

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модуль зв'язку в системах збору даних на базі локальної мережі

Виконав: студент 4 курсу, групи РАС-41

спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Лис О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дунець В.Л.
(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)

Тернопіль
2026

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)

«28» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Лису Олегу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модуль зв'язку в системах збору даних на базі локальної мережі

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н., доц., завідувач кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» квітня 2026 року № 4/9-198.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Напруга живлення електромережі – 220 В, 50 Гц; напруга живлення

електронних вузлів – 5 В; режим роботи – напівдуплексний; інтерфейс підключення до ПЕОМ – RS-232, COM-порт; модулятор-демодулятор – FX919A; мікроконтролер – AT89S8252;
швидкість передавання даних – 4,8–19,2 кбіт/с; несуча частота сигналу – до 150 кГц; ширина
смуги частот – до 5 кГц; тип друкованої плати – двостороння друкована плата; середовище
передавання даних – електромережа; тип передавання – пакетний обмін даними.

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

1. Основна частина

2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

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

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Друкований вузол

4. Плата друкована

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека життєдіяльності	д.т.н., професор кафедри МТ Барановський В.М.		

7. Дата видачі завдання 28.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	28.04.2026 – 30.04.2026	Виконано
2.	Опрацювання літературних джерел і технічних матеріалів за темою роботи	01.05.2026 – 04.05.2026	Виконано
3.	Аналіз актуальності розроблення модуля зв'язку для систем збору даних на базі локальної мережі	05.05.2026 – 07.05.2026	Виконано
4.	Аналіз наявних технічних рішень і засобів передавання даних електромережею	08.05.2026 – 11.05.2026	Виконано
5.	Формування вимог до модуля зв'язку та визначення основних технічних характеристик пристрою	12.05.2026 – 14.05.2026	Виконано
6.	Розроблення структурної схеми виробу	15.05.2026 – 17.05.2026	Виконано
7.	Розроблення електричної принципової схеми модуля зв'язку	18.05.2026 – 22.05.2026	Виконано
8.	Розрахунок основних вузлів електричної принципової схеми	23.05.2026 – 25.05.2026	Виконано
9.	Вибір та обґрунтування елементної бази пристрою	26.05.2026 – 28.05.2026	Виконано
10.	Розроблення компонування друкованого вузла та друкованої плати	29.05.2026 – 31.05.2026	Виконано
11.	Опис технологічного процесу виготовлення, монтажу та контролю друкованого вузла	01.06.2026 – 03.06.2026	Виконано
12.	Розрахунок електромагнітної сумісності та надійності модуля зв'язку	04.06.2026 – 05.06.2026	Виконано
13.	Опрацювання розділу з безпеки життєдіяльності та основ охорони праці	06.06.2026 – 07.06.2026	Виконано
14.	Формування висновків, анотації, переліку скорочень і списку використаних джерел	09.06.2026	Виконано
15.	Нормоконтроль	10.06.2026	Виконано
16.	Перевірка на плагіат	10.06.2026	Виконано
17.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026	Виконано
18.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026	

Студент

(підпис)

Лис О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Модуль зв'язку в системах збору даних на базі локальної мережі // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Лис Олег Сергійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра радіотехнічних систем, група РАС-41 // Тернопіль, 2026 // С. 87, рис. – 47, табл. – 4, додат. – 3, бібліогр. – 11.

Ключові слова: модуль зв'язку, система збору даних, локальна мережа, електромережевий модем, канал зв'язку, структурна схема, електрична принципова схема, друкована плата, надійність.

У кваліфікаційній роботі розроблено модуль зв'язку для використання у системах збору даних на базі локальної мережі. Актуальність роботи зумовлена потребою в організації каналів зв'язку між термінальними пристроями, персональними комп'ютерами й локальними мережами без прокладання додаткових кабельних ліній. У роботі розглянуто можливість використання електромережі як середовища передавання інформації, що дає змогу забезпечити підключення пристроїв до обчислювальної мережі з мінімальними витратами на кабельну інфраструктуру.

У процесі виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз наявних технічних рішень, обґрунтовано доцільність розроблення електромережевого модуля зв'язку, розглянуто принципи передавання інформації електромережею й особливості застосування методів модуляції сигналів. Виконано схемотехнічне проектування пристрою, розроблено структурну схему й електричну принципову схему, а також здійснено вибір й обґрунтування елементної бази.

У конструкторській частині роботи розглянуто компоновання друкованого вузла, особливості виготовлення двосторонньої друкованої плати, технологічний процес складання й контролю виробу. Також виконано розрахунок електромагнітної сумісності й надійності пристрою. За результатами роботи сформовано технічні рішення, які забезпечують функціонування модуля зв'язку в режимах приймання й передавання даних.

ANNOTATION

Communication module in LAN-based data collection systems // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Lys Oleh // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Radio Engineering Systems Department, group RAs-41 // Ternopil, 2026 // P. 87, fig. – 47, tabl. – 4, annexes. – 3, references – 11.

Keywords: communication module, data collection system, local area network, power line modem, communication channel, structural diagram, electrical schematic, printed circuit board, reliability.

The qualification work is devoted to the development of a communication module for data collection systems based on a local area network. The relevance of the work is determined by the need to organize communication channels between terminal devices, personal computers and local networks without installing additional cable lines. The work considers the use of the power line as a data transmission medium, which makes it possible to connect devices to a computer network while reducing the need for additional cable infrastructure.

The work includes an analysis of existing technical solutions, substantiation of the feasibility of developing a power line communication module, and consideration of data transmission principles through the electrical network. Particular attention is paid to signal modulation methods and the technical limitations of the power line as a communication medium.

During the design process, the structural diagram and electrical schematic of the device were developed. The selection and justification of the component base were carried out. The design part describes the layout of the printed circuit

assembly, the manufacturing features of the double-sided printed circuit board, and the technological process of assembly and quality control.

The work also includes calculations related to electromagnetic compatibility and device reliability. As a result, technical solutions were developed to ensure the operation of the communication module in both data reception and transmission modes.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	8
Вступ.....	8
1. Основна частина.....	11
1.1. Аналіз технічного завдання	11
1.1.1. Обґрунтування актуальності теми	11
1.1.2. Аналіз інформації	28
1.2. Проектування схемотехнічне	29
1.2.1. Розроблення й розрахунок структурної схеми виробу	29
1.2.2. Проектування й розрахунок ЕЗ	32
1.2.3. Вибір та обґрунтування ЕБ.....	46
1.3. Проектування конструкторське.....	56
1.3.1. Розроблення компоновання й конструкції друкованого вузла	56
1.3.2. Оптимізація компоновки друкованого вузла.....	62
1.3.3. Розрахунок й забезпечення вимог щодо надійності	69
1.4. Висновки до розділу 1	75
2. Охорона праці та безпека життєдіяльності	Помилка! Закладку не визначено.
2.1. Питання щодо безпеки життєдіяльності	76
2.2. Питання з основ охорони праці.....	79
2.3. Висновок до розділу 2	83
Висновки	85
Перелік джерел	86

					ЛОС 2.010.001 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Лис О.С.			Модуль зв'язку в системах збору даних на базі локальної мережі Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Дунець В.Л.								2
Консультант								ТНТУ, ФПТ, каф. РТ, гр. РАС-41, м. Тернопіль		
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.								
Затверд.										

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

CATV (англ. Cable Television) – Кабельне телебачення.

DSL (англ. Digital Subscriber Line) – Цифрова абонентська лінія.

OFDM (англ. Orthogonal Frequency Division Multiplexing) –
Мультиплексування з ортогональним частотним розділенням.

PLT (англ. Power Line Telecommunication) – Телекомунікаційна
технологія передавання даних електромережею.

АМ – Амплітудна модуляція.

ДДП – Двостороння друкована плата.

ЕЗ – Електрична принципова схема.

ЕБ – Елементна база.

ЕМ – Електромережа.

ЕРЕ – Електрорадіоелементи.

ІМС – Інтегральні мікросхеми.

КЗ – Канал зв'язку.

КМ – Кутова модуляція.

ЛМ – Локальні мережі.

МК – Мікроконтролер.

НЖ – Напруга живлення.

ПЕОМ – Персональна електронна обчислювальна машина.

ПК – Персональний комп'ютер.

РЕА – Радіоелектронна апаратура.

СПР – Струмopровідний рисунок.

ТО – Технічне обслуговування.

ТП – Технологічний процес.

ТХ – Технічні характеристики.

ФМ – Фазова модуляція.

ЧМ – Частотна модуляція.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Розвиток комп'ютерних інформаційних радіосистем й спеціалізованих комп'ютерних радіотехнічних систем зумовлює потребу в організації каналів зв'язку (КЗ) між термінальними модемами, персональними комп'ютерами (ПК) та локальними мережами (ЛМ). Такі КЗ використовуються для побудови систем збору даних, керування, обміну інформацією й реалізації інших прикладних функцій. Водночас прокладання додаткових кабельних ліній не завжди є технічно або економічно доцільним, особливо за умови тимчасового під'єднання термінальних пристроїв до окремих ділянок ЛМ.

Одним із можливих способів розв'язання зазначеної задачі є використання наявної інфраструктури електроживлення як середовища передавання даних. Передавання інформації електромережею (ЕМ) дає змогу забезпечити оперативне підключення до обчислювальної мережі без створення додаткової кабельної інфраструктури.

Технологія передавання даних ЕМ не є новою. На початкових етапах її застосування характеризувалося низькою швидкістю передавання даних й використовувалося переважно для передавання команд керування, роботи подовжувачів супутникових телевізійних модемів, домашньої автоматизації типу X-10, а також для автоматизованих вимірювань у сільських ЕМ.

Подальший розвиток технології спричинив появу високошвидкісних ЕМ модемів, орієнтованих на побудову ЛМ й надання широкосмугового доступу. Для стандартизації відповідного обладнання було створено асоціацію HomePlug Alliance, діяльність якої спрямовано на формування технічних стандартів для пристроїв передавання даних ЕМ в побутових й офісних умовах. Такі модеми забезпечують передавання даних низьковольтними ЕМ зі швидкістю понад 10 Мбіт/с.

ЕМ системи передавання даних застосовуються переважно для з'єднання окремих сегментів ЛМ й організації каналу доступу типу «остання

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

миля». Вони забезпечують достатньо високу швидкість передавання й прийнятну дальність зв'язку, однак часто мають значну вартість, що обмежує їх широке використання.

На ринку обладнання для передавання інформації ЕМ представлені, зокрема, компанії TelLink, Enikia, ITRAN, Adaptive Networks, Intellon, Media Fusion.

Отже, актуальною інженерно-технічною задачею є розроблення ЕМ модему, здатного працювати в автоматичному режимі, забезпечувати необхідні технічні характеристики (ТХ) передавання даних й мати нижчу вартість порівняно з наявними аналогами.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Основна частина

1.1. Аналіз технічного завдання

1.1.1. Обґрунтування актуальності теми

Зростання кількості ПК, периферійних пристроїв й термінальних модемів в офісних, побутових й інших приміщеннях зумовлює потребу у створенні недорогих й зручних засобів їх об'єднання в єдину мережеву інфраструктуру. Особливо актуальним це є у випадках, коли прокладання додаткових кабельних ліній є недопустимим або економічно недоцільним. Приклад структури мережі PowerLine наведено на рисунку 1.1.

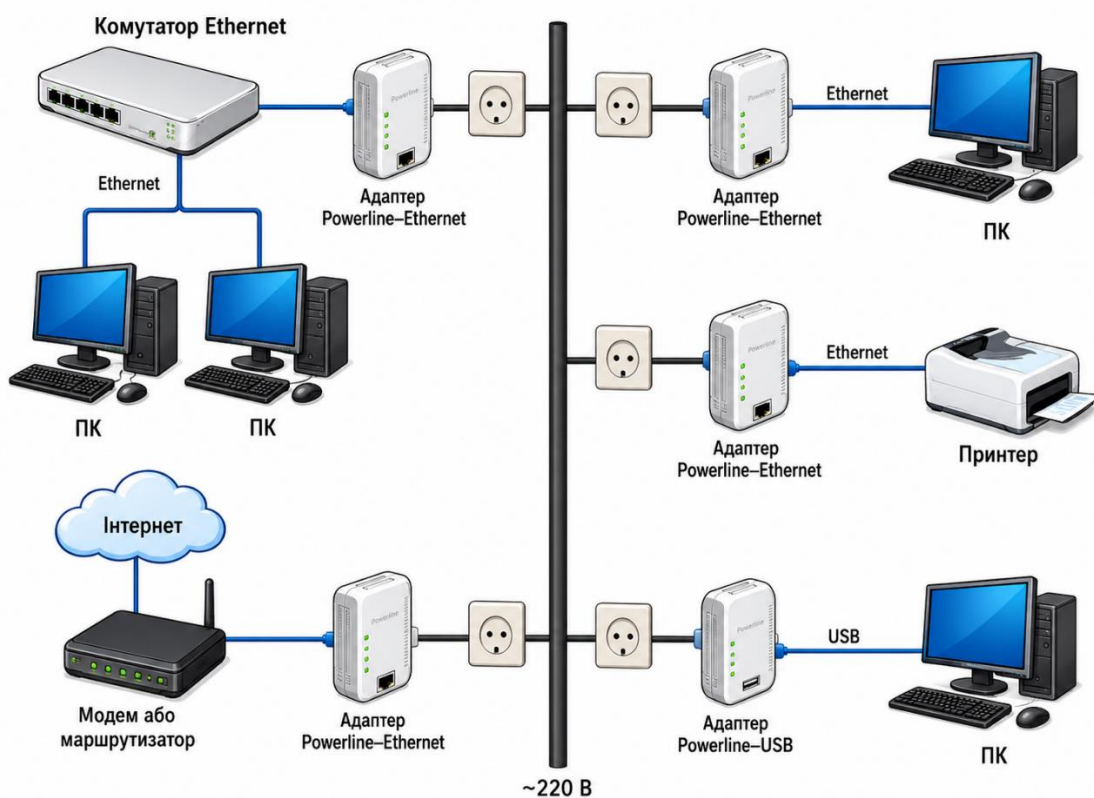


Рисунок 1.1 – Структура мережі PowerLine

Застосування технології PowerLine не обмежується об'єднанням кількох пристроїв у межах квартири або приватного будинку. Одним із важливих напрямів її використання є розв'язання задачі «останньої милі» й «останніх футів» під час підключення користувачів до мережі. У 1999 р. такий підхід розглядався як економічно доцільний, що стало підставою для створення проєкту PALAS – PowerLine for Alternative Local Access, спрямованого на впровадження технології PowerLine на європейському ринку.

Передумовою для використання цієї технології є значне поширення ЕМ, які охоплюють більшість заселених територій. Завдяки цьому кількість потенційних користувачів, для підключення яких не потрібно створювати нову кабельну інфраструктуру, може перевищувати кількість абонентів телефонних мереж. У регіонах із недостатньо розвиненим телефонним зв'язком попит на підключення до Ethernet через ЕМ може бути особливо високим.

Структура такої інформаційної системи може відповідати схемі, поданій на рисунку 1.1. У практичних системах максимальна пропускна здатність у перерахунку на одного абонента, як правило, обмежується значенням близько 300-500 кбіт/с. Водночас підвищуються вимоги до інформаційної безпеки, зокрема до механізмів автентифікації користувачів й шифрування потоків даних. Це зумовлено тим, що топологія мережі, побудованої на основі електропроводки, подібна до топології коаксіального Ethernet, у якій можливе прослуховування спільного середовища передавання.

Необхідно враховувати також особливості побудови ЕМ у різних країнах. У більшості країн світу до споживача підводяться дві фази й захисний нульовий провідник, тоді як в українських житлових будинках переважно використовується підключення до однієї з трьох фаз мережі 380 В й нульового провідника. Тому при побудові єдиної мережі в межах

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

багатоквартирного будинку для об'єднання користувачів, підключених до різних фаз, необхідно застосовувати відповідні міжфазні мости або мережеві комутатори.

Отже, створення інфраструктури PowerLine у багатоквартирних будинках не завжди зводиться до простої інсталяції готових сертифікованих рішень. За великої кількості користувачів доцільним може бути об'єднання трьох груп або підмереж у єдину мережу за допомогою комутатора перед введенням зовнішнього КЗ в будинок.

Сучасні мережеві технології характеризуються не лише збільшенням швидкості передавання даних, а й тенденцією до інтеграції різних типів трафіку в одному мережевому потоці. До таких типів належать дані, телефонія та відео. Проте пропускної здатності ЕМ модемів, навіть за швидкості менше 10 Мбіт/с, може бути недостатньо для одночасного забезпечення всіх мультимедійних сервісів.

Передавання даних ЕМ потребує достатньо широкої смуги пропускання для конкуренції з іншими широкосмуговими технологіями. Найбільш поширеними серед них є кабельні модеми на базі мереж кабельного телебачення, цифрова абонентська лінія Digital Subscriber Line (DSL), супутникові та бездротові системи широкосмугового доступу. Кабельні модеми забезпечують значну кількість підключень у Північній Америці, тоді як DSL використовується для передавання даних й доступу до мережевих сервісів у межах дальності цієї технології. Супутникові й бездротові технології також застосовуються, однак їх поширення обмежується високою вартістю обладнання та ТО.

Порівняльні характеристики технологій широкосмугового доступу наведено в таблиці 1.1.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Порівняльні дані технологій широкосмугового доступу

Технологія	Upstream, кбіт/с	Downstream, кбіт/с	Сумарна смуга, кбіт/с
DSL	0-1500	0-6000	0-7500
CATV	50-256	500-2000	550-2256
PLT	4000-8000	4000-8000	8000

Основною відмінністю широкосмугового доступу на базі технології Power Line Telecommunication (PLT) є симетричний характер каналу. Завдяки цьому PLT краще пристосована для офісних й домашніх мережевих застосувань, де важливими є як приймання, так й передавання даних. Натомість DSL й Cable Television (CATV) переважно мають асиметричну структуру, що може обмежувати передавання відео, інтерактивних мультимедійних даних, ігрового трафіку й інших сервісів із високими вимогами до вихідного КЗ.

Традиційні широкосмугові технології, зокрема CATV, не завжди ефективно інтегруються в офісні й домашні ЛМ, а також потребують значних витрат на монтаж й технічне обслуговування (ТО). Широкосмуговий доступ на базі передавання даних ЕМ позбавлений частини цих недоліків, оскільки використовує наявну електричну інфраструктуру й забезпечує симетричний канал передавання.

У межах технологій передавання даних ЕМ напрями досліджень й реалізовані модеми доцільно класифікувати за швидкістю обміну:

– Низькошвидкісний обмін – швидкість нижче 0,05 кбіт/с, дальність передавання до десятків кілометрів. Такі PLC системи застосовуються в енергетиці на високовольтних магістральних лініях для передавання службової телеметричної інформації.

– Середньошвидкісний обмін – швидкість від 0,05 до 50 кбіт/с, дальність передавання до кількох кілометрів. Такі PLC-системи використовуються для реалізації нескладних систем контролю, домашньої автоматизації, керування освітленням, автоматизованих вимірювань й

моніторингу. Передавання даних здійснюється переважно в смузі частот 50-535 кГц.

– Високошвидкісний обмін – швидкість від 100 кбіт/с й вище. Основним призначенням таких систем є локальний обмін комп'ютерними даними, об'єднання принтерів, сканерів й інших пристроїв у спільну мережу, а також реалізація мультимедійних сервісів. Для цього модеми використовують широку смугу частот у діапазоні приблизно 1,7-30 МГц й забезпечують роботу на відстані до кількох сотень метрів. До цієї групи належать модеми HomePlug PowerLine.

На сучасному ринку обладнання для передавання інформації ЕМ представлені TelLink, Enikia, ITRAN, Adaptive Networks, Intellon, Media Fusion, НТЦ «ARGO» й інші виробники.

Для передавання вимірювальної інформації й даних, які не потребують високої швидкості, НТЦ «ARGO» виготовляє пристрої оптимізації трафіку мережею 220 В із програмованими драйверами для пристроїв MUR1001.9, що підключаються через інтерфейси RS-232, RS-485 або CAN.

Зовнішній вигляд модему MUR1001.9 наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд модему MUR1001.9

Основні ТХ пристрою MUR1001.9:

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- швидкість передавання даних ЕМ – 50 бод;
- термінальна швидкість – від 50 до 57600 бод;
- тип термінального інтерфейсу – RS-232, RS-485 або CAN;
- режим роботи – напівдуплексний;
- спосіб передавання даних – маркерний, пакетний.

Модем mArgo-50N є перетворювачем послідовного інтерфейсу RS-232 або RS-485/CAN в інтерфейс зв'язку силовою мережею 220 В із гальванічною розв'язкою.

Зовнішній вигляд модему mArgo-50N подано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд mArgo-50N

Основні ТХ mArgo-50N:

- напруга живлення (НЖ) – 220 В, 50 Гц;
- швидкість передавання даних ЕМ – 50 бод із можливістю подальшого збільшення до 200 бод;
- термінальна швидкість – від 50 до 57600 бод;
- тип термінального інтерфейсу – RS-232, RS-485 або CAN залежно від варіанта виконання;

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- режим роботи – напівдуплексний;
- спосіб передавання даних – маркерний, пакетний.

Фірма БМТІ виробляє модем, призначений для організації перешкодостійкого з'єднання типу «точка – багатоточка» між ведучим й відомими модемами в ЕМ каналі однієї фази. Кожен відомий модем передає інформацію у власному часовому слоті, який задається ведучим модемом. Обмін цифровими потоками здійснюється в пакетному режимі.

Для підвищення перешкодозахищеності в системі застосовано каналне кодування з розширенням спектра. Вид модуляції – дворівнева модуляція з високою шпаруватістю. Така система може використовуватися для організації каналів охоронної сигналізації, систем збору даних, а також як основа офісної ЛМ.

Основні ТХ модему БМТІ:

- швидкість передавання даних – 115 кбіт/с;
- дальність передавання однією фазою – 100 м;
- імовірність помилки приймання одного біта – 10^{-5} ;
- тривалість пакета – 32 біти;
- імпульсна потужність передавача – 500 мВт.

Компанія TelLink виробляє модем для передавання даних низько- та середньовольтними лініями ЕМ на значні відстані.

Основні ТХ модему TelLink:

- протокол й стандарт – PLC, модуляція Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM);
- робочий частотний діапазон – 50-150 кГц;
- динамічний діапазон – 89 дБ;
- дальність передавання – до 10 км;
- швидкість передавання даних – до 155 кбіт/с;
- інтерфейси – RS-232 або RS-485.

Загальний вигляд модему TelLink наведено на рисунку 1.4.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд модему TelLink

Проведений аналіз свідчить, що світовий ринок ЕМ модемів для передавання інформації активно розвивається. Для передавання інформації ЕМ необхідно застосовувати методи модуляції інформаційних сигналів на підвищених частотах. Це зумовлено тим, що на частоті 50 Гц передається НЖ споживачів, потужність якої значно перевищує потужність інформаційного сигналу. Для зменшення взаємного впливу частота модуляції має бути в десятки або сотні разів вищою за частоту мережі живлення.

Інформаційні сигнали здебільшого є низькочастотними та обмеженими за шириною спектра. Для їх передавання каналами з частотним розділенням необхідно перенести спектр сигналу з низькочастотної області у виділену область високих частот. Така операція реалізується за допомогою модуляції.

$$u(t) = U \cdot \cos(\omega t + \varphi), \quad (1.1)$$

де U – амплітуда несучого коливання;

ω – кутова частота;

φ – початкова фаза.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Залежно від параметра несучого коливання, на який переноситься інформація, розрізняють амплітудну модуляцію (АМ), частотну модуляцію (ЧМ) й фазову модуляцію (ФМ). ЧМ й ФМ змінюють аргумент гармонійної функції, тому їх об'єднують поняттям КМ. У каналах цифрового передавання також застосовується квадратурна модуляція, за якої одночасно змінюються амплітуда й фаза несучого коливання.

АМ історично є одним із перших практично реалізованих видів модуляції. У сучасних системах АМ використовується переважно в радіомовленні на відносно низьких частотах й в системах телевізійного мовлення для передавання зображення. Обмеження її застосування пов'язане з низькою енергетичною ефективністю амплітудно-модульованого сигналу.

АМ відповідає перенесенню інформаційного сигналу $s(t)$ на амплітуду несучого коливання за сталих значень частоти й початкової фази. Амплітудно-модульований сигнал можна записати так:

$$u(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (1.2)$$

де $U(t)$ – змінна амплітуда несучого коливання;

ω_0 – кутова частота несучої;

φ – початкова фаза.

За відсутності модулюючого сигналу амплітуда несучого коливання дорівнює U_m . Коефіцієнт АМ M характеризує глибину модуляції. Якщо модулюючий сигнал є одночастотним гармонійним коливанням з амплітудою S_0 , то коефіцієнт модуляції визначається як:

$$M = \frac{S_0}{U_m}. \quad (1.3)$$

Значення M повинно перебувати в межах від 0 до 1 для всіх гармонік модулюючого сигналу. За умови $M < 1$ огибаюча несучого коливання

повторює форму модулюючого сигналу $s(t)$. Приклад амплітудно-модульованого сигналу для $s(t) = \sin(\omega_s t)$ наведено на рисунку 1.5.

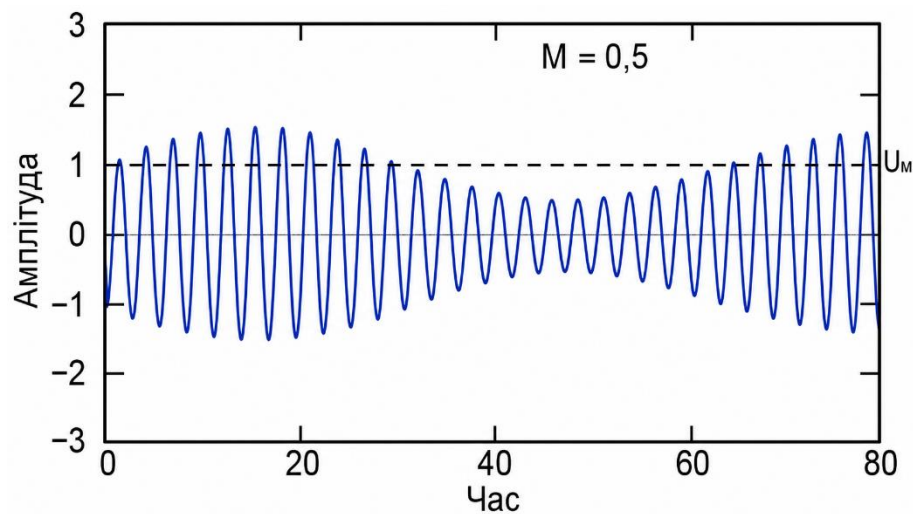


Рисунок 1.5 – Модульований сигнал

Надто мала глибина модуляції, тобто $M \ll 1$, є недоцільною, оскільки потужність інформаційної складової в такому разі значно менша за потужність несучого колювання. Це призводить до неефективного використання потужності передавача.

Приклад глибокої модуляції, за якої значення M наближається до 1 в екстремальних точках функції $s(t)$, подано на рисунку 1.6. Для опису глибокої модуляції також використовуються коефіцієнти модуляції вгору та вниз:

$$\begin{aligned} M_{\text{в}} &= \frac{(U_{\text{max}} - U_m)}{U_m}, \\ M_{\text{н}} &= \frac{U_m - U_{\text{min}}}{U_m}, \end{aligned} \quad (1.4)$$

де $M_{\text{в}}$ – коефіцієнт модуляції вгору;

$M_{\text{н}}$ – коефіцієнт модуляції вниз;

U_{max} – максимальне значення амплітуди;

U_{min} – мінімальне значення амплітуди.

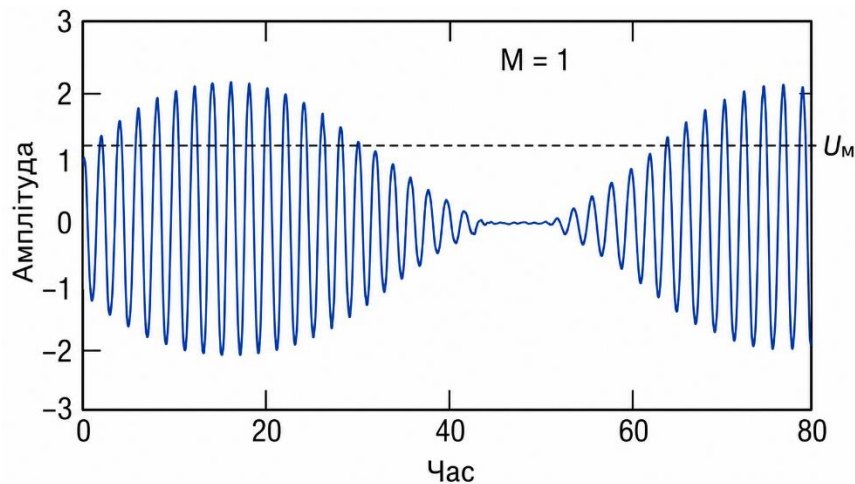


Рисунок 1.6 – Глибока модуляція

Стовідсоткова модуляція, за якої $M = 1$, може спричинити спотворення сигналу в разі перевантаження передавача. Це особливо суттєво для передавачів з обмеженим динамічним діапазоном за амплітудою несучого коливання або з обмеженою вихідною потужністю. Подвоєння амплітуди несучого коливання в пікових інтервалах сигналу потребує збільшення потужності передавача в чотири рази.

У разі кутової модуляції (КМ) в гармонійному коливанні:

$$u(t) = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi), \quad (1.5)$$

амплітуда U_m залишається сталою, а інформаційний сигнал $s(t)$ переноситься на частоту або фазу несучого коливання. Поточне значення фазового кута визначається повною фазою:

$$\psi(t) = \omega t + \varphi. \quad (1.6)$$

ФМ полягає в тому, що фазовий кут несучого коливання пропорційний амплітуді модулюючого сигналу $s(t)$. Рівняння ФМ сигналу має вигляд:

$$u(t) = U_m \cdot \cos[\omega_0 t + k \cdot s(t)], \quad (1.7)$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Якщо $s(t) = 0$, ФМ сигнал є простим гармонійним коливанням. Зі збільшенням значення $s(t)$ повна фаза сигналу:

$$\psi(t) = \omega_0 t + k \cdot s(t), \quad (1.8)$$

зростає швидше, ніж у випадку немодульованого коливання. Приклад ФМ сигналу наведено на рисунку 1.7.

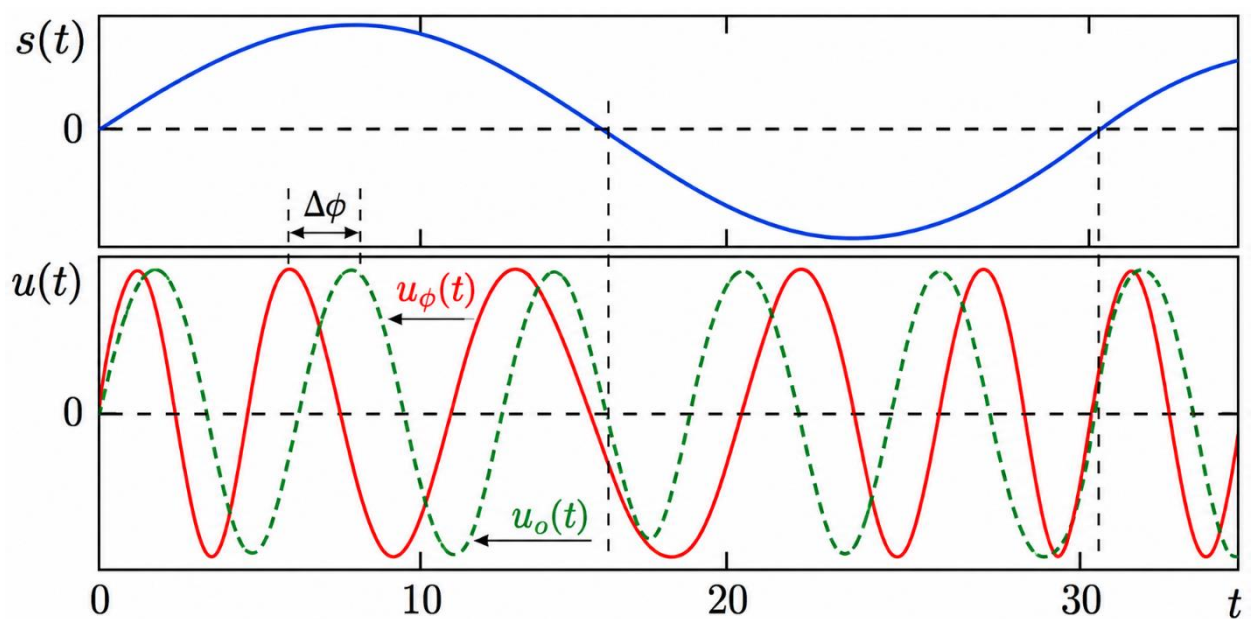


Рисунок 1.7 – ФМ сигнал

ЧМ характеризується лінійною залежністю між модулюючим сигналом й миттєвою частотою коливання. Миттєва частота визначається сумою частоти високочастотного несучого коливання та складової, пропорційної амплітуді модулюючого сигналу:

$$\omega(t) = \omega_0 + k \cdot s(t) \quad (1.9)$$

ЧМ й ФМ є взаємопов'язаними, оскільки зміна початкової фази спричиняє зміну миттєвої частоти, а зміна миттєвої частоти впливає на фазу

коливання. Через це обидва види модуляції об'єднуються поняттям КМ. За формою сигналу не завжди можливо однозначно визначити, чи належить він до ЧМ або ФМ, особливо за умови плавної зміни функції $s(t)$.

Електрична проводка, навіть за якісного виконання, має низку недоліків як середовище високошвидкісного передавання даних. Її частотні властивості не відповідають характеристикам спеціалізованих інформаційних кабелів. У такому середовищі виникають багаторазові відбиття сигналів, а конфігурація мережі змінюється через вмикання та вимикання електроприладів. Крім того, неекранована пара провідників є чутливою до паразитних шумів й наведень.

Для передавання даних зі швидкістю до десятків Мбіт/с необхідна смуга частот у кілька десятків МГц. У мережевому кабелі зі зростанням частоти збільшується погонне загасання сигналу. Залежність рівня загасання від частоти сигналу наведено на рисунку 1.8.

На практиці це означає, що для приймання повного спектра сигналу на протилежному кінці кабелю високочастотні складові необхідно передавати з вищим рівнем, ніж низькочастотні. Однак існують обмеження як на частотний діапазон сигналів у кабелі, так й на їх максимальний рівень. Це потребує використання спеціальних методів зменшення спектральної щільності потужності сигналу й ефективного кодування цифрової інформації.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

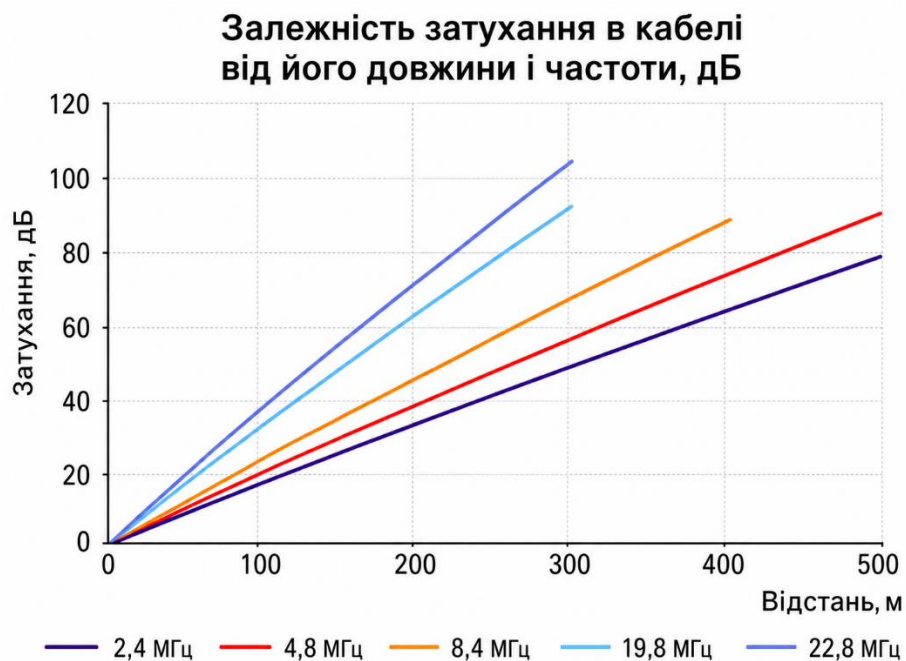


Рисунок 1.8 – Згасання рівня сигналу залежно від його частоти

Ще однією проблемою ЕМ проводки є відбиття сигналів від неоднорідностей її структури. До таких неоднорідностей належать скрутки проводів, контактні з'єднання, паралельні відгалуження й підключення навантажень. Вони спричиняють інтерференцію прямого й затриманого сигналів, а також частотно-вибіркове ослаблення. Зміна стану електроприладів й підключення подовжувачів постійно змінюють параметри середовища передавання.

Наслідком таких процесів є міжсимвольна інтерференція, яка в англomовній літературі позначається як Inter-Symbol Interference (ISI). Аналогічний ефект спостерігається в бездротових радіосистемах й багатомодових оптоволоконних лініях зв'язку. Унаслідок багатопроменевого поширення або багаторазових відбиттів короткий імпульс розширюється в часі й може сприйматися приймачем як послідовність кількох імпульсів. Це призводить до помилок інтерпретації символів й зменшення максимальної пропускної здатності каналу.

Через значну кількість можливих схем модуляції членами галузевого альянсу, до якого входили 3Com, Cisco Systems, Hewlett-Packard, Intel, AMD й інші компанії, у 2000 р. було обрано метод OFDM, тобто мультиплексування з ортогональним частотним розділенням. Цю схему для систем PowerLine запропонувала компанія Intellon.

OFDM орієнтована на високошвидкісне передавання великих обсягів цифрових даних. У цьому методі сигнал, підготовлений до модуляції, розділяється на багато потоків із нижчою швидкістю, які одночасно передаються на різних піднесучих частотах. Ортогональність піднесучих дає змогу здійснювати демодуляцію навіть за часткового перекриття їхніх смуг. Якщо середовище передавання має частотно-вибіркове загасання або в каналі присутня вузькосмугова завада, блокується лише частина піднесучих, а не весь сигнал. Принцип каналної адаптації при OFDM наведено на рисунку 1.9.

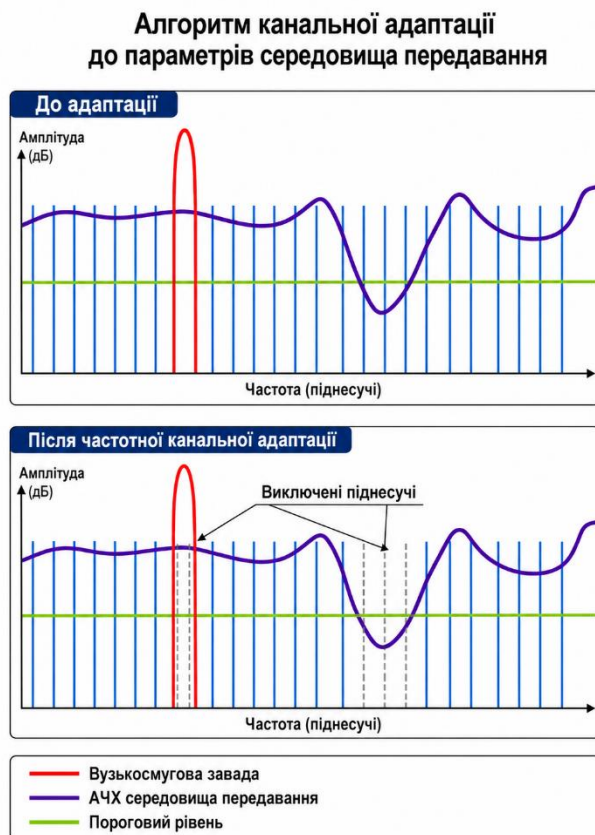


Рисунок 1.9 – Основи роботи механізму каналної адаптації

Основними перевагами OFDM є зменшення перехресних завад й підвищення стійкості до міжсимвольної інтерференції. До впровадження в системах PowerLine технологія OFDM була апробована в системах радіопередавання даних, зокрема у Wireless Local Loop (WLL (англ. Wireless Local Loop)), Local Multipoint Distribution Service (LMDS), цифровому телебаченні й стандарті IEEE 802.11a.

У системах передавання даних електричною проводкою використовується частотний діапазон приблизно від 4,3 до 20,9 МГц, який поділяється на 84 окремі канали. Окремі частоти можуть бути вилучені з використання не лише через несприятливі властивості середовища передавання, а й через частотні обмеження, встановлені в конкретній країні. Це пов'язано з тим, що частина енергії сигналу може перевипромінюватися в простір й створювати завади іншим радіотехнічним засобам.

Зменшенню впливу міжсимвольної інтерференції сприяє введення додаткової мікросекундної преамбули й збільшення тривалості передавання символу. Як додаткові види модуляції стандартом передбачено Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK), тобто диференціальну двійкову фазову маніпуляцію, й Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK), тобто диференціальну квадратурну фазову маніпуляцію.

Проведений аналіз наявних модемів, призначених для передавання інформації мережею 220 В, дає змогу зробити висновок, що цей напрям є достатньо розвиненим. Представлені на ринку ЕМ модеми дають змогу організовувати високошвидкісні канали зв'язку для комп'ютерних мереж й доступу до Інтернету. Швидкість передавання даних окремих пристроїв може досягати 80 Мбіт/с, однак найбільш поширеними є модеми зі швидкістю 11-14 Мбіт/с.

Водночас передавання даних на таких швидкостях потребує широкої смуги частот, приблизно до 20 МГц. Інформаційні сигнали, які поширюються ЕМ, можуть випромінюватися в ефір й створювати завади радіозв'язку в

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

зазначеному діапазоні. Зокрема, обладнання Broadband over Power Line (BPL) може створювати шумові завади в діапазоні від 1,7 до 80 МГц. У цьому діапазоні працюють аматорські радіостанції, а також окремі служби швидкого реагування, зокрема поліція, пожежні служби та служби екстреної медичної допомоги. Тому неконтрольоване використання цього діапазону може бути технічно небезпечним й нормативно обмеженим.

Для зменшення завад у радіоефірі вводяться обмеження на потужність сигналу, що, у свою чергу, зменшує дальність передавання до 50-100 м. Перенесення несучої частоти в нижчий діапазон, зокрема 100-450 кГц, дає змогу частково зменшити завади РЗ. Однак зниження несучої частоти призводить до звуження доступної смуги частот, а отже, до зменшення швидкості передавання інформації.

Для багатьох прикладних задач, зокрема передавання телеметричних даних, доступу до баз даних або організації низькошвидкісного доступу до Інтернету, висока швидкість передавання не є обов'язковою. Натомість важливими є обмеження смуги використовуваних частот, дальність передавання, завадостійкість й ефективність використання частотного ресурсу.

Проведений аналіз свідчить, що на сучасному ринку існує обмежена кількість ЕМ модемів, які працюють у нижньому частотному діапазоні. Значна частина таких пристроїв характеризується невеликою швидкістю передавання, приблизно 50-9600 бод, або відносно високою вартістю.

Отже, доцільним є розроблення ЕМ модему для передавання інформації на основі наявної ЕМ. Такий модем повинен працювати з несучою частотою не вище 150 кГц, використовувати смугу частот не більше 5 кГц й забезпечувати швидкість передавання інформації в діапазоні 2,4-56,2 кбіт/с.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.2. Аналіз інформації

За функціональним призначенням модем для передавання інформації ЕМ належить до класу наземної стаціонарної радіоелектронної апаратури (РЕА) професійного використання. Умови експлуатації такого пристрою визначають вимоги до його стійкості щодо механічних й кліматичних впливів.

Залежно від умов експлуатації й категорії розміщення проєктований ЕМ модем може бути віднесений до першої групи використання. До цієї групи належить стаціонарна РЕА, призначена для роботи в наземних й підземних приміщеннях.

Оскільки експлуатація пристрою передбачається в районах із помірним кліматом, відповідно до ДСТУ ГОСТ 15150-69 доцільно прийняти кліматичне виконання У. Таке виконання встановлює нормативні кліматичні й механічні впливи, які визначаються на основі аналізу умов експлуатації й використовуються під час конструкторського проєктування пристрою.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи ЕМ модуль зв'язку в системах збору даних на базі ЛМ належить до кліматичного виконання У, категорії розміщення 4.2 згідно з ДСТУ ГОСТ 15150-82. Для такого виконання встановлюються такі умови експлуатації:

- збереження працездатності й зовнішнього вигляду після перебування в температурному діапазоні від -40°C до $+55^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря – до $85 \pm 3\%$ за температури $+20^{\circ}\text{C}$;
- атмосферний тиск – у межах 80-100 кПа;
- механічне навантаження – незначне, відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 20790-82.

ЕМ модуль зв'язку призначений для експлуатації в приміщеннях. З конструктивної точки зору корпус пристрою доцільно виконати прямокутної форми. Елементи індикації та органи керування мають бути розміщені на

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

передній панелі, що забезпечує зручність візуального контролю режимів роботи й керування пристроєм.

Умови зберігання пристрою визначаються згідно із ДСТУ ГОСТ 15150-82 за групою умов зберігання Л. Зберігання повинно здійснюватися у сухих періодично провітрюваних приміщеннях за температури від +1 °С до +40 °С й відносної вологості не більше 80 %. У повітрі приміщення не повинно бути пилу, парів кислот, лугів й газів, які можуть спричиняти корозію металевих елементів конструкції.

1.2. Проектування схемотехнічне

1.2.1. Розроблення й розрахунок структурної схеми виробу

Одним із початкових етапів розроблення електричної принципової схеми (ЕЗ) ЕМ модуля зв'язку є формування його структурної схеми. Структурна схема визначає склад основних функціональних вузлів, характер зв'язків між ними, напрямки проходження сигналів, а також принципи взаємодії окремих блоків пристрою.

На цьому етапі встановлюються функції кожного структурного вузла, визначаються способи формування, передавання, перетворення й вимірювання сигналів, а також умови узгодженої роботи блоків. Крім того, структурна схема дає змогу попередньо оцінити вимоги до швидкодії, точності, завадостійкості й рівнів сигналів у різних частинах пристрою.

Результатом цього етапу є структурна блок-схема ЕМ модуля зв'язку, наведена на рисунку 1.10.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

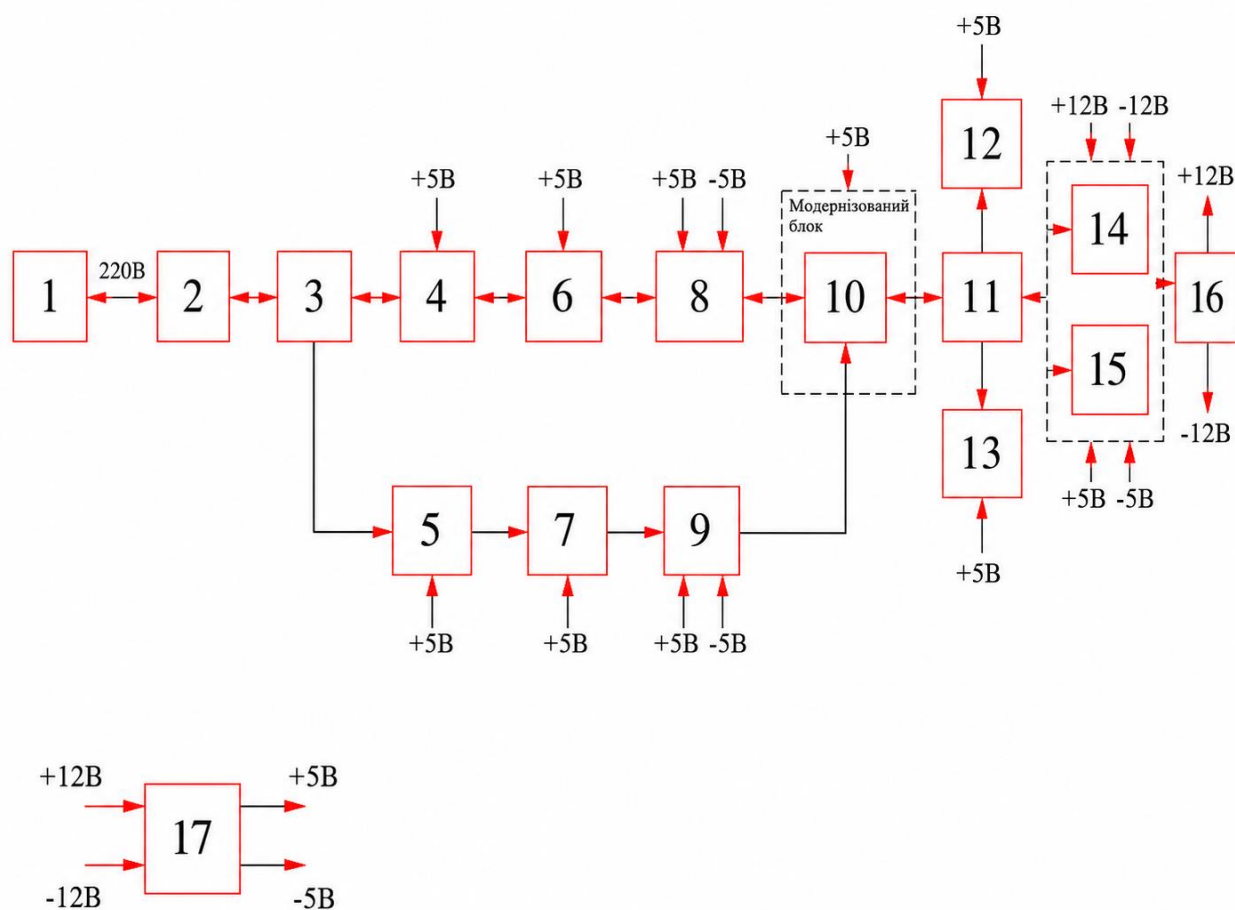


Рисунок 1.10 – Структурна схема ЕМ модуля зв'язку

До складу структурної схеми ЕМ модуля зв'язку, поданого на рисунку 1.10, входять такі основні функціональні вузли:

- 1 – ЕМ 220 В;
- 2 – трансформатор;
- 3 – фільтр;
- 4 – вихідний каскад;
- 5 – узгоджувальний трансформатор;
- 6 – генератор;
- 7 – блок захисту;
- 8 – підсилювач передавального тракту;
- 9 – підсилювач приймального тракту;
- 10 – модуль зв'язку;
- 11 – мікроконтролер (МК);

- 12 – вузол індикації передавання;
- 13 – вузол індикації приймання;
- 14 – формувач рівня сигналу приймального інтерфейсу;
- 15 – формувач рівня сигналу передавального інтерфейсу;
- 16 – персональна електронна обчислювальна машина (ПЕОМ);
- 17 – стабілізатор напруги.

У режимі приймання сигнал з ЕМ 220 В надходить на вхід силового трансформатора 2. Після трансформації сигнал із вторинної обмотки подається на вхід узгоджувального трансформатора 5. Вхідне коло цього трансформатора містить фільтр 3, налаштований на частоту несучого сигналу. З виходу вторинних обмоток узгоджувального трансформатора сигнал надходить до блоку захисту 7.

Після проходження блоку захисту сигнал подається на підсилювач приймального тракту 9, де його рівень підвищується до значення, необхідного для подальшого оброблення модулем зв'язку 10. На виході модуля зв'язку 10 демодульований сигнал формується у вигляді паралельного двійкового коду й передається із регістрів на вхід мікроконтролера 11.

У МК 11 сигнал перетворюється у формат, сумісний із входом СОМ-порту ПЕОМ 16. Далі сигнал надходить на формувач рівня сигналу 14, який забезпечує узгодження електричних рівнів виходу МК з входом СОМ-порту ПЕОМ. Процес приймання даних відображається вузлом індикації приймання 13.

У режимі передавання сигнал із СОМ-порту ПЕОМ 16 надходить на МК 11 через формувач рівня сигналу 15. Після оброблення в МК сигнал у паралельному коді передається з його регістрів на вхід модуля зв'язку 10. У модулі зв'язку здійснюється формування інформаційного сигналу, який далі надходить на підсилювач передавального тракту 8.

Після підсилення до необхідного рівня сигнал подається на вхід генератора прямокутних імпульсів 6, керованого напругою. З виходу генератора сигнал надходить на вихідний каскад 4. До кола вихідного

каскаду підключено трансформатор 2, первинна обмотка якого налаштована на частоту несучого сигналу. З виходу трансформатора сформований сигнал передається в ЕМ 220 В. Процес передавання сигналу відображається вузлом індикації передавання 12.

Живлення всіх структурних блоків ЕМ модуля зв'язку забезпечується стабілізатором напруги 17, який формує необхідні стабілізовані рівні напруги для коректної роботи функціональних вузлів пристрою.

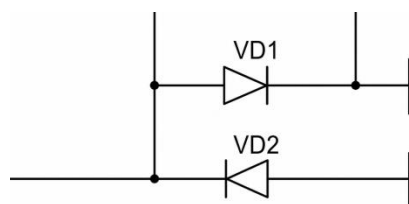
1.2.2. Проектування й розрахунок ЕЗ

На основі структурної схеми ЕМ модуля зв'язку методом евристичного пошуку принципових схемних рішень розроблено ЕЗ виробу, подану на кресленні у додатках.

ЕМ модуль зв'язку функціонує у двох основних режимах: приймання й передавання сигналу.

Режим приймання сигналу. У режимі приймання модульований сигнал з ЕМ 220 В надходить на вхід силового трансформатора Т2, де здійснюється його трансформація. Із вторинної обмотки трансформатора сигнал подається на вхід узгоджувального трансформатора. Вхідне коло узгоджувального трансформатора утворене коливальним контуром Т1-С10, налаштованим на частоту несучого сигналу.

Після проходження узгоджувального трансформатора сигнал із його вторинних обмоток надходить до блоку захисту, схема якого наведена на рисунку 1.11. Блок захисту побудований на діодах VD1 та VD2 й призначений для обмеження рівня вхідного сигналу й захисту подальших каскадів від перенапруг.



					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Рисунок 1.11 – Блок захисту

З виходу блоку захисту сигнал надходить на вхід підсилювача рівня сигналу, поданого на рисунку 1.12. Основою підсилювача є операційний підсилювач DA5:1, а також елементи DA5, R30, R33 й R34. У цьому вузлі здійснюється підсилення сигналу до рівня, необхідного для подальшого надходження на вхід модуля зв'язку FX919A DD1, фрагмент підключення якого наведено на рисунку 1.13.

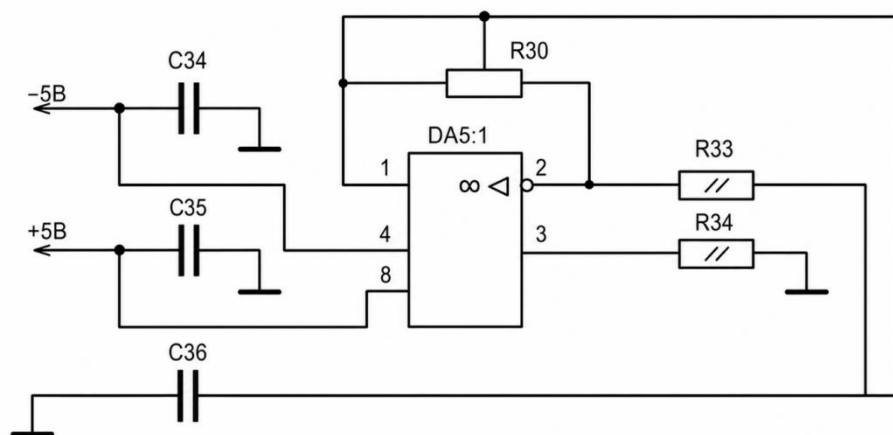


Рисунок 1.12 – Операційний підсилювач рівня сигналу

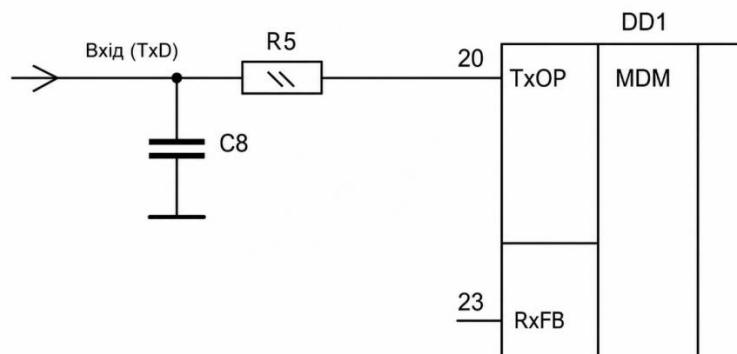


Рисунок 1.13 – Вхід модуля DD1

З виходу регістрів D0-D7 модуля DD1, наведених на рисунку 1.14, сигнал у паралельному двійковому коді подається на відповідні входи МК DD3. Порти МК DD3, що використовуються для приймання паралельних даних, наведено на рисунку 1.15.

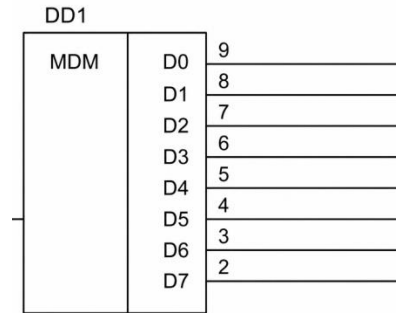


Рисунок 1.14 – Регістри модуля D0-D7 DD1

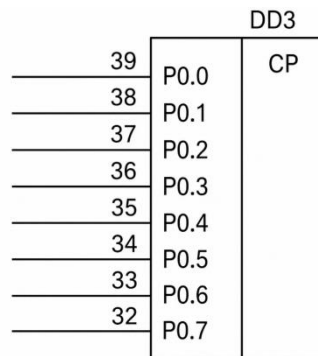


Рисунок 1.15 – Порти МК DD3

У МК DD3 прийнятий сигнал перетворюється у формат, необхідний для передавання через COM-порт ПЕОМ. Далі з виходу мК.ТxD МК DD3, поданого на рисунку 1.16, сигнал надходить на формувач рівня сигналу, схема якого наведена на рисунку 1.17.

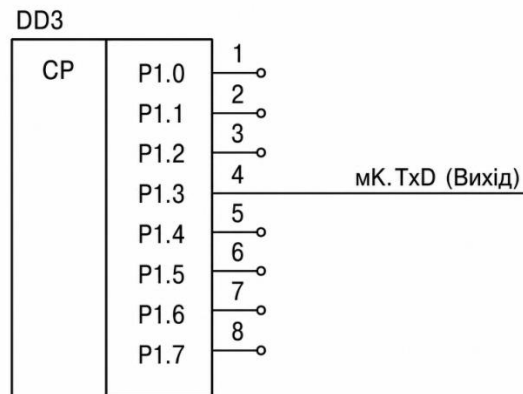


Рисунок 1.16 – Вихід мк.ТxD МК DD3

Формувач рівня сигналу забезпечує узгодження електричних рівнів виходу МК DD3 із входом TxD COM-порту ПЕОМ, підключеного до роз'єму Х3. Вузол побудований на оптроні АОТ128 DA3, транзисторі VT5, який працює у ключовому режимі, й резисторах R21, R25 і R27.

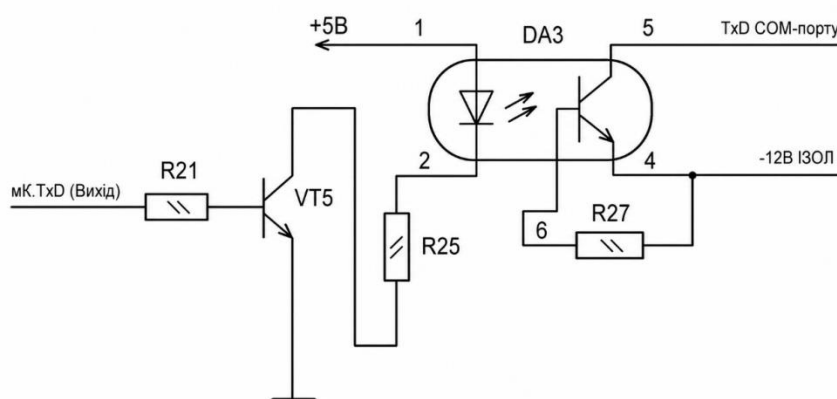


Рисунок 1.17 – Формувач рівня сигналу

Приймання даних відображається вузлом індикації, схема якого наведена на рисунку 1.18. Вузол побудований на транзисторі VT4, що працює у ключовому режимі, світлодіоді H3 й резисторах R20, R24.

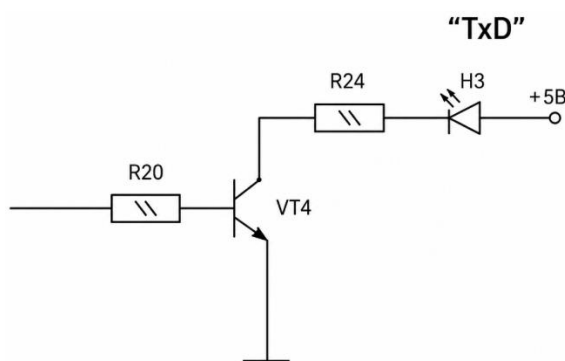


Рисунок 1.18 – Вузол індикації

Індикація приймання здійснюється за умови подання активного логічного сигналу на вхід вузла індикації з виходу порту P1.1 МК DD3.

Режим передавання сигналу. У режимі передавання сигнал із COM-порту ПЕОМ, підключеного до роз'єму Х3, надходить на вхід МК DD3 через

формував рівня сигналу. Вхід МК.RxD МК DD3 наведено на рисунку 1.19, а схема формувача рівня сигналу – на рисунку 1.20.

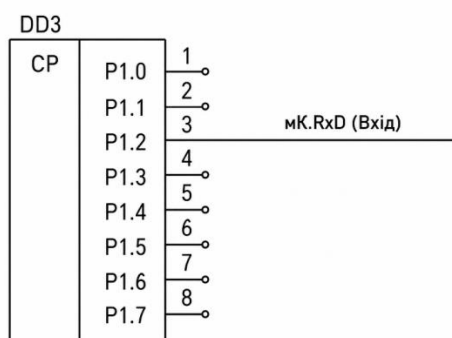


Рисунок 1.19 – Вхід МК DD3 мк.RxD

Формувач рівня сигналу побудований на оптроні AOT128 DA4 й резисторах R22, R16 й R28. Його функцією є електричне узгодження рівнів сигналу COM-порту з входом МК DD3, а також гальванічне розділення відповідних кіл.

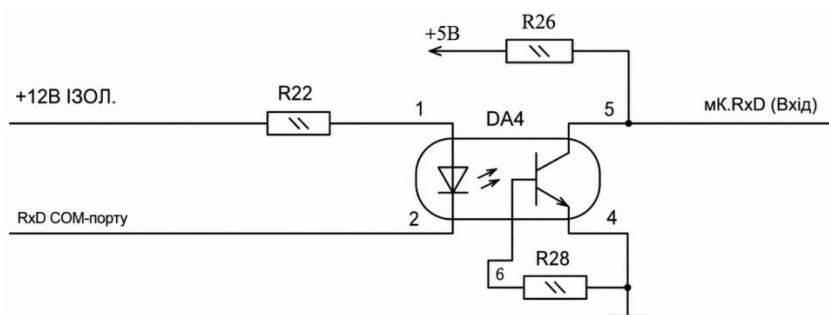


Рисунок 1.20 – Формувач рівня сигналу

З виходу МК сигнал у паралельному коді з портів P0.0-P0.7 надходить на вхід модуля зв'язку FX919A DD1, зокрема на порт RD, де здійснюється його пакування з використанням входу RxFB. Вхід модуля DD1 наведено на рисунку 1.21.

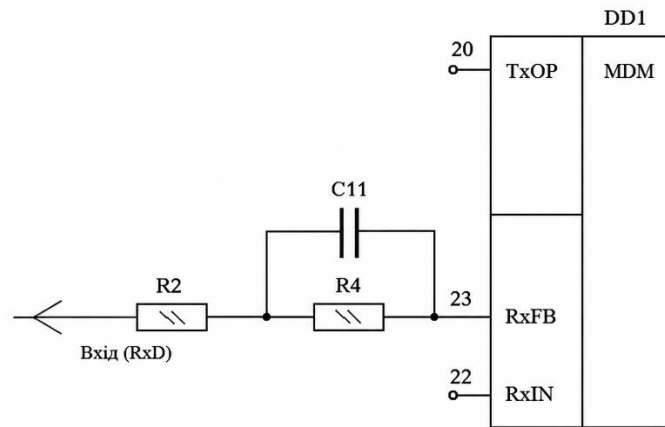


Рисунок 1.21 – Вхід модуля DD1

Після оброблення у модулі сигнал надходить на операційний підсилювач рівня сигналу, схема якого наведена на рисунку 1.22. Підсилювач реалізовано на операційному підсилювачі DA5:2 й резисторах R29, R31 й R32. У цьому каскаді сигнал підсилюється до необхідного рівня й подається на вхід генератора прямокутних імпульсів DD2, який виконує функцію частотного модулятора.

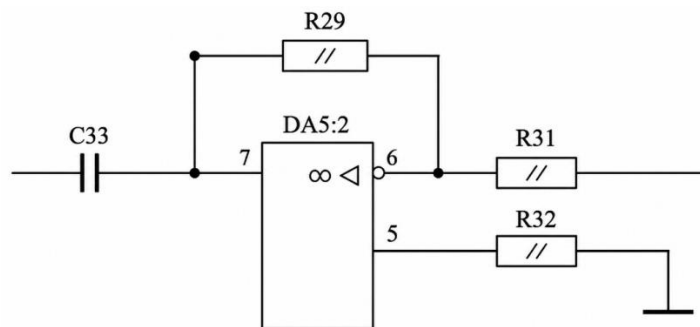


Рисунок 1.22 – Операційний підсилювач рівня сигналу

Генератор прямокутних імпульсів наведено на рисунку 1.23. Початкова частота генератора за відсутності інформаційного сигналу встановлюється на рівні 94 кГц за допомогою змінного резистора R15. З виходу генератора сформований сигнал надходить на вихідний каскад, поданий на рисунку 1.24.

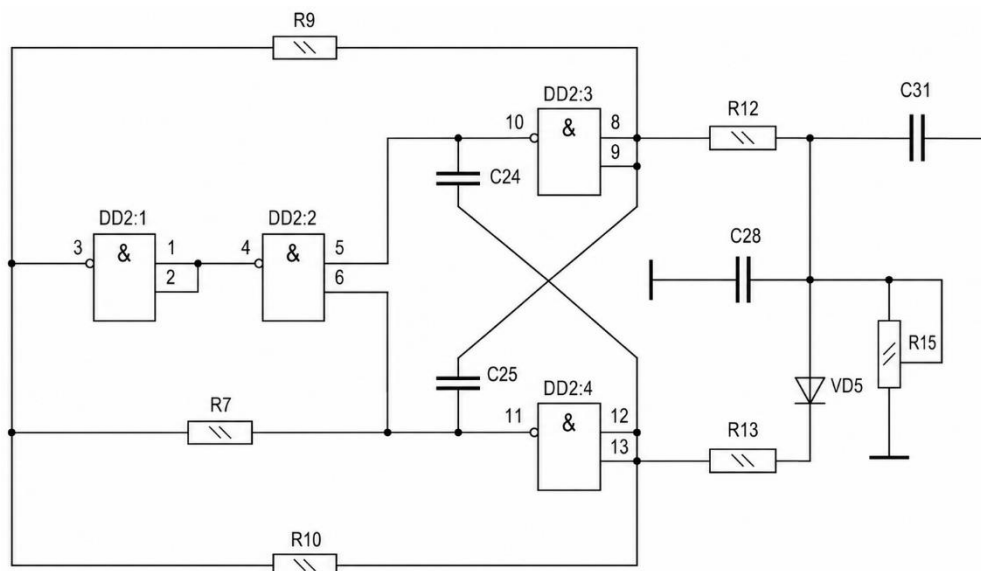


Рисунок 1.23 – Генератор прямокутних імпульсів

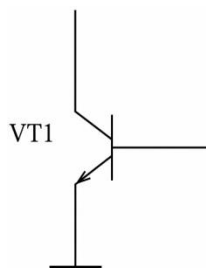
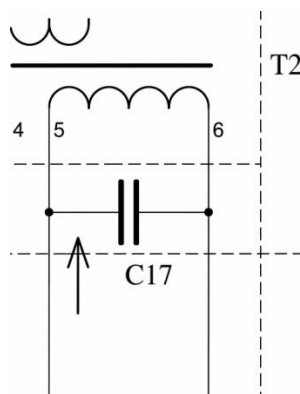


Рисунок 1.24 – Вихідний каскад

У колекторне коло вихідного каскаду ввімкнено трансформатор Т2. Його первинна обмотка налаштована на частоту несучого сигналу за допомогою конденсатора С17. Схема первинної обмотки трансформатора Т2 наведена на рисунку 1.25. З виходу трансформатора сигнал передається в ЕМ.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Рисунок 1.25 – Первинна обмотка трансформатора T2

Передавання даних відображається вузлом індикації, який побудований на транзисторі VT3, що працює у ключовому режимі, світлодіоді H2 й резисторах R19, R23. Схема вузла індикації передавання наведена на рисунку 1.26.

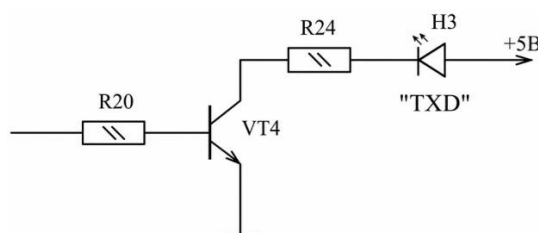


Рисунок 1.26 – Вузол індикації

Індикація передавання здійснюється за умови подання активного логічного сигналу на вхід вузла індикації з виходу порту P1.0 МК DD3.

Блок-схема роботи МК DD3 наведена на кресленні у додатках.

Розрахунок вузла індикації. В електричній схемі передбачено чотири вузли індикації, які працюють у ключовому режимі на транзисторах VT3 й VT4. Транзистори ввімкнено за схемою зі спільним емітером, а в коло навантаження підключено світлодіоди H2 й H3.

Оскільки всі вузли індикації мають однаковий принцип роботи, розрахунок виконується для одного вузла, який містить резистори R23, R19, транзистор VT3 й світлодіод H2. Схема розрахункового вузла наведена на рисунку 1.27.

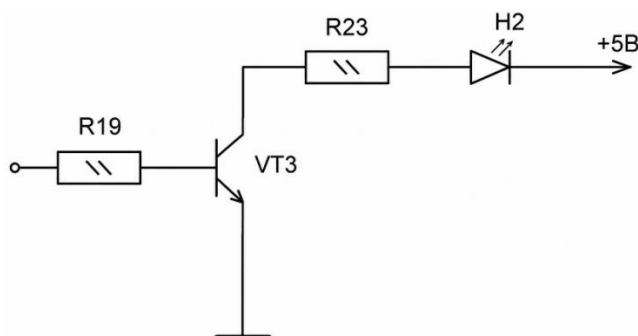


Рисунок 1.27 – Вузол індикації

Струм світлодіода прийнято на рівні приблизно 5 мА. За НЖ 5 В, падіння напруги на ключовому транзисторі VT3, що дорівнює 0,4 В, й падіння напруги на світлодіоді 2 В опір резистора R23 визначається за формулою:

$$R_{23} = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{світлодіода}} - U_{VT3}}{I_{\text{світлодіода}}}, \quad (1.10)$$

де $U_{\text{ж}}$ – НЖ;

$I_{\text{світлодіода}}$ – необхідний струм світлодіода;

$U_{\text{світлодіода}}$ – падіння напруги на світлодіоді;

U_{VT3} – падіння напруги на транзисторі VT3.

Підстановка числових значень дає:

$$R_{23} = \frac{5 - 2 - 0,4}{0,010} = 260 \text{ Ом.}$$

З урахуванням стандартного ряду номіналів прийнято: $R_{23} = 270 \text{ Ом.}$

Далі визначається опір базового резистора R19. Для цього розраховується струм бази транзистора VT3 за формулою:

$$I_{\text{б}VT3} = \frac{I_{\text{к}VT3}}{\beta_{VT3}}, \quad (1.11)$$

де $I_{\text{к}VT3}$ – струм у колі колектора транзистора VT3;

β_{VT3} – коефіцієнт підсилення транзистора за струмом.

Для розрахунку прийнято: $I_{\text{к}VT3} = I_{\text{світлодіода}} = 10 \text{ мА}; \beta_{VT3} = 600.$

$$I_{\text{б}VT3} = \frac{0,01}{600} = 16,6 \text{ мкА.}$$

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, розрахунок вузла індикації підтверджує можливість застосування транзисторного ключа (ТК) для керування світлодіодом за сигналом МК. Прийнятий номінал резистора $R_{23} = 270$ Ом забезпечує обмеження струму світлодіода до допустимого рівня й коректну роботу індикації в режимі передавання або приймання.

Для забезпечення надійної роботи транзистора у ключовому режимі струм бази доцільно приймати щонайменше удвічі більшим за розрахункове значення. Тому для транзистора VT3 прийнято: $I_{бVT3} = 33,2$ мкА.

Номінал базового резистора R19 визначається за формулою:

$$R_{19} = \frac{U_{\text{вих.МК}}}{I_{бVT3}}, \quad (1.12)$$

де $U_{\text{вих.МК}}$ – вихідна напруга порту МК за струму 33,2 мкА, яка згідно з технічною документацією становить приблизно 3 В;

$I_{бVT3}$ – прийнятий струм бази транзистора VT3.

Після підстановки числових значень отримано: $R_{19} = \frac{3}{33,2 \cdot 10^{-6}} = 90,4$ кОм.

Зі стандартного ряду номіналів прийнято: $R_{19} = 91$ кОм.

За результатами розрахунку для вузла індикації прийнято такі елементи:

- транзистори VT1 й VT2 – типу КТ3102Б;
- резистори R19 й R20 – номіналом 91 кОм;
- резистори R23 й R24 – номіналом 270 Ом.

Розрахунок формувача рівня сигналу. У схемі ЕМ модуля зв'язку використано два типи формувачів рівня сигналу. Їх основною функцією є узгодження електричних рівнів сигналів між МК, модулем й послідовним інтерфейсом ПЕОМ, а також забезпечення гальванічного розділення кіл за допомогою оптронів.

Розрахунок формувача рівня першого типу. Формувач рівня першого типу складається з резисторів R21, R25, R27, транзистора VT5 й оптрона DA3. Схему вузла наведено на рисунку 1.28.

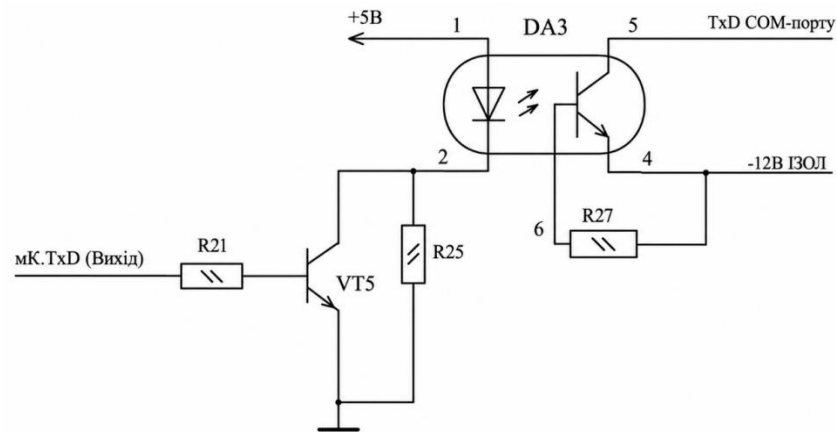


Рисунок 1.28 – Формувач рівня сигналу

Вихідними даними для розрахунку є:

- вихідний струм МК – 33,2 мкА;
- вихідна напруга порту МК – 3 В;
- струм світлодіода оптрона – приблизно 10 мА;
- НЖ – 5 В;
- падіння напруги на ТК VT5 – 0,4 В;
- падіння напруги на світлодіоді оптрона – 2 В.

Для забезпечення нормальної роботи ключа оптрона АОТ128 струм світлодіода приймається на рівні приблизно 10 мА. Опір резистора R25 визначається за формулою:

$$R_{25} = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{світлодіода}} - U_{\text{VT5}}}{I_{\text{світлодіода}}}, \quad (1.13)$$

де $U_{\text{ж}}$ – НЖ;

$I_{\text{світлодіода}}$ – необхідний струм світлодіода оптрона;

$U_{\text{світлодіода}}$ – падіння напруги на світлодіоді оптрона;

U_{VT5} – падіння напруги на транзисторі VT5.

Після підстановки числових значень отримано:

$$R_{25} = \frac{5 \text{ В} - 2 \text{ В} - 0,4 \text{ В}}{0,010 \text{ А}} = 260 \text{ Ом.}$$

Зі стандартного ряду номіналів прийнято: $R_{25} = 270 \text{ Ом.}$

Для визначення номіналу резистора R21 спочатку розраховується струм бази транзистора VT5:

$$I_{6VT5} = \frac{I_{кVT5}}{\beta_{VT5}}, \quad (1.14)$$

де $I_{кVT5}$ – струм у колі колектора транзистора VT5;

β_{VT5} – коефіцієнт підсилення транзистора за струмом.

Для розрахунку прийнято:

$$\begin{aligned} I_{кVT5} &= I_{\text{світлодіода}} = 10 \text{ мА}, \\ \beta_{VT5} &= 600. \\ I_{6VT5} &= \frac{0,010 \text{ А}}{600} = 16,6 \text{ мкА}. \end{aligned}$$

Оскільки для надійної роботи транзистора у ключовому режимі струм бази доцільно приймати удвічі більшим за розрахунковий, прийнято:
 $I_{6VT5} = 33,2 \text{ мкА.}$

Номінал резистора R21 визначається за формулою:

$$R_{21} = \frac{U_{\text{вих.МК}}}{I_{6VT5}}, \quad (1.15)$$

де $U_{\text{вих.МК}}$ – вихідна напруга порту МК за струму 33,2 мкА, що згідно з ТД становить приблизно 3 В;

I_{6VT5} – прийнятий струм бази транзистора VT5.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки числових значень отримано: $R_{21} = \frac{3}{33,2 \cdot 10^{-6}} = 90,4 \text{ кОм}$.

Зі стандартного ряду номіналів прийнято: $R_{21} = 91 \text{ кОм}$.

Резистор R27 відповідно до паспортних даних оптрона АОТ128 прийнято номіналом 100 кОм.

За результатами розрахунку для формувача рівня першого типу прийнято такі елементи:

- транзистор VT5 – типу КТ3102Е;
- резистор R21 – номіналом 91 кОм;
- резистор R25 – номіналом 270 Ом;
- резистор R27 – номіналом 100 кОм;
- оптрон DA3 – типу АОТ128.

Розрахунок формувача рівня другого типу.

Формувач рівня другого типу складається з резисторів R22, R26, R28 й оптрона DA4. Схему вузла наведено на рисунку 1.29.

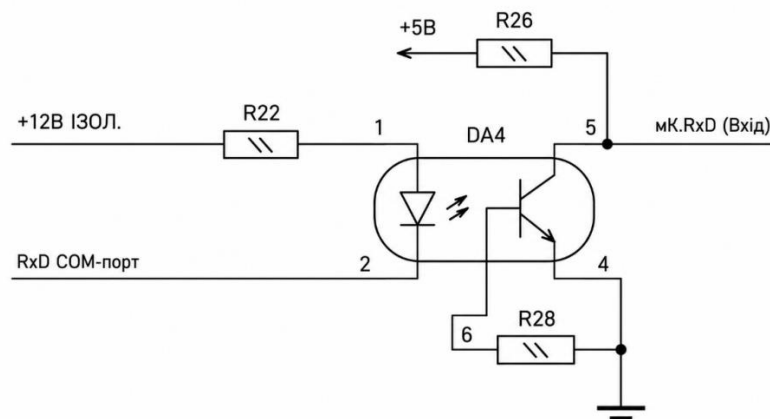


Рисунок 1.29 – Формувач рівня сигналу

Вихідними даними для розрахунку є:

- вхідний струм – 10 мА;
- вихідний струм – 1 мА;
- вхідна напруга логічного «0» – від +5 В до +12 В;

- вхідна напруга логічної «1» – від +5 В до -12 В;
- вихідний струм МК – 33,2 мкА.

Для нормальної роботи ключа оптрона DA4 АОТ128 струм світлодіода має становити приблизно 10 мА. З урахуванням падіння напруги на світлодіоді, яке дорівнює 2 В, опір резистора R22 визначається так:

$$R_{22} = \frac{12 \text{ В} - 2 \text{ В}}{0,010 \text{ А}} = 1 \text{ кОм.}$$

Резистор R28 відповідно до паспортних даних оптрона АОТ128 прийнято номіналом 100 кОм.

Номінал резистора R26 визначається за формулою:

$$R_{26} = \frac{U_{\text{ж}}}{I_{\text{вих}}}, \quad (1.16)$$

де $U_{\text{ж}}$ – НЖ;

$I_{\text{вих}}$ – вихідний струм.

Після підстановки числових значень отримано:

$$R_{26} = \frac{5}{1 \cdot 10^{-3}} = 5 \text{ кОм.}$$

Зі стандартного ряду номіналів прийнято: $R_{26} = 5,1 \text{ кОм.}$

За результатами розрахунку для формувача рівня другого типу прийнято такі елементи:

- оптрон DA4 – типу АОТ128;
- резистор R22 – номіналом 1 кОм;
- резистор R26 – номіналом 5,1 кОм;
- резистор R28 – номіналом 100 кОм.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

У даному підрозділі виконано аналіз технічного завдання на розроблення ЕМ модуля зв'язку, розглянуто наявні аналоги, сформовано структурну схему пристрою й на її основі розроблено ЕЗ. Також здійснено параметричний синтез окремих вузлів ЕЗ, зокрема вузлів індикації та формувачів рівня сигналу.

1.2.3. Вибір та обґрунтування ЕБ

Вибір елементної бази (ЕБ) є важливим етапом проєктування РЕА, оскільки помилки на цьому етапі можуть спричинити відмову РЕА під час першого ввімкнення або зменшити її експлуатаційну надійність. Найбільш критичними є помилки, які призводять до пошкодження компонентів або виходу пристрою з ладу. Менш критичними, але також небажаними, є помилки, що знижують працездатність РЕА, однак можуть бути виявлені під час налагодження.

Для більшості компонентів РЕА виробником задаються граничні параметри, зокрема допустимі значення струму, напруги, потужності й температури. Ці параметри взаємопов'язані, тому вибір компонентів повинен здійснюватися з урахуванням режимів роботи, допустимих навантажень й умов експлуатації.

До найпоширеніших пасивних елементів РЕА належать:

- резистори;
- конденсатори;
- діоди.

Для пасивних елементів характерним є те, що струм через них визначається прикладеною напругою й параметрами самого елемента. У проєктованому модулі зв'язку як резистивні елементи обрано резистори типу С2-33.

Під час вибору конкретного типу резисторів ураховано такі параметри:

- експлуатаційні характеристики;

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- параметри режиму роботи;
- режими допустимих електричних навантажень;
- показник безвідмовності;
- показник довговічності;
- допустимі розміри;
- маса резисторів;
- конструктивне виконання;
- спосіб монтажу;
- вартість резисторів.

Для ЕМ модуля зв'язку використано 31 постійний резистор. Габаритні розміри резистора типу С2-33 наведено на рисунку 1.30.

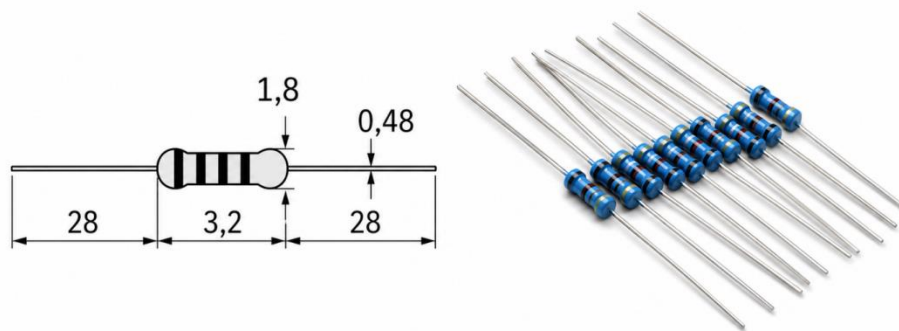
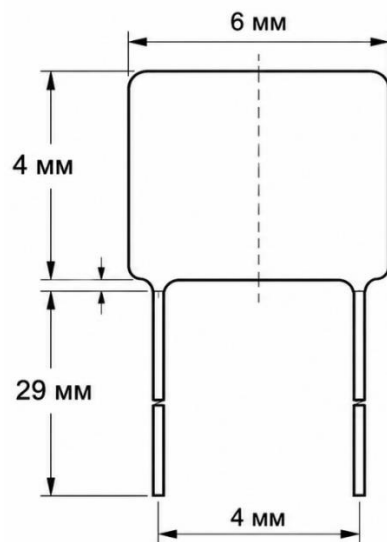


Рисунок 1.30 – Габаритні розміри постійного резистора типу С2-33

Після вибору резисторів здійснено вибір конденсаторів. Конденсатори підбиралися відповідно до їх функціонального призначення у схемі, електричних параметрів, допустимих режимів роботи та конструктивних особливостей. Для проєктованого модуля зв'язку обрано конденсатори типу К10-17 й електролітичні конденсатори типу К50-35. Загальна кількість конденсаторів становить 29, з яких 7 є електролітичними. Габаритні розміри конденсаторів наведено на рисунках 1.31 й 1.32.

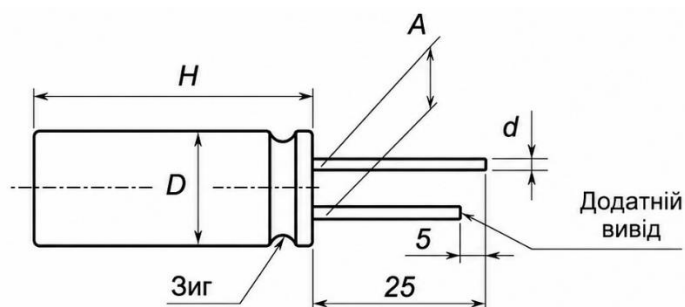


Габаритний кресленик (розміри)



Зовнішній вигляд

Рисунок 1.31 – Габаритні розміри конденсаторів типу K10-17



<i>D</i>	<i>A</i>	<i>d</i>
6,3–8	2,5	0,6
10	5	0,6
14	5	0,8
16–21	7,5	0,8



Рисунок 1.32 – Габаритні розміри конденсаторів типу K50-35

Після вибору резисторів й конденсаторів підбрано 2 діоди й 2 стабілітрони. Їх основні параметри наведено у таблицях 1.2 й 1.3.

Таблиця 1.2 – Діоди й їх основні параметри

Діоди	Тип	$U_{звор}, В$	$I_{пр} max, А$	$I_{звор} max, мА$	$F_d max, кГц$
-------	-----	---------------	-----------------	--------------------	----------------

VD1, VD2	КД522А	50	0,1	5	10000
----------	--------	----	-----	---	-------

Таблиця 1.3 – Стабілітрони та їх основні параметри

Стабілітрон	Тип	$U_{\text{стаб}}, \text{В}$	$I_{\text{стаб}} \text{ max}, \text{мА}$	$R_{\text{диф}} \text{ max}, \text{Ом}$
VD3, VD4	КС156А	19	5	25

Габаритні розміри діода КД522А й стабілітрона КС156А наведено відповідно на рисунках 1.33 й 1.34.

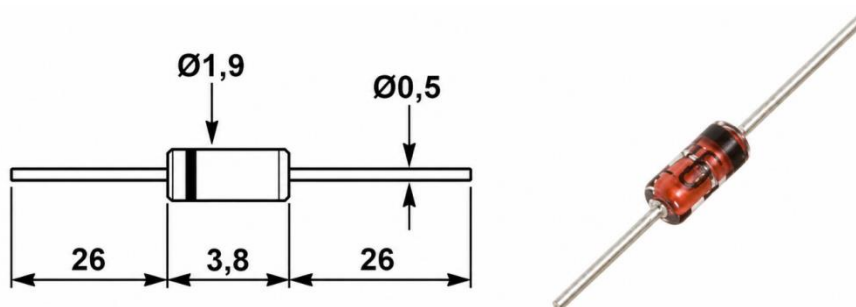


Рисунок 1.33 – Габаритні розміри діода КД522А

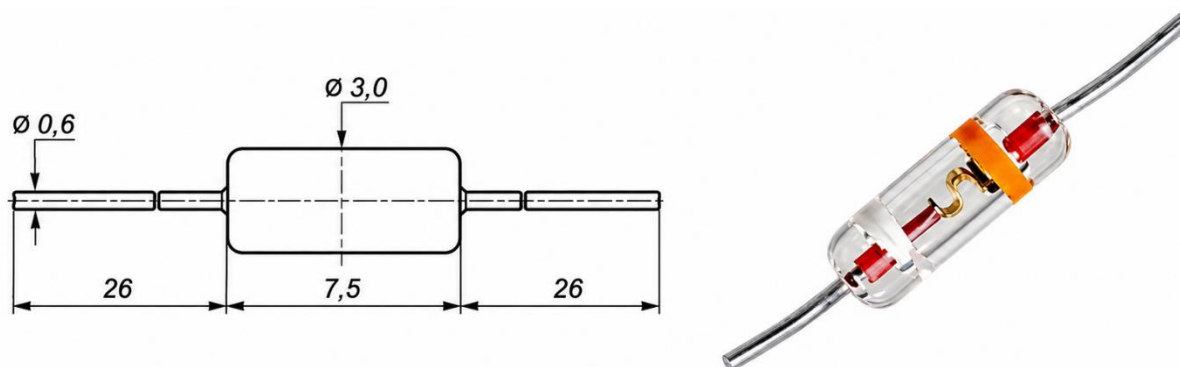


Рисунок 1.34 – Габаритні розміри стабілітрона КС156А

Зазначені елементи належать до пасивних компонентів електронної схеми. Активні компоненти, на відміну від пасивних, здатні керувати струмом у колі за допомогою керуючого сигналу, який характеризується напругою, струмом або світловим потоком.

До активних елементів, використаних у проєктованому модулі зв'язку, належать транзистори й оптрони. Для пристрою обрано 3 кремнієві транзистори КТ3102Б, 2 транзистори КТ315 й 2 оптрони АОТ128. Їх габаритні розміри наведено на рисунках 1.35-1.37.

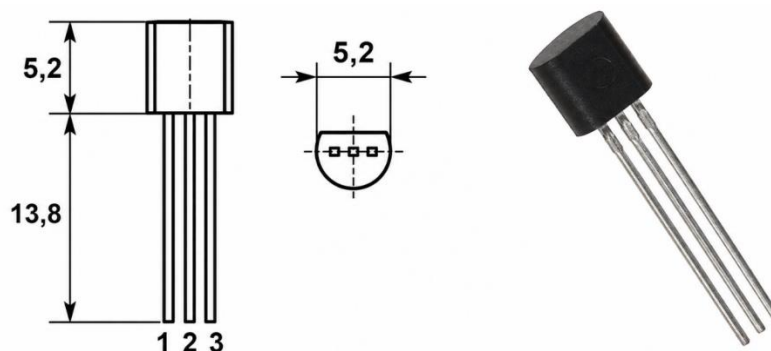


Рисунок 1.35 – Габаритні розміри транзистора КТ3102Б

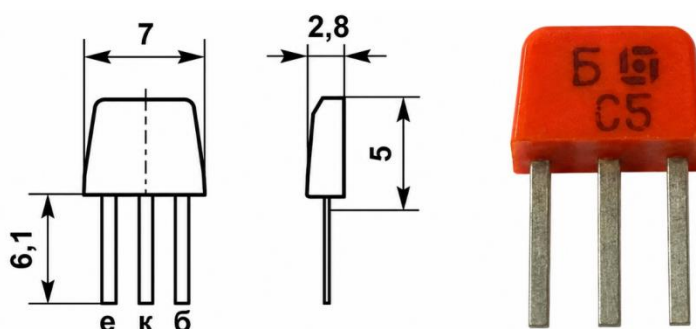
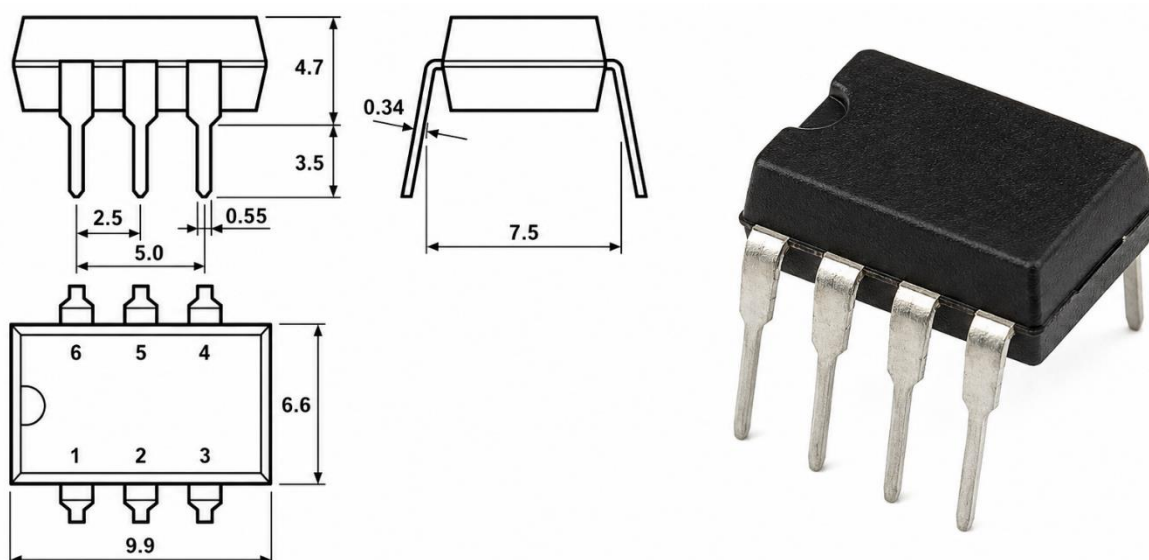


Рисунок 1.36 – Габаритні розміри транзистора КТ315



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Рисунок 1.37 – Габаритні розміри оптрона АОТ128

Завершальним етапом формування ЕБ було обрання інтегральних мікросхем (ІМС), які забезпечують виконання основних функціональних операцій ЕМ модуля зв'язку. До таких операцій належать стабілізація напруги, модуляція й демодуляція сигналів, логічне перетворення, підсилення, а також керування вхідними й вихідними сигналами відповідно до заданого алгоритму роботи.

У складі проєктованого пристрою використано такі ІМС:

- стабілізатор DA1 типу KP142EH5, габаритні розміри якого наведено на рисунку 1.38;
- стабілізатор DA2 типу ADM660AN, габаритні розміри якого наведено на рисунку 1.39;
- модулятор-демодулятор DD1 типу FX919, габаритні розміри якого наведено на рисунку 1.40;
- МК DD3 типу AT89S8252, габаритні розміри якого наведено на рисунку 1.41;
- логічні елементи DD2 типу K561ЛА7, габаритні розміри яких наведено на рисунку 1.42;
- операційний підсилювач DA5 типу ОРА2168, габаритні розміри якого наведено на рисунку 1.43.

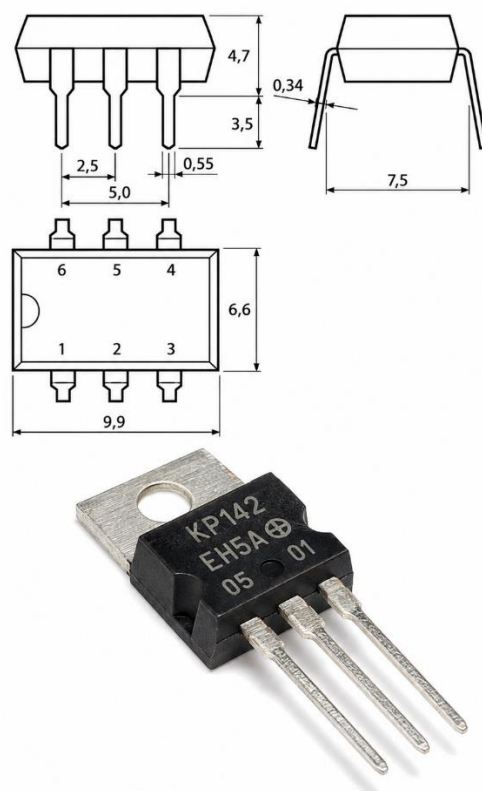


Рисунок 1.38 – Габаритні розміри ІМС КР142ЕН5

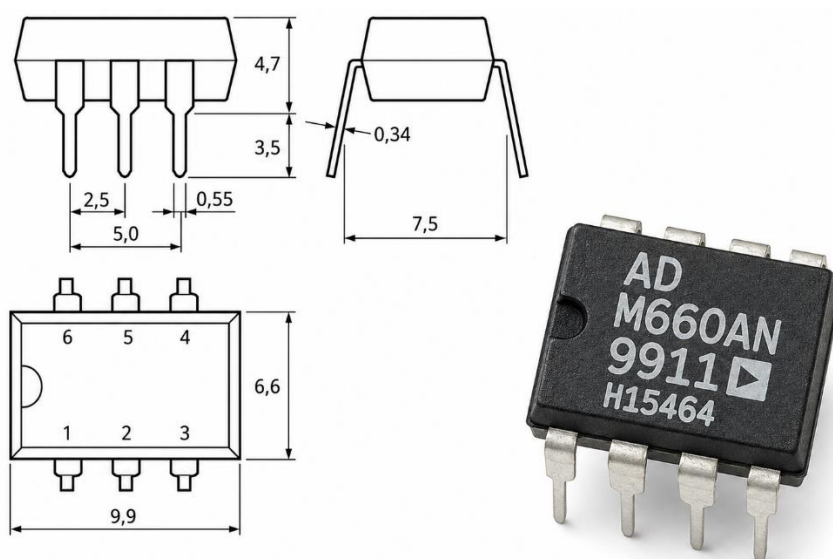
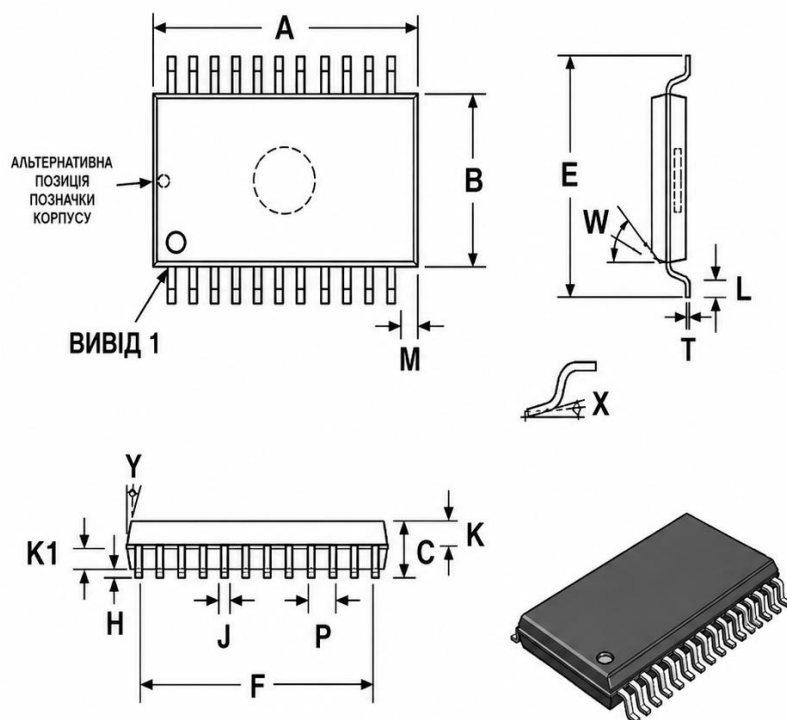


Рисунок 1.39 – Габаритні розміри ІМС АDМ660АN

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



РОЗМІР	МІН.	ТИП.	МАКС.
A	0.597 (15.16)	–	0.613 (15.57)
B	0.291 (7.39)	–	0.299 (7.59)
C	0.093 (2.36)	–	0.105 (2.67)
E	0.394 (10.01)	–	0.419 (10.64)
F	–	0.585 (14.87)	–
H	0.004 (0.10)	–	0.012 (0.30)
J	0.014 (0.36)	–	0.018 (0.46)
K	0.036 (0.91)	–	0.046 (1.17)
K1	0.036 (0.91)	–	0.046 (1.17)
L	0.016 (0.41)	–	0.050 (1.27)
M	0.021 (0.53)	–	0.031 (0.79)
P	–	0.050 (1.27)	–
T	0.009 (0.23)	–	0.012 (0.30)
W	–	45°	–
X	0°	–	8°
Y	–	7°	–

ПРИМІТКА. Усі розміри наведено в дюймах (мм).
Кути в градусах

Рисунок 1.40 – Габаритні розміри ІМС FX919

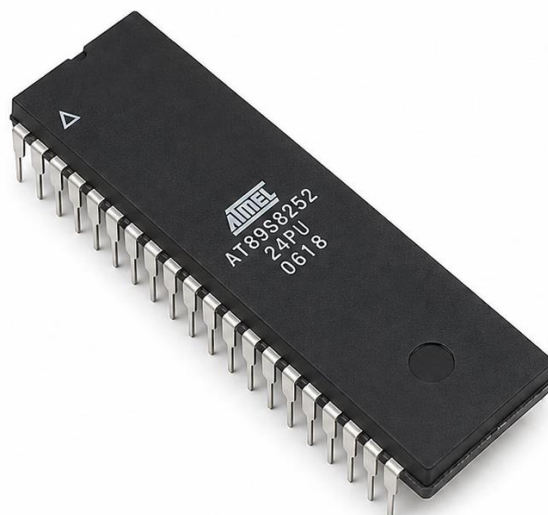
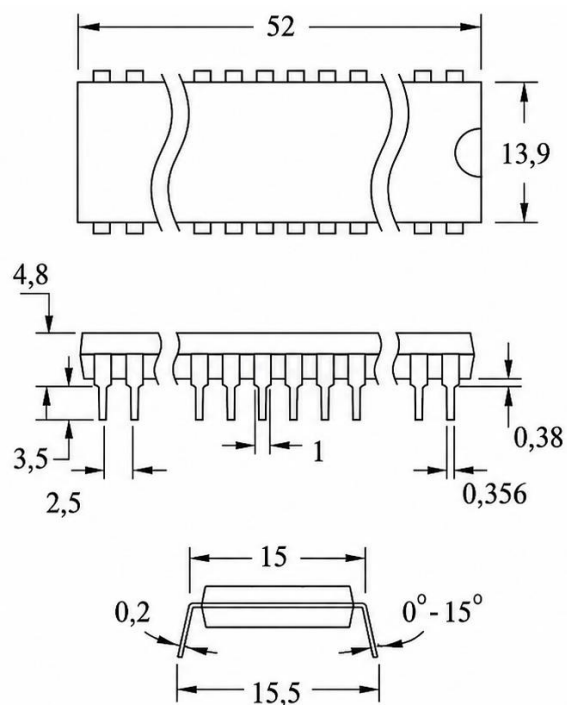


Рисунок 1.41 – Габаритні розміри ІМС AT89S8252

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

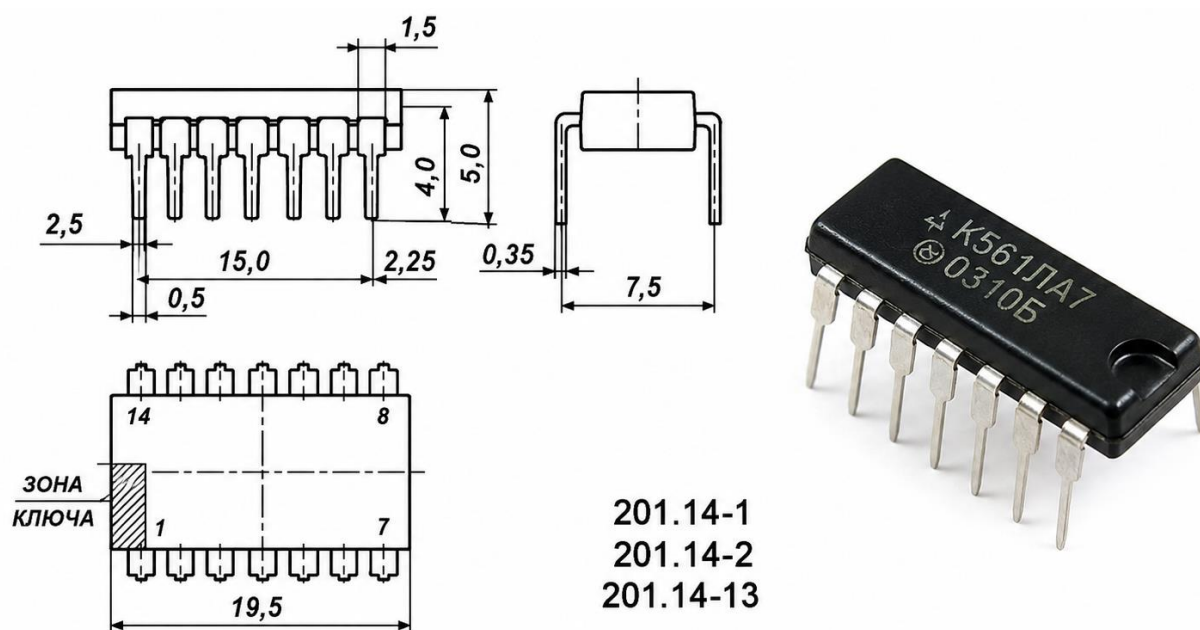


Рисунок 1.42 – Габаритні розміри ІМС К561ЛА7

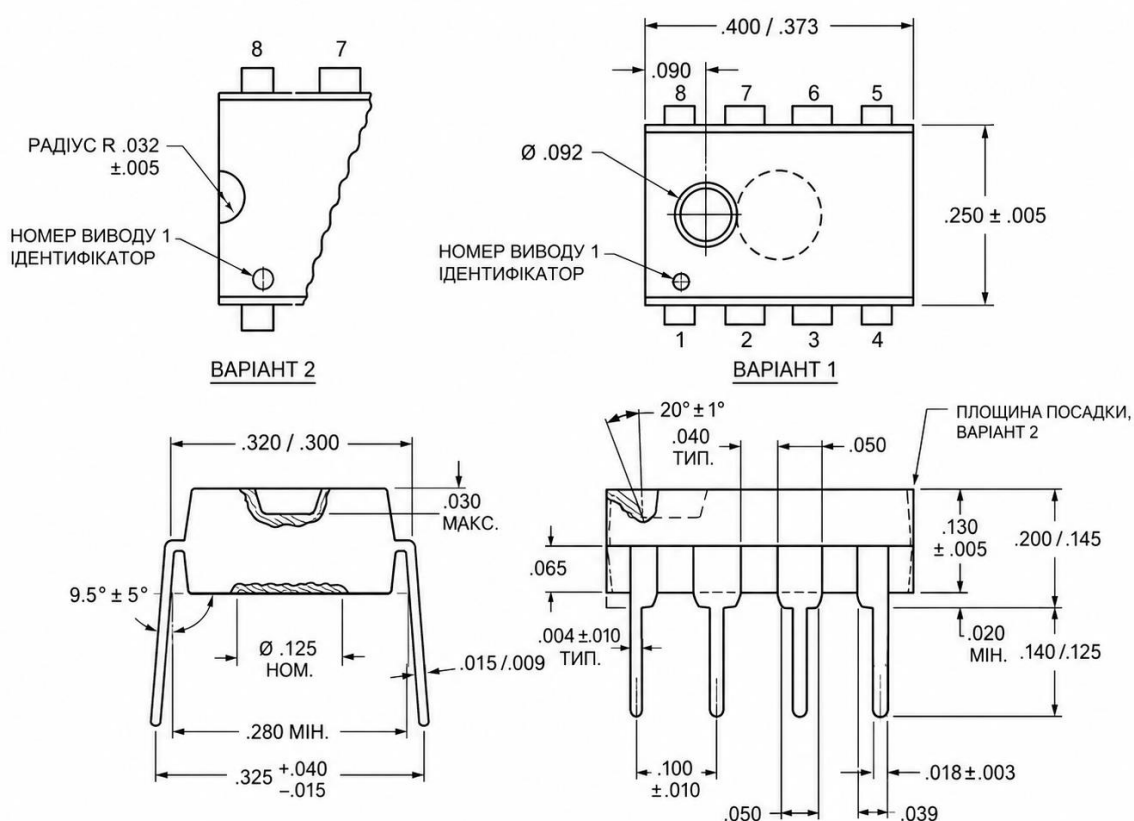


Рисунок 1.43 – Габаритні розміри ІМС ОРА2168

Основним елементом модуляції й демодуляції сигналів у схемі є модуль DD1 FX919A. Його основні ТХ:

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- швидкість передавання даних – від 4800 біт/с до 19,2 кбіт/с;
- тип модуляції – 4-рівнева FSK-модуляція;
- режим роботи – напівдуплексний, тобто передавання даних у двох напрямках здійснюється в різні моменти часу;
- НЖ – від 3,3 В до 5 В;
- наявність інтерфейсу хост-шини;
- підтримка повного пакетного оформлення даних;
- можливість використання гнучких режимів роботи;
- тип корпусу – 24 PIN SOIC.

Крім ІМС, для реалізації ЕЗ підібрано трансформатори Т1 й Т2 типу ТОТ, світлодіоди Н1-Н3 типу АЛ307Б, а також кварцові резонатори Z1 й Z2 типу РК-02МД-Г. Габаритні розміри кварцового резонатора наведено на рисунку 1.44.

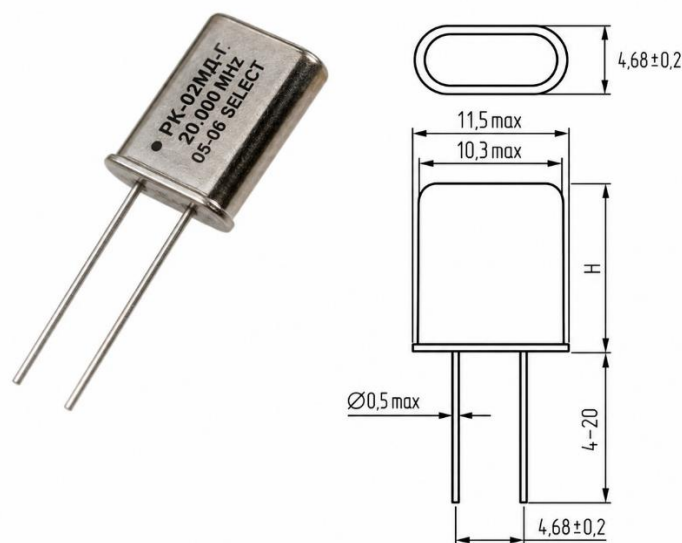


Рисунок 1.44 – Габаритні розміри кварцового резонатора РК-02МД-Г

Вибір активних й пасивних компонентів має ітераційний характер, оскільки після попереднього підбору елементів здійснюється уточнення їх параметрів з урахуванням режимів роботи схеми, допустимих навантажень, конструктивних обмежень й вимог до надійності. Зазвичай спочатку

обираються пасивні компоненти, після чого визначаються активні елементи й ІМС, які забезпечують необхідні функціональні режими.

Під час вибору ЕБ для ЕМ модуля зв'язку використано довідкові матеріали, технічні описи серійних виробів й документацію виробників. Обрані компоненти характеризуються прийнятною вартістю, достатньою надійністю, малими масогабаритними параметрами, стандартизованим виконанням й технологічною сумісністю. Стандартизація й уніфікація компонентів спрощують ремонт, заміну елементів й ТО пристрою.

1.3. Проектування конструкторське

1.3.1. Розроблення компоновання й конструкції друкованого вузла

Розроблений ЕМ модуль зв'язку передбачено реалізувати на двосторонній друкованій платі (ДДП). Загальний вигляд ДДП наведено на рисунку 1.45.



Рисунок 1.45 – Загальний вигляд ДП

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 23751-86 конструювання ДДП має виконуватися з урахуванням технологічного методу її виготовлення. Для

виготовлення друкованої плати (ДП) можуть застосовуватися комбінований, позитивний та електрохімічний, або напівадитивний, методи.

Електрохімічний метод забезпечує високу точність формування та значну щільність струмопровідного рисунка (СПР). Однак для проєктованого пристрою пріоритетною вимогою є експлуатаційна надійність. З цієї причини доцільним є застосування комбінованого позитивного методу, який забезпечує достатню міцність зчеплення провідників з основою ДП. Додатковою перевагою цього методу є його поширеність на підприємстві-замовнику, що спрощує технологічну реалізацію виробу.

Технологічний процес (ТП) виготовлення ДП КПМ.

ТП виготовлення ДП КПМ складається із послідовності взаємопов'язаних операцій. Структуру ДП, виготовленої КПМ, наведено на рисунку 1.46.

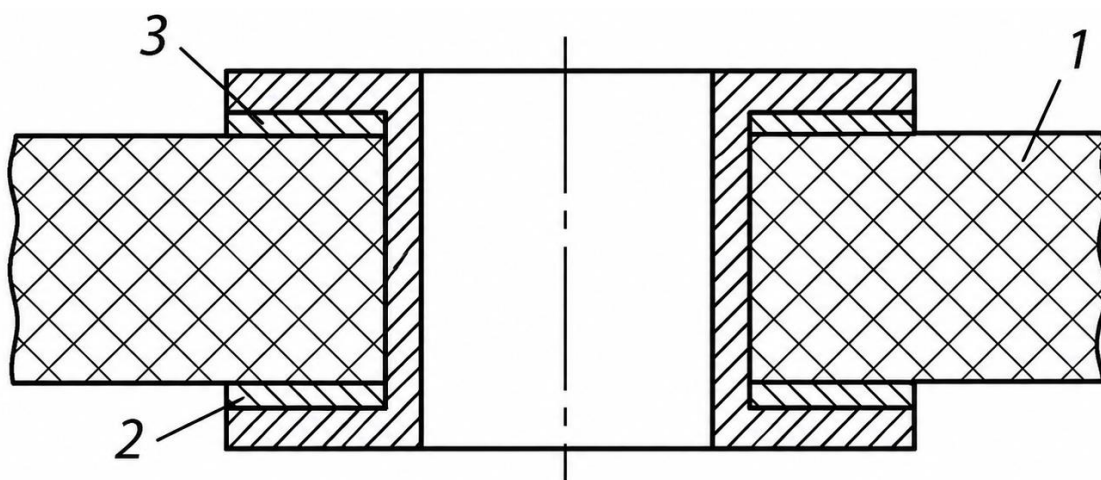


Рисунок 1.46 – Структура ДП, виготовленої комбінованим методом:

1 – діелектрик; 2 – мідна фольга; 3 – металевий шар

Вхідний контроль фольгованого діелектрика СФ-1-35Г передбачає перевірку геометричних розмірів листа, стану поверхні, міцності зчеплення фольги з діелектриком у вихідному стані й після впливу розплавленого припою, гальванічних розчинів й інших технологічних чинників відповідно до ДСТУ ГОСТ 10316-78.

Під час візуального контролю фольгованого діелектрика встановлюється наявність або відсутність проколів, здуттів, розшарувань й інших дефектів поверхні. Викривлення й вигин матеріалу перевіряються шляхом занурення зразка в розплавлений припій. Міцність зчеплення фольги з діелектриком характеризується зусиллям, необхідним для відриву фольги від основи.

Штампувальність матеріалу визначається його здатністю до механічної обробки без утворення сколів на крайках отворів й тріщин у перемичках між отворами. Придатність матеріалу до свердління оцінюється шляхом пробної обробки. Виготовлення шліфа просвердленого отвору дає змогу встановити наявність пригару, оплавлення поверхні отвору або підвищеної шорсткості з виступанням волокон, що може ускладнювати подальшу металізацію отворів. Зовнішній вигляд діелектрика повинен відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 23752-83.

Після вхідного контролю здійснюється отримання заготовок. Заготовка вирізається з припуском по контуру, при цьому ширина технологічного поля становить 10 мм. Різання листового фольгованого діелектрика може виконуватися дисковою фрезою з охолодженням стисненим повітрям, роликowymi ножицями або гільйотинними ножицями. Використання гільйотинних ножиць є доцільним, оскільки підвищує продуктивність, зменшує кількість пилу у виробничому приміщенні та скорочує обсяг відходів.

Для фіксації заготовки під час виконання технологічних операцій передбачаються базові, фіксувальні й технологічні отвори. Їх формування здійснюється пробиванням або свердлінням із використанням спеціальних пристроїв.

Отвори, які підлягають металізації, свердляться за допомогою кондуктора спіральним свердлом із твердого сплаву. Кут при вершині свердла становить 130°. Операція виконується без застосування

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охолоджувальної рідини. Монтажні отвори свердяться на верстатах з числовим програмним керуванням типу SHMOP або ALPHA-Z. Такі верстати повинні мати масивну гранітну основу для зниження впливу виробничих вібрацій, забезпечувати частоту обертання шпинделя не менше 1000 об/хв, биття свердла не більше 0,02 мм, безступінчасте регулювання швидкості й необхідну дискретність координатних переміщень.

Стінки отворів мають бути гладкими, без задирок, розшарувань, опіків й вм'ятин діелектрика. Вони повинні бути перпендикулярними до зовнішньої поверхні плати й не містити слідів інструмента, мастильних речовин й стружки.

Хімічна та попередня гальванічна металізація ДП. Хімічна та попередня гальванічна металізація ДП виконується на лінії хімічної металізації й містить кілька послідовних етапів.

Підготовка поверхні монтажних отворів ДП передбачає:

- видалення слідів попередніх технологічних обробок;
- знежирення поверхні;
- підтравлення діелектрика в отворах сірчаною кислотою й фтористим воднем;
- промивання у проточній воді;
- сенсibiliзацію в розчині двохлористого олова протягом 5-7 хв із подальшим промиванням у дистильованій воді;
- активацію у водному розчині двохлористого паладію та аміаку протягом 5-7 хв.

У результаті сенсibiliзації на поверхні стінок отворів адсорбується плівка іонів двохлористого олова, яка виконує функцію відновника для паладію. Активація забезпечує утворення на підкладці тонкої плівки металевого паладію, що є каталізатором подальшого осадження міді.

Хімічне міднення полягає у відновленні міді на активованих поверхнях з розчину, що містить солі міді, нікелю, формалін, соду й інші компоненти. У

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

результаті на поверхні ДП та в отворах утворюється електропровідне покриття товщиною 0,25-0,5 мкм, яке є основою для подальшого гальванічного нарощування міді.

Гальванічне міднення застосовується для збільшення товщини тонкого шару міді, отриманого під час хімічної металізації, до 5-8 мкм, а також для формування СПР схеми з товщиною міді в отворах близько 25 мкм. Нанесення гальванічного покриття здійснюється у ваннах. Нарощування міді виконується в сірчаноокислих, борфтористоводневих й інших електролітах.

Підготовка поверхні металізованих заготовок виконується на відповідній технологічній лінії та включає:

- знежирення;
- підтравлення;
- промивання;
- сушіння;
- контроль якості підготовленої поверхні.

Формування СПР ДП здійснюється з використанням сухого плівкового фоторезисту СПФ-2-40. Цей матеріал є тонкою полімерною плівкою, яка під дією ультрафіолетового випромінювання полімеризується й переходить у нерозчинний стан. Після експонування через фотошаблон на поверхні ДП формується зображення відповідних ділянок. Під час проявлення на струминних установках неекспоновані ділянки фоторезисту видаляються.

Електролітичне міднення й нанесення покриття «олово-свинець» виконуються на автоматичній лінії типу «Блазер». Цей процес включає такі операції:

- знежирення;
- підтравлення;
- міднення з осадженням шару міді товщиною не менше 25 мкм на відкритих ділянках зовнішньої поверхні;
- активування;

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– електролітичне осадження сплаву «олово-свинець».

Металізовані поверхні покриваються захисним шаром сплаву «олово-свинець» товщиною близько 15 мкм. Таке покриття застосовується для захисту СПР під час подальшого травлення ДП й для забезпечення належної якості паяння.

Після нанесення захисного покриття виконується видалення фоторезисту на спеціальній установці для зняття сухого плівкового фоторезисту. Після цього ДП промиваються у дистильованій воді.

Травлення міді є хімічним процесом, під час якого незахищені ділянки міді видаляються з поверхні діелектрика. Процес складається з попереднього очищення й власне травлення, яке здійснюється на струминній лінії. Струминне травлення забезпечує високу продуктивність й точність, оскільки з поверхнею ДП постійно контактує свіжий розчин, що подається із сопел. Такий метод дає змогу отримати СПР із високою роздільною здатністю.

Після травлення міді з пробільних ділянок може виникати ефект нависання покриття. Для його усунення здійснюється оплавлення сплаву «олово-свинець» на установці інфрачервоного опромінення УІКО-92. Під час короткочасного нагрівання температура сплаву підвищується вище температури плавлення. Унаслідок цього змінюється його кристалічна структура, а під дією сил поверхневого натягу сплав концентрується в межах друкованого провідника.

Обрізання плат по контуру виконується після формування друкованих провідників. Така послідовність технологічного процесу обґрунтована тим, що травильний розчин, який використовується під час виготовлення ДП, може проникати в діелектрик й спричиняти короткі замикання або зниження опору ізоляції. Зовнішній контур плати формується фрезеруванням.

Маркування ДП виконується для забезпечення зручності складання, контролю та ідентифікації виробу. На поверхню ДП наносяться умовні позначення елементів, шифр плати, заводський номер й дата виготовлення.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Консервація ДП здійснюється флюсом ФКСП. Флюс наноситься розпиленням на поверхню ДП й в отвори у спеціальних розпилювальних камерах. Така обробка забезпечує тимчасовий захист металізованих поверхонь від окиснення й сприяє збереженню паяльних властивостей контактних площадок.

1.3.2. Оптимізація компоновки друкованого вузла

ТП виготовлення розробленого ЕМ модуля зв'язку є сукупністю послідовних операцій, спрямованих на перетворення вихідних матеріалів, комплектувальних виробів й електронних компонентів у готовий виріб. Під час розроблення ТП необхідно забезпечити раціональне поєднання технологічної ефективності, економічної доцільності, якості виготовлення й надійності кінцевого пристрою.

Відповідно до вимог Єдиної системи технологічної підготовки виробництва доцільним є використання типових технологічних маршрутів, процесів й операцій. Застосування унікального або високовартісного обладнання повинно передбачатися лише у випадках, коли це обґрунтовано технологічними або економічними чинниками. Перевагу слід надавати стандартному різальному, монтажному й вимірювальному інструменту, а також сучасним формам організації виробництва, зокрема поточковим й груповим лініям, груповим ТП й груповим налагодженням. Робочий ТП доцільно формувати на основі типового ТП.

Типовий ТП складання типового елемента заміни (ТЕЗ) містить такі основні операції:

- підготовка навісних елементів;
- встановлення елементів на ДП;
- формування з'єднань виводів;
- контроль монтажу та функціональних властивостей ТЕЗ;
- консервація виробу.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Комплектувальна операція. На комплектувальному етапі відповідно до комплектувальної карти здійснюється отримання зі складу необхідних виробів й матеріалів: ДП, ІМС, роз'ємів, електрорадіоелементів (ЕРЕ) й інших компонентів. У технологічній карті фіксується дата видачі комплектувальних виробів зі складу. Отримані елементи розміщуються у відповідній технологічній тарі для подальшого контролю та монтажу.

Вхідний контроль ІМС, ЕРЕ та ДП. Вхідний контроль передбачає перевірку ІМС, транзисторів, пасивних компонентів й ДП. На поверхні ЕРЕ не допускається наявність тріщин, вм'ятин, відколів, розшарувань й інших механічних пошкоджень. Для ІМС перевіряється наявність товарного знака, маркування виробника й ключа, що визначає розташування першого виводу.

Працездатність ІМС й резисторів перевіряється на контрольно-перевірному стенді. Така операція є необхідною, оскільки відмова окремої ІМС може спричинити порушення функціонування всієї системи. Погіршення якості окремих деталей може бути зумовлене недостатнім вхідним контролем, тривалим зберіганням виробів на складі або пошкодженням під час транспортування.

Розконсервація друкованої плати. Розконсервація ДП виконується шляхом промивання у ванні зі спирто-бензиною сумішшю для видалення консервувального мастила з її поверхні. Для очищення металізованих отворів застосовується спеціальний стрижень діаметром 0,6 мм, виготовлений з органічного скла.

Після промивання здійснюється візуальний контроль ДП за допомогою збільшувального скла. Діелектрична основа ДП повинна бути монолітною, однорідною, без здуттів, розшарувань й локальних дефектів. Колір діелектрика має бути рівномірним, без різких меж, які можуть свідчити про неоднорідність матеріалу. Металізаційний шар повинен бути рівномірним, щільним, без наскрізних протравлень, тріщин, нерівностей країв й дефектів,

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що зменшують мінімально допустиму ширину провідників. Наскрізні металізовані отвори мають бути чистими й вільними від сторонніх включень.

Підготовка до лудіння. Якість паяного з'єднання значною мірою залежить від підготовки поверхонь, що підлягають з'єднанню. Для отримання механічно міцного й електрично надійного з'єднання необхідно забезпечити належну змочуваність поверхонь флюсом й припоєм. Змочуваність залежить від матеріалу поверхні, її мікрорельєфу, наявності органічних забруднень, оксидних плівок, жирових включень, корозійних нашарувань й інших дефектів.

Підготовка поверхонь виконується ХМ. Паяні поверхні обробляються спирто-бензиновими або спирто-фреоновими сумішами шляхом занурення у відповідну ванну. Після цього виводи елементів промиваються у теплій проточній воді.

Лудіння полягає в нанесенні на поверхні, що з'єднуються, тонкої суцільної плівки припою. Покриття не повинно містити тріщин, пор або сторонніх включень. Лудіння виконується шляхом занурення виводів усіх ЕРЕ у рідкий флюс ФКС, а потім у ванну з розплавленим припоєм ПОС-61. Тривалість лудіння становить: $t = 1$ с

Установлення ЕРЕ на ДП. Установлення навісних ЕРЕ на ДП передбачає подавання елементів у зону монтажу, їх орієнтацію відносно монтажних отворів або контактних площадок й фіксацію у заданому положенні. Залежно від характеру виробництва й конструктивних особливостей плати монтаж може виконуватися ручним, механізованим або автоматизованим способом.

Автоматизований спосіб доцільний у великосерійному виробництві. Механізований монтаж застосовується для ДП із високою щільністю компонування. Для розробленого ЕМ модуля зв'язку доцільним є ручне складання, оскільки воно забезпечує достатню точність установлення компонентів й одночасний візуальний контроль монтажу.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи встановлюються на ДП відповідно до складального креслення в такій послідовності:

- резистори;
- конденсатори;
- ІМС;
- провідники;
- трансформатори;
- транзистори на радіаторах.

Для ІМС виконується підгинання лише двох діагонально розташованих виводів. Під час монтажу ІМС необхідно забезпечити відведення статичної електрики від монтажного обладнання, зокрема за допомогою заземленого браслета. Трансформатори закріплюються на ДП за допомогою гвинтів, гайок й шайб.

Підготовча операція. На підготовчому етапі здійснюється обрізання виводів ЕРЕ й роз'ємів за допомогою бокорізів. Обрізання повинно виконуватися з урахуванням вимог складального креслення й допустимих відстаней між выводами, контактними площадками й корпусами компонентів.

Нанесення флюсу на виводи елементів. Флюс використовується для видалення оксидних плівок з металевих поверхонь, поліпшення змочування припоєм й зменшення поверхневого натягу на межі «метал – припій – флюс». Під час паяння оксидні плівки розчиняються або розпушуються та переміщуються на поверхню флюсу.

Для монтажного паяння доцільно застосовувати безкислотні флюси, зокрема каніфольні склади й флюси на їх основі з додаванням неактивних речовин, наприклад спирту або гліцерину. Залишки каніфолі не є гігроскопічними й мають добрі діелектричні властивості. На відміну від кислотних флюсів, такі матеріали не спричиняють корозійного впливу на з'єднання.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розробленого виробу прийнято флюс марки ФСК, який є розчином соснової каніфолі концентрацією 10-40 % в етиловому спирті.

Паяння. Процес паяння контактних з'єднань охоплює такі операції:

- фіксацію з'єднуваних елементів із попередньо підготовленими поверхнями;
- нагрівання поверхонь паяння до заданої температури протягом обмеженого часу;
- подавання флюсу та припою в зону паяння в необхідній кількості;
- розплавлення припою та забезпечення максимального змочування поверхонь;
- охолодження припою без взаємного зміщення деталей, що з'єднуються.

Якість паяння значною мірою визначається маркою припою. Припій повинен мати необхідні електричні характеристики, ефективно витіснити флюс, утворювати з основним металом механічно міцне з'єднання, а також характеризуватися відповідною густиною, коефіцієнтом теплового розширення та корозійною стійкістю.

Найкращу якість паяння забезпечують евтектичні припої, оскільки вони мають вузький температурний інтервал кристалізації. Припій ПОС-61 близький до евтектичного складу, характеризується низькою температурою плавлення й високою корозійною стійкістю. Витримка при температурі припою: $T = 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить: $t = 2-5\text{ с.}$

Під час паяння необхідно підтримувати сталий рівень припою у ванні й контролювати чистоту його поверхні, за потреби видаляючи оксидну плівку.

Паяння виводів ЕРЕ здійснюється безпосередньо до контактних ділянок друкованих провідників. Конструктивну схему такого з'єднання наведено на рисунку 1.47.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

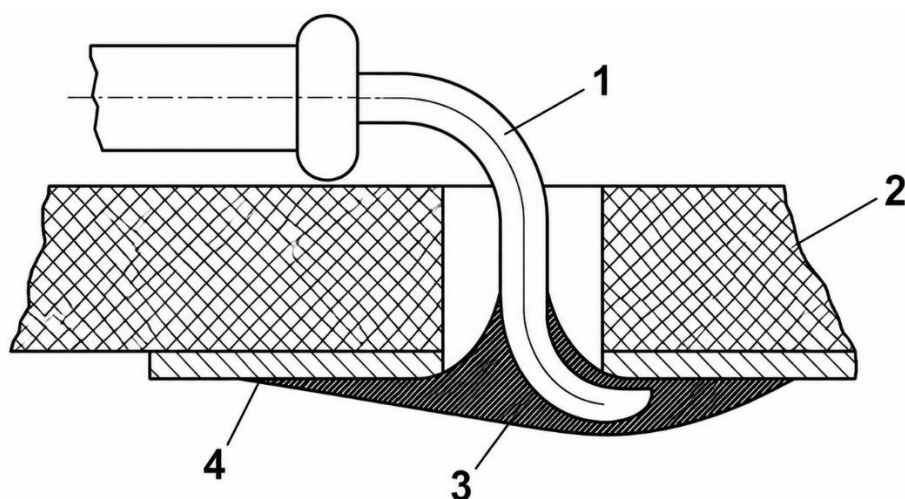


Рисунок 1.47 – Паяння виводів ЕРЕ на ДП:

1 – дровий вивід; 2 – діелектрик; 3 – припій; 4 – контактна ділянка

Видалення флюсу. Після паяння виконується очищення вузлів й паяних з'єднань від залишків флюсу й інших забруднень, які можуть спричинити корозію або зниження опору ізоляційних матеріалів. Для видалення флюсу застосовується послідовне занурення вузлів у ванну зі спирто-бензиновою сумішшю, а потім у ванни з гарячою й холодною водою. Тривалість витримки в кожній ванні становить приблизно: $t = 1$ хв.

Контроль якості паяння. Контроль якості паяння виконується візуально із застосуванням збільшувального скла. Паяна поверхня повинна бути блискучою, рівною, без здуттів, раковин, тріщин й гострих виступів припою.

Виявлені дефекти усуваються за допомогою паяльника та флюсу ФКС. Для цього на дефектну ділянку наноситься невелика кількість флюсу, після чого надлишок припою видаляється паяльником.

Маркування. Маркування виконується для ідентифікації виробу й забезпечення простежуваності ТП. На плату чорним чорнилом наносяться номер модему, дата виготовлення, код цеху або заводу-виробника. Відповідні відомості заносяться до технічного паспорта блоку.

Перевірка працездатності. Перевірка працездатності модуля зв'язку виконується на спеціально розроблених стендах. У разі виявлення несправності для локалізації дефекту застосовується осцилограф. За його допомогою здійснюється порівняння часових діаграм роботи схеми в контрольних точках з еталонними діаграмами.

У випадку відмови у картці відмов зазначаються причини, встановлені під час первинного аналізу, а також оцінюється їхній вплив на роботу інших ЕРЕ схеми. У технічному паспорті фіксуються дата відмови, причина несправності й перелік елементів, що підлягають заміні. Повторне ввімкнення пристрою допускається лише після усунення дефекту.

Вторинний монтаж. Вторинний монтаж передбачає демонтаж елементів, які вийшли з ладу або були виявлені як несправні під час перевірки. Загальна кількість замінених елементів не повинна перевищувати 5,5 %. У разі перевищення цього значення ДП вважається браком.

Повторне паяння замінених елементів виконується вручну. Тривалість контакту паяльника з выводами елементів не повинна перевищувати 3 с.

Повторне торкання паяльником допускається не раніше ніж через 15 с.

Очищення місць повторного паяння здійснюється за допомогою щетинної кисті та спирто-бензинової суміші.

Вихідний контроль модему. Вихідний контроль призначений для встановлення відповідності виготовленого модуля зв'язку заданим фізичним, конструктивним й електричним параметрам. Усі ЕРЕ мають бути припаяні без перекосів. На зовнішній поверхні ДП не допускається наявність вм'ятин, подряпин, забруднень й інших дефектів, які можуть вплинути на якість виробу або його працездатність.

Лакування, сушіння та пакування. Лакування ДП виконується для зменшення впливу кліматичних чинників й підвищення корозійної стійкості електричних з'єднань. Для захисного покриття використовується лак УР-231. Сушіння здійснюється гарячим повітрям за температури: $t = 40-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після сушіння плата розміщується у відповідній тарі й пакується для зберігання або подальшого встановлення у виріб.

Усі елементи монтуються на ДП, виготовлений із двостороннього фольгованого склотекстоліту. Виводи ІМС вставляються у відповідні монтажні отвори, загинаються та припаюються з боку провідників ДП. Таким чином забезпечується механічна фіксація компонентів й надійний електричний контакт між елементами й СПР ДП.

1.3.3. Розрахунок й забезпечення вимог щодо надійності

Під електромагнітною сумісністю розуміють здатність РЕА функціонувати із заданими параметрами в умовах дії зовнішніх й внутрішніх електромагнітних завад без створення недопустимого впливу на роботу інших технічних засобів. Для ЕМ модуля зв'язку ЕМС є важливою вимогою, оскільки пристрій працює з аналоговими сигналами й взаємодіє з ПЕОМ.

Модуль призначений для експлуатації в лабораторних умовах, однак під час його підключення до ПЕОМ необхідно забезпечити захист сигнальних кіл від електромагнітних наведень. Для цього доцільно застосовувати екранований кабель, який зменшує вплив зовнішніх електромагнітних полів на передавання сигналу між модулем зв'язку й ПЕОМ.

У цьому випадку використовується електромагнітне екранування. Для оцінювання глибини проникнення вихрових струмів в екран застосовується вираз:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}}, \quad (1.17)$$

де δ – глибина проникнення вихрового струму;

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота сигналу;

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ – магнітна проникність матеріалу екрана;

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

μ_0 – магнітна стала;

μ_r – відносна магнітна проникність матеріалу;

σ – питома електрична провідність матеріалу екрана.

Екран кабелю заземлюється на корпус пристрою й виконує функцію захисного провідного шару. Струм наведення, який протікає екраном, має напрям, протилежний до напрямку основного струму, що сприяє компенсації електричного й магнітного полів, створених основним струмом. Для реалізації такого захисту можуть використовуватися екрановані кабелі типу МКШ, РПКЕ й аналогічні кабельні вироби.

Розрахунок надійності модуля зв'язку. Надійність ЕРЕ є одним із основних чинників, що визначають інтенсивність відмов апаратури загалом. Інтенсивність відмов залежить від конструкції виробу, якості виготовлення, умов експлуатації й рівня електричних навантажень у схемі.

Вплив режимів роботи на надійність ЕРЕ оцінюється за допомогою коефіцієнтів навантаження. Коефіцієнтом навантаження називають відношення фактичного значення параметра до його номінального значення.

Для резисторів у розробленій схемі номінальна потужність становить:
 $P_n = 0,125$ Вт.

Фактична потужність, яка розсіюється на резисторі, становить:
 $P_\phi = 0,05$ Вт.

Тоді коефіцієнт навантаження резистора за потужністю дорівнює:

$$K_p = \frac{P_\phi}{P_n} = \frac{0,05}{0,125} = 0,4.$$

Для конденсаторів номінальна робоча напруга становить: $U_n = 20$ В.

Фактична напруга, прикладена до обкладок конденсатора в схемі, становить: $U_\phi = 5$ В.

Тоді коефіцієнт навантаження конденсатора за напругою дорівнює:

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_u = \frac{U_\phi}{U_H} = \frac{5}{20} = 0,25.$$

Зі збільшенням коефіцієнта навантаження зростає інтенсивність відмов ЕРЕ. Тому під час вибору ЕБ необхідно забезпечувати роботу компонентів у режимах, нижчих за гранично допустимі.

Кількість ЕРЕ й відповідні значення інтенсивності відмов наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – ЕРЕ та їх характеристики

Назва ЕРЕ	Кількість	λ_0 , 1/год	$\lambda_0 \cdot n$, 1/год
Кварцовий резонатор	2	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Роз'єм	3	$0,05 \cdot 10^{-6}$	$0,15 \cdot 10^{-6}$
Перемикач	1	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$
Конденсатор електролітичний	7	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$
Конденсатор керамічний	29	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$20,3 \cdot 10^{-6}$
Резистор постійний	31	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$37,2 \cdot 10^{-6}$
Резистор змінний	3	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
Транзистор кремнієвий	5	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$10,0 \cdot 10^{-6}$
Трансформатор	2	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$
Діод	2	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Стабілітрон	2	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Світлодіод	3	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
ІМС	8	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$20,0 \cdot 10^{-6}$
Паяне з'єднання	315	$0,01 \cdot 10^{-6}$	$3,15 \cdot 10^{-6}$
ДП	1	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$
Усього			$111,6 \cdot 10^{-6}$

Сумарна інтенсивність відмов елементів схеми визначається як сума інтенсивностей відмов усіх складових елементів:

$$\lambda = \sum(n_i \cdot \lambda_{0i}), \quad (1.18)$$

де λ – сумарна інтенсивність відмов виробу;
 n_i – кількість елементів i -го типу;
 λ_{0_i} – інтенсивність відмов одного елемента i -го типу.

За даними таблиці 1.4 отримано:

$$\lambda = 111,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Середнє напрацювання на відмову визначається за формулою:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.19)$$

Після підстановки числового значення:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{111,6 \cdot 10^{-6}} \approx 8960 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи залежить від фізичних властивостей елементів, умов експлуатації й часу t_p , протягом якого виріб повинен працювати безвідмовно. Для експоненційного закону розподілу ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t_p}. \quad (1.20)$$

Для часу роботи: $t_p = 6000$ год отримано $P(t) = 0,514$.

Отже, ймовірність безвідмовної роботи ЕМ модуля зв'язку протягом 6000 год становить 0,514. Це означає, що за заданих умов експлуатації приблизно 51,4 % виробів зберігатимуть працездатність упродовж установленого часу роботи.

Надійність РЕА визначається не лише надійністю окремих елементів, а й їх кількістю, режимами роботи, якістю монтажу, конструктивним

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконанням й дотриманням умов експлуатації. Оскільки надійність є одним із ключових показників виробу, її необхідно оцінювати на етапі проєктування разом з електричними, конструктивними й експлуатаційними параметрами.

На початковому етапі проєктування, коли режими роботи схеми ще не визначені остаточно, виконується орієнтовний розрахунок надійності з використанням наближених даних щодо умов роботи елементів. Такий розрахунок дає змогу оцінити правильність вибору схемного рішення, конструкції виробу й ЕБ.

Одним зі способів підвищення надійності РЕА є резервування. Резервування може здійснюватися з використанням навантаженого або ненавантаженого резерву. Для оцінювання ефективності резервування розглядається варіант із кратністю резерву: $m = 1$.

Для системи без резервування ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$P_0(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (1.21)$$

У разі навантаженого резервування з кратністю $m = 1$ ймовірність безвідмовної роботи може бути визначена за формулою:

$$P_{\text{нр}}(t) = 1 - [1 - P_0(t)]^{m+1}, \quad (1.22)$$

де $P_{\text{нр}}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи системи з навантаженим резервом;

$P_0(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи основного виробу;

m – кратність резервування.

Для ненавантаженого резервування за умови однакової інтенсивності відмов основного й резервного елементів розрахунок може бути поданий у вигляді:

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-\lambda \cdot t} \cdot \sum \left[\frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \right], k = 0 \dots m. \quad (1.23)$$

Для випадку $m = 1$:

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-\lambda \cdot t} \cdot (1 + \lambda \cdot t). \quad (1.24)$$

Використання навантаженого й ненавантаженого резервування забезпечує підвищення ймовірності безвідмовної роботи. Проте такий підхід супроводжується збільшенням кількості ЕРЕ, маси, габаритів й вартості виробу. Тому у розробленому модулі зв'язку доцільнішим є підвищення надійності за рахунок зниження інтенсивності відмов елементів, полегшення електричних режимів, використання ЕРЕ із вищими показниками надійності й дотримання технологічних вимог під час виготовлення.

Для забезпечення належного рівня надійності необхідно:

- використовувати елементи з достатнім запасом за напругою, струмом і потужністю;
- знижувати коефіцієнти електричного навантаження компонентів;
- забезпечувати якісний монтаж і контроль паяних з'єднань;
- дотримуватися заданих умов експлуатації;
- своєчасно виконувати профілактичний огляд й ТО;
- застосовувати автоматизовані та механізовані виробничі процеси для підвищення стабільності якості виготовлення.

Найвищі показники надійності характерні для РЕА, у якій використовуються ІМС й мікрозбірки, оскільки вони зменшують кількість дискретних з'єднань й підвищують технологічну повторюваність виробництва.

1.4. Висновки до розділу 1

У розділі розглянуто основні етапи проектування ЕМ модуля зв'язку в системах збору даних на базі ЛМ. Виконано аналіз призначення пристрою, умов його експлуатації й вимог до конструктивного виконання. Розроблено структурну схему модуля зв'язку, на основі якої сформовано ЕЗ.

Для обґрунтування вибору ЕБ проведено розрахунок основних вузлів ЕЗ, зокрема вузлів індикації, формувачів рівня сигналу й допоміжних функціональних каскадів. Визначено номінали елементів, які забезпечують коректну роботу пристрою в режимах приймання й передавання.

У конструкторській частині описано особливості виготовлення ДВ модуля зв'язку, обґрунтовано застосування ДДП, розглянуто ТП її виготовлення, складання, паяння, контролю й захисного покриття.

Також виконано розрахунок ЕМС та надійності виробу. За результатами розрахунку встановлено, що сумарна інтенсивність відмов елементів становить: $\lambda = 111,6 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Середнє напрацювання на відмову становить: $T_{\text{сер}} \approx 8960$ год. Ймовірність безвідмовної роботи протягом 6000 год становить: $P(t) = 0,514$.

Отримані результати підтверджують працездатність прийнятих схемотехнічних й конструктивних рішень. Подальше підвищення надійності модуля зв'язку доцільно забезпечувати шляхом застосування ЕРЕ із підвищеним запасом за електричними параметрами, оптимізації режимів навантаження, підвищення якості монтажу й дотримання технологічних вимог під час виготовлення ДВ.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Охорона праці та безпека життєдіяльності

2.1. Питання щодо безпеки життєдіяльності

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів є невід’ємною складовою процесу розроблення друкованих плат і спрямовані на забезпечення безпечних та ефективних умов виробництва, запобігання аварійним ситуаціям і нещасним випадкам, а також на дотримання встановлених стандартів якості та норм безпеки [11–12].

Виконання зазначених вимог забезпечує захист працівників, збереження виробничого обладнання та виготовлення продукції належної якості й надійності. У подальшому розглядаються основні загальні вимоги безпеки, яких необхідно дотримуватися під час розроблення друкованих плат.

Оцінювання ризиків є початковим етапом формування вимог безпеки під час розроблення друкованих плат. На цьому етапі здійснюється виявлення потенційних небезпек, які можуть виникати в процесі експлуатації виробничого обладнання та реалізації технологічних операцій.

У ході аналізу ризиків необхідно враховувати ймовірність виникнення аварійних ситуацій, травматизму та негативного впливу на стан здоров’я працівників. Важливим є також визначення можливих наслідків і ступеня їх впливу на рівень безпеки та охорони праці персоналу.

У процесі оцінювання ризиків доцільно також враховувати вимоги чинних нормативно-правових актів, що регламентують виробництво радіoeлектронної апаратури [13]. До аналізу включаються вимоги щодо використання засобів індивідуального захисту, дотримання правил експлуатації обладнання та виконання встановлених процедур безпеки.

Таким чином, оцінювання ризиків є обов’язковим етапом, який дає змогу своєчасно виявити потенційні небезпеки, що виникають у процесі розроблення друкованих плат, і вжити відповідних профілактичних заходів з

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

метою запобігання аваріям, травматизму та забезпечення безпечних умов праці.

Важливим етапом формування вимог безпеки під час розроблення друкованих плат є створення безпечного виробничого середовища. Зазначений етап спрямований на забезпечення таких умов праці, які зменшують ризики для персоналу та гарантують його безпеку під час експлуатації виробничого обладнання й виконання технологічних операцій.

Під час проєктування безпечного середовища необхідно враховувати комплекс чинників і дотримуватися вимог державних санітарних норм щодо рівнів шуму [14], локальної та загальної вібрації [15], а також параметрів мікроклімату виробничих приміщень [16].

Проєктування безпечного виробничого середовища спрямоване на формування умов праці, що гарантують безпеку персоналу під час експлуатації виробничого обладнання та виконання технологічних процесів. Це передбачає раціональну організацію робочих місць, впровадження технічних і організаційних систем безпеки, використання сертифікованого та безпечного обладнання, а також забезпечення належного рівня підготовки і навчання працівників.

Особливу увагу при розробленні друкованих плат необхідно приділяти безпеці електротехнічного обладнання, оскільки саме цей аспект є одним із ключових у системі охорони праці. Дотримання вимог електробезпеки спрямоване на запобігання ризикам ураження електричним струмом, виникненню пожеж та інших потенційно небезпечних ситуацій.

Під час проєктування системи безпеки електротехнічного обладнання необхідно враховувати низку ключових аспектів.

- Відповідність вимогам стандартів безпеки. Електротехнічне обладнання повинно відповідати положенням національних і міжнародних стандартів безпеки [17]. Це передбачає використання безпечних матеріалів, наявність належного електричного заземлення, застосування надійних

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

захисних пристроїв, а також забезпечення достатнього рівня електричної ізоляції та інших технічних засобів захисту.

- Належна експлуатація та технічне обслуговування. Електротехнічне обладнання має встановлюватися, підключатися та експлуатуватися відповідно до вимог експлуатаційної документації і рекомендацій виробника. Проведення регулярних оглядів, планового технічного обслуговування та своєчасного поточного ремонту забезпечує підтримання необхідного рівня безпеки обладнання.

- Захист від ураження електричним струмом. Електротехнічні пристрої повинні бути оснащені засобами захисту від електричного ураження, зокрема автоматичними вимикачами, системами заземлення, належною ізоляцією струмопровідних елементів та іншими технічними рішеннями, спрямованими на забезпечення безпеки персоналу.

- Інформаційні покажчики та попереджувальні знаки. Електротехнічне обладнання повинно бути забезпечене належним маркуванням і інформаційними позначеннями, що містять відомості про правила експлуатації, можливі ризики та заходи безпеки. Попереджувальні знаки мають бути чітко видимими, зрозумілими та доступними для сприйняття працівниками.

Безпека під час роботи з хімічними речовинами є одним із ключових аспектів при розробленні друкованих плат, оскільки на етапах їх виготовлення та оброблення можуть застосовуватися різноманітні хімічні матеріали. Дотримання встановлених правил і вимог безпеки дає змогу мінімізувати потенційні загрози, пов'язані з впливом хімічних речовин на здоров'я працівників і навколишнє середовище.

Під час роботи з хімічними речовинами необхідно враховувати низку важливих аспектів.

- Дотримання вимог безпеки. Перед використанням хімічних речовин слід ознайомитися з їх фізико-хімічними властивостями та потенційними

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

небезпеками, а також визначити комплекс заходів безпеки, необхідних для їх правильного і безпечного застосування.

- Засоби індивідуального захисту. Працівники, які виконують роботи з хімічними речовинами, повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту, зокрема захисними окулярами, рукавицями, респіраторами або масками. Використання таких засобів сприяє запобіганню потраплянню небезпечних речовин на шкіру, в очі та органи дихання.

- Умови зберігання та утилізації. Хімічні речовини необхідно зберігати у спеціально призначених і належним чином промаркованих ємностях, що містять інформацію про склад, рівень безпеки та правила безпечного поводження з ними.

- Належна організація виконання робіт. Операції з використанням хімічних речовин повинні здійснюватися у приміщеннях з ефективною загальнообмінною або місцевою витяжною вентиляцією, що забезпечує видалення шкідливих парів і запобігає їх накопиченню у робочій зоні.

Контроль і перевірка є обов'язковими складовими процесу розроблення друкованих плат. Зазначений етап спрямований на забезпечення безпечної експлуатації виробничого обладнання та технологічних процесів, а також на підтвердження відповідності виробництва встановленим вимогам нормативних документів і стандартам якості.

2.2. Питання з основ охорони праці

Поняття нещасного випадку ґрунтується на категоріях безпеки, ризику та випадковості. Нещасний випадок слід розглядати як раптову, непередбачувану подію, що спричиняє негативні наслідки для життя, здоров'я або майнового стану людини.

Нещасні випадки підлягають класифікації за різними ознаками залежно від умов та характеру їх виникнення. Зокрема, за походженням їх поділяють

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

на природні, пов'язані з дією природних явищ і катастроф; транспортні, що включають дорожньо-транспортні та авіаційні аварії; промислові, які виникають унаслідок вибухів, пожеж або аварій на виробництві; а також побутові, до яких належать падіння з висоти, отруєння та інші подібні події.

Травма розглядається як фізичне або психологічне ушкодження організму, що виникає в результаті нещасного випадку чи насильницьких дій та може спричиняти негативні наслідки для фізичного і психічного стану людини.

Залежно від характеру ураження травми поділяються на фізичні та психологічні. До фізичних травм належать тілесні ушкодження, зокрема порізи, переломи, опіки та інші подібні пошкодження. Психологічні травми пов'язані з емоційними та психічними наслідками пережитих нещасних випадків і можуть проявлятися у вигляді посттравматичного стресового розладу, підвищеної тривожності, депресивних станів тощо.

Водночас нещасні випадки не завжди мають суто випадковий характер, оскільки психологічні чинники можуть суттєво впливати на ймовірність їх виникнення. У межах даного розділу розглядається вплив окремих психологічних факторів на поведінку людини та особливості її реакцій у небезпечних ситуаціях.

Недбалість у діяльності людини може виникати внаслідок дії таких чинників, як відволікання, перевтома, невпевненість у власних діях або недостатній рівень зосередженості на питаннях безпеки. Психологічні особливості, зокрема нестійкість уваги, відсутність системності в діях та низький рівень усвідомлення небезпеки, здатні підвищувати ймовірність необережної поведінки та, як наслідок, сприяти виникненню нещасних випадків.

Дефіцит уваги ускладнює адекватне сприйняття навколишнього середовища та своєчасне виявлення потенційних загроз. У результаті

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недостатня зосередженість може призводити до помилкових дій, прийняття необґрунтованих рішень і підвищення ризику настання нещасних випадків.

Стресові стани здатні суттєво впливати на здатність людини до зосередженого сприйняття та обробки інформації. Підвищений рівень стресу призводить до зниження концентрації уваги та уповільнення або порушення швидкості реакцій, що, у свою чергу, підвищує вразливість людини до виникнення нещасних випадків.

Емоційний стан також визначає характер поведінкових реакцій у ситуаціях небезпеки. Такі емоції, як паніка, страх або агресія, можуть зумовлювати неадекватні дії чи схильність до необґрунтованого ризику, що значно підвищує ймовірність настання нещасних випадків.

Недостатній рівень досвіду та брак необхідних практичних навичок можуть зумовлювати помилкові дії й незнання ефективних заходів безпеки. Належна підготовка є особливо важливою в умовах, що потребують оперативного реагування, оскільки її відсутність підвищує вразливість людини до настання нещасних випадків.

Водночас систематичне навчання та професійна підготовка сприяють формуванню здатності своєчасно виявляти небезпеки, адекватно оцінювати ризику та уникати потенційно небезпечних ситуацій. Чим вищим є рівень знань і навичок у сфері безпеки, тим нижчою є ймовірність виникнення нещасних випадків.

Травматичні ушкодження можуть зумовлюватися не лише фізичними, а й психологічними чинниками. У даному розділі розглядається вплив психологічних факторів на виникнення травматичних подій, а також аналізуються їх можливі наслідки для психічного та емоційного стану людини.

Стресогенні обставини, зокрема природні катастрофи, конфліктні ситуації, насильницькі дії або інші травматичні події життєвого характеру, здатні суттєво підвищувати ризик виникнення травм. Підвищений рівень

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

стресу негативно впливає на здатність до раціонального мислення та прийняття виважених рішень, що, у свою чергу, збільшує ймовірність потрапляння людини в травмонебезпечні ситуації.

Інтенсивні стресові події можуть спричиняти довготривалі психологічні наслідки, зокрема розвиток посттравматичного стресового розладу, підвищену тривожність, депресивні стани, порушення сну та інші розлади психічної діяльності. Подібні наслідки нерідко мають виражений характер і істотно погіршують якість життя та повсякденне функціонування осіб, які зазнали травматичного впливу.

Небезпечні або насильницькі міжособистісні взаємини, зокрема випадки домашнього насильства чи злочинної діяльності, можуть призводити до тяжких травматичних наслідків. Водночас психологічні чинники, такі як занижена самооцінка, почуття безпорадності або емоційна залежність від кривдника, здатні утримувати постраждалих у деструктивних відносинах, що додатково підвищує ризик психологічного та фізичного травматизму.

Психічні розлади, зокрема афективні порушення, розлади особистості або зловживання психоактивними речовинами, здатні підвищувати ймовірність потрапляння людини в травмонебезпечні ситуації. Такі стани негативно впливають на когнітивні та емоційні процеси, а також на механізми прийняття рішень, знижуючи здатність до самоконтролю, самозбереження та своєчасного уникнення небезпек.

До поведінкових чинників психологічного характеру, пов'язаних із травматизмом, належать зловживання алкоголем і наркотичними речовинами, а також схильність до ризикованої поведінки, зокрема небезпечного керування транспортними засобами. Зазначені фактори призводять до погіршення уваги, координації рухів і швидкості реакцій, що суттєво підвищує ризик виникнення травматичних ситуацій.

Окремі особистісні характеристики, зокрема емоційна нестабільність, занижена самооцінка або схильність до пошуку нових і ризикованих

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вражень, можуть підвищувати ймовірність потрапляння людини в травмонебезпечні ситуації. Психологічна налаштованість впливає на сприйняття та оцінювання рівня ризику, а також визначає характер поведінкових реакцій у потенційно небезпечних умовах.

Ідсумовуючи викладене, можна зазначити, що психологічні причини нещасних випадків і травматизму мають багатофакторний характер і формуються внаслідок взаємодії різних чинників. До основних з них належать:

- Поведінкові фактори;
- Емоційні стани;
- Недостатній рівень досвіду та професійної підготовки;
- Психосоціальні фактори.

З урахуванням наведених чинників актуальним є формування свідомого ставлення до безпеки та підвищення рівня психологічної грамотності населення. Досягнення цієї мети можливе шляхом упровадження освітніх програм, тренінгів і навчальних заходів, спрямованих на засвоєння психологічних аспектів безпечної поведінки та усвідомлення потенційних ризиків.

Використання психологічних підходів у превентивних програмах і комплексах заходів з безпеки здатне сприяти зменшенню частоти нещасних випадків і рівня травматизму.

2.3. Висновок до розділу 2

У ході дослідження встановлено, що психологічні чинники, зокрема недбалість, знижений рівень уваги, вплив стресових ситуацій, недостатній досвід і брак необхідних навичок, мають істотний вплив на підвищення ризику виникнення нещасних випадків і травматизму. Доведено, що емоційний стан особи, особливості її поведінки та психосоціальні умови

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатні суттєво збільшувати ймовірність потрапляння в травмонебезпечні ситуації.

Обґрунтовано доцільність підвищення рівня психологічної грамотності населення, а також упровадження навчальних програм, спрямованих на усвідомлення ризиків і формування навичок безпечної поведінки, що може сприяти зменшенню кількості нещасних випадків.

Також проаналізовано загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів, реалізація яких спрямована на зниження рівня виробничих ризиків і створення безпечних умов праці.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було реалізовано основні етапи проєктування модуля зв'язку в системах збору даних на базі локальної мережі.

Підґрунтям для розроблення пристрою став порівняльний аналіз наявних аналогів, результати якого підтвердили актуальність і доцільність виконання даного проєкту.

На першому етапі було проведено схемотехнічне проєктування, у межах якого розроблено структурну схему пристрою, а також спроектовано та розраховано його принципову електричну схему.

Другий етап передбачав конструкторське опрацювання пристрою. На основі принципової електричної схеми та результатів розрахунків окремих електричних вузлів обґрунтовано вибір елементної бази, виконано розрахунки показників надійності та забезпечено відповідність конструкції встановленим вимогам.

У розділі з охорони праці розглянуто питання забезпечення безпечних умов праці для жінок і неповнолітніх працівників, а також проаналізовано основні заходи щодо профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» уклад.: Дунець В.Л., Хвостівський М.О. Дедів І.Ю. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021 р. – 72с
2. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с
3. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892.
4. Офіційний сайт Altium Designer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.altium.com>.
5. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. - К.: Основа, 2017, с. 437.
6. Запорожець О.І. Основи охорони праці. – К.: ВД Центр навчальної літератури (ЦНЛ), 2019, с. 4
7. 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.
8. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

electronic communication networks with noises. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, 2023. pp. 48–57

9. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

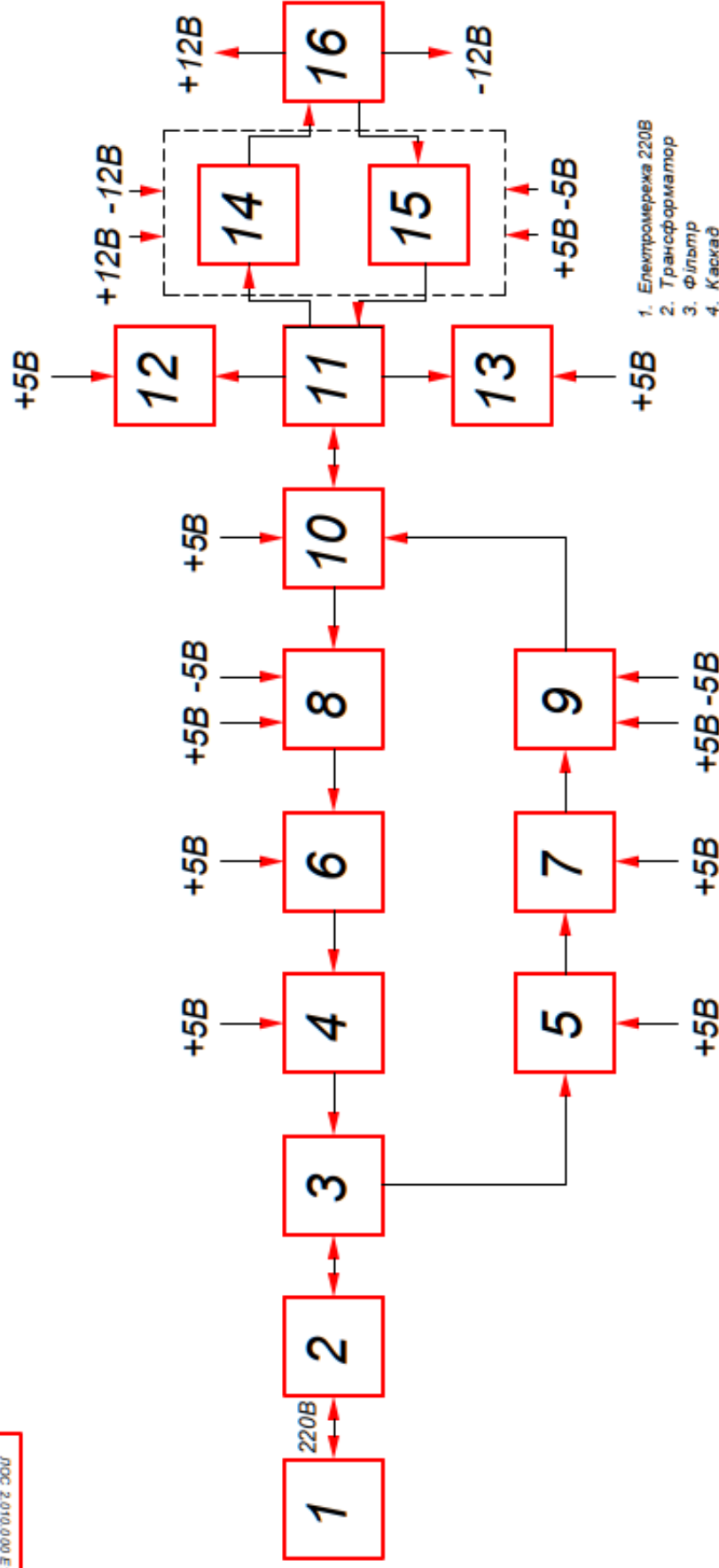
10. Yurii Palianytsia, Vasyl Dunets, Liliia Khvostivska. Modeling of Phased Array Antenna for Data Transmission in Urban Environment. CEUR Workshop Proceedings. 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023. Ternopil 22 November 2023 до 24 November 2023. Том 3628, с. 208-220.

11. Dual-Polarization Yagi Antenna for Meter Wavelength Range. Khymych H., Dunets V., Duda S., Palaniza Y., Kornieiev K. Radioelectronics and Communications Systems. Allerton Press Inc. United States. 2023. Volume 66. Issue 11, pp. 609–615.

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

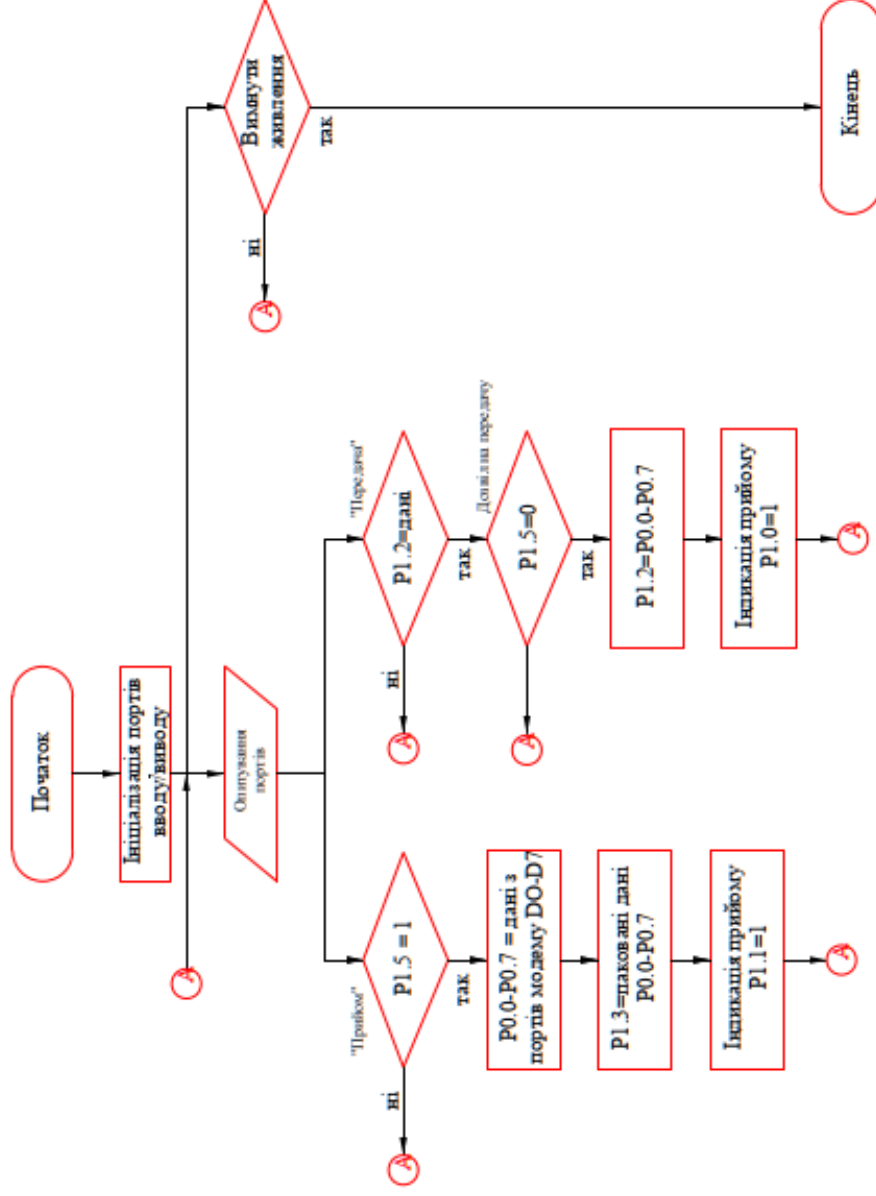
ДОДАТКИ

					ЛОС 2.010.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1. Електромережа 220В
2. Трансформатор
3. Фільтр
4. Касада
5. Трансформатор
6. Генератор
7. Блок захисту
8. Підсилювач
9. Підсилювач
10. Модем
11. Мікроконтролер
12. Вузол індикації
13. Вузол індикації
14. Формувач рішення
15. Формувач рішення
16. ПЕОМ
17. Стабілізатор напруги

[illegible]



ЛОС 2.010.000 С1									
№	Дат.	Ст.	Підп.	Ст.	Дат.	Ст.	Підп.	Ст.	Дат.
1	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
2	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
3	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
4	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
5	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
6	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
7	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
8	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
9	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
10	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
11	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
12	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
13	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
14	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
15	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
16	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
17	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
18	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
19	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
20	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
21	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
22	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
23	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
24	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
25	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
26	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
27	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
28	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
29	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
30	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
31	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
32	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
33	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
34	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
35	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
36	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
37	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
38	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
39	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
40	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
41	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
42	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
43	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
44	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
45	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
46	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
47	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
48	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
49	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
50	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
51	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
52	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
53	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
54	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
55	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
56	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
57	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
58	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
59	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
60	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
61	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
62	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
63	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
64	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
65	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
66	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
67	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
68	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
69	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
70	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
71	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
72	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
73	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
74	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
75	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
76	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
77	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
78	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
79	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
80	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
81	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
82	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
83	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
84	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
85	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
86	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
87	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
88	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
89	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
90	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
91	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
92	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
93	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
94	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
95	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
96	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
97	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
98	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
99	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010
100	2010	01	01	01	2010	01	01	01	2010



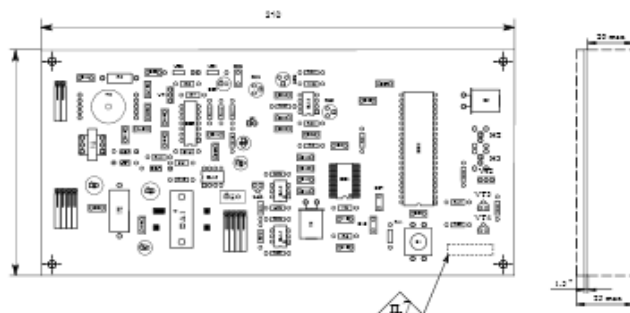
Умовне позначення	Діаметри отворів	Наявність металізації	Діаметр контактних площадок	К-ть
	0.45 ^{+0.02} _{-0.1}	Є	1	52
	0.9 ^{+0.02} _{-0.1}	Є	1.5	114

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 ДСТУ ШВС 61188-5-1
4. Плату виконати комбінованим позитивним методом
5. Крок координатної сітки 1,25 мм
6. Провідники умовно позначені тонкими суцільними лініями, визн. нуються шириною не менше 0,5 мм
7. Конфігурацію провідників витримувати по кресленню з відхиленням $\pm 0,1$ мм
8. Мінімальна відстань між провідниками 0,5 мм
9. Діаметри отворів і параметри елементів провідного малюнка у відповідності з таблицями 1 і 2
10. Плата повинна відповідати ДСТУ ІЕС 61189-5-501
11. Маркування заводського номеру провідити фарбою TUMC-84

ИДНО ДСТУ 5370. Шрифт Н14 за ДСТУ ISO 3098-2 ЛОС 7.10.2001					
по типу	одредбе	период	дана		
издање	№ 1		1999		
назив	Плата друкована			Т	1:1
материјал	Материјал плати БФ-01-1			Л	ТМТУ ДСТУ, др-Рад-1



- 1.* Розміри для довідок
 2. Підготовку елементів виконати відповідно за ДСТУ 2779-94
 3. Позиційне позначення виконано умовно
 4. Пайку елементів виконати 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 під'єднань та місця маркування
 7. Маркування провести фарбою ТУМС-84 за ОСТ 4 ГО. 028. 001 шрифт Н14 по НО 001.007
 8. Елементи із схемним позначенням виносом не мають
 9. Монтаж елементів виконати відповідно до вимог ІРС-А-601, крок координатної сітки 1.25 мм
- Встановлення елементів проводимо за ДСТУ 2779-94:
- конденсатори С1, С4-С6, С25, С26 - Пв, С2, С3, С7-С24, С27, С28 - П6
 - резистори - Пв
 - інтегральні мікросхеми DD2, DA1-DA9 - VIIa DD1 - VIIb

Встановлення кварца виконувати згідно рисунка 1

				ЛОС 2.010.001 СК			
Дружбанский бузон				класс	наим	высота	
Складчатое крыло				1		1:5	
				стрелка			
				стрелка			

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
	ОЖО.464.172 ТУ		
	ОЖО.464.161 ТУ		
С1	К50-35-16В-10мкФ	1	
С2	К10-17-3Г-82пФ	1	
С3	К10-17-3Г-0,1мкФ	1	
С4	К50-35-16В-10мкФ	1	
С5,С6	К50-35-16В-100мкФ	2	
С7	К10-17-3Г-56пФ	1	
С8	К10-17-3Г-8,2пФ	1	
С9,С10	К10-17-3Г-3300пФ	2	
С11	К10-17-3Г-2,2пФ	1	
С12,С13	К10-17-3Г-4,7нФ	2	
С14,С15	К10-17-3Г-0,1мкФ	2	
С16	К10-17-3Г-0,047мкФ	1	
С17	К10-17-3Г-3300пФ	1	
С18,С19	К10-17-3Г-0,1мкФ	2	
С20	К10-17-3Г-0,47мкФ	1	
С21	К50-35-16В-100мкФ	1	
С22	К50-35-16В-470мкФ	1	
С23	К10-17-3Г-0,1мкФ	1	
С24	К10-17-3Г-150пФ	1	
С25	К10-17-3Г-150пФ	1	
С26	К10-17-3Г-0,47мкФ	1	
С27	К10-17-3Г-0,1мкФ	1	
С28	К10-17-3Г-3300пФ	1	
С29,С30	К10-17-3Г-0,1мкФ	2	

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
С31	K10-17-3Г-0,47мкФ	1	
С32	K50-35-6,3В-47мкФ	1	
С33	K10-17-3Г-0,1мкФ	1	
С34-С36	K10-17-3Г-0,1мкФ	3	
	<u>Мікросхеми</u>		
	δк0.348.290 ТУ		
	δк0.4 10.100 ТУ		
	δк0.312.180 ТУ		
DA1	KP145EH5	1	
DA2	ADM600AN	1	PHILIPS
DA3,DA4	A0T1285	2	
DA5	OPA2168	1	
DD1	FX919B	1	CML
DD2	K5611A7	1	
DD3	AT89S8252	1	ATMEL
	<u>Резистори</u>		
	ОЖО. 467. 104 ТУ		
	ОЖО. 468. 372 ТУ		
R1	С2-23-0.5-10 Ом±5%	1	
R2	С2-23-0.125-22кОм±5%	1	
R3	С2-23-0.5-1 МОм±5%	1	
R4,R5	С2-23-0.125-100 кОм±5%	2	
R6	С2-23-0.125-1 МОм±5%	1	
R7	С2-23-0.125-12 кОм±5%	1	
R8	С2-23-0.125-380 Ом±5%	1	

[illegible]

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Стаділтрони</u>		
	<i>Р4.4652.037 ТУ</i>		
<i>VD3, VD4</i>	<i>КС156А</i>	<i>2</i>	
	<u>Транзистори</u>		
	<i>аО. 336.127 ТУ</i>		
	<i>аО. 314.057 ТУ</i>		
<i>VT1, VT2</i>	<i>КТ315Б</i>	<i>2</i>	
<i>VT3-VT5</i>	<i>КТ3102Б</i>	<i>3</i>	
	<u>Перемикач</u>		
<i>S1</i>	<i>КМ-150</i>	<i>1</i>	
	<u>Роз'єми</u>		
<i>X1</i>	<i>PLS2-R</i>	<i>1</i>	
<i>X2</i>	<i>PLS4-R</i>	<i>1</i>	
<i>X3</i>	<i>PLS4-R</i>	<i>1</i>	
	<u>Кварц</u>		
<i>Z1, Z2</i>	<i>РК-02МД-Г-4,032МГц</i>	<i>2</i>	
	<u>Світлодіоди</u>		
<i>H1-H3</i>	<i>АЛ307Б</i>	<i>3</i>	

					ЛРС 2.010.000 ПЕ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				Документація		
A1			ЛОС 2.010.000 СК	Складальне креслення	1	
				Деталі		
A1	1		ЛОС 7.063.001	Плата друкована	1	
					2	
				Інші вироби		
				Конденсатори		
				ОЖО 461.104 ТУ		
				ОЖО 461.104 ТУ		
	2			К50-35-16В-10мкФ	2	С1,С4
	3			К10-17-3Г-82пФ	1	С2
	4			К10-17-3Г-0,1мкФ	3	С3,С14,С15
	5			К50-35-16В-100мкФ	2	С5,С6,С21
	6			К10-17-3Г-56пФ	1	С7
	7			К10-17-3Г-8,2пФ	1	С8
	8			К10-17-3Г-3300пФ	2	С9,С10
				ЛОС 2.010.000		
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		
Розроб		Лис О.С.			Літ.	Арк.
Перевір.		Дунець В.Л				Аркушів
Рецензент						1
Н. Контр.		Хвостівська Л			ТНТУ, ФПТ, гр. РАС-41	
Затверд.		Дунець В.Л.				
					Специфікація	

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
		9		K10-17-3Г-2,2пФ	1	С11
		10		K10-17-3Г-4,7нФ	2	С12,С13
		11		K10-17-3Г-0,047мкФ	1	С16
		12		K10-17-3Г-3300пФ	2	С17,С28
		13		K10-17-3Г-0,1мкФ	3	С18,С19,С23
		14		K10-17-3Г-0,47мкФ	3	С20,С26,С31
		15		K10-17-3Г-470мкФ	1	С22
		16		K10-17-3Г-150пФ	2	С24,С25
		17		K10-17-3Г-0,1мкФ	3	С27,С29,С30
		18		K10-17-3Г-47мкФ	1	С32
		19		K10-17-3Г-0,1мкФ	4	С33-С36
				Мікросхеми		
		20		KP145EH5 δк0.348.290 ТУ	1	DA1
		21		ADM600AN (Philips)	1	DA2
		22		AOT128Б δк0.410.100 ТУ	2	DA3, DA4
		23		OPA2168 δк0.410.100 ТУ	1	DA5
		24		FX919B (CML)	1	DD1
		25		K5611A7 δк0.312.180 ТУ	1	DD2
		26		AT89S8252(ATMEL)	1	DD3
				Резистори		
		27		С2-23-0.5-100м±5%	1	R1
		28		С2-23-0.125-22к0м±5%	1	R2
		29		С2-23-0.5-1М0м±5%	1	R3
		30		С2-23-0.125-100к0м±5%	3	R4,R5,R14
		31		С2-23-0.125-1М0м±5%	1	R6
		32		С2-23-0.125-12к0м±5%	1	R7
		33		С2-23-0.125-3800м±5%	1	R8
				ЛОС 2.010.000		
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Арк. 2	

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка	
		34		C2-23-0.125-30кОм±5%	1	R9	
		35		C2-23-0.125-3кОм±5%	1	R10	
		36		C2-23-0.125-8,2кОм±5%	1	R11	
		37		C2-23-0.125-56кОм±5%	2	R12,R13	
		38		СПЗ-198-0.5-150кОм	1	R15	
		39		C2-23-0.125-12кОм±5%	1	R16	
		40		C2-23-0.125-24кОм±5%	1	R17	
		41		C2-23-0.125-270кОм±5%	1	R18	
		42		C2-23-0.125-91кОм±5%	3	R19-R21	
		43		C2-23-0.125-1кОм±5%	1	R22	
		44		C2-23-0.125-2700м±5%	3	R23-R25	
		45		C2-23-0.125-5,1кОм±5%	1	R26	
		46		C2-23-0.125-100кОм±5%	2	R27,R28	
		47		C2-23-0.125-33кОм±5%	2	R29,R30	
		48		C2-23-0.125-1кОм±5%	4	R31-R34	
				Діоди			
		49		КД522Б	2	VD1, VD2	
				Стабілітрони			
		50		КС156А	3	VD3-VD5	
				Транзистори			
		51		КТ315Б	2	VT1, VT2	
		52		КТ3102Б	3	VT3, VT4	
				Трансформатори			
		53		ТОТ8	1	T1	
		54		ТОТ4	1	T2	
				ЛОС 2.010.000			Арк.
							3

[illegible]