, C28 - ІІ6
 - резистори - ІІв
 - інтегральні мікросхеми DD2, DD3, DA2-DA9 - VIIIa DA1, DD1 - VI6
 - кварці Z1, Z2 - згідно креслення
11. Клей БФ-4 або аналогічний.

СМС 2.000.001 СК				ЛІТЕРА	МАСШ	МАСШТАБ
ЗМ	АРКШ	№ ДРОМ	ПІДКАС	ДАТА	Друкований вузол РС-модема передачі даних у низьковольтних електромережах Складальне креслення	1:1
ІРЕСІВ	Сиромо М.С.					
ПЕРЕКІВ	Харченко Л.					
ІНСУЛЬТ						
РЕЗОНАНТ						
ІН ІНСТР.	Харченко Л.				АРКШ 1	АРКШ 1
ЗАТВЕРЖ.	Дунь В.Л.				ФІТТ, ТНТУ зр. РА-41	

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1			СМС 2.000.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			СМС 2.000.001 ПЕЗ	Перелік елементів		
A1			СМС 2.000.001 СК	Вузол друкований		
				<u>Деталі</u>		
A1	1		СМС 7.102.001	Плата друкована	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				<u>Конденсатори</u>		
		2		10мкФ 16В	1	С1
		3		82пФ С0G 50В	1	С2
		4		10мкФ 16В	1	С4
		5		100мкФ 16В	1	С5
		6		16В-100мкФ	1	С6
		7		4,7нФ С0G 50В	2	С12,С13
		8		470мкФ 16В	1	С22
		9		2,2 пФ С0G 50В	1	С11
		10		3300пФ С0G 50В	2	С9,С10
		11		0,047мкФ С0G 50В	1	С16
		12		0,1 мкФ С0G 50В	11	С3,С14,С15, С18,С19,С29
						С23,С26,С27

СМС 2.000.001

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Разроб.		Сергієнко М.С.			PLC-модем передачі даних у низьковольтних електромережах Літ. Аркцш Аркцшів Н 1 3 ТНТУ, ФПТ каф. РТ зр. РА-41		
Перевір.		Хвостівська Л					
Н Кантр.							
Затверд.							

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.	
				<u>Резистори</u>			
		13		10 Ом±5% 0.5Вт	1	R1	
		14		380 Ом±5% 0.125Вт	1	R8	
		15		1 МОм±5% 0.5Вт	1	R3	
		116		22 кОм±5% 0.125Вт	4	R31, R32,, R33.R34	
		17		8,2кОм±5% 0.125Вт	1	R11	
		18		100 кОм±5% 0.125Вт	2	R4, R5	
		19		12 кОм±5% 0.125Вт	1	R7	
		20		56 кОм±5% 0.125Вт	2	R12, R13	
		21		12 кОм±5% 0.125Вт	1	R16	
		22		24 кОм±5% 0.125Вт	1	R17	
				<u>Мікросхеми</u>			
		23		NE5532A	1	DA5	
		24		PC817	2	DA3-DA4	
		25		LM7805	1	DA1	
		26		FX919B	1	DD1	
		27		AT89S8252	1	DD3	
				<u>Перемикач</u>			
		28		Tact switch 6-6-6 мм	1	S1	
				<u>Світлодіод</u>			
		29		Kingbright L-934ID	3	H1-H2	
				<u>Трансформатор</u>			
		30		TOT4	1	T2	
		31		TOT8	1	T1	
				<u>Діоди і стабілітрон</u>			
		32		1N4 14.8	2	VD1, VD2	
				СМС 2.000.001			Арк.
						2	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

