

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

До захисту допущено
Завідувачка кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Спеціальність 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої

на тему: «Передача даних по силових лініях електричної мережі»

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ДЕ-71

Микола КОМАРОВСЬКИЙ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Керівник доцент каф. ЕПС, к.т.н., доц. Микола КОБАК
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант Технічний розділ
(назва розділу) (посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент доцент каф. ЕПС, к.т.н., доц. Дмитро ТАТАРЧУК
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант
з нормоконтролю доцент каф. ЕПС, к.т.н., доц. Павло САФРОНОВ
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Студент
(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра електронних пристроїв та систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Микола КОМАРОВСЬКИЙ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема проєкту Передача даних по силових лініях електричної мережі

Керівник проєкту доцент каф. ЕПС, к.т.н., доц. Микола КОБАК,
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

затверджені наказом по університету від « _____ » _____ 2020 року № _____

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту Дослідження передачі даних пристроями PLC у електричних мережах. Розробка та створення PLC модемів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури; розробка технічного завдання та принципової схеми; розробка конструкторсько-технічної документації.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична принципова PLC модему, схема електрична структурна PLC модему, Схема електрична принципова TDA5051.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Ім'я ПРІЗВИЩЕ, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 05.04.21

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
	Здійснити пошук (літературний огляд) згідно теми дослідження, підготувати огляд анотацій наукових статей відповідно до теми дослідження. Оформити наукову статтю за результатами пошуку.	30.04.21	
	Підготувати план вступної частини дипломної роботи. Підготувати план теоретичної частини дипломної роботи. Виконати вступну частину дипломної роботи згідно вимог. Виконати теоретичну частину дипломної роботи згідно вимог.	07.05.21	
	Підготувати план розділу дипломної роботи щодо програмування моделі. Підготувати матеріал згідно розділу.	14.05.21	
	Підготувати план підрозділу дипломної роботи щодо моделювання пристрою PLC. Підготувати матеріал згідно розділу.	21.05.21	
	Провести моделювання, надати результати, графічну частину. Підготувати додатки та креслення. Підготовки висновки	04.06.21	

Студент

(підпис)

Микола КОМАРОВСЬКИЙ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту

(підпис)

Микола КОБАК

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Метою дипломного проекту є створення PLC модему та дослідження його можливостей з передачі інформації через електричну мережу. Проведено аналіз літератури з метою встановлення особливостей роботи технології Power Line Communication та аналізом основних необхідних складових елементної бази подібних виробів. Модем має можливість підключення зовнішніх периферійних приладів, які можуть задавати корисний сигнал. У поєднанні з платою STK500 сконструйовані модеми утворюють стенд для дослідження технології. За допомогою програмного забезпечення AVR Studio було створено базову програму для перевірки працездатності модемів.

A N N O T A T I O N

The purpose of the diploma project is to create a PLC modem and study its capabilities for transmitting information over the electrical network. The analysis of the literature is carried out in order to establish the features of the Power Line Communication technology and the analysis of the main necessary components of the element base of similar products. The modem has the ability to connect external peripherals that can set a useful signal. In combination with the STK500 board, the designed modems form a stand for PLC technology research. With the help of AVR Studio software, a basic program for checking the performance of modems was created.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ПРОЄКТУ	8
1.1 Частотний поділ каналів	8
1.2 Вплив кабелю на сигнал	10
1.3 Проблема завад	11
1.4 Методи захисту передачі даних в PLC мережі	11
1.5 Фільтри	15
1.6 Огляд протоколів передачі для PLC мережі.....	17
1.7 Структурні схеми керування інформаційної інфраструктури.....	21
1.8 Спеціальні мікросхеми	22
1.9 Мікроконтролри	25
1.10 Класифікація мікроконтролерів за призначенням	27
1.11 Класифікація мікроконтролерів по розрядності шини даних ЦПУ	27
1.12 Класифікація мікроконтролерів за архітектурою команд.....	29
1.13 Класифікація мікроконтролерів за архітектурою пам'яті.....	31
1.14 Сімейства мікроконтролерів	34
Висновки до розділу 1	36
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ	37
2.1. Обґрунтування схемних рішень та елементної бази	37
2.2. Призначення виробу	38
2.3 Будова та робота	39
2.4 Основні параметри TDA5051	40
2.5 STK500.....	42

					<i>ДП. ДЕ-71.008 ПЗ</i>				
<i>Змн</i>	<i>Арк А</i>	<i>№ доквм №</i>	<i>ПілписП</i>	<i>Дата</i>	<i>Передача даних по силових лініях електричної мережі</i>	<i>Літ</i>	<i>Літ</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркшів</i>
<i>Розроб</i>	Комаровські							3	84
<i>Певеніп</i>	Кобак М.М.					<i>«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПС, гр. ДЕ-71</i>			
<i>Реценз.</i>									
<i>Н. Контр</i>	Сафранов								
<i>Затверд</i>	Кобак М.М.								

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

МК – мікроконтролер;

ДП – друкована плата;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

PLC – Power Line Communication;

ЕОМ – електронна обчислююча машина;

ЗП – запам'ятовуючий пристрій;

АЛП – арифметико-логічний пристрій;

ПУ – пристрій управління;

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

“Технології Power Line Communication активно розвиваються і стають все більш затребуваними в усьому світі. Їх використовують при автоматизації технологічних процесів, організації систем відео спостереження та навіть для управління «розумним» будинком.”[1]

“Дослідження в області передачі даних з використанням електромережі ведуться досить давно. Колись застосування PLC гальмувала низька швидкість передачі даних і недостатня захищеність від перешкод. Розвиток мікроелектроніки і створення сучасних, а головне більш продуктивних процесорів, дали можливість використовувати складні способи модуляції для обробки сигналу, що дозволило значно просунутися вперед в реалізації PLC. Однак про реальні можливості технології зв'язку з електромережі досі знають лише деякі фахівці.”[1]

“Сьогодні PLC знаходить широке практичне застосування. У зв'язку з тим, що технологія використовує існуючу електромережу, вона може бути використана в автоматизації технологічних процесів для зв'язки блоків автоматизації по електропроводів (наприклад, міські електролічильники).”[1]

“Широке поширення низьковольтних електричних мереж, відсутність необхідності проведення дорогих робіт з будівництва траншей і пробивання стін для прокладки кабелів стимулюють підвищений інтерес до цих мереж як до середовища передачі даних.”[1]

“Для організації каналів зв'язку по лініям електромережі необхідно враховувати велику кількість факторів. Характер мережі буде залежати від таких чинників, як: галузь та мета застосування, розмір самої мережі, яка використовується для передавання сигналів, фізичних параметрів електромережі та сигналів, які генеруються в мережу споживачами електричної енергії.”[1]

									ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						6

“На даний час, найбільш широке використання зв’язку по лініях електромережі спостерігається в галузях промисловості, сільського господарства та побуту. В залежності від призначення канали зв’язку по лініях електромережі можна розділити на низько швидкісні та високошвидкісні.”[1]

Наразі на ринку пропонується широкий спектр PLC модемів. Окрім асортименту, розробники також пропонують надзвичайно широкий перелік функціональних можливостей. Це у свою чергу, викликає попит на проектування нових виробів, які у своїй роботі мають функціональні можливості з використання технології Power Line Communication.

Відмінним рішенням цього попиту, слугує створення простих PLC модемів, які в свою чергу дали б можливість проводити дослідницьку діяльність у сфері розробки побутового та промислового обладнання з можливістю розширення свого функціоналу за допомогою технології Power Line Communication.

Також, подібні модеми можуть слугувати в якості засобу для дослідження даного методу передачі інформації загалом.

В даній роботі вирішується завдання розробки подібного модему, а також досліджується питання його інтеграцію у функціональні можливості інших пристроїв.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ПРОЄКТУ

1.1 Частотний поділ каналів

“Технологія PLC використовує частотний поділ каналів передачі. Згідно до нього, високошвидкісний потік даних розбивається на декілька потоків з низькою швидкістю. Кожен з потоків передається на окремій частоті, а згодом вони об’єднуються в один сигнал. При цьому необхідно організувати спостереження за каналами передачі для виявлення ділянок спектру з перевищенням порогового значення загасання. У випадку, якщо будуть виявлені такі ділянки, то використання відповідних частотних смуг на певний час припиняється до відновлення нормального значення загасання.”[1]

“Зазвичай, використовують такі два типи частотного поділу сигналу: звичайне мультиплексування FDM (Frequency-Division Multiplexing) та ортогональне мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).”[1]

“Можна побачити, що при використанні FDM тривалість захисних інтервалів між несучими хвилями, які необхідні для запобігання взаємного впливу, досить велика (рис. 1.1).”[1]

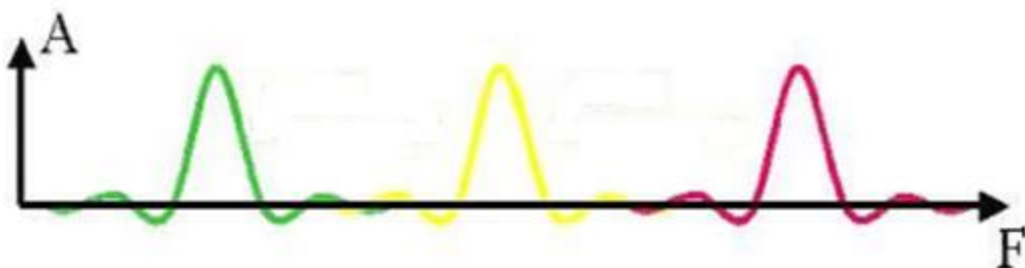


Рис. 1.1 Схема частотного поділу при мультиплексуванні FDM

					ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		8

“При використанні ортогонального частото-подільного мультиплексування OFDM пік кожної центральної частоти несучої хвилі співпадає з нульовим значенням попередньої (рис. 1.2).”[1]

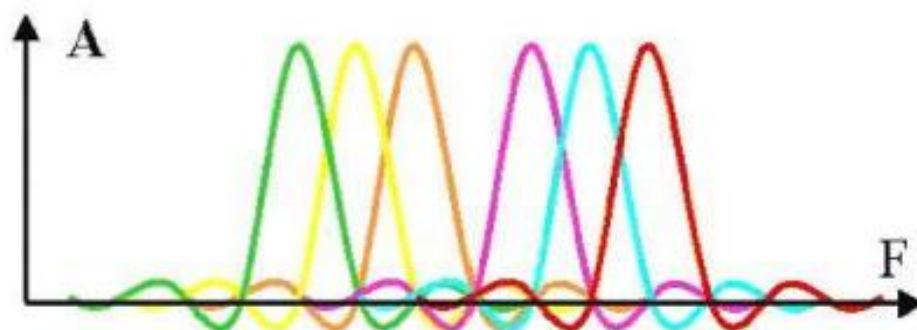


Рис. 1.2 Схема частотного поділу при мультиплексуванні OFDM

Перед об'єднанням несучих хвиль у один сигнал вони попарно піддаються фазовій модуляції (рис. 1.3), заданої для попарних комбінацій логічних двійкових значень послідовностей інформаційних бітів.

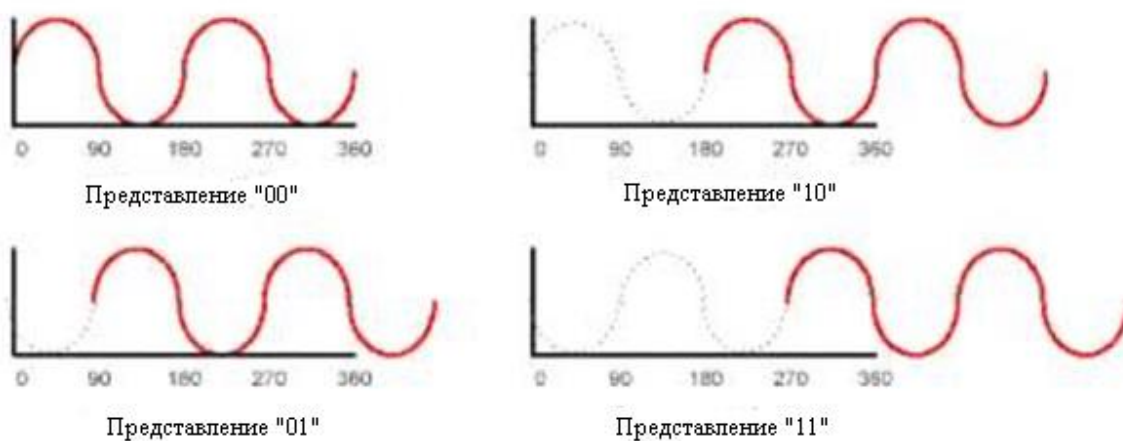


Рис. 1.3 Фазова модуляція сигналів

1.2 Вплив кабелю на сигнал

“При всіх перевагах кабелів, у них є недолік - вплив на сигнал, який проходить по ним, і далеко не найкращий.”[1]

“Окремо взяті жили в кабелі, як і екрануюче обплетення у разі, якщо кабель його має, виготовляються з провідного матеріалу з дуже низьким опором, тобто цей матеріал має здатність добре пропускати електричний струм. Найпопулярнішим матеріалом для силових кабелів приміщень наразі є мідь. Проте, варто врахувати, що в реаліях нашої країни, в багатьох спорудах досі стоїть проводка з алюмінію. Питомий опір цих провідників наведено нижче:

- Для алюмінію – $0,028 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$;
- Для міді - $0,0175 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$.”[1]

Мережева проводка, навіть за умови якісного виготовлення і того, що вона повноцінно справляється з задачею по проведенню електроенергії з частотою 50 Гц до кінцевих споживачів, має серйозні недоліки у якості середовища для високошвидкісної передачі даних. В ній неможливо уникнути багаторазових відбивань сигналів, а за своїми частотними властивостями вона не відповідає жодним з відомих категорій мережевих інформаційних кабелів.

В мережевому кабелі з ростом частоти зростає значення погонного затухання, проте дана властивість характерна не лише мережевій проводці.

Виходячи з цього, можна зробити закономірний висновок, що за необхідності прийняти та обробити весь спектр частот вихідного сигналу, нам буде необхідно передавати високочастотні складові за рівнем, який в десятки разів буде перевищувати низькочастотні складові. Оскільки обмеження на діапазон частот, що можуть займати сигнали в кабелі та на їх рівні є досить жорсткими, на практиці доводиться застосовувати різні способи зі зменшення спектральної щільності потужності сигналів та використовувати методи економного кодування вихідних цифрових сигналів.

									ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						10

1.3 Проблема завад

“Окрім проблематики матеріалу провідника, для технології PLC гостро стоїть проблема завад. Залежно від природи виникнення завади можуть бути двох видів:

- Високочастотні (ВЧ);
- Імпульсні.”[1]

“Високочастотні завади з'являються від електронних вузлів працюючого обладнання, включеного в мережу. Наприклад, при роботі холодильника, пральної машини, і іншої техніки, що має в своїй конструкції двигуни. У меншій мірі від приладів з імпульсними блоками живлення: телевізор, магнітофон, комп'ютер і т. п. ВЧ перешкоди присутні завжди і повністю уникнути їх неможливо.”[1]

“Імпульсні завади проявляються у вигляді шумів, і можуть бути як у вигляді одиночних імпульсів, так і їх послідовності. Параметри і форма імпульсів зазвичай хаотична, виникають вони через різкі перепади струму і напруги. Ці кидки викликаються комутаційними процесами, пов'язаними з запуском потужного устаткування або при виникненні короткого замикання, а також магнітними полями.”[1]

1.4 Методи захисту передачі даних в PLC мережі

“Для вирішення раніше розглянутих проблем використовується вбудовані фільтри та завадостійкі коди. Останні забезпечують корегуючі властивості, які частково або повністю компенсують пошкодження від завад за рахунок введення додаткових захисних бітів. Вони ж використовуються декодером для виявлення і виправлення помилок. Оскільки електромережа є спільним середовищем передачі даних, де одночасно передачу даних може здійснювати одразу кілька приладів, то для вирішення конфліктів трафіку необхідно

									ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						11

використовувати регулюючі механізми організації протоколу доступу до мережі.”[1]

1.5 Фільтри

Фільтр - це схема, яка видаляє певний діапазон частотних компонентів. Його функціонал полягає в розділенні спектру сигналу на частотні складові, які будуть передаватися далі, і частотні складові, які не будуть передаватися.

В залежності від особливостей амплітудно-частотної характеристики фільтри зазвичай розподіляють по розглянутим далі категоріям. Якщо фільтр пропускає низькі частоти і гасить високі частоти, то він називається фільтром нижніх частот. Якщо він блокує низькі частоти і пропускає високі частоти, то це фільтр верхніх частот. Якщо фільтр пропускає тільки відносно вузький діапазон частот, то це смуговий фільтр. Рижекторні фільтри, у свою чергу, блокують тільки відносно вузький діапазон частот.

Фільтр низької частоти (ФНЧ) - це фільтр, який пригнічує частоти сигналу, які перевищують частоти зрізу даного фільтра. На малюнку приведена амплітудно-частотна характеристика типового фільтра нижніх частот (рис. 1.4). Одиниці умовно привласнена максимальна амплітуда сигналу, тоді як точка з амплітудою 0,7 (-3 дБ) відповідає частоті зрізу фільтра, відносно якої проводиться розрахунок розглянутого фільтра за більшістю методик. Від нульової частоти до частоти зрізу знаходиться смуга частот пропускання, відповідно праворуч розташована смуга частот придушення.

									Адк.
									12
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

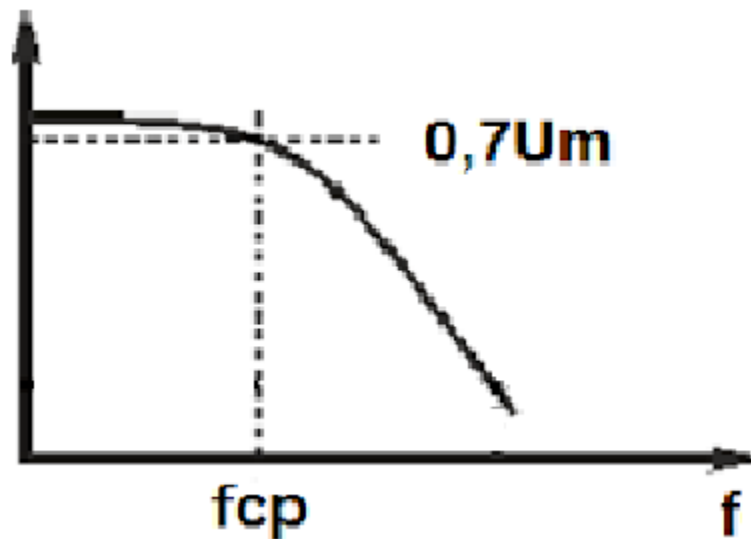


Рис. 1.4 АЧХ ФНЧ

Придушення високочастотних складових частот сигналу призводить до придушення складових сигналу, які мають великі швидкості наростання. ФНЧ завжди згладжує сигнал, вносячи власну затримку фільтра. Постійну складову сигналу ФНЧ завжди пропускає.

Фільтр низької частоти використовують для поліпшення співвідношення сигналу та шуму сигнального тракту, що відбувається за рахунок придушення перешкод з частотами вище верхньої межі смуги частот інформаційного сигналу. Його також часто застосовують з метою придушення високочастотних перешкод в ланцюгах живлення і сигнальних ланцюгах для забезпечення електромагнітної сумісності апаратури.

Фільтр високої частоти (ФВЧ) - це фільтр, який пригнічує частоти сигналу, які нижче відносно частоти зрізу зазначеного фільтра. На малюнку (рис. 1.5) приведена амплітудно-частотна характеристика типового ФВЧ. Одиниці умовно привласнена максимальна амплітуда сигналу, тоді як точка з амплітудою 0,7 (-3 дБ) рівне значенню частоти зрізу ФВЧ, відносно якої проводиться розрахунок розглянутого фільтра відповідно до існуючих методик. Від нульової частоти до частоти зрізу розташовується смуга частот придушення, тоді як праворуч розташована смуга частот пропускання.

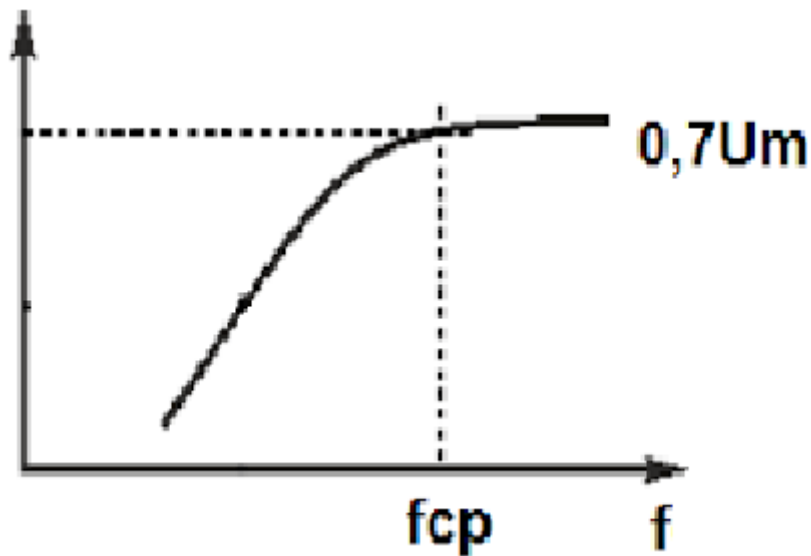


Рис. 1.5 АЧХ ФВЧ

Придушення низькочастотних складових сигналу призводить до придушення частин сигналу, які мають малі швидкості наростання і до придушення постійної складової сигналу.

Вихідний сигнал фільтру високої частоти носить біполярний характер з нульовою середньою інтегральною складовою. Це означає, що на виході фільтру високої частоти відсутня постійна складова сигналу.

Фільтр високої частоти застосовують для поліпшення співвідношення сигналу та шуму сигнального тракту, де постійна складова сигналу неінформативна, за рахунок придушення низькочастотних шумів, дрейфу сигналу з частотами нижче за нижню межу смуги частот корисного сигналу. У випадку, якщо неінформативна постійна складова завелика по відношенню до корисного сигналу, то фільтр високої частоти застосовують для кращого використання вхідного діапазону АЦП в завданні вимірювання змінної складової сигналу.

Смуговий фільтр – це фільтр, який у свою чергу пропускає лише складові, що знаходяться в деякій смузі частот. Смуговий фільтр є лінійною системою, а отже, він може бути представлений у вигляді послідовності, яка складається з фільтра верхніх частот і фільтра нижніх частот. Ідеальні смугові

									ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						14

фільтри характеризуються двома основними характеристиками, а саме верхньою частотою зрізу і нижньою частотою зрізу (рис. 1.6).

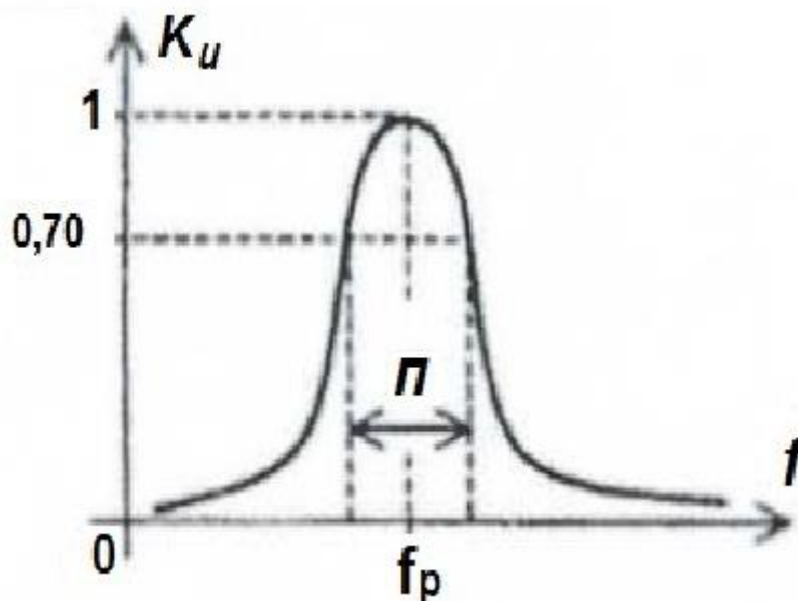


Рис. 1.6 АЧХ смугового фільтра

На блок-схемі на рис. 1.7 розглянуто приклад того, як за допомогою фільтра нижніх і фільтра верхніх частот можна створити смуговий фільтр.



Рис. 1.7 Блок-схема системного рівня смугового фільтра

Рижекторний (загороджуючий) фільтр – це фільтр, який у свою чергу не пропускає коливання деякої певної смуги частот, а пропускає лише коливання з частотами, які виходять за межі цієї смуги. Ця смуга придушення характеризується шириною смуги затримування і розташована приблизно навколо центральної частоти придушення. Рижекторний фільтр, призначений

для придушення складової однієї певної частоти, називається фільтром-пробкою. АЧХ рижекторного фільтру зображено на рис. 1.8.

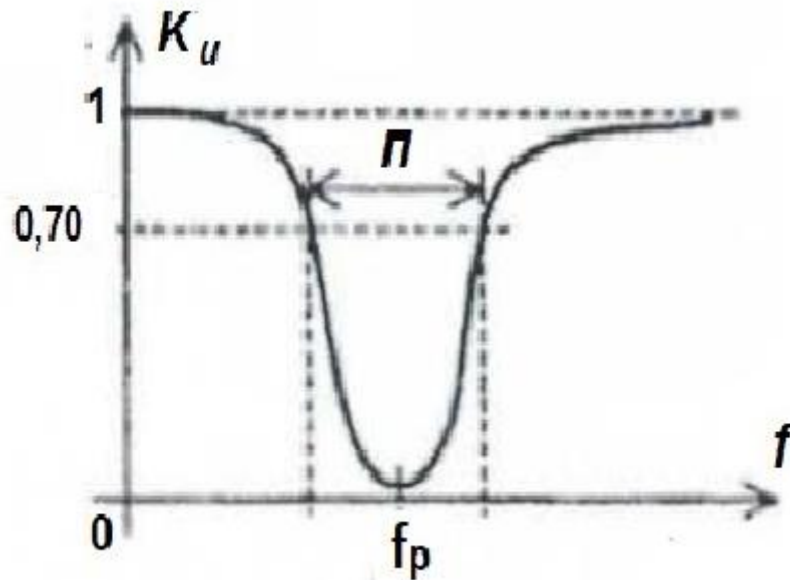


Рис. 1.8 АЧХ рижекторного фільтру

В електроніці електричні фільтри підрозділяють на пасивні і активні. Схеми пасивних фільтрів містять тільки пасивні елементи: резистори, конденсатори і котушки індуктивності. У схеми активних фільтрів крім зазначених елементів входять такі активні вироби, як транзистори або інтегральні мікросхеми.

Відповідно до схемати побудови прийнято розрізняти резонансні, ланцюжкові, мостові та цифрові фільтри. Прикладами резонансних фільтрів є одиничні та зв'язні коливальні контури, п'єзоелектричні та кварцові фільтри. Ланцюжкові та мостові схеми фільтрів утворюються каскадними з'єднаннями між собою найпростіших Г-подібних елементів, які можуть містити в собі як L-, C-, R-елементи, так і RL- та RC- елементи.

1.6 Огляд протоколів передачі для PLC мережі

Існує кілька варіантів класифікації PLC-систем.

По перше, технології передачі даних по електромережі прийнято розділяти на широкосмугові (Broadband over Power Lines) і вузькосмугові (Narrowband over Power Lines). Широкосмугові системи (зі швидкістю 1 - 200 Мбіт / с) орієнтовані на системи високошвидкісного доступу до Інтернету, на створення домашніх комп'ютерних мереж, а також на додатки, що вимагають високошвидкісного обміну даними: потокове відео, системи відео зв'язку, цифрової телефонії і т.д.

Вузькополосні (низько швидкісні) системи орієнтовані на використання в засобах домашньої автоматки, в управлінні найпростішими побутовими приладами і т.д. В цьому випадку досить значно меншою пропускну здатності каналу (0,1 - 100 Кбіт / с). Для кінцевого користувача ближча класифікація за призначенням, по суті, по області застосування. використовується також класифікація PLC-систем за типом використовуваних ліній електропередачі.

“У протоколі X-10 передавач, визначивши момент нульового переходу (рис. 1.9), з запізненням не більше 200 мікросекунд видає керуючий сигнал тривалістю 1 мс у вигляді пакету коливань частотою 120 кГц і амплітудою до 5В. Приймачі сигналів на цей час «відкривають» тимчасове вікно і «слухають» мережу. При появі сигналу в дозволений час він обробляється. У початковій версії можна було управляти 256 приймачами.”[1]

									Адк.
									17
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

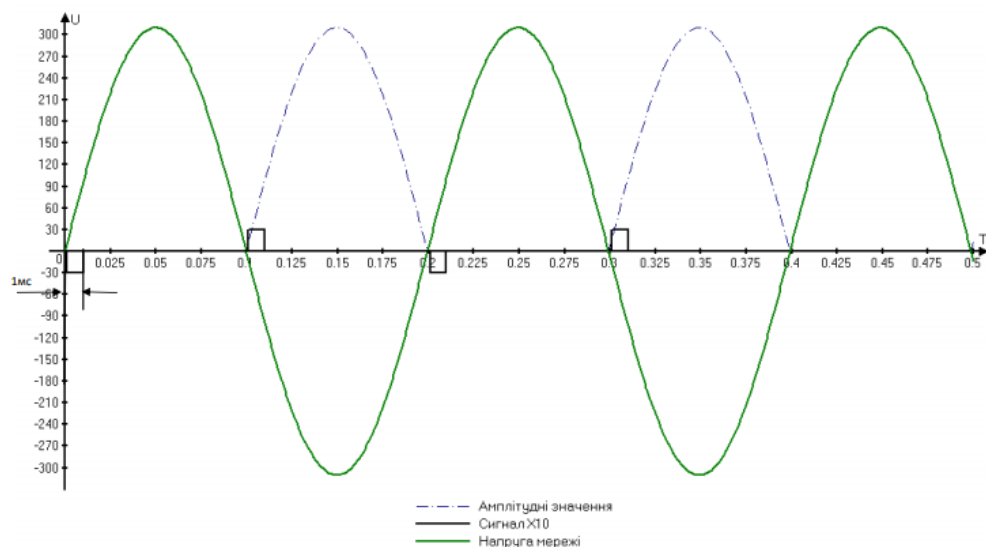


Рис. 1.10 Передача корисного сигналу за протоколом X10 в однофазній мережі

“PLC-модуль передає інформаційний пакет після перетину нульового значення напруги. З метою запобігти негативного впливу сторонніх сигналів необхідно встановити затримку, яка складе 100 мкс. Лише після цього йде передача інформаційного біту. Сам сигнал генерується імпульсною напругою частотою 120 кГц, яка має тривалість 1 мс.”[1]

“Варто зазначити, що для надійної передачі, сигнал необхідно подавати двічі. Виходячи з цього, пропускна здатність протоколу складає 20 біт/с, а для повної передачі сигналу знадобиться 11 циклів напруги.”[1]

У стандарті CEBus передбачена передача даних з використанням проводів побутової електромережі, виті пари або коаксіального кабелю, а також бездротова передача в радіо- або інфрачервоному діапазоні частот. Швидкість обміну даними не залежить від обраної середовища передачі даних і становить 7,5 Кбіт / с (середнє значення). У стандарті CEBus був використаний метод передачі даних з розширенням спектра (Spread Spectrum - SS). Стандарт CEBus (EIA-600) включає протоколи прикладного (EIA-721), мережевого, каналного і фізичного рівнів еталонної моделі OSI (Open Systems Interconnection). Протокол прикладного рівня описує порядок функціонування різних пристроїв і набір типових команд, що включає команди VOLUME UP, FAST FORWARD, REWIND, PAUSE, SKIP, TEMPERATURE UP або DOWN 1

						ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата			19

DEGREE і т.д. Протокол мережевого рівня формує пакети даних, що містять інформацію про адреси джерела і приймача. Для запобігання колізій на каналному рівні задіяний механізм CSMA / CDCR (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection and Resolution). на фізичному рівні використовується технологія SS-модуляції, що передбачає передачу даних в смузі частот 100 ... 400 кГц. Для кодування даних (на тимчасових інтервалах 100 мкс) передається частотно-модульований сигнал (при цьому використовується лінійний закон модуляції, початкова частота 100, кінцева - 400 кГц). Дані формуються в пакети, причому довжина пакета не регламентується, однак мінімальний розмір становить 64 біт.

Американська компанія Adaptive Networks для реалізації однойменної технології розробила набір мікросхем для побудови PLC-мереж, що включає ІМС AN1000 (з середньою пропускною здатністю 100 Кбіт / с), AN192 (19,2 Кбіт / с) і AN48 (4,8 Кбіт / с) . Мікросхеми AN1000 / AN192 здійснюють передачу даних по електромережі в частотному діапазоні до 450 кГц відповідно до нормативів комісії FCC (Federal Communication Commission). Щоб задовольнити вимоги стандартів, що діють в європейських енергосистемах, в таких додатках як автоматична реєстрація показань лічильників, автоматизація і моніторинг розподілених об'єктів була розроблена мікросхема AN48, розрахована на передачу даних в діапазоні 9 ... 95 кГц. У цій технології був реалізований механізм виявлення і виправлення помилок, оптимізований для існуючих електромереж, а також передбачені інтерфейси до стандартних прикладних протоколів.

Як фізичне середовище передачі в технології LonWorks передбачено використання електропроводки, витої пари, коаксіального кабелю або радіоканалу. LonWorks базується на застосуванні технології узкополосної передачі даних. У ній реалізовані поліпшена цифрова обробка сигналів, ефективний механізм корекції помилок і оригінальний алгоритм вибору альтернативних несучих частот. Максимальна швидкість передачі даних в мережі LonWorks становить 1,25 Мбіт / с. Стандартний розмір пересилається

						<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			<i>20</i>

пакета даних - 10-14 байт, але можлива передача пакетів і більшої довжини. Швидкість передачі даних в великій мірі залежить від середовища передачі.

Протокол LonTalk, що лежить в основі технології LonWorks, забезпечує можливість створення мереж з практично необмеженим числом вузлів і орієнтований на вирішення завдань автоматизації, коли необхідні високі надійність і швидкість передачі даних. Вузлами мережі LonWorks можуть бути датчики температури і освітленості, різні виконавчі механізми, контролери систем кондиціонування, вентиляції і т.д. Протокол LonTalk включає сім рівнів еталонної моделі протоколів передачі даних OSI.

1.7 Структурні схеми керування інформаційної інфраструктури PLC мережі

“Згідно до централізованого підходу має існувати певний центральний керуючий блок, який отримуватиме інформацію про поточний стан пристроїв, які обмінюються інформацією лише з центральним блоком, не отримуючи у свою чергу інформацію про інші пристрої у системі (рис. 1.11).”[1]



Рис. 1.11 Структурна схема централізованої системи інформаційної інфраструктури

При використанні децентралізованого підходу PLC-модулі мають можливість взаємодіяти між собою та реагувати на нештатні ситуації. З метою покращення енергоефективності проводиться взаємоузгоджене налаштування робочих режимів окремих модулів. Також, займатися налаштуванням роботи декількох окремих модулів, або усієї системи може користувач (рис. 1.12).

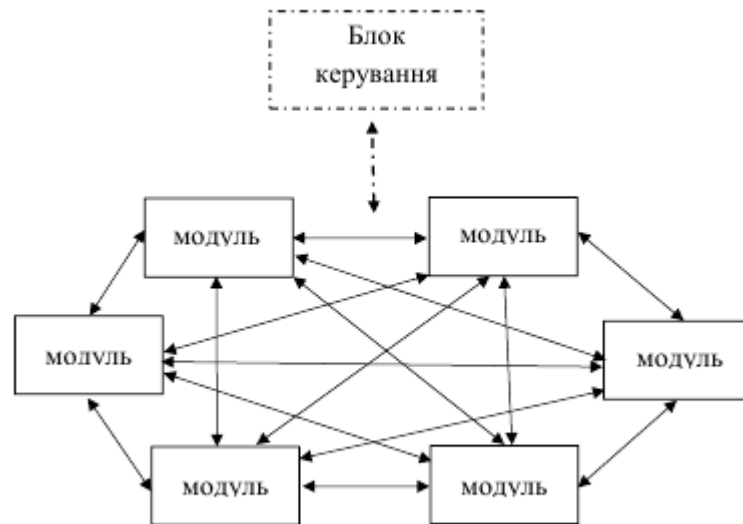


Рис. 1.12 Структурна схема децентралізованої системи інформаційної інфраструктури

Так, після підключення пристрою, який має досить високу потужність споживання та високий рівень пріоритетності, з метою оповіщення інших модулів PLC системи генерується інформаційний сигнал. У випадку, якщо пріоритетність модулів виявиться меншою, вони зменшать значення своєї потужності споживання з метою запобігання перевантаженості мережі.

1.8 Спеціальні мікросхеми

Порівняльна характеристика спеціалізованих мікросхем ST7538, ST7540, TDA5051A, KR1446xK1, AMIS30585 для передавання даних лініями електричної мережі наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		22

Порівняльна характеристика спеціальних мікросхем

Параметри	Мікросхема			
	ST7538	TDA5051	KR1446xK1	AMIS30585
Швидкість передавання, біт/с	4800	1200	922	1440
Напруга живлення, В	5	5	5	3,3
Тип корпусу	TQFP44	SO16	22DIP	PLCC28
Вид модуляції	FSK	ASK	FSK	FSK
Центральна частота передавання, кГц	60, 66, 72, 76, 82, 110, 135.5	95, 132.5, 148.5	66.6, 100, 133.5	9-95

Модем на базі спеціалізованої мікросхеми ST7538 від STMicroelectronics складається з таких частин:

- інтерфейс електромережі, який необхідний для створення гальванічної розв'язки та з'єднання модему до електромережі;
- мікроконтролер, який необхідний для керування модемом і обробки даних;
- фільтри вхідних та вихідних сигналів, які необхідні для виділення сигналу з електромережі;
- мікросхема ST7538, що виконує функцію частотної модуляції.

Мікросхема містить операційний підсилювач, детектор зайнятості середовища передавання, детектор перетину нуля, цифровий фільтр, автоматичний підсилювач рівня вхідного сигналу. Мікросхеми STMicroelectronics розроблені згідно стандарту EN50065. ST7538 - це напівдуплексний синхронний / асинхронний FSK модем, розроблений для мережевих модемів зв'язку по лініях електропередач. Він працює від єдиного джерела живлення і об'єднує лінійний перетворювач і лінійний стабілізатор 5 В. Управління роботою пристрою здійснюється за допомогою внутрішнього регістра, програмованого через синхронний послідовний інтерфейс. Логічним

										ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата							23

- Повністю цифрова модуляція з формуванням сигналу забезпечує надзвичайно стабільну несучу частоту та обмежену пропускну здатність сигналу при передачі;
- Підсилювач потужності на мікросхемі з низькими спотвореннями та з обмеженням вихідної напруги (відповідно до стандартів EN50065-1);
Виходу підсилювача достатньо для управління в більшості побутових ситуацій;
- Високочутливий вхідний підсилювач з АРП (автоматичне регулювання підсилення) для надійного виявлення малих сигналів на шумній електромережі;
- Цифровий вузькосмуговий фільтр з 8-бітовим АЦП для точної, різкої фільтрації вхідного сигналу;
- Цифровий демодулятор із змінним порогом для оптимального відновлення сигналу даних базової смуги;
- Штифти даних, сумісні з TTL / CMOS, для прямого підключення до мікроконтролера.

1.9 Мікроконтролери

Мікроконтролер (МК) – це мікросхема, яка представляє з себе автономну систему, що складається з центрального процесора з блоком управління, регістрами і постійним запам'ятовуючим пристроєм та з периферійних пристроїв, в перелік яких входять порти введення-виведення, контролери переривань, таймери, генератори імпульсів, аналогові перетворювачі.

Практично всі мікроконтролери мають наступні основні модулі:

- Відповідає стандартам EN50065-1, EN50065-2 та SC105A;
- CORE (ядро) - основний обчислювальний модуль;
- Memory (пам'ять);
- Flash memory (ПЗУ) - пам'ять для зберігання програми;
- RAM (ОЗУ) - оперативна пам'ять для проведення обчислень;
- EEPROM (ПЗУ) - пам'ять для зберігання даних;

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

- Clock and Supply management - модуль управління частотою роботи мікроконтролера і харчуванням;
- Interrupt manager - менеджер управління переривань;
- Timers - різні таймери для генерації ШІМ, управління сном і т. д.;
- Communications interfaces - периферія для зв'язку з іншими мікросхемами;
- UART - універсальний асинхронний приймач / передавач, який представляє собою блок схем, відповідальних за реалізацію послідовної зв'язку;
- SPI - послідовний інтерфейс з підтримкою дуже високих швидкостей передачі даних - до 30МГц;
- ADC (analog to digital converter) - аналого-цифровий перетворювач;
- DAC (digital to analog converter) - цифро-аналоговий перетворювач;
- DMA (direct memory access) - прямий доступ до пам'яті, без використання процесора;
- GPIO (general purpose input output) - порти введення та виведення.

Також мікроконтролери часто називають вбудованими контролерами, оскільки програмовані мікроконтролери, які зараз використовуються часто вбудовані в інші системи. Самі вбудовані системи можуть бути, як доволі складними, так і такими, що потребують мінімальних вимог до мікроконтролера та складності програмного забезпечення.

Основною причиною, чому мікроконтролери стали звичною складовою вбудованих систем в першу чергу слугує їх низька вартість, за яку можна отримати певний аналог комп'ютера, конструкція якого містить процесор, незначну кількість пам'яті та програмовану периферійну складову, що разом розташовані на одній мікросхемі.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

1.10 Класифікація мікроконтролерів за призначенням

За призначенням, мікроконтролери діляться на універсальні і спеціалізовані.

Універсальні МК - це такі, в системі яких закладена універсальність і вони придатні для вирішення широкого кола завдань. Набір команд МК дозволяє отримати перетворення інформації відповідно до будь-які передбачені алгоритмом.

Спеціалізовані МК призначені для вирішення певного класу задач. Іноді, навіть, для вирішення однієї конкретної задачі. Їх суттєві особливості - простота управління, компактність апаратних засобів, низька вартість і мала потужність споживання.

1.11 Класифікація мікроконтролерів по розрядності шини даних ЦПУ

8-розрядні мікроконтролери мають відносно низьку продуктивність, яка цілком достатня для вирішення широкого кола завдань управління різними об'єктами. Це прості і дешеві мікроконтролери, орієнтовані на використання в відносно нескладних пристроях масового випуску. Основними сферами його застосування є побутова і вимірювальна техніка, промислова автоматика, автомобільна електроніка, теле-, відео- і аудіоапаратура, засоби зв'язку. Для цих мікроконтролерів характерна реалізація Гарвардської архітектури, де використовується окрема пам'ять для зберігання програм і даних. Внутрішня пам'ять програм зазвичай має обсяг від декількох одиниць до десятків кілобайт. Для зберігання даних використовується реєстровий блок, організований у вигляді декількох реєстрових банків, або внутрішнє ОЗУ. Об'єм внутрішньої пам'яті даних становить від декількох десятків байт до декількох кілобайт. Ряд мікроконтролерів цієї групи дозволяє, в разі необхідності, додатково підключати зовнішню пам'ять команд і даних, обсягом до 64 ... 256 кілобайт.

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

периферійні пристрої - таймерний процесор, комунікаційний процесор, модуль послідовного обміну і ряд інших. Мікроконтролери працюють із зовнішньою пам'яттю об'ємом до 16 Мбайт і вище. Вони знаходять широке застосування в системах управління складними об'єктами промислової автоматики (двигуни, робототехнічні пристрої, засоби комплексної автоматизації виробництва), в контрольно-вимірювальній апаратурі і телекомунікаційному обладнанні. У внутрішній структурі цих мікроконтролерів реалізується Прінстонського або Гарвардська архітектура. Входять до їх складу процесори можуть мати CISC- або RISC-архітектуру, а деякі з них містять кілька виконавчих конвеєрів, що утворюють суперскалярну структуру.

1.12 Класифікація мікроконтролерів за архітектурою команд

CISC (Complex Instruction Set Computing) - це архітектура за якої одиночні команди можуть виконувати кілька операцій низького рівня (наприклад, завантаження з пам'яті, арифметичні операції, сховище пам'яті) або здатні на багатоступінчасті операції або режими адресації в межах однієї інструкції.

Перед тим, як у багатьох процесорах почали використовувати RISC, багато системних архітектори намагалися подолати семантичний пробіл, тобто розробити набори інструкцій, які безпосередньо підтримуються конструкціями високорівневого програмування, такі як виклики процедур, контроль циклу і складні режими адресації, що дозволило б об'єднати в єдині інструкції доступ до масиву і структуру даних. Інструкції також були сильно закодовані в цілях подальшого підвищення щільності коду. Компактність таких наборів інструкцій привела до зменшення розмірів програм і меншої кількості актів доступу до пам'яті, що в свій час призвело до значної економії на вартості пам'яті комп'ютера і дисків зберігання, а також до більш швидкому виконання інструкцій. Це також означає хорошу продуктивність.

Особливості CISC архітектури:

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

- Відсутність підтримки операцій виду «змінити» над укороченими типами даних - байт;
- Відсутність мікропрограм усередині самого процесора.

RISC швидше CISC, і навіть за умови виконання системою RISC чотирьох або п'яти команд замість єдиною, що виконується CISC, RISC виграє в швидкості, оскільки його команди виконуються в рази оперативніше. Однак CISC продовжує використовуватися.

1.13 Класифікація мікроконтролерів за архітектурою пам'яті

Машина фон Неймана складається з запам'ятовуючого пристрою - ЗП, арифметико-логічного пристрою - АЛП, пристрої управління - ПУ, а також пристроїв введення та виведення.

Архітектура фон Неймана характеризується використанням загальної оперативної пам'яті для зберігання програм, даних, а також для організації стека. Для звернення до цієї пам'яті використовується загальна системна шина, по якій в процесор надходять і команди, і дані (рис. 1.12).

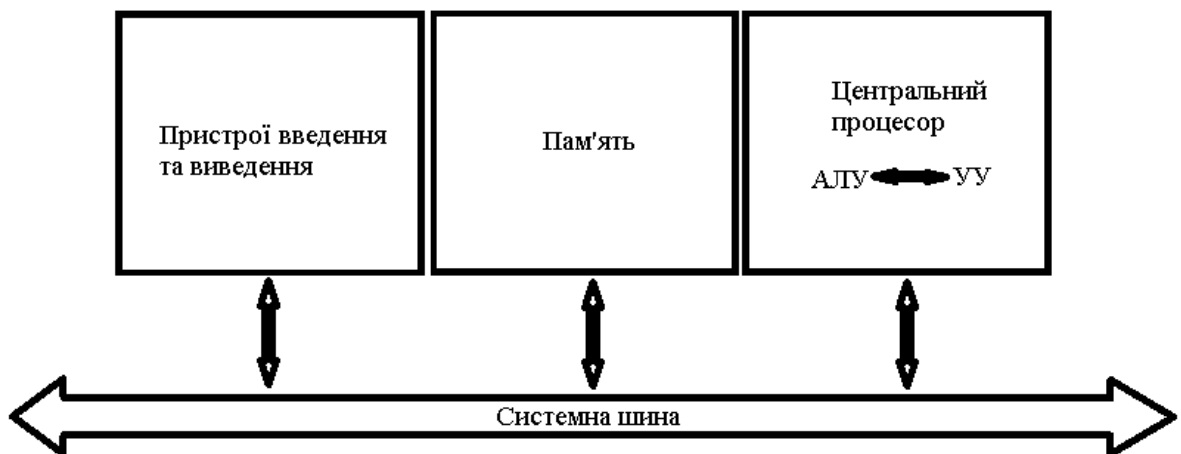


Рис. 1.12 Схема архітектури фон Неймана

Основні принципи побудови обчислювальних машин з архітектурою фон Неймана:

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		31

шині. При цьому загальна шина стає «вузьким місцем», яке обмежує продуктивність цифрової системи.

Гарвардська архітектура характеризується фізичним поділом пам'яті команд (програм) і пам'яті даних (рис. 1.13).

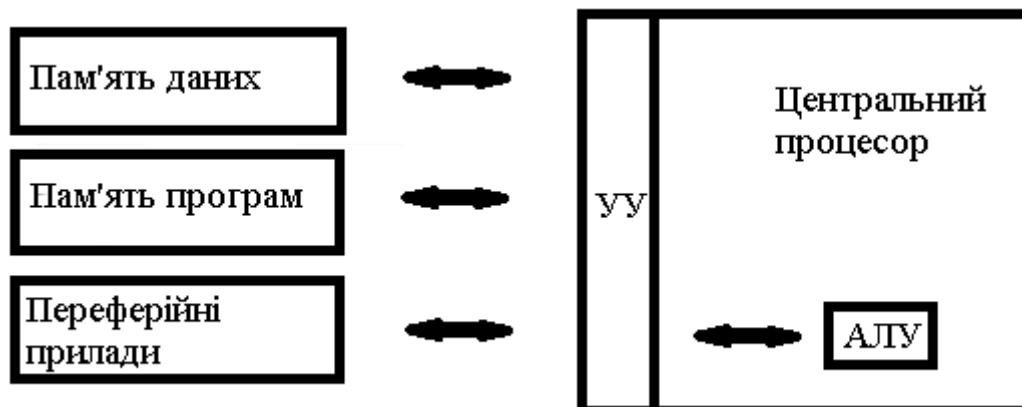


Рис. 1.13 Схема Гарвардської архітектури

В її оригінальному варіанті використовувався також окремий стек для зберігання вмісту програмного лічильника, який забезпечував можливості виконання вкладених підпрограм. Кожна пам'ять з'єднується з процесором окремою шиною, що дозволяє одночасно з читанням-записом даних при виконанні поточної команди робити вибірку і декодування наступної команди. Завдяки такому розподілу потоків команд і даних і поєднанню операцій їх вибірки реалізується більш висока продуктивність, ніж при використанні фон Нейманської архітектури.

Недоліки Гарвардської архітектури пов'язані з необхідністю проведення більшої кількості шин, а також з фіксованим обсягом пам'яті, виділеної для команд і даних, призначення якої не може оперативно перерозподілятися відповідно до вимог розв'язуваної задачі. Тому доводиться використовувати пам'ять більшого обсягу, коефіцієнт використання якої при вирішенні різноманітних завдань виявляється більш низьким, ніж в системах з фон Нейманською архітектурою.

1.14 Сімейства мікроконтролерів

MSC-51, виробництва Intel. Монокристалні МК на основі Гарвардської архітектури. Основний представник цього сімейства 80C51, створений за технологією CMOS. І хоча ці контролери розроблені ще в 80-х роках минулого століття, але до цих пір широко застосовуються. І сьогодні багато компаній, такі як Siemens, Philips та ін. Випускають свої контролери з подібною архітектурою.

PIC (Microchip). МК Гарвардської архітектури. В його основі лежить архітектура з скороченим набором команд, вбудована пам'ять команд і даних, низьке енергоспоживання. У це сімейство входять більше 500 різних МК (8-ми, 16-ти, 32-бітові) з різними наборами периферії, пам'яті та іншими характеристиками.

AVR (Atmel). Високошвидкісні контролери розроблені на своєю архітектурою. Основою контролера є Гарвардський RISC-процесор з самостійним доступом до пам'яті програм і баз даних (Flash ПЗУ). Кожен з 32 регістрів загального призначення може працювати як регістр-акумулятор і сукупність 16-бітних команд. Висока продуктивність в 1 MIPS на кожен МГц тактової частоти забезпечується за рахунок порядку виконання команд, який передбачає виконання однієї команди і одночасну підготовку до наступної. Для підтримки своєї продукції компанія Atmel випускає безкоштовну і якісну середу розробки Atmel

ARM (ARM Limited) розроблені на основі власної архітектури. У сімейство входять 32-х і 64-бітові мікроконтролери. ARM Limited займається тільки розробкою ядер і їх інструментів, а ліцензії на виробництво продає іншим компаніям. Ці процесори споживають мало енергії, тому знаходять широке застосування у виробництві мобільних телефонів, ігрових консолей, маршрутизаторів і т. Д. До компаній, котре викупило ліцензії, відносяться: STMicroelectronics, Samsung, Sony Ericsson і ін.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				34

STM (STMicroelectronics). 8-розрядні контролери (STM8) відносяться до категорії високонадійних з низьким енергоспоживанням виробів. В цей же сімейство входять контролери STM32F4 і STM Їх основу складає-32 бітний Cortex. Такі контролери мають відмінно збалансованою архітектурою і мають великі перспективи розвитку.

При проектуванні системи необхідно здійснити правильний вибір мікроконтролера. Перш за все необхідно вибрати найменш дорогий мікроконтролер, що необхідно для зниження загальної вартості системи. При цьому він повинен задовольняти специфікації системи, вимог по продуктивності, надійності, умов застосування і т. д.

До основних критеріїв вибору мікроконтролера можна віднести представлені нижче пункти:

- Придатність для прикладної системи. Чи може вона бути зроблена на однокристальному мікроконтролері або її можна реалізувати на основі будь-якої спеціалізованої мікросхеми;
- Чи має мікроконтролер необхідне число контактів, портів введення-виведення, оскільки в разі їх нестачі він не зможе виконати роботу, а в разі надлишку ціна буде занадто високою;
- Чи має мікроконтролер всі необхідні периферійні пристрої, такі як аналого-цифровий, цифро-аналоговий перетворювачі, інтерфейси зв'язку і т.д. ;
- Чи має мікроконтролер інші периферійні пристрої, які не будуть потрібні в системі (це найчастіше збільшує вартість мікроконтролера) ;
- Чи забезпечує ядро мікроконтролера необхідну продуктивність, тобто, обчислювальну потужність, що дозволяє обробляти системні запити протягом усього життя системи на обраному прикладному мовою;
- Доступність:
 - Чи існує пристрій в достатніх кількостях;
 - Чи виготовляється воно зараз;
 - Що очікується в майбутньому;

									ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						35

- Підтримка розробника;
- Компілятори;
- Засоби налагодження;
- Інформаційна підтримка:
 - Приклади застосування;
 - Утиліти;
 - Приклади вихідних текстів;
 - Підтримка застосувань у постачальника;
 - Надійність фірми виробника;
 - Час роботи в цій галузі.

Висновки до розділу 1

В даному розділі було проведено огляд науково-технічної літератури. Розглянуто основні поняття технології Power Line Communication та розглянуто основні методи реалізації технології.

Також, значну увагу було приділено ознайомленню з основними складовими, необхідними для функціонування PLC модему та проведено їх порівняльний аналіз.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ

2.1 Обґрунтування схемних рішень та елементної бази

Розробка схеми відбувалась в ході процесу різностороннього аналізу параметрів та голових властивостей описаних в літературі схем.

У першу чергу необхідно розробити принципові схеми функціональних елементів структурної схеми. Після цього складається повна принципова схема приладу.

Розробка пристрою має проводитись відповідно до таких вимог:

- простота схеми;
- функціональна насиченість;
- стійкість до перепадів напруги;
- довговічність;
- низьке енергоспоживання;
- елементи схеми мають забезпечувати надійну та стабільну роботу виробу;
- обрані елементи мають відповідати оптимальному співвідношенню ціни та якості;
- закласти у кінцевий виріб достатній потенціал для подальшої модернізації;
- ретельно проаналізувати вимоги до ідентичних приладів та приладів з подібним функціоналом;
- приступити до розробки виробу з урахуванням усіх попередньо перелічених пунктів.

Слід зазначити, що всі елементи стандартні, що передбачає їх виготовлення на промислових підприємствах, які дають гарантію їх якості, терміну служби та відповідності заявленим у технічній документації характеристикам.

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

Під час розробки друкованої плати було враховано необхідну ширину друкованих провідних доріжок та відповідність отворів для свердління і їх розташування відповідно до габаритів елементів, їх розташування для оптимального використання місця.

2.2 Призначення виробу

Демонстраційна плата на основі TDA5051 розроблена, щоб оцінити TDA5051 в реалістичному застосуванні. Схему демонстраційної плати на основі TDA5051 можна знайти в Додаток В. Демонстраційна плата включає в себе TDA5051 та плати STK500 на мікроконтролері ATmega128 та програмне забезпечення, що містить деякі заздалегідь визначені функції для вмикання та вимикання восьми доступних світлодіодних виходів. Параметри, що використовуються цими функціями, можна легко змінити, змінивши файл заголовка конфігурації зі значеннями параметрів, що використовуються заздалегідь визначеними функціями. Для подальшого налаштування програми функції драйвера, що використовуються в демонстраційній прошивці, можна легко змінити.

TDA5051 - це модемний чіп амплітудної модуляції, призначений для зв'язку по лініям електропередач. У цій схемі несуча частота становить 128 кГц. Однак частоту можна змінити із зазначеним діапазоном, змінивши частоту входу кристала або тактову частоту. TDA5051 складається з підсилювача автоматичного регулювання підсилення та АЦП з цифровою смуговою фільтрацією та демодуляцією прийнятого сигналу. Він також містить пошуковий ПЗП(постійний запам'ятовуючий пристрій) та ЦАП для забезпечення належної форми хвилі сигналу та огибаючої для переданих даних. Потім внутрішній підсилювач керує зовнішньою мережею для з'єднання переданих даних на лінії змінного струму.

Демонстраційна плата на основі TDA5051 розроблена з урахуванням простоти налаштування та експлуатації. Демонстраційні функції виконуються

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

натисканням однієї з восьми кнопок управління, розташованих зовні на демонстраційній платі STK500. Демонстраційні функції плати з TDA5051, що підтримуються демонстраційною платою STK500 та мікропрограмою, включають наступне:

- зчитування натискання кнопки;
- відправка даних через мережу 220В;
- отримання даних через мережу 220В;
- видача отриманих результатів на світлодіодні індикатори.

2.3 Будова та робота

З'єднання по мережі електроживлення здійснюється за допомогою високочастотного трансформатора TV1. Пасивний елемент L1 перешкоджає насиченню сердечника трансформатора TV1 та його перегріву. Роздільний конденсатор C1 розділяє електромережу та трансформатор та зменшує до мінімуму проникнення сигналу з частотою 50 Гц до вторинної обмотки трансформатора. Діод VD1 захищає модем від можливих сплесків напруги. Сигнал передається в електромережу через розділяючий конденсатор C3, смуговий вихідний фільтр на елементах C2, R5, L2 та трансформатор TV1. Прийом сигналу здійснюється через трансформатор TV1, смуговий фільтр на елементах C2, R5, L2, який слугує для подавлення шумів мережі та розділяючі конденсатори C3, C4. Продовжуючи розвивати технології зв'язку по лініях електромережі, NXP запропонувала нову спеціалізовану мікросхему TDA5051, яка забезпечує швидкість передавання від 600 до 1200 біт/с, підтримує напівдуплексний режим та модуляційну схему ASK (Amplitude Shift Keying), одну несучу частоту в частотному діапазоні від 102,4 кГц до 138,55 кГц. В TDA5051 інтегровано вихідний підсилювач потужності.

Паралельний контур C2, R5, L2 налаштований на пропускання частоти, яка складає 128 кГц.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

Оскільки діапазон робочої частоти для TDA5051 становить від 95 кГц до 148,5 кГц, то нам необхідно розрахувати частоту резонансу у цьому діапазоні. Згідно отриманих з розрахунків даних, ми зможемо визначити, чи відповідає сконструйований фільтр вимогам.

Частоту резонансу розраховується за формулою:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (L \cdot C)^{\frac{1}{2}}}, \quad (2.1)$$

де L – індуктивність котушки у фільтрі, C – ємність конденсатора у фільтрі.

$$L = L_2 = 22 \cdot 10^6 (\text{Гн})$$

$$C = C_2 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{Ф})$$

Отже, підставивши необхідні значення у формулу частоти резонансу, отримаємо:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (L \cdot C)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (22 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6})^{\frac{1}{2}}} = 107,9 (\text{кГц}). \quad (2.2)$$

Відповідно до розрахунку, можна зробити висновок, що фільтр відповідає вимогам, які визначні в технічній документації до TDA5051.

Оптопара V1, резистори R1, R2, R3, R4 та транзистор VT1 призначені для визначення переходів фази через нуль.

Кварцовий генератор використовується для отримання несучої частоти та синхронізації внутрішніх блоків спеціалізованої мікросхеми TDA5051.

Зв'язок з мікроконтролером здійснюється за допомогою роз'єму XP1.

Конденсатори C5 та C6 використовуються для зменшення пульсації по живленню 5В.

2.4 Основні параметри TDA5051

Спеціалізована мікросхема TDA5051 складається з наступних елементів:

- генератор імпульсів, де частота подається на другий вихід для синхронізації мікроконтролера, на логіку керування каналу передачі і на логіку керування каналу прийому;

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

сигнал поступає на вихідний каскад. Після вихідного каскаду сигнал потрапляє на фільтр і подається в електричну мережу.

Розглянемо роботу каналу прийому TDA5051.

Вхідний сигнал з електричної мережі через розв'язуючий трансформатор поступає на вхідний регулюючий підсилювач. З підсилювача сигнал опиняється на АЦП, після якого потрапляє на піковий детектор. З нього – на реверсивний лічильник (U/D COUNT) та подається на регулювання підсилення вхідного підсилювача. Також, після АЦП сигнал подається на цифровий фільтр та цифровий демодулятор з якого, у свою чергу, потрапляє на вихід.

2.5 STK500

За допомогою плати STK500 проводиться підтримка роботи PLC модему, оскільки мікроконтролером Atmega128 програмно реалізується обмін даними.

Стартовий набір STK500 включає 8 жовтих світлодіодів та 8 кнопкових перемикачів. Світлодіоди та перемикачі підключені до портів налагодження, які відокремлені від решти плати. Їх можна підключити до пристроїв AVR за допомогою 10-дротового кабелю, що входить до комплекту, до роз'єму штифтів портів вводу-виводу AVR.

Перемикачі, підключені до виводів налагоджувальної плати, реалізовані, як показано на рис. 2.2.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

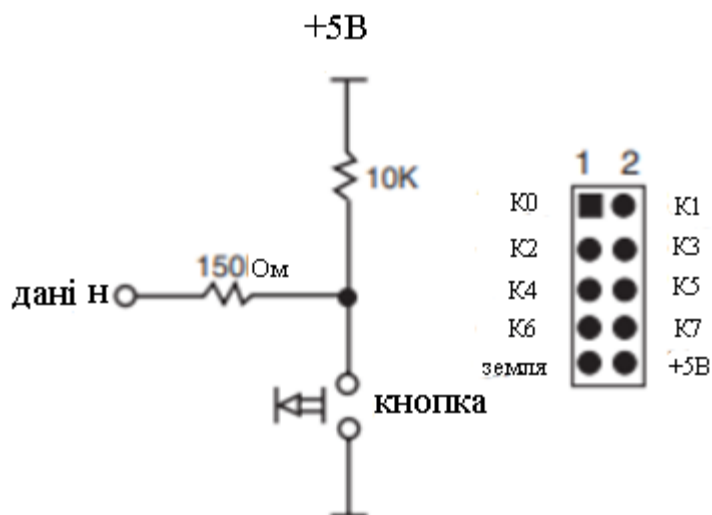


Рис. 2.2 Реалізація перемикачів

Якщо натиснути на перемикач, відповідний рівень буде понижено, тоді як його відпускання призведе до підвищення рівня напруги на відповідному виводі мікроконтролера.

Будь-який порт вводу та виводу AVR може бути підключений до світлодіодів і перемикачів за допомогою 10-жильних кабелів.

Розводку портів вводу та виводу зображена на Рис. 2.3. Квадратне маркування показує перший контакт.

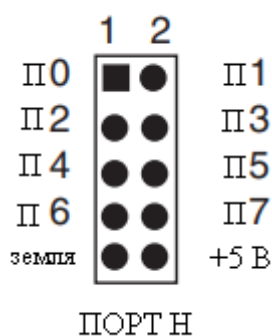


Рис. 2.3 Порт вводу та виводу налагоджувальної плати STK500

Контакти для світлодіодів та перемикачів використовують ту саму розводку, що і контакти портів вводу та виводу. Розводку контакту перемикача пояснено на рис. 2.4, а розводку для світлодіодного контакту - на рис. 2.5. Квадратне маркування позначає перший контакт.

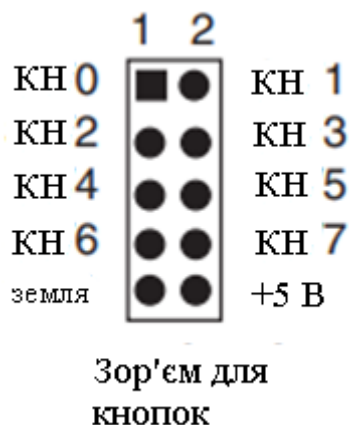


Рис. 2.4 Порт для перемикачів

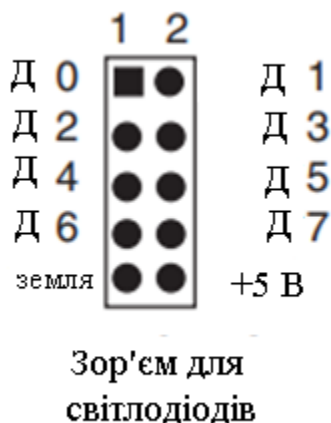


Рис. 2.5 Порт для світло діодів

STK500 включає два порти RS-232. Один порт RS-232 використовується для спілкування з AVR Studio. Інший RS-232 можна використовувати для зв'язку між цільовим мікроконтролером AVR у розетці та послідовним портом ПК, підключеним до RS-232. Щоб використовувати RS-232, контакти UART

AVR повинні бути фізично підключені до RS-232. Необхідно зазначити, що обидва порти є рівнозначними.

Модуль програмування складається з шести контактів. У ці контакти цільові пристрої AVR можна вставити для програмування та використовувати в додатку.

За допомогою програматора, підключеного до роз'єму для програмування, мікроконтролер може бути запрограмований з використанням програми AVR Studio двома різними способами:

- Внутрішнє системне програмування, яке працює при нормальній напрузі живлення;
- Високовольтне програмування, при використанні якого, напруга живлення завжди складає 5В.

Внутрішнього системного програмування використовує внутрішній інтерфейс SPI (послідовний периферійний інтерфейс) для завантаження коду у пам'ять Flash та EEPROM AVR. Для такого програмування потрібні лише VCC, GND, RESET і три сигнальних лінії. Усі пристрої AVR, крім AT90C8534, ATtiny11 та ATtiny28, можуть бути запрограмовані за допомогою внутрішнього системного програмування. AVR можна запрограмувати на нормальну робочу напругу, як правило, вона складає 2,7 - 6,0В. Високовольтні сигнали не потрібні. Використовуючи цей метод, можна програмувати, як внутрішню флеш-пам'ять, так і EEPROM. Він також програмує біти запобіжників для вибору параметрів частоти, часу запуску та внутрішнього детектора пониженої напруги для більшості пристроїв.

Для програмування високої напруги на висновок RESET пристрою AVR подається напруга програмування 12 В. Усі пристрої AVR можна запрограмувати за допомогою програмування високої напруги, коли вони стоять у своєму гнізді.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

2.6 Огляд середовища для розробки креслень

З метою розробки конструкторсько-технічної документації необхідно застосовувати такі різновиди програмного забезпечення, які забезпечують створення та редагування файлів різних форматів, відповідно до необхідного для створення типу документу.

Для виконання подібних завдань можна користуватись такими програмами, як:

- Внутрішнє системне програмування, яке працює при нормальній напрузі живлення;
- Microsoft Word;
- Splan70;
- Layout50.

Для розробки схем та технічних креслень також чудово підходять більш спеціалізовані програми P-CAD, AVR Studio та Proteus. Для роботи було обрано саме P-CAD, оскільки він надає весь необхідний для розробки функціонал, є простим в освоєнні та має велику кількість доступних бібліотек.

2.7 Розробка креслення та друкованої плати для PLC модему

Для виготовлення кінцевого виробу необхідно розробити електричну принципову схему та креслення друкованої плати на основі якого буде виготовлено прототипи PLC модемів.

Слід зазначити, що виконуючи графічну частину дипломного проекту, необхідно дотримуватись основних положень Єдиної системи конструкторської документації.

Електрична принципова схема – це графічний конструкторський документ, що відображає всі основні частини виробу електротехнічного призначення і зв'язки між ними, дає детальне уявлення про принципи роботи виробу.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

Для визначення складу елементів схеми електричної принципової і відомостей про них, на окремих аркушах формату А4 виконується перелік елементів, який оформляється над основним написом у вигляді таблиці, заповненої зверху вниз.

Схема електрична принципова (рис. 2.6) та специфікація елементів розробленого модему, розробленого для дослідження принципу передачі даних по мережі 220В міститься у додатку Б та А.

Кожен елемент, що входить у склад виробу і зображений на схемі, має літерно-цифрове позиційне позначення. Цифри порядкових номерів елементів і їх літерні і позиційні позначення виконуємо одним розміром шрифту по можливості з правого боку або над ними. Порядкові номери елементів на схемі записуємо, як правило, зверху вниз в напрямі зліва направо.

P-CAD Schema – простий і зручний для використання інструмент у середовищі P-CAD для креслення електронних і електричних схем (рис. 2.7), дозволяє легко переносити стандартні позначення елементів та символи з бібліотеки елементів на схему і прив'язувати їх до координатної сітки. У програмі є багато інструментів для креслення і редагування, які роблять розробку схем зручною і ефективною, такі як авто нумерація елементів, складання переліку елементів та інші.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

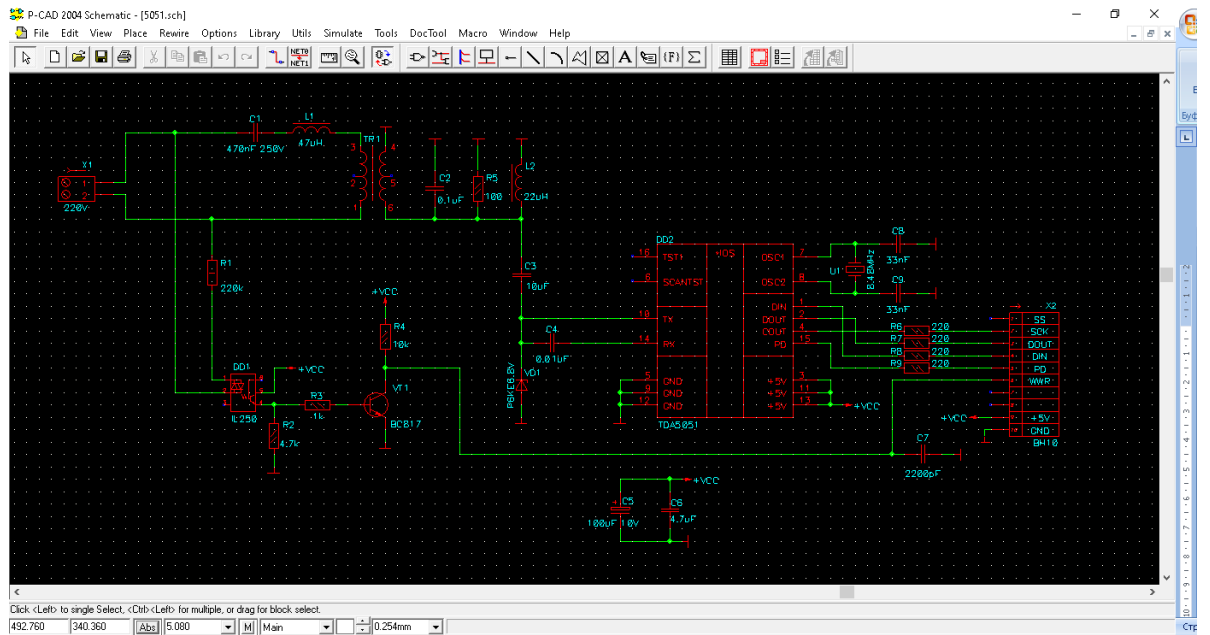


Рис. 2.7 Вигляд вікна у P-CAD Schema

P-CAD Schema має відмінно організовану бібліотеку, елементи якої розділяються за відповідними групами. Для вставки елемента схеми з бібліотеки, достатньо обрати його з даної групи та вставити у схему. Є можливість зробити власну бібліотеку елементів, якщо потрібного елемента раптом не виявилось.

При розробці друкованої плати використовуємо програму P-CAD PCB.

Креслення друкованої плати стенду зображено на рис. 2.8.

										Арк.
										48
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ					

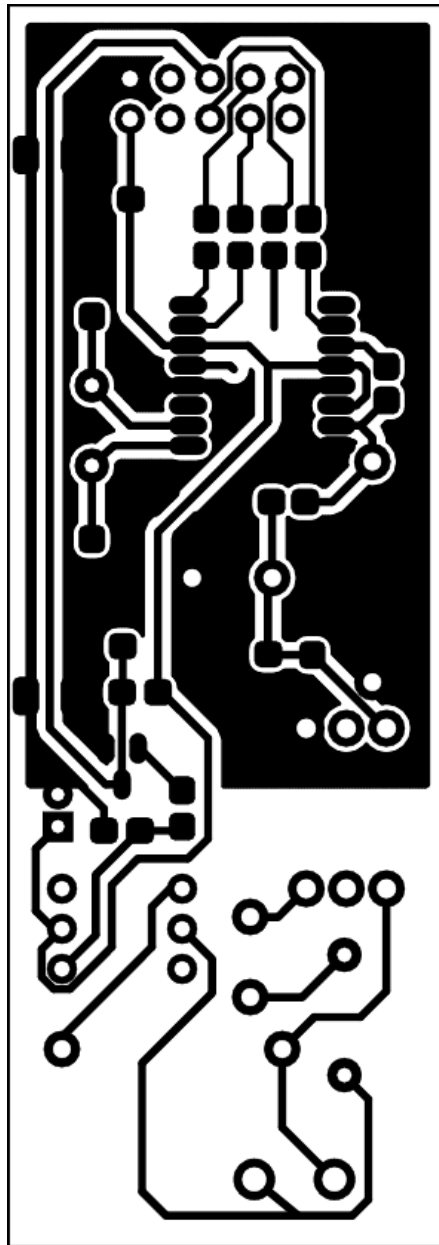


Рис. 2.8 Креслення друкованої плати

P-CAD PCB – це простий і зручний для використання інструмент у середовищі P-CAD, який застосовується для розробки односторонніх та двохсторонніх друкованих плат, а також підтримує можливість реалізації багат шарових друкованих плат.

Програма P-CAD PCB містить інструменти для малювання друкованих провідників, многогранників, написів і т.д.; лупу для вибору зручного масштабу перегляду креслення, а також має бібліотеку компонентів макросів.

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ДП.ДЕ-71.008 ПЗ

Арк.

49

Розробку креслення друкованої плати починаємо з нанесення координатної сітки. За основний крок координатної сітки приймається 2,54 мм.

Креслення друкованої плати – містить всі відомості, необхідні для її виготовлення і контролю: зображення друкованої плати з боку друкованого монтажу; розміри, граничні відхилення всіх її елементів (отворів, провідників), а також розміри відстаней між ними; необхідні технічні вимоги, відомості про матеріал.

Після створення схеми електричної принципової, переліку елементів та креслення друкованої плати є можливість вивести документи на друк. Для цього в середовищі P-CAD передбачені всі необхідні налаштування, такі як:

- Попередній перегляд;
- Вибір формату листа;
- Зміна масштабу;
- Створення Gerber файлів, які дозволяють створювати фотошаблон для виробництва плат;
- Орієнтація листа.

2.8 Виготовлення PLC модему

Завершивши процес створення конструкторсько-технічної документації, необхідно приступити до процесу виготовлення плат.

Процес виготовлення плати починається з нанесення малюнка креслення друкованої плати на попередньо підготовлену пластину фольгованого склотекстоліту. Цей процес було виконано за допомогою за допомогою теплового перенесення креслення, попередньо надрукованого на спеціальному глянцевому папері за допомогою лазерного принтера.

До переваг даного метода можна віднести:

- Простоту виконання;
- Дешевизну процесу;
- Доступність процесу.

									Арк.
									50
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

До недоліків можна віднести:

- Незручність виготовлення двохсторонніх друкованих плат;
- Важкість виготовлення тонких провідних доріжок друкованих плат;
- Неможливість масового виготовлення.

Перший етап - роздрукування трафарету друкованої плати на глянцевому папері з використання лазерного принтера.

Друк трафарету друкованої плати виконується, як правило, відразу з програми, в якій вона була розведена. У програмі потрібно відключити такі зайві шари, як позначення компонентів, замітки, перемички, а також по можливості для шару з доріжками виставити чорний колір.

Тепер необхідно виконати пробний друк на листку звичайного паперу. З його допомогою потрібно уважно перевірити чи правильно роздрукований трафарет, щоб після виготовлення друкованої плати в неї можна було правильно запаювати деякі не симетричні за призначенням виводів компоненти.

Необхідно відмітити, що не можна чіпати роздрукований на папері тонер пальцями, оскільки мікрочастинки покриття шкіри потім можуть погіршити якість утримування тонера після перенесення на метал.

Обрізаємо паперовий трафарет майбутньої друкованої плати, якщо потрібно, то залишаємо по краях трохи простору. Вимірюємо трафарет лінійкою і за отриманими розмірами вирізаємо потрібний шматок з листа склотекстоліту.

Тепер проводимо шліфування мідної поверхні заготовки склотекстоліту за допомогою дрібнозернистого наждачного паперу. Після цього намочуємо шматок вати спиртом та з її допомогою прибираємо сміття і мідну тирсу з відшліфованою поверхні.

Кладемо друковану плату фольгою догори на робочу поверхню на якій плата могла б трохи деформуватися, наприклад на книгу. Не торкаючись тонера і відшліфованої поверхні, кладемо трафарет стороною з тонером на вирізану заготовку та починаємо рівномірно терти розігрітою праскою.

									Адж
									51
Змн.	Адж.	№ док.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

Після цього потрібно відокремити папір від склотекстоліту так, щоб на ньому залишився тільки перенесений тонер. Для цього готуємо невелику посудину з теплою водою. Занурюємо заготовку в воду і даємо паперу розмокнути приблизно 15 хвилин. Коли папір достатньо розмокне, можна його відокремлювати.

Даємо платі просохнути, намочуємо вату в етиловому спирті і з невеликим зусиллям починаємо очищати поверхню доріжок з тонера від мікрочастинок паперу. Далі слід провести коригування доріжок. Можливо з якихось причин деякі доріжки були пошкоджені. Їх необхідно домалювати за допомогою перманентного маркера.

Для травлення друкованих плат був використаний розчин з хлорного заліза. Процес травлення друкованої плати потрібно виконувати в пластиковій посудині та тривати від 10 хвилин. Плата повинна бути розташована мідною стороною донизу, щоб частинки міді після хімічної реакції вільно осідали на дно посудини.

Свердлимо необхідні отвори. Для очищення від тонера і шліфування мідних доріжок знову використовуємо шматочок наждачного паперу, який ми застосовували на початковому етапі підготовки склотекстоліту. Після цієї процедури протираємо обидві поверхні плати змоченою в етиловому спирті ватою.

Пайка проводилась з використанням флюсу та олов'яно-свинцевого припою ПОС-61 паяльником потужністю 35 Вт.

Кінцевий вигляд модему продемонстровано на рис. 2.9 та 2.10.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

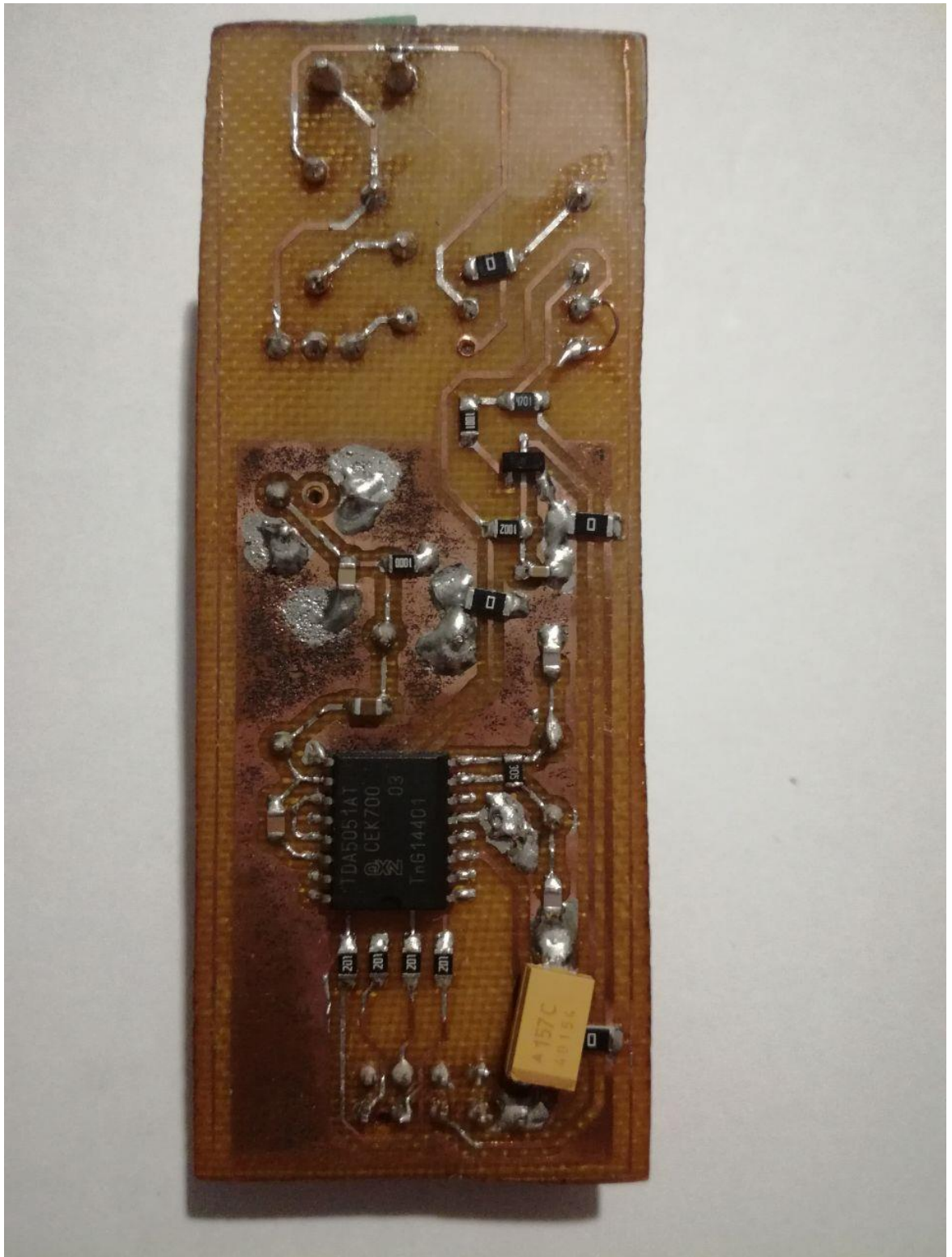


Рис. 2.9 PLC модем №1 вид з боку друку

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

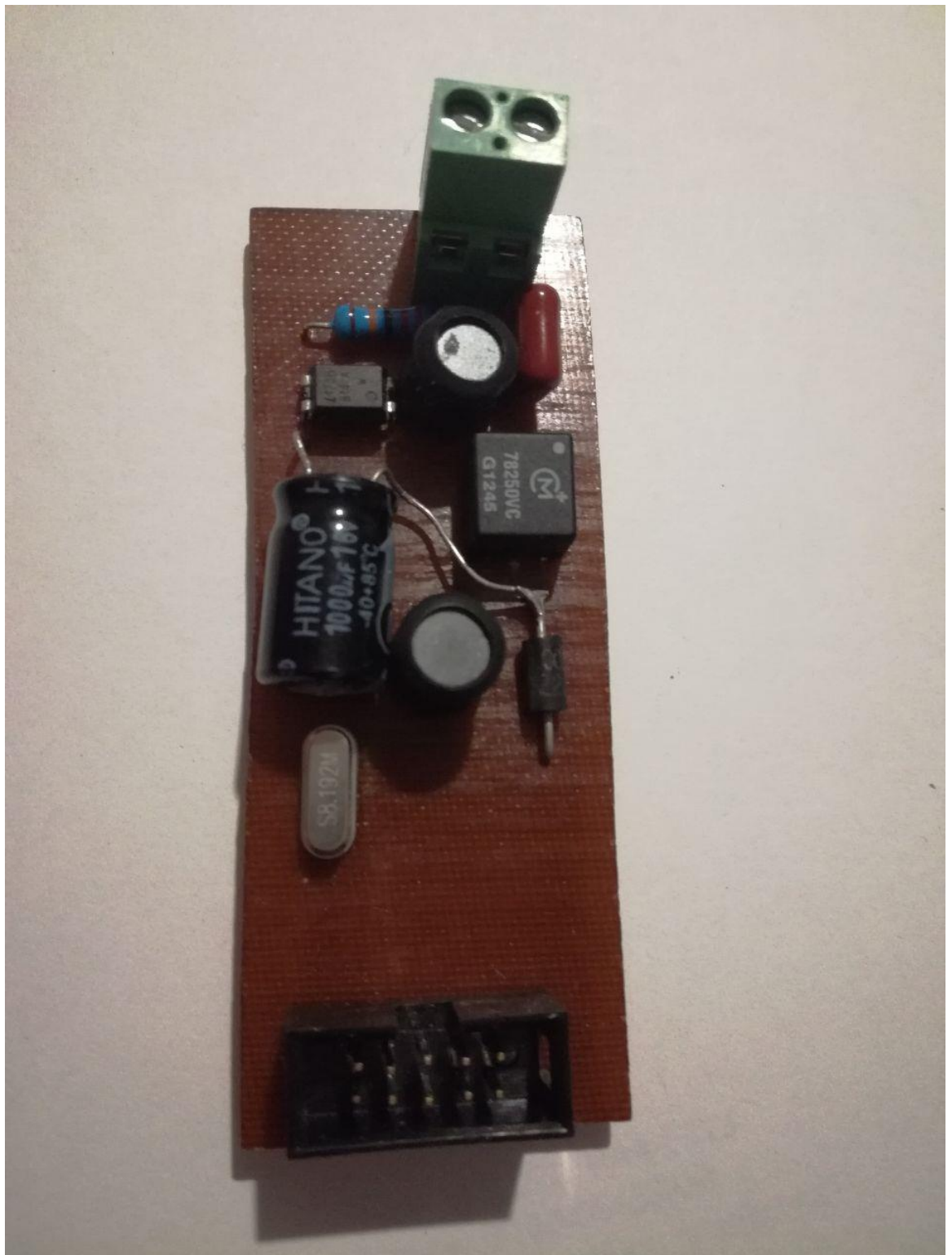


Рис. 2.10 PLC модем №1 вид з боку елементів

					ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		54

Висновки до розділу 2

В даному розділі було описано процес розробки PLC модемів. Проведено необхідну підготовку конструкторської документації на основі якої, було виготовлено прототипи.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Мова програмування

Мова С - це мова низького рівня. У такій характеристиці немає нічого образливого; це просто означає, що С має справу з об'єктами того ж виду, що й більшість ЕОМ, а саме, з символами, числами і адресами. Вони можуть об'єднуватися і пересилатися за допомогою звичайних арифметичних і логічних операцій, здійснюваних реальними ЕОМ.

У мові С відсутні операції, що мають справу безпосередньо зі складовими об'єктами, такими як рядки символів, множини, списки або з масивами, які розглядаються як ціле. Мова не надає ніяких інших можливостей розподілу пам'яті, окрім статичного визначення і механізму стеків, що забезпечується локальними змінних функцій; тут немає ні "куп" (HEAP), ні "збирання сміття". Нарешті, сам по собі С не забезпечує ніяких можливостей вводу-виводу: тут немає операторів READ або WRITE і ніяких вбудованих методів доступу до файлів. Всі ці механізми високого рівня повинні забезпечуватися явно викликаються функціями. Аналогічно, мова С пропонує тільки прості, послідовні конструкції потоків управління: перевірки, цикли, групування і підпрограми, але не мультипрограмування, паралельні операції, синхронізацію або співпрограми.

Компілятор з С може бути простим і компактним. Крім того, компілятори легко пишуться; при використанні сучасної технології можна очікувати написання компілятора для нової ЕОМ за пару місяців і при цьому виявиться, що 80 відсотків програми нового компілятора буде спільною з програмою для вже існуючих компіляторів. Це забезпечує високу ступінь мобільності мови. Оскільки типи даних і структури управління, наявні в С, безпосередньо підтримуються більшістю існуючих ЕОМ, бібліотека, необхідна під час прогону ізольованих програм, виявляється дуже маленькою.

									Арк.
									56
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

Хоча С відповідає можливостям багатьох ЕОМ, він не залежить від будь-якої конкретної архітектури машини і в силу цього без особливих зусиль дозволяє писати "стерпні" програми, тобто програми, які можна пропускати без змін на різних апаратних засобах.

Мова С включає основні конструкції потоку управління, необхідні для добре структурувати програм: групування операторів, прийняття рішень (IF), цикли з перевіркою завершення на початку (WHILE, FOR) або в кінці (DO) і вибір одного з безлічі можливих варіантів (SWITCH).

У мові С є покажчики і можливість адресної арифметики. Аргументи передаються функції за допомогою копіювання значення аргументу, і викликана функція не може змінити фактичний аргумент, що викликає в програмі. Якщо бажано добитися "виклику за посиланням", можна неявно передати покажчик, і функція зможе змінити об'єкт, на який цей покажчик вказує. Імена масивів передаються зазначенням початку масивів, так що аргументи на кшталт масивів ефективно викликаються за посиланням.

Мова С не є мовою строгих типів. Він порівняно поблажливий до перетворення даних, хоча і не буде автоматично перетворювати типи даних з невимушеністю. Існуючі компілятори не передбачають ніякої перевірки під час виконання програми індексів масивів, типів аргументів і т.д.

Відповідно до розглянутої інформації, можна виділити такі основні переваги мови С:

- Простота вивчення;
- Простота написання програм;
- Висока функціональність;
- Гнучкість;
- Можливість використання на різних платформах;
- Наявність великої кількості бібліотек;
- Гарна читаність коду.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	Адк.
Змн.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

3.2 Середовище програмування

AVR Studio являє собою професійне інтегроване середовище розробки для написання і налагодження прикладних програм для мікроконтролерів AVR. Середовище є простим та зручним у користуванні та дозволяє розробляти програмні додатки використовуючи мови C, C++ та Assembler. Також, слід зазначити, що це середовище розробки володіє широкою підтримкою різних програматорів та можливістю легко додатково завантажити необхідні протоколи для роботи з ними.

Загалом, до переваг AVR Studio можна віднести такі пункти:

- Розробка та налагодження проектів на мовах C, C++ та Assembler за допомогою вбудованого компілятора;
- Наявність майстра проектів;
- Велика бібліотека прикладів дизайну проектів;
- Внутрішнє системне програмування та налагодження;
- Можливість налагодження периферійних пристроїв;
- Велика бібліотека драйверів та додатків, яка дозволяє значно розширювати можливості у розробці проектів;
- Можливість моніторингу переривань;
- Можливість статичного переривання коду;
- Можливість імпортувати розробки для Arduino, як проекти на мові C++;
- Можливість контролювати продуктивність та енергоспоживання;
- Підтримка великої кількості пристроїв AVR;
- Симуляція мікроконтролера;
- Магазин додатків компанії розробника, який забезпечує можливість оперативно та зручно отримувати необхідні додаткові.

Для реалізації проекту в середовищі AVR Studio необхідно виконати таку послідовність дій:

- Створення проекту;

									Адк.
									58
Змн.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

- Завантаження файлу;
- Компіляція;
- Симуляція;
- Завантаження коду hex-файлу в мікроконтролер.

3.3 Опис розробленого алгоритму

Кінцевий виріб являє собою два з'єднаних по мережі з напругою 220В PLC модеми. Кожен з них керується за допомогою мікроконтролерів ATmega128, які є складовими плат STK500 (рис. 3.1).



Рис. 3.1 STK500 під'єднана до електричної мережі за допомогою розробленого PLC модему

Метою розробленого проекту слугує демонстрація можливості передавання даних через мережу.

При ввімкненні, мікроконтролер читає порт С з яким з'єднано вісім кнопок. При натисканні кнопок відбувається зчитування порту, встановлення

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

парності кількості бітів, підрахунок контрольної суми та відправлення у мережу.

Другий мікроконтролер, прийняв дані, переслані за допомогою PLC модемів, перевіряє контрольну суму та парність бітів інформації. У випадку, якщо перевірка пройдена без виявлення помилок, дані інвертуються, підраховується контрольна сума, відбувається перевірка на парність та надсилається відповідь першому мікроконтролеру.

Отримавши інформаційний пакет, перший модем перевіряє контрольну суму та парність. У випадку, якщо контрольна сума та парність співпадають, мікроконтролер виводить сигнал на порт А. Після цього, відбувається загорання або затухання певних світлодіодів, відповідно до переданої інформації.

Висновки до розділу 3

В даному розділі було розглянуто основні особливості мови програмування С. Розглянуто головні особливості роботи з програмним забезпеченням AVR Studio. Пояснено алгоритм роботи розроблених програм.

					<i>ДП.ДЕ-71.008 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>60</i>

ВИСНОВКИ

В даній роботі було проведено аналіз науково-технічної літератури з якої підкреслено основні принципи роботи технології Power Line Communication та можливості її реалізації. Розглянуто основні складові частини PLC модемів, принципи їх роботи та проведено порівняльний аналіз.

Детально описано процес створення технічної документації на прототипи модемів та розглянуто особливості роботи їх складових модулів. Проведено опис можливостей програмного забезпечення, використаного з цією метою.

Також, було описано і технологічний процес виготовлення кінцевого виробу.

До головних переваг створеного PLC модему можна віднести:

- Можливість подальшої модернізації;
- Можливість провести практичне ознайомлення з технічним процесом передачі даних по електричній мережі;
- Широкі можливості у вивченні написання програмного забезпечення для реалізації технології Power Line Communication.

Розглянуто особливості використання мови програмування C та основи роботи з програмним забезпеченням AVR Studio.

Описано алгоритм розроблених програм, які було розроблено для перевірки можливостей основних функцій PLC модемів.

									Арк.
									61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.ДЕ-71.008 ПЗ				

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Комаровський М. М. Передача сигналів по лініям електропередач // Електроніка та акустика // XIV Міжнародна науковотехнічна конференція молодих вчених «Електроніка-2021», 2021.

2. Лях В. В., Молчанов В. М., Судакова И. В., Павличенко И. В. Кабельная линия напряжением 330 кВ – новый этап развития электрических сетей Украины // Электрические сети и системы, 2009.

3. Жуйков В.Я., Терещенко Т.О., Хохлов Ю.В. Передавання сигналів керування в умовах завод. Навчальний посібник. – К.: Аверс, 2010.

4. Власов В.Е., Парфенов Ю.А., Рысин Л.Г., Кайзер Л.И. Кабели СКС на сетях электросвязи: теория, конструирование, применение. — М.: Эко-Трендз, 2006.

5. Балашов В.А., Копийка О.В., Ляховецкий Л.М. VDSL — ближайшее будущее цифрового абонентского доступа // Зв'язок, 2005.

6. Щерба А. А., Подольцев А. Д., Кучерявая И. Н. Электромагнитные процессы в кабельной линии с полиэтиленовой изоляцией на напряжение 330 кВ // Техн. Електродинаміка, 2013.

7. Щерба А.А, Лободзинский В.Ю. Математическое моделирование электромагнитных процессов в трехфазной кабельной линии электропередачи при разных транспозициях экранов однофазных кабелів, 2011.

8. Лашко А.Г. Высокочастотные параметры передачи двухжильных проводов домовой электропроводки, применяемых в технологии ВРЛ, 2013.

9. Балашов В.А., Воробієнко П.П., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М. Сети и оборудование широкополосного доступа по технологиям xDSL, 2011.

10. Білінський Й. Й., Огородник К. В., Юкиш М. Й. Електронні системи, 2017.

11. Керніган Б., Рітчі Д. C programming Language, 1992.

12. Гребнев В. В. Микроконтроллеры AVR фирмы Atmel.

											ДП.ДЕ-71.008 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								62

ДОДАТОК А

Позна-чення	Найменування	Кільк.	Примітки
	Конденсатори		
C1	MPR10 – 250V – 470 нФ	1	
C2	0805 – NPO – 150V – 0,1 мкФ ±10%	1	
C3	0805 – NPO – 150V – 10 мкФ ±10%	1	
C4	0805 – NPO – 150V – 0,01 мкФ ±10%	1	
C5	SKP102M1CG16 – 16V – 1000 мкФ ±20%	1	
C6	0805 – NPO – 150V – 4,7 мкФ ±10%	1	
C7	0805 – NPO – 150V – 2200 ПФ ±10%	1	
C8, C9	0805 – NPO – 150V – 33 нФ ±10%	2	
	Мікросхеми		
DD1	TDA5051	1	NXP
	Котушки		
L1	DPM1 – 22 мкГн	1	
L2	DPM1 – 47 мкГн	1	
	Резистори		
R1	MOR2W-S – 2W – 220 кОм ±5%	1	
R2	0805 – 0,25W – 4,7 кОм ±5%	1	
R3	0805 – 0,25W – 4,7 кОм ±5%	1	
R4	0805 – 0,25W – 10 кОм ±5%	1	

					ДП.ДЕ-71.008 ПЕ				
Із м	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
<i>Розроб.</i>	<i>Микола КОМАРОВСЬКИЙ</i>				Передача даних по силових лініях електричної мережі. Перелік елементів	Літ			
<i>Перевір</i>	<i>Микола КОБАК</i>						Лист		Листів
							1		2
<i>Н.контр</i>	<i>Павло САФРОНОВ</i>					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, ЕПС, гр. ДЕ-71			
<i>Затверд</i>	<i>Микола КОБАК</i>								

Схема електрична принципова

Схема електрична структурна

Схема електрична принципова

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

Програма для перевірки роботи PLC модемів

```
#define F_CPU 16000000UL // 8 MHz

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <stdio.h>

#define BOTTON_DATA          PINC
#define USART_DATA           UDR1
#define USART_STATUS         UCSR1A

#define USART1_TRANSMIT_COMPLETE (USART_STATUS & (1<<TXC))
#define USART1_RECEIVE_COMPLETE (USART_STATUS & (1<<RXC))
#define USART1_DATA_REGISTER_EMPTY (USART_STATUS & (1<<UDRE))

#define BAUDRATE              600
#define USART_CALC_UBRR(baudrate) (F_CPU/(16*(baudrate))-1)

#define READ_DATA_ERROR      -1
#define READ_DATA_OK         1
#define NO_DATA               0

//-----
//      Init USART
//-----
void USART_Init() {
    // Set baud rate according to ATmega128 datasheet
    UBRR1L = (unsigned char) (USART_CALC_UBRR (BAUDRATE) & 0xFF);
    UBRR1H = (unsigned char) (USART_CALC_UBRR (BAUDRATE) >> 8);

    // Enable USART1 TX and RX
    //      UCSR1B = 0b00011000;
    UCSR1B = (1 << RXEN) | (1 << TXEN);

    // Set 8bit, odd-parity, 1 stop bit
```

```

    //    UCSR1C = 0b00110110;
    UCSR1C = (1<<UPM11)|(1<<UPM10)|(1<<UCSZ11) | (1<<UCSZ10);
}

void UART_send_char(uint8_t ch) {
    // Wait until data register gets empty
    while (!USART1_DATA_REGISTER_EMPTY);
    // Write data to register
    USART_DATA = ch;
    // Wait until data will be sent
    while (!USART1_TRANSMIT_COMPLETE);
}

// Function returns
//  0 - if no data received (NO_DATA)
// -1 - if error occurred (READ_DATA_ERROR)
//  1 - if data present and store data at the `*ch` (READ_DATA_OK)
int UART_read_async(uint8_t* ch) {
    unsigned char status;

    status = USART_STATUS;
    if (!(status & (1<<RXC))) {
        return NO_DATA;
    }

    // Read always, even error occurred to clear error flag
    *ch = UDR1;

    if (status & ((1<<FE)|(1<<DOR)|(1<<UPE)) ) {
        // We've got one of FrameError, Data OverRun, ParityError
        return READ_DATA_ERROR;
    }

    return READ_DATA_OK;
}

void UART_flush() {
    uint8_t ch;
    while (USART_STATUS & (1<<RXC)) {
        ch = UDR1;
    }
}

void modem_send_char(unsigned char ch) {
    UART_send_char(ch);

    // Modem has one line, so we will receive our char as echo

```

```

    // Read echo from modem
    while (!UART_read_async(&ch));
}

// calc crc8 based on example from the internet
uint8_t calc_crc8(const uint8_t* data, unsigned len) {
    uint8_t crc = 0xFF;
    unsigned i, j;

    for (i=0; i<len; i++) {
        crc ^= data[i];
        for (j=0; j<8; j++) {
            if ((crc&0x80) != 0) {
                crc = (uint8_t)((crc<<1) ^ 0x31);
            } else {
                crc <<= 1;
            }
        }
    }

    return crc;
}

// Our message consists from data byte and CRC8 byte
void modem_send_message(unsigned char ch) {
    modem_send_char(ch);
    _delay_ms(1);
    modem_send_char(calc_crc8(&ch, 1));
}

void UART_send_string(const char* str) {
    while(*str) {
        //modem_send_char(*str);
        ++str;
    }
}

// Read 1-byte message from the line
// Function returns
// 0 - if no data received (NO_DATA)
// -1 - if error occurred (READ_DATA_ERROR)
// 1 - if data present and store data at the `*ch` (READ_DATA_OK)
int modem_read_message(unsigned char* ch) {
    int read_result_1, read_result_2, wait_time;
    uint8_t income_crc8;

```

```

read_result_1 = UART_read_async(ch);
if (read_result_1 == NO_DATA) {
    // No data present in the buffer
    return NO_DATA;
}

// We've received the first byte from the message.
// at any case we must receive both of the bytes

wait_time = 0;
do {
    _delay_ms(1);
    if (wait_time > (10+1000/(BAUDRATE/11))) {
        // We didn't receive crc byte in lbyte send time + 10ms time
        UART_send_string("ND1\r");
        return READ_DATA_ERROR;
    }
    read_result_2 = UART_read_async(&income_crc8);
    ++wait_time;
} while(read_result_2 == NO_DATA);

UART_send_string("F1\r");

if ((read_result_1!=READ_DATA_OK) || (read_result_2!=READ_DATA_OK)) {
    UART_send_string("E1\r");
    return READ_DATA_ERROR;
}

if (income_crc8 != calc_crc8(ch, 1)) {
    UART_send_string("E2\r");
    // CRC error, report error
    return READ_DATA_ERROR;
}

return READ_DATA_OK;
}

void led_show_value(uint8_t data) {
    DDRA = 0xFF;

    // We need to show income signal
    PORTA = data;
}

int get_button_values(uint8_t* data) {
    // Set PortC direction to INPUT
    DDRC = 0x00;

```

```

// Activate pull-up resistor
PORTC = 0xFF;

// declare static (eq. to global variable)
// init it to 0xFF (default value for non-pressed buttons
static uint8_t previous_state = 0xFF;

uint8_t current_state = PINC;

if (current_state == previous_state) {
    // button state is unchanged
    // just return with non-successfull code
    return 0;
}

// Save current state as previous state and return the value
*data = previous_state = current_state;

// Button state is changed!
return 1;
}

```

```

int main (void)
{
    USART_Init();

    uint8_t ch;
    int read_result;
    unsigned char button_value, answer_read;
    int wait_time;

    //UART_send_string("\rProgram has started\r");

    for(;;) {
        //if(0) for deviclle wich use buttons and if(1) for another device
        if (0) {
            // Physical buttons absent
            read_result = modem_read_message(&ch);
            if (read_result == READ_DATA_OK) {
                modem_send_message(ch^0xFF);
            }
        } else {
            // Physical buttons present

            if (!get_button_values(&button_value)) {
                continue;
            }
        }
    }
}

```


S U M M A R Y

Data transmission by PLC devices in electrical networks

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization Electronic devices and gadgets Komarovski Mykola. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE-71. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. - 77 p., Ill. 26, tables 1.

Keywords: Power Line Communication, PLC modem, design documentation, TDA5051

Summary of the project:

“Power Line Communication technologies are actively developing and becoming more and more popular all over the world. They are used in the automation of technological processes, the organization of video surveillance systems and even to manage a "smart" house.”[1]

“Research in the field of data transmission using the grid has been conducted for a long time. In the past, the use of PLC was hampered by low data rates and insufficient protection against interference. The development of microelectronics and the creation of modern, and most importantly more productive processors, have made it possible to use complex modulation methods for signal processing, which has significantly advanced in the implementation of PLC.”[1]

“Today, PLC is widely used in practice. Due to the fact that the technology uses the existing power grid, it can be used in the automation of technological processes for the connection of automation units by power lines (for example, city meters).”[1]

“The widespread use of low-voltage electrical networks, the absence of the need for expensive work on the construction of trenches and punching walls for

laying cables stimulate increased interest in these networks as a medium of data transmission.”[1]

“A large number of factors must be taken into account in order to organize communication channels on power lines. The nature of the network will depend on factors such as: industry and purpose, the size of the network itself, which is used to transmit signals, the physical parameters of the grid and the signals generated to the grid by electricity consumers.”[1]

“Currently, the most widespread use of communication via power lines is observed in industry, agriculture and household. Depending on the purpose, the communication channels on the power lines can be divided into low-speed and high-speed.”[1]

A wide range of PLC modems is currently available on the market. In addition to the range, the developers also offer an extremely wide range of functionality. This, in turn, causes demand for the design of new products, which in their work have the functionality to use Power Line Communication technology.

Under such conditions, there is a demand for simple PLC modems, which in turn would allow to conduct research in the field of home and industrial equipment with the possibility of expanding its functionality using Power Line Communication technology.

Also, such modems can serve as a means to study this method of transmitting information in general.

This work analyzes the scientific and technical literature which describes the basic principles of Power Line Communication technology and the possibility of its design.

The main components of PLC modems, principles of their work are considered and comparisons are made.

The process of creating technical documentation of a prototype of modems is described in detail and features of work of their component modules are considered. The work of TDA5051 is considered in detail (Fig. 1).

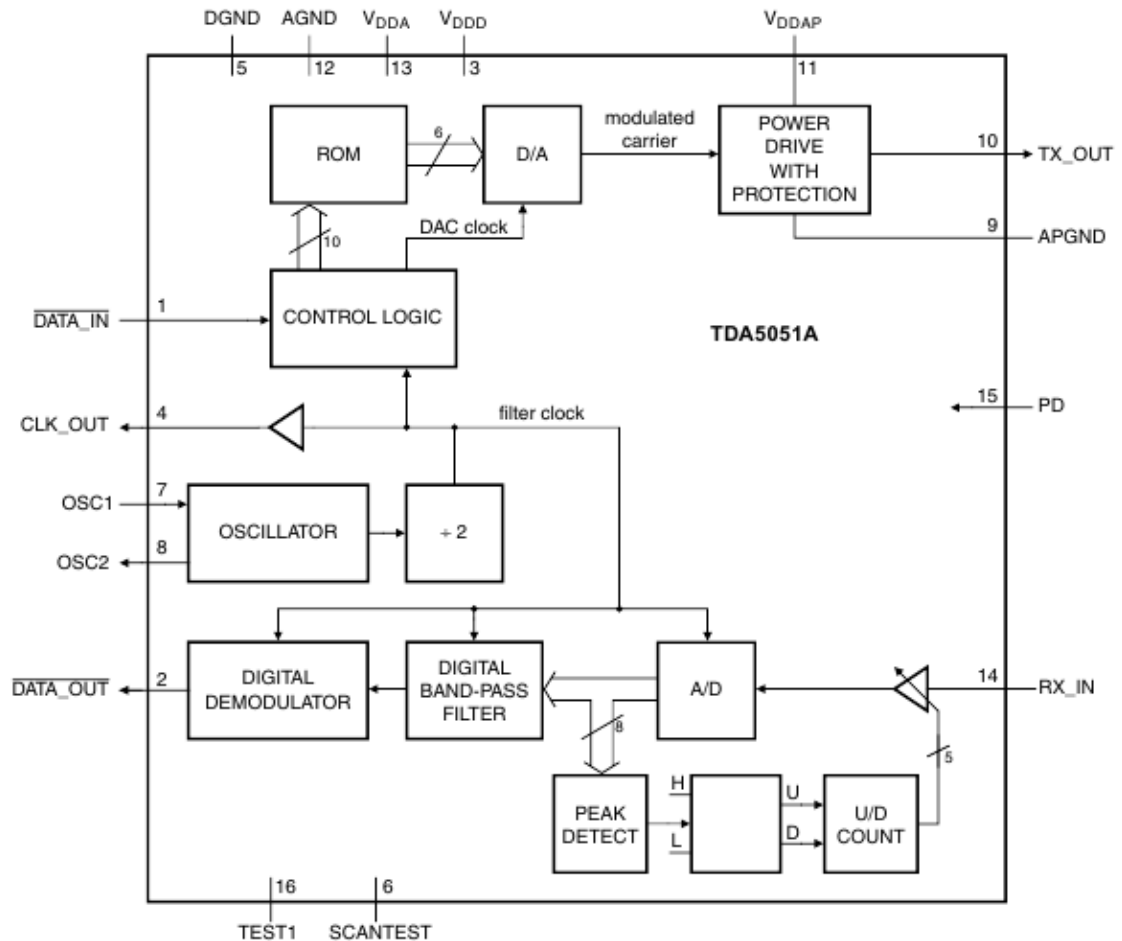


Fig. 1 TDA5051

Consider the operation of the transmission channel TDA5051.

The input data from the first leg (DATA IN) is fed to the control logic, which generates the data and synchronization. They come to the DAC from which the signal comes to the output stage. After the output stage, the signal enters the filter and is fed into the mains.

Consider the operation of the receiving channel TDA5051.

The input signal from the mains via the decoupling transformer is fed to the input control amplifier. From the amplifier the signal is on the ADC, after which it hits the peak detector. From it - to U / D COUNT and is fed to the gain control of the input amplifier. Also, after the ADC, the signal is fed to a digital filter and a digital demodulator from which, in turn, enters the output.

P-CAD software was used to create the technical documentation. The description of software possibilities is carried out.

Also, the technological process of manufacturing the final product was described.

The main advantages of the created PLC modem include:

- Possibility of further modernization;
- Opportunity to conduct a practical acquaintance with the technical process of data transmission over the electrical network;
- Opportunities to study the writing of software for the implementation of Power Line Communication technology.

The peculiarities of using the C programming language and the basics of working with AVR Studio software are considered.

The operation of the algorithm of the developed programs, which was developed to test the capabilities of the main functions of PLC modems, is described.

Consider the algorithm of the program in more detail.

When turned on, the microcontroller reads port C to which eight buttons are connected. When you press the buttons, the port is read, the number of bits is parted, the checksum is calculated and sent to the network.

The second microcontroller, received data sent by PLC modems, checks the checksum and parity of bits of information. If the check is passed without detecting errors, the data is inverted, the checksum is calculated, the parity check is performed and the response is sent to the first microcontroller.

After receiving the information package, the first modem checks the checksum and parity. If the checksum and parity match, the microcontroller outputs a signal to port A. After that, certain LEDs light up or go out, according to the transmitted information.

Visually, the program algorithm is shown in Fig. 2.

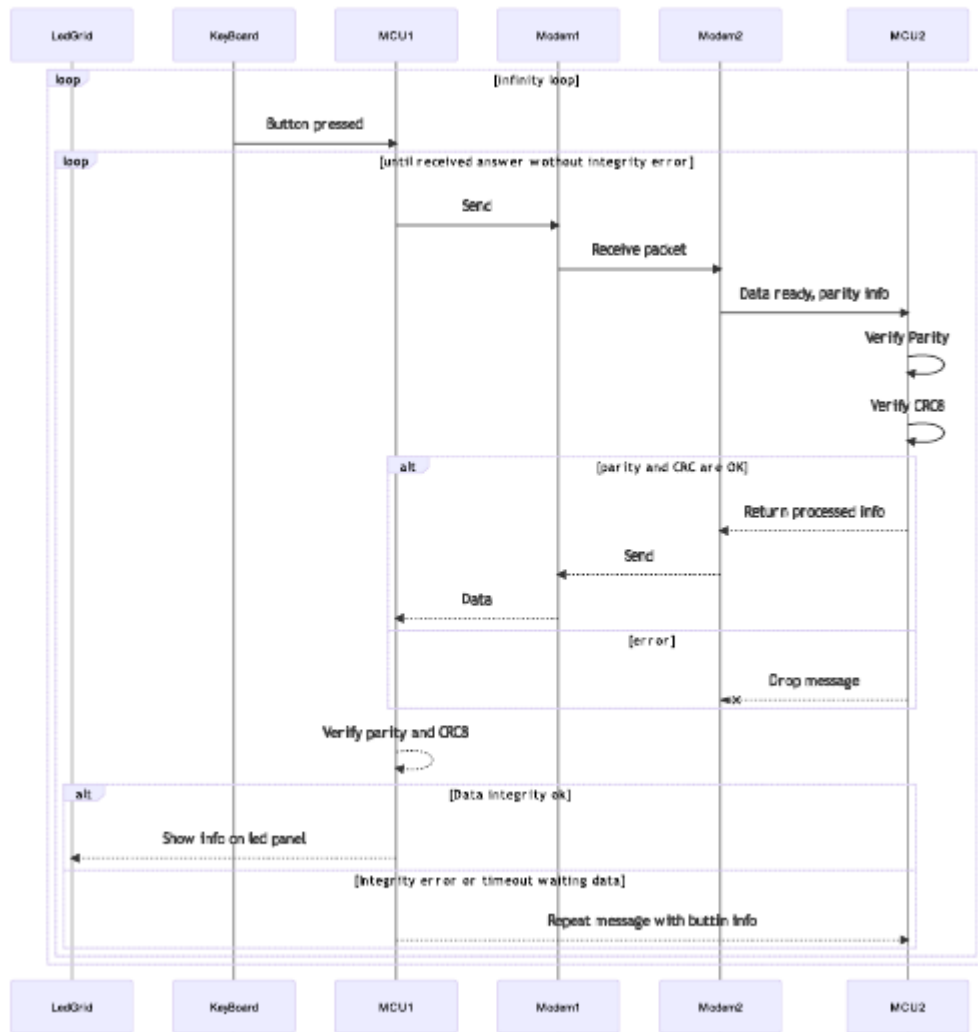


Fig. 2 Algorithm of program