

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНИКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

Мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5
спеціальності

152 Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

Каліновський Ілля Мирославович

Керівник д.т.н., проф. кафедри ІВТ

Пількевич Ігор Анатолійович

Рецензент _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

інформаційно-вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

«22» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студенту Каліновському Іллі Мирославовичу

1. Тема роботи: Мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі

Затверджена Наказом по університету від «22» квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «11» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи вивід виміряних значень рівня рідини на дисплей, розрахунок надійності та точності вимірювання рівня рідини, точність системи не менше $\pm 0,14$ мм.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) технічне завдання, аналіз сучасних пристроїв вимірювання рівня рідини, розробка структурної та принципової схеми, розробка алгоритму та програми, розробка друкованої плати

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму, друкована плата

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-7	Пількевич І.А.		

7. Дата видачі завдання 22 квітня 2026 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення змісту	22.04.2026-23.04.2026	
2	Аналіз аналогічних пристроїв вимірювання рівня рідини	24.04.2026-26.04.2026	
3	Опис технічного завдання	27.04.2026-29.04.2026	
4	Обґрунтування складових елементів системи	1.05.2026-4.05.2025	
5	Розробка структурної та принципової схем системи	5.05.2026-10.05.2026	
6	Розрахунок надійності та точності системи	12.05.2026-13.05.2026	
7	Розробка блок-схеми алгоритму та програми	15.05.2026-17.05.2026	
8	Оформлення дипломної роботи та презентації	18.05.2026-10.06.2026	

Студент _____ Каліновський І.М.
 (підпис) (прізвище та ініціали)
 Керівник роботи _____ Пількевич І.А.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі» містить 66 сторінок, 20 рисунків, 4 таблиці, 9 формул, 19 джерел.

В роботі проводиться обґрунтування актуальності створення мікропроцесорної системи для точного вимірювання та контролю рівня рідини в резервуарах.

Розроблено структурну та принципову схеми мікропроцесорної системи вимірювання рівня рідини, здійснено вибір сучасної елементної бази та датчиків. Проектування пристрою включає розробку друкованої плати, розрахунок її надійності, а також створення алгоритму функціонування системи та відповідного програмного забезпечення для мікроконтролера.

Ключові слова: рівень рідини, мікроконтролер KM1816BE51, ультразвуковий датчик, сирена

ANNOTATION

Bachelor's thesis on the topic "Microprocessor system for measuring liquid level in a tank" contains 66 pages, 20 figures, 4 tables, 9 formulas, and 19 references.

The thesis provides a substantiation of the relevance of developing a microprocessor system for accurate measurement and control of liquid levels in tanks.

The structural and schematic diagrams of the microprocessor liquid level measurement system have been developed, and a selection of modern electronic components and sensors has been made. The device design includes the development of a printed circuit board (PCB), its reliability calculation, as well as the creation of the system's operational algorithm and the corresponding microcontroller software.

Keywords: liquid level, KM1816VE51 microcontroller, ultrasonic sensor, siren.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	7
1.1. Призначення та область застосування.....	7
1.2. Умови експлуатації	8
1.3. Технічні параметри системи.....	9
1.4.Вимоги до конструктивного оформлення.....	10
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	11
2.1. Огляд існуючих систем.....	11
2.2. Порівняльний аналіз систем.....	16
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	18
3.1. Обґрунтування мікроконтролеру.....	19
3.2. Обґрунтування датчика рівня рідини.....	21
3.3. Обґрунтування дисплея.....	22
3.4. Обґрунтування звукового та світлового оповіщення.....	24
3.5. Обґрунтування кнопки	25
3.6.Обґрунтування блока живлення.....	26
3.7. Структурна схема.....	27
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	29
4.1. Вибір мікроконтролеру.....	29
4.2. Вибір ультразвукового датчика.....	33
4.3. Вибір дисплея.....	34
4.4.Вибір світлового та звукового оповіщення.....	37
4.5.Вибір тактової кнопки.....	38
4.6.Вибір блока живлення.....	40
4.7. Побудова принципово-електричної схеми.....	43
4.9. Розрахунок похибок визначення рівня рідини.....	44
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	47
5.1. Розробка алгоритму	47
5.2. Розробка програми.....	49
6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА.....	52
6.1.Розробка друкованої плати.....	52
6.2. Розрахунок надійності системи.....	55
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
7.1. Охорона праці.....	59
7.2. Охорона праці при вимірюванні рідини на підприємстві.....	60
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТКИ.....	67

					МММТ 480.009.009 – ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Каліновський І.М.			Мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Пількевич І.А.					5	66
Рецензент						ДЧ «Житомирська політехніка», МТ-5		
Н. контр.								
Затверд.		Подчаїнський Ю.О						

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку промислового виробництва, житлово-комунального господарства та агропромислового комплексу автоматизація процесів контролю технологічних параметрів є одним із ключових факторів підвищення ефективності та безпеки. Серед таких параметрів особливе місце посідає рівень рідини в різноманітних резервуарах, сховищах та технологічних місткостях. Точний та оперативний моніторинг рівня дозволяє запобігти аварійним ситуаціям (переповненню або критичному спорожненню резервуарів), оптимізувати витрати ресурсів та забезпечити безперервність технологічного циклу.

Традиційні механічні та контактні методи вимірювання рівня часто мають обмежений ресурс надійності, чутливі до хімічних чи фізичних властивостей рідини та потребують постійного технічного обслуговування. Натомість застосування безконтактних методів, зокрема ультразвукового, у поєднанні з мікропроцесорними засобами обробки інформації, дозволяє створити гнучкі, високоточні та надійні системи контролю. Використання мікроконтролерів сімейства 8051 (зокрема вітчизняного аналога КМ1816ВЕ51) є класичним та економічно виправданим підходом для побудови локальних систем автоматизації, оскільки вони забезпечують достатню обчислювальну потужність, жорстку логіку реального часу та високу завадостійкість за низької собівартості апаратної частини. Таким чином, розробка мікропроцесорної системи вимірювання рівня рідини в резервуарі з функцією аварійної сигналізації є актуальною науково-технічною задачею.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованого вимірювання та контролю технологічних параметрів рідких середовищ у замкнених місткостях.

Предмет дослідження – мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини на базі мікроконтролера з використанням ультразвукового каналу зчитування даних та контуру аварійної сигналізації.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методи дослідження. Для розв’язання поставлених завдань використано методи теорії автоматичного керування, принципи побудови мікропроцесорних систем, методи схемотехнічного моделювання електронних пристроїв, а також методи інженерного проектування друкованих плат та оцінки надійності та точності інформаційно-вимірювальних систем.

Мета дослідження – проектування та розробка мікропроцесорної системи для безконтактного вимірювання, моніторингу та контролю рівня рідини в резервуарі з можливістю світлозвукового оповіщення про критичні стани об’єкта.

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

1. Провести аналіз існуючих методів та технічних засобів вимірювання рівня рідини, обґрунтувати вибір ультразвукового методу.
2. Розробити структурну та принципову електричну схеми системи.
3. Розробити топологію двосторонньої друкованої плати пристрою та виконати розрахунок її надійності та точності.
4. Створити блок-схему алгоритму функціонування системи та написати програмне забезпечення для мікроконтролера.
5. Розглянути охорону праці при роботі з Мікропроцесорною системою вимірювання рівня рідини в резервуарі.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі призначена для автоматизації процесів технологічного моніторингу та має такі основні функції:

1. Точне безконтактне вимірювання: безперервне визначення поточного рівня або об'єму рідини в резервуарах за допомогою ультразвукового датчика без прямого контакту з середовищем.

2. Контроль у реальному часі: відстеження динаміки заповнення чи спорожнення місткості та виявлення відхилень від заданих технологічних параметрів.

3. Аварійна сигналізація та безпека: запобігання аварійним ситуаціям (переливанню, сухому ходу насосів) шляхом автоматичного ввімкнення світлозвукового оповіщення (сирени) у разі досягнення критичних (мінімальних чи максимальних) рівнів.

4. Оптимізація процесів: забезпечення точного дозування рідин, стабілізації технологічних циклів та підвищення загальної ефективності роботи обладнання.

Область застосування: Завдяки використанню безконтактного ультразвукового методу вимірювання, система має широку область застосування і може впроваджуватися на таких об'єктах:

– Хімічна та нафтопереробна промисловість: для контролю рівня агресивних, в'язких або токсичних рідин у закритих резервуарах.

– Харчова промисловість та фармація: на підприємствах з виробництва напоїв, молочної продукції чи ліків, де діють суворі санітарно-гігієнічні вимоги (відсутність контакту датчика з продуктом є критичною перевагою).

– Водопостачання та водовідведення: на автоматизованих насосних станціях, водонапірних вежах, очисних спорудах та в резервуарах з питною або стічною водою.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Агропромисловий комплекс: у системах автоматизованого поливу, ємностях для зберігання рідких добрив та паливно-мастильних матеріалів.

1.2. Умови експлуатації

- Температура навколишнього середовища від 0°C до $+50^{\circ}\text{C}$.
- Відносна вологість до 80 % при температурі $+25^{\circ}\text{C}$.
- Атмосферний тиск 600-800 мм рт. ст.
- Хімічно активні компоненти: допускаються в межах норм для закритих виробничих приміщень за умови використання герметичного захисного корпусу не нижче класу захисту IP65 для електронного блока.
- Механічні впливи: вібрація, тряска та ударні навантаження в місці встановлення блока керування відсутні.
- Режим роботи пристрою: безперервний, цілодобовий, з періодичним опитуванням датчика мікроконтролером.
- Напруга живлення цифрової частини: $+5\text{ В} \pm 5\%$ постійного струму.

1.3. Технічні параметри системи

Мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі має чітко визначену структуру вхідних, вихідних інформаційних та живильних потоків.

Вхідна інформація та сигнали системи:

- Керуючий вхід: дискретний сигнал від тактової кнопки для ввімкнення/вимкнення пристрою, скидання помилок або ініціалізації системи.
- Основне джерело вхідної інформації: аналоговий чи цифровий ультразвуковий датчик рівня рідини. Первинна інформація про час проходження ультразвукової хвилі надходить до мікроконтролера для розрахунку відстані до поверхні рідини.
- Вхід електроживлення: постійна напруга $+5\text{ В}$ від стабілізованого джерела живлення, яка подається на мікроконтролер та периферійні модулі.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідна інформація та сигнали системи:

- Основний вихід даних: поточні значення рівня рідини (м чи см) та об'єму заповнення резервуара, що передаються на пристрій відображення.
- Аварійна сигналізація: дискретний сигнал керування, що активує світлозвуковий оповіщувач (сирену та світлодіод) у разі досягнення критичного рівня рідини.

Центральною керуючою ланкою є мікроконтролер. Він здійснює генерацію стартових імпульсів для ультразвукового датчика, підраховує тривалість зворотного ехо-сигналу за допомогою вбудованих таймерів, математично обчислює поточний рівень рідини, порівнює його із заданими уставками та безпосередньо керує лінією аварійної сирени.

Технічні характеристики системи:

- Точність вимірювання: відносна похибка вимірювання рівня не перевищує $\pm 1.0\%$, абсолютні не більше 0,2 мм;
- Діапазон вимірювання рівня: від 0.1 м до 4.0 м.
- Вимірювальний елемент: ультразвуковий датчик безконтактного типу.
- Режим роботи: автоматичний, безперервний, із циклічним опитуванням датчика.
- Елементна база: система спроектована на основі доступних та уніфікованих компонентів: мікроконтролера, ультразвукового модуля, блоку реле для комутації сирени та елементів світлодіодної індикації. Це забезпечує високу ремонтпридатність та взаємозамінність деталей.

1.4.Вимоги до конструктивного оформлення

Система повинна розміщуватись в пластиковому білому корпусі з габаритами 90x110x49 мм.

Мікроконтролер та друкована плата монтуються всередині корпусу. Ультразвуковий датчик встановлюється у верхній частині резервуара. Аварійна сирена розміщується ззовні.

Середнє напрацювання пристрою на відмову – не менше 14 000 годин.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Огляд існуючих систем

Для обґрунтування технічних рішень та архітектури розроблюваної мікропроцесорної системи проведемо порівняльний аналіз сучасних промислових засобів безконтактного вимірювання та контролю рівня рідини, що представлені на ринку автоматизації. Розглянемо конструктивні особливості, принципи дії та ключові технічні характеристики таких аналогів: цифрового ультразвукового рівнеміра «ВЗЛЕТ УР» (УР-2хх), радіохвильового (радарного) вибухозахищеного рівнеміра УР203Ех, а також малогабаритного радарного рівнеміра Micropilot FMR10 від компанії Endress+Hauser.

Цифровий ультразвуковий рівнемір «ВЗЛЕТ УР» (серія УР-2хх) представлено на рис.2.1.



Рис.2.1. Ультразвуковой рівнемір ВЗЛЕТ УР

Рівнемір призначений для безконтактного безперервного вимірювання рівня різноманітних рідин та визначення дистанції до межі розділу середовищ. Прилад випускається в одноканальному (УР-211) та двоканальному (УР-221) виконаннях і може застосовуватися як сигналізатор критичних рівнів або далекомір.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Відмінні риси: автоматичне врахування швидкості звуку при зміні параметрів газового середовища, мінімальний вплив піни на результати вимірювань, наявність функції періодичного самоочищення п'єзоелектричного перетворювача від конденсату та пилу, а також можливість винесення вимірювального блока на відстань до 250 м від об'єкта моніторингу.

Основні технічні характеристики «ВЗЛЕТ УР»:

- Максимальний діапазон вимірювання: до 15м (до 12м у вибухозахищеному виконанні);
- Абсолютна похибка вимірювання: не більше ± 4.0 мм (в ізотропному середовищі);
- Зона нечутливості: 0.8 м (для систем із термодатчиком) або 1.4 м (з репером);
- Ступінь захисту оболонки: IP54 (вимірювальний блок), IP67 (первинний датчик);
- Напруга живлення: 24 В, споживана потужність не більше 20 Вт;
- Вихідні інтерфейси: RS-232/RS-485, Ethernet, нормований струмовий сигнал (4–20 мА), логічні виходи [1].

Радарний рівнемір УР203Ех представлений на рис.2.2.



Рис.2.2. Радарний рівнемір УР203Ех

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Радіохвильовий пристрій вибухозахищеного виконання призначений для безконтактного безперервного технологічного вимірювання рівня рідких, сипучих та кускових продуктів у стаціонарних ємностях, резервуарах та силосах. Принцип дії базується на вимірюванні різниці частот випроміненого та відбитого від поверхні радіосигналу (FMCW метод).

Відмінні риси: висока стабільність роботи в умовах інтенсивного випаровування, пилу та конденсату; кругова поляризація випромінювання; можливість дистанційного налаштування через цифрові інтерфейси зв'язку, а також розбирання вимірювальної частини без розгерметизації резервуара.

Основні технічні характеристики UP203Ex:

- Діапазон вимірювання рівня: від 0.5 до 30 м;
- Основна допустима похибка: ± 1.0 см;
- Параметри середовища: тиск до 1.6 МПа, температура від -40 °C до $+150$ °C;
- Ступінь захисту від вологи та пилу: IP66;
- Маркування вибухозахисту: 1ExdIIBT3 (вибухонепроникна оболонка);
- Напруга живлення: 24 В $\pm 10\%$ постійного або змінного струму;
- Вихідні сигнали: цифровий RS-485 (протокол Modbus), аналоговий струмовий петля 4–20 мА [2].

Радарний рівнемір Micropilot FMR10 (Endress+Hauser) представлено на рис.2.3.



Рис.2.3. Радарний рівнемір Micropilot FMR10

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Компактний радарний пристрій, призначений для вимірювання рівня рідин у технологічних баках, відкритих басейнах, насосних шахтах та каналних системах. Завдяки повністю залитому компаундом електронному модулю та герметичній ізоляції електричних з'єднань, прилад повністю захищений від проникнення вологи всередину корпусу.

Відмінні риси: підтримка бездротового зв'язку через Bluetooth для безпечного налаштування та обслуговування у важкодоступних зонах; висока хімічна стійкість корпусу до умов навколишнього середовища.

Основні технічні характеристики Micropilot FMR10:

- Максимальний діапазон вимірювання: 5 м (до 8 м за наявності спеціальної трубки захисту від затоплень);
- Допустима похибка вимірювання: до ± 5 мм;
- Параметри середовища: тиск від -1 до 3 бар, температура від -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$;
- Необхідна діелектрична постійна продукту: $r > 4$;
- Ступінь захисту оболонки: IP66 / IP68 (NEMA 4X/6P);
- Вихідні інтерфейси: аналоговий сигнал 4–20 мА, бездротовий Bluetooth.[3]

Магнітострикційний рівнемір Start Italiana (серія ХМТ) представлений на рис.2.4.



Рис.2.4. Магнітострикційний рівнемір Start Italiana

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Промисловий зонд високої точності призначений для безперервного вимірювання комерційного обліку світлих нафтопродуктів (бензин, дизельне паливо), зрідженого газу (LPG) та інших рідин у стаціонарних резервуарах. Завдяки наявності кількох поплавців, прилад здатний одночасно вимірювати не лише основний рівень продукту, а й рівень підтоварної води (осаду) на дні місткості, а також розподіл температур.

Відмінні риси: надвисока точність і повторюваність результатів, наявність до 10 інтегрованих цифрових датчиків температури всередині вимірювального стрижня для обчислення середньої температури середовища, стійкість до вибухонебезпечних умов (сертифікація ATEX) та виконання вимірювального елемента з нержавіючої сталі AISI304.

Основні технічні характеристики Start Italiana:

- Діапазон вимірювання рівня: від 0.001 до 3.5 м (доступні модифікації зондів довжиною до 20 м);
- Стандартна точність вимірювання рівня: ± 0.5 мм;
- Чутливість (роздільна здатність) вимірювань: 0.1 мм;
- Вимірювання температури: діапазон від -25 °C до $+60$ °C (з похибкою не більше ± 0.2 °C);
- Ступінь захисту оболонки: IP68 (повна герметичність);
- Маркування вибухозахисту: Ex d IIA T6 / 1ExdIIBT3 (залежно від модифікації ХМТ);
- Напруга живлення: від 9 до 30 В постійного струму (споживаний струм менше 30 мА);
- Вихідні інтерфейси: послідовний порт RS-485 (протокол Modbus), або стандартна струмова петля (4–20 мА) [4].

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Порівняльний аналіз систем

Для систематизації результатів аналізу промислових аналогів та визначення оптимального вектора проектування власної системи, складемо порівняльну таблицю за ключовими техніко-економічними критеріями.

Таблиця 2.1. Порівняльна характеристика систем вимірювання рівня рідини

Критерій порівняння	«ВЗЛЕТ УР» (УР-2хх)	УР203Ех	Micropilot FMR10	Магнітострикційний зонд Start Italiana
Метод вимірювання	Безконтактний (ультразвуковий)	Безконтактний (радарний, FMCW)	Безконтактний (радарний, 26 ГГц)	Контактний (магнітострикційний)
Похибка	±4.0 мм	±10 мм	±5 мм	±0.5 мм
Складність монтажу	Середня	Середня	Проста	Складна (внутрішньорезервуарна)
Елементна база	Закрита промислова	Закрита промислова	Закрита промислова	Закрита промислова
Собівартість та ціна	Висока	Дуже висока	Висока	Екстремально висока

До переваг та недоліків промислових аналогів радарних та магнітострикційних систем (УР203Ех, FMR10, Start Italiana) можна віднести:

- Переваги: Надвисока точність, стійкість до агресивних середовищ, високого тиску та температурних коливань.
- Недоліки: Мають надлишкову для більшості локальних задач функціональність (вибухозахист Ex d, Bluetooth, Modbus), складні в інтеграції та обслуговуванні, а головне мають екстремально високу ринкову вартість, що робить їх недоступними для малого бізнесу, локальних КНС (каналізаційних насосних станцій) або аграрних комплексів.

До переваг та недоліків ультразвукових промислових систем («ВЗЛЕТ УР») можна віднести наступне:

- Переваги: Оптимальний баланс точності та безконтактного методу.
- Недоліки: Промислове виконання орієнтоване на великі резервуари (до 15 м) із великою зоною нечутливості (до 1.4 м), висока споживана потужність (до 20 Вт) та закрита архітектура, що унеможливорює швидку модифікацію під конкретний об'єкт.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Аналіз ринку чітко показує, що існує значний технологічний розрив між дорогими прецизійними промисловими рівнемірами та реальними потребами локальних об'єктів автоматизації.

Розробка власної мікропроцесорної системи є гостро актуальною з таких причин:

1. Економічна доцільність та імпортозаміщення: Вартість закордонних аналогів (особливо Endress+Hauser чи Start Italiana) вимірюється тисячами євро. Спроектowana система базується на доступних, уніфікованих SMD-компонентах та датчиках, що знижує собівартість пристрою в десятки разів при збереженні достатньої для технологічних потреб точності ($\pm 1\%$).

2. Оптимальна функціональність: У системі реалізовано лише необхідний та достатній набір функцій (циклічний контроль рівня, локальна світлозвукова сигналізація, релейне керування, видача логів через UART). Це дозволяє уникнути апаратного та програмного надлишку, спрощує алгоритм роботи обчислювача та підвищує загальну надійність системи.

3. Гнучкість та ремонтпридатність: Використання відкритої архітектури та пластикового стандартного корпусу Kradex Z5AJ забезпечує легкість монтажу, обслуговування та високу ремонтпридатність.

У разі виходу з ладу будь-якого компонента (наприклад, датчика чи МК), його заміна здійснюється за лічені хвилини без необхідності повної заміни блоку керування чи зміни топології друкованої плати.

4. Енергоефективність: На відміну від потужних промислових блоків, що споживають до 20 Вт, мікроконтролерна система адаптована під низьковольтне живлення $+5В$, що мінімізує енерговитрати та дозволяє легко інтегрувати пристрій у автономні системи з резервним живленням від акумуляторів.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Розроблювана мікропроцесорна система повинна виконувати наступні функції:

- Безконтактне вимірювання рівня рідини в технологічному резервуарі;
- Спрацювання світлозвукової аварійної сигналізації при досягненні граничних (мінімальних та максимальних) значень рівня;
- Візуалізація поточних метрологічних показників та об'єму рідини на графічному екрані;
- Забезпечення загального живлення та ручного керування вмикання/вимикання системи.

Для виконання функцій необхідні наступні елементи системи:

1. Ультразвуковий датчик рівня – для формування акустичних імпульсів та визначення поточної відстані до дзеркала рідини;
2. Дисплей – для виводу текстової та графічної інформації про стан резервуара в реальному часі;
3. П'єзоелектрична сирена та надяскраві світлодіоди – для світлозвукового сповіщення оператора про виникнення позаштатних або аварійних ситуацій;
4. Блок живлення постійного струму – для забезпечення стабільного електроживлення мікроконтролера та периферійних вузлів;
5. Тактова кнопка — для включення, виключення або скидання поточного режиму роботи системи;
6. Мікроконтролер – як центральний обчислювальний орган для збору даних з датчика, математичної обробки та координації роботи всієї периферії;
7. Пластиковий корпус – для конструктивного захисту та розміщення плати управління.

Взаємодія всіх зазначених апаратних компонентів забезпечує високу точність моніторингу, надійність фіксації аварійних станів та автономність функціонування системи без необхідності постійного втручання оператора.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1. Обґрунтування мікроконтролеру

Проектування та розробка сучасних систем автоматизації, моніторингу та цифрового керування на базі однокристальних мікроконтролерів (МК) наразі є одним із найбільш динамічних напрямків розвитку комп'ютеризованих технологій. Завдяки високому рівню інтеграції, гнучкості програмування та апаратній надійності, мікроконтролери впроваджуються практично в усі сфери інженерної діяльності, постійно розширюючи межі свого прикладного застосування.

Стрімкий розвиток напівпровідникової електроніки та схемотехніки суттєво розширив функціональні можливості сучасних обчислювальних кристалів. Це дозволило ефективно вирішувати складні задачі, які раніше потребували значної кількості дискретних елементів — зокрема, реалізовувати алгоритми цифрової обробки сигналів, складні інтерфейси зв'язку та багаторівневі системи захисту.

Одним із найбільш фундаментальних та перевірених часом рішень на ринку мікропроцесорної техніки є архітектура 8051, розроблена корпорацією Intel. Попри тривалу історію існування цієї архітектури, класичний мікроконтролер та його численні модифікації (включаючи базове сімейство MCS-51 та його функціональні аналоги, такі як KM1816BE51) залишаються надзвичайно популярними під час створення локальних систем вимірювання та контролю. Вирішальний вплив на вибір розробників апаратно-програмних комплексів мають детально продумана внутрішня топологія кристала, ортогональна система команд та інтуїтивно зрозуміла логіка функціонування.

Лінійка мікроконтролерів 8051 безперервно еволюціонує, адаптуючись до сучасних вимог приладобудування. На основі базового ядра створюються сучасні мікросхеми з розвиненою інтегрованою периферією, розширеними обсягами енергонезалежної пам'яті та підвищеною завадостійкістю.

Процес розробки та відлагодження програмного забезпечення для архітектури MCS-51 на сьогодні значно спростився завдяки використанню високорівневих інструментальних засобів, крос-компіляторів та інтегрованих

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовищ проектування (IDE). Сучасне програмування цих пристроїв ефективно реалізується мовами високого рівня (перш за все C/C++), що дозволяє абстрагуватися від низькорівневих апаратних процесів, оптимізувати структуру коду та суттєво скоротити час розробки [6].

На сьогоднішній день серед усього різноманіття 8-розрядних обчислювальних пристроїв сімейство MCS-51 посідає провідні позиції за кількістю модифікацій та обсягами світового виробництва. Вдала архітектурна побудова, наявність вбудованих таймерів/лічильників, універсального асинхронного приймачі-передавача (UART), можливість гнучкого розширення адресного простору зовнішньої пам'яті програм і даних, а також низька ринкова вартість забезпечили цьому сімейству довготривалий комерційний та науково-технічний успіх. З погляду мікроелектроніки, базовий кристал 8051 для свого часу був технологічним проривом — інтеграція близько 128 тис. транзисторів на одному кристалі демонструвала високу щільність компонування, яка перевищувала показники багатьох тогочасних складних процесорів.

На сучасному ринку представлено понад 200 модифікацій мікроконтролерів цього сімейства, які випускаються провідними світовими виробниками напівпровідників, такими як Atmel (Microchip), Philips, Siemens, NXP, Infineon, Winbond, Silicon Labs та іншими [6].

Основними векторами модернізації та розвитку кристалів сімейства MCS-51 є:

- Збільшення загальної швидкодії за рахунок оптимізації конвеєризації команд та підвищення тактової частоти;
- Зниження рівнів номінальної напруги живлення та впровадження режимів мікроспоживання (Power-down, Idle);
- Інтеграція сучасних типів енергонезалежної пам'яті великого обсягу (Flash-пам'ять програм та EEPROM для збереження налаштувань).

Важливою перевагою є те, що всі представники сімейства MCS-51

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мають єдину сумісну базову систему команд. Інтеграція додаткових периферійних модулів (наприклад, аналогово-цифрових перетворювачів чи інтерфейсних контролерів) впливає лише на конфігурацію регістрів спеціального призначення (SFR), залишаючи загальну логіку програмування незмінною. Таким чином, вибір мікроконтролера цієї архітектури для проектованої системи вимірювання рівня є повністю обґрунтованим з технічної, метрологічної та економічної точок зору.

3.2. Обґрунтування датчика рівня рідини

Для безперервного моніторингу об'єму рідкого середовища в резервуарі проектована система використовує безконтактний метод вимірювання. Як первинний вимірювальний перетворювач обрано ультразвуковий датчик рівня.

Практично немає матеріалів чи поверхонь, які не здатні відбивати ультразвукові коливання. Це робить акустичні сенсори універсальним та високоефективним рішенням для точного визначення просторового положення та віддаленості об'єктів у складних умовах експлуатації. На відміну від оптичних або фотоелектричних аналогів, ультразвукові прилади нечутливі до оптичних завад, що дозволяє стабільно проводити вимірювання в запилених, задимлених чи високошумних приміщеннях. Окрім цього, фізичні характеристики об'єкта (форма, колір, оптична прозорість або хімічний склад) не чинять деструктивного впливу на якість вимірювань. Сучасні промислові зразки мають широкий діапазон робочої зони – від 100 мм до 6 м.

Конструктивно датчики (зокрема лінійки SICK AG) об'єднують в одному компактному корпусі акустичний випромінювач та чутливий приймач. Фізичний принцип визначення відстані базується на вимірюванні часу проходження високочастотної хвилі, що відбивається від контрольованої поверхні. Залежно від вимог подальшої схеми обробки даних, прилади випускаються з дискретними (цифровими) або лінійними аналоговими виходами.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головні переваги ультразвукових первинних перетворювачів:

- Безконтактний метод детектування меж розділу середовищ;
- Наявність функцій гнучкого попереднього конфігурування та калібрування;
- Висока метрологічна точність і роздільна здатність;
- Можливість стабільного сканування прозорих, дзеркальних рідин та сипких речовин;
- Високий рівень захисту від завад та стійкість до забруднення робочої зони;
- Надійне конструктивне виконання (клас захисту корпусу IP65);
- Інтегрований апаратний захист від зворотної полярності та короткого замикання [7].

Для мінімізації випадкових похибок, нівелювання впливу можливих коливань (хвиль) на поверхні рідини та локальних температурних градієнтів, у розроблюваній системі пропонується застосувати два паралельні ультразвукові датчики. Отримані з обох каналів метрологічні значення динамічно усереднюються на програмному рівні мікроконтролера, що дозволяє суттєво підвищити загальну точність, стабільність та завадостійкість інформаційно-вимірювального процесу.

3.3. Обґрунтування дисплея

Для забезпечення оперативного візуального контролю за станом технологічного резервуара, відображення поточних, а також виведення повідомлень, до складу мікропроцесорної системи необхідно інтегрувати пристрій відображення інформації.

У проектованій системі пропонується обрати символьний рідкокристалічний дисплей типу LCD 1602 (дворядковий, по 16 символів у кожному рядку) на базі промислового контролера HD44780 [8].

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтування та інженерні переваги обраного LCD-дисплея:

– Висока надійність та завадостійкість: На відміну від чутливих графічних OLED-екранчиків, символьні LCD-дисплеї розроблені спеціально для роботи в промислових умовах. Вони мають високу стійкість до електромагнітних завад, що вкрай важливо при роботі в одному контурі з ультразвуковими датчиками.

– Оптимальна інформативність: Структура дисплея (2 рядки по 16 символів) дозволяє повністю та лаконічно розмістити всі необхідні дані. Наприклад, у першому рядку динамічно виводиться поточний усереднений рівень рідини в сантиметрах або відсотках, а в другому — стан системи («НОРМА», «МНІМУМ» або «АВАРІЯ: МАКС»).

– Відмінна читабельність: Завдяки вбудованому світлодіодному підсвічуванню (зеленого або синього кольору) та можливості апаратного регулювання контрастності за допомогою потенціометра, інформація з екрана чітко зчитується оператором як при яскравому сонячному світлі, так і в умовах повної темряви.

– Доступність та уніфікація: Контролер HD44780 є абсолютним світовим стандартом. Це забезпечує повну сумісність на рівні команд, наявність готових відлагоджених бібліотек та спрощує написання керуючої програми для мікроконтролера KM1816BE51.

– Гнучкість підключення: Дисплей може підключатися як за класичною 8-бітною схемою, так і за оптимізованою 4-бітною (використовуючи лише 4 лінії даних замість 8, а також сигнали RS та E). Це дозволяє суттєво заощадити виводи мікроконтролера для стабільного опитування двох ультразвукових датчиків рівня.

Таким чином, використання символьного дисплея LCD 1602 є раціональним та технічно виправданим інженерним рішенням, яке гарантує довговічність роботи пристрою, простоту його обслуговування та низьку собівартість апаратної частини [9].

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Обґрунтування звукового та світлового оповіщення

У системах моніторингу технологічних процесів критично важливим етапом є своєчасне та надійне інформування обслуговуючого персоналу про виникнення позаштатних або аварійних ситуацій (зокрема, досягнення критичного мінімального чи максимального рівня рідини в резервуарі). Виведення текстових повідомлень виключно на LCD-дисплей є недостатнім, оскільки оператор не завжди знаходиться безпосередньо поруч із приладовим щитом. Для забезпечення гарантованої фіксації аварійного стану необхідно застосувати дублюючі канали сповіщення – звуковий та світловий.

Сучасні промислові та побутові звукові сповіщувачі (сирени) класифікуються за такими основними ознаками:

- Фізичний принцип генерації акустичних коливань;
- Номінальна напруга живлення та рівень енергоспоживання;
- Рівень створюваного звукового тиску;
- Конструктивне виконання та спосіб інтеграції в електронну схему.
- За фізичним принципом формування звукового ефекту пристрої

поділяються на два ключові типи:

1. П'єзоелектричні сповіщувачі. В їхній основі лежить зворотний п'єзоелектричний ефект, що базується на механічній вібрації п'єзокерамічної пластини під дією змінної електричної напруги. Частота і характер звуку визначаються параметрами сигналу, що подається на пластину. Більшість таких пристроїв працює в діапазоні напруг від 12 до 24 В, а в промислових системах великої потужності можуть застосовуватися модифікації з живленням 220 В. Звуковий тиск для промислових задач зазвичай лежить у межах від 75 до 115 дБ. П'єзоелектричні сирени є компактними, надійними та споживають мінімальний струм.

2. Електромагнітні сповіщувачі. Конструктивно складаються з котушки індуктивності з мідним дротом та феромагнітного сердечника, всередині якого встановлено тонку металеву мембрану. При проходженні через котушку змінного струму виникає магнітне поле, що змушує мембрану вібрувати,

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

генеруючи однотональний звук високої гучності. Головними недоліками електромагнітних пристроїв є значні габарити, висока енергоємність та схильність до електромагнітних завад. Через це вони практично не використовуються в сучасних компактних електронних системах [10].

З огляду на вимоги до компактності, високої завадостійкості та енергоефективності проекрованої системи, як звуковий сповіщувач обрано п'єзоелектричну міні-сирену з номінальною напругою живлення 12 В, яка здатна забезпечити чіткий та гучний сигнал тривоги.

Як світловий сповіщувач обрано світлодіод червоного кольору випромінювання (діаметром 5 мм). Червоний колір оптичного сигналу є стандартним для аварійної сигналізації та миттєво привертає увагу персоналу навіть в умовах недостатньої видимості.

Оскільки центральний мікроконтролер KM1816BE51 функціонує від напруги +5 В, а його виводи вводу-виводу мають обмежену навантажувальну здатність за струмом, пряме підключення 12-вольтової сирени до порту МК є неможливим. Для вирішення цієї задачі та узгодження напруг та струмів пропонується використати стабілізатор напруги. Мікроконтролер подає слабкострумовий керуючий сигнал 5 В на підвищуючий перетворювач напруги, який підвищує напругу до +12В, що забезпечує надійну та безпечну роботу всієї схеми.

3.5. Обґрунтування кнопки

Для забезпечення можливості ручного керування живленням, ініціалізації початкових налаштувань, калібрування або оперативного скидання поточних аварійних режимів роботи мікропроцесорної системи, до її складу необхідно ввести елемент комутації. З огляду на портативні габарити приладового корпусу та мінімальні струми в колах керування мікроконтролера, використання масивних промислових тумблерів є недоцільним.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимальним інженерним рішенням є застосування мініатюрної тактової кнопки.

Тактова кнопка являє собою механічний комутаційний пристрій, принцип дії якого базується на замиканні електричного ланцюга при безпосередньому механічному тиску на штовхач та миттєвому розмиканні ланцюга під дією поворотної пружини після зняття зусилля.

За конструктивним виконанням та кількістю виводів на друковану плату тактові кнопки поділяються на два основні типи:

- Двоконтактні (2-pin);
- Чотириконтактні (4-pin).

У проектованому пристрої обґрунтовано обрано чотириконтактну тактову кнопку (типу *Tact Switch*). Використання модифікації на 4 контакти забезпечує вищу механічну міцність і надійність фіксації компонента на друкованій платі під час паяння, а також дозволяє дублювати лінії зв'язку для запобігання відмовам системи через можливе окиснення окремого контакту.

При підключенні тактової кнопки до вхідного порту мікроконтролера KM1816BE51 на апаратно-програмному рівні враховано дві ключові специфіки:

1. Схема узгодження потенціалу: Для виключення стану невизначеності на вході МК, коли кнопка відпущена, застосовується зовнішній підтягуючий резистор (*pull-up*) номіналом 10 кОм, який жорстко фіксує рівень логічної одиниці (+5В) на порту обчислювача. При натисканні кнопки вивід порту замикається на заземлення (GND), формуючи стабільний сигнал логічного нуля.

2. Захист від брязкоту контактів. В керуючій програмі мікроконтролера реалізовано програмну затримку (тривалістю 10–20 мс) для стабільної фіксації лише одного реального натискання.

Таким чином, інтеграція малогабаритної тактової кнопки повністю задовольняє вимоги ергономіки, забезпечує високу експлуатаційну надійність комутації та мінімальну собівартість апаратного вузла керування.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3.6. Обґрунтування блока живлення

Для забезпечення безперервного й стабільного функціонування мікропроцесорної системи контролю рівня рідини необхідно передбачити надійне джерело електроживлення від первинної мережі змінного струму 220 В 50 Гц. Оскільки система перебуває в режимі постійного моніторингу (циклічне опитування двох датчиків, обчислення даних та виведення інформації на LCD-дисплей), її апаратна частина потребує стабільного та потужного живлення.

Аналіз енергоспоживання всіх запланованих компонентів схеми показує, що основна цифрова логіка пристрою (мікроконтролер KM1816BE51, два ультразвукові датчики рівня та рідкокристалічний дисплей LCD 1602) працює від напруги +5В. При цьому сумарний струм споживання в пікових режимах не перевищує кількох ампер. З огляду на це, як основне джерело живлення системи обґрунтовано обрано зовнішній імпульсний адаптер живлення HG Power з вихідними параметрами 5В та 4А. Цей адаптер забезпечує необхідну стабільність напруги та має значний запас за струмом, що гарантує довговічність роботи приладу.

Водночас, для забезпечення максимальної гучності та ефективності світлозвукового аварійного сповіщення, у системі передбачено використання міні-сирени з номінальною робочою напругою 12 В. Оскільки головний адаптер видає лише 5 В, виникає потреба в локальному підвищенні напруги суто для контуру сигналізації.

Для вирішення цієї задачі та узгодження різнорівневих компонентів у схему пристрою обґрунтовано вирішено інтегрувати мініатюрний підвищуючий DC-DC перетворювач моделі MT3608. Таке інженерне рішення дозволить житись від одного мережевого адаптера на 5В, а напругу 12 В отримувати від підвищувача напруги.

Детальний опис принципу дії, схемотехнічних характеристик та внутрішньої структури обраного адаптера HG Power та перетворювача MT3608 буде наведено у наступних розділах проекту.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7. Структурна схема

Для візуалізації загальної архітектури проектного приладу, визначення міжсистемних зв'язків та логіки взаємодії апаратних модулів розроблено відповідну схему взаємозв'язків. Структурна схема мікропроцесорної системи вимірювання рівня рідини в резервуарі представлена на рис. 3.1.



Рис.3.1 – Структурна схема системи

Складові структурної схеми:

- два ультразвукових датчика рівня рідини;
- мікроконтролер;
- дисплей;
- червоний світлодіод;
- міні сирена;
- стабілізатор напруги;
- тактова кнопка;
- блок живлення.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролеру

Мікроконтролери архітектури 8051 (загальновідоме базове сімейство MCS-51) належать до класу найбільш поширених, перевірених часом та гнучких у налаштуванні обчислювальних компонентів на світовому ринку електронної техніки. Розроблена корпорацією Intel у 1980 році, ця мікропроцесорна архітектура заклала основу для створення сучасних промислових контролерів та вбудованих систем автоматизації, надійно утримуючи лідируючі позиції й до теперішнього часу.

Ключові технічні характеристики та переваги мікроконтролерів сімейства 8051:

- Гарвардська архітектура: Обчислювальне ядро побудоване на базі 8-розрядного центрального процесора (ЦП). Особливістю архітектури є фізичне та логічне розділення адресного простору пам'яті програм (ROM) та пам'яті даних (RAM), що забезпечує високу завадостійкість коду і швидкість його виконання. Базова структура містить оптимізований набір команд, регістри загального призначення, вбудовані апаратні таймери/лічильники та розвинену периферію.

- Широка номенклатура модифікацій: Сімейство MCS-51 включає величезну кількість сумісних моделей від різних виробників, які відрізняються обсягами інтегрованої пам'яті, швидкодією та набором додаткових вузлів. Це дозволяє підібрати оптимальну мікросхему для конкретного інженерного завдання відповідно до технічних вимог проекту.

- Розвинена система обробки переривань: Апаратна підтримка багаторівневих переривань дозволяє мікроконтролеру миттєво реагувати на зовнішні та внутрішні події (наприклад, сигнали від датчиків або переповнення таймера). Це є критично важливою умовою для побудови вимірювальних систем, що функціонують у режимі реального часу.

- Програмовані порти введення/виведення: Наявність вбудованих паралельних ліній вводу-виводу забезпечує безпосереднє зчитування

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цифрових сигналів з периферії та видачу керуючих впливів на виконавчі елементи, що робить пристрій універсальним ядром для координації суміжних вузлів.

– Можливості апаратного розширення: Багато сучасних представників та клонів цього сімейства інтегрують на одному кристалі додаткові модулі, такі як аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), контролери послідовних шин зв'язку (SPI, I2C, UART) тощо, спрощуючи взаємодію з цифровими та аналоговими сенсорами.

Функціональна схема базового мікроконтролера сімейства 8051 представлена на рис. 4.1, а конструктивне розташування та функціональне призначення його виводів наведено на рис. 4.2.

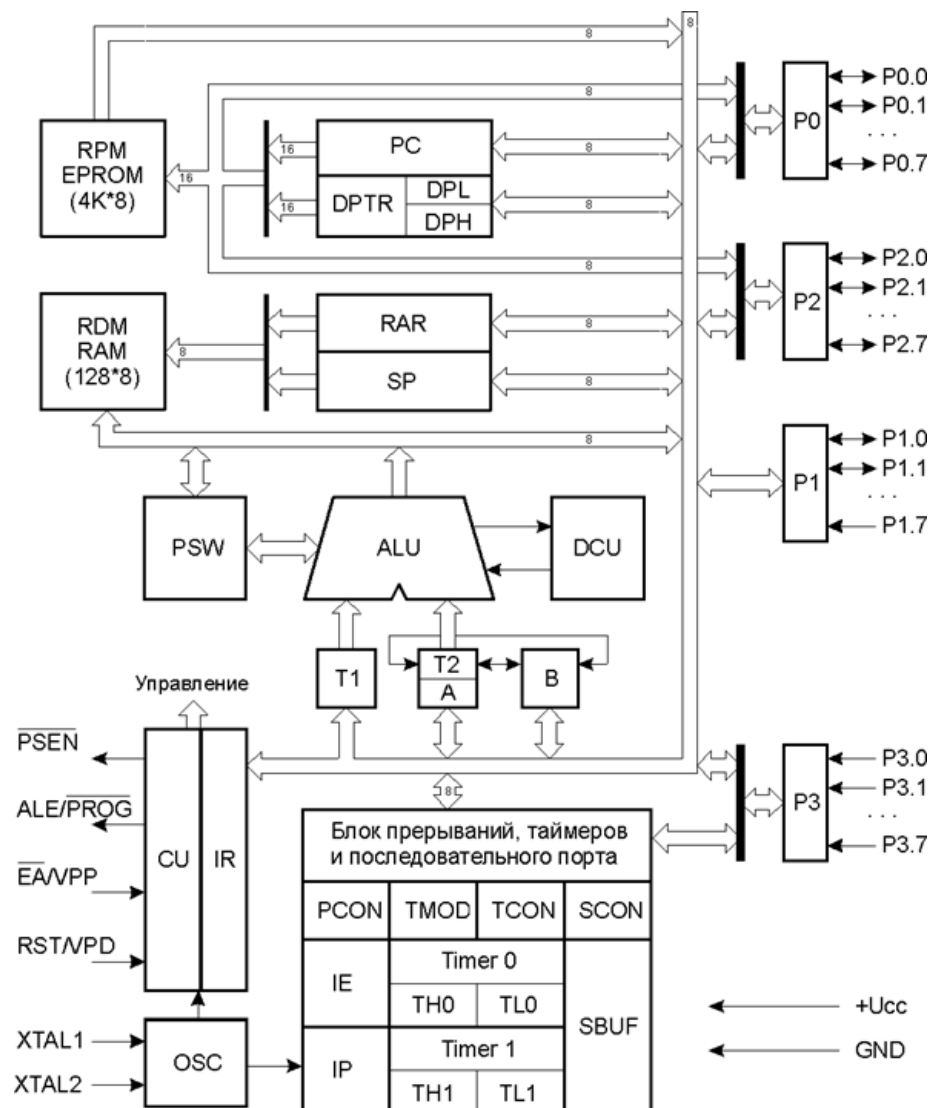


Рис.4.1 – Функціональна схема мікроконтролера KM1816BE51

Центральним вузлом обчислювального ядра є 8-розрядний арифметико-логічний пристрій (АЛП, або ALU), який забезпечує виконання базових арифметичних операцій (додавання, віднімання, множення та ділення), а також логічних побітових операцій (кон'юнкції «І», диз'юнкції «АБО», додавання за модулем 2 «виключне АБО»). Крім того, апаратні засоби АЛП дозволяють реалізовувати операції циклічного зсуву, скидання, інвертування бітів тощо.

Для забезпечення коректного виконання обчислень до входів АЛП підключено допоміжні програмно-недоступні регістри тимчасового зберігання операндів (Т1 та Т2), схему десяткової корекції результату (DCU), а також регістр умов і формування ознак результату операції – стану процесора (PSW).

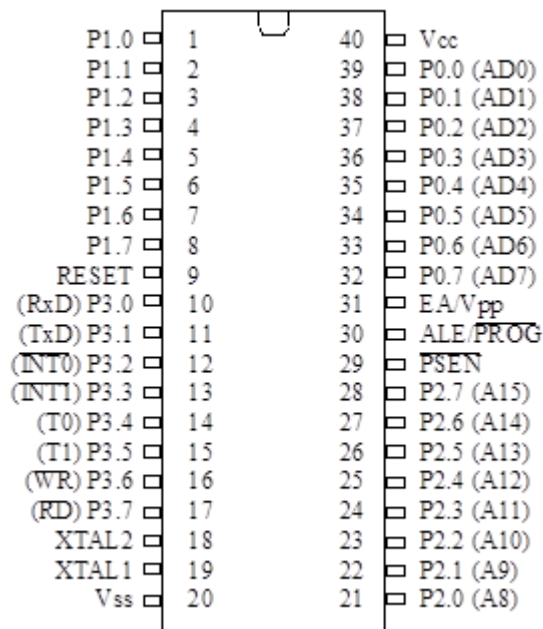


Рис.4.2 – Розташування виводів KM1816BE51

Впровадження однокристальних мікроконтролерів (МК) як керуючих елементів апаратної частини призвело до якісних змін у принципах проектування сучасних засобів і систем автоматизації. Мікроконтролер за своєю природою є складним логічним автоматом із високим ступенем детермінованості, що забезпечує чітку повторюваність процесів та уніфікацію варіантів його системного інтегрування в електронні кола.

Класична базова структура обчислювального ядра будь-якої мікроконтролерної системи, яка включає безпосередньо МК, блоки постійної

та оперативної пам'яті (ППЗУ й ОЗУ), інтерфейсні великі інтегральні схеми (ВІС), а також вузли синхронізації та системного керування, найчастіше реалізується у вигляді компактних одноплатних універсальних контролерів. Такі модулі розробляються для безпосередньої інтеграції в загальний контур керування технологічним об'єктом або процесом.

Характеристики:

- процесор, у склад якого входить 1-байтне АЛУ і схеми апаратної реалізації команди множення і ділення;
- стирається ПЗУ програмою ємністю 4 Кбайта,
- ОЗУ даних ємністю 128 байт;
- два 16-бітні таймери/лічильники;
- програмовані схеми входу/виводу (32 лінії);
- блок дворівневого векселі переривання від п'яти джерел;
- асинхронний канал дуплексного послідовного введення/виведення інформації зі швидкістю до 375 кбіт/с;
- генератор, схема синхронізації та управління.
- Структури МК серії 1816 та їх команди системи такі, що у разі потреби функціонально-логічні можливості контролерів можуть бути розширені:
 - адресний простір за рахунок зовнішніх додаткових ВІС постійної та оперативної пам'яті,
 - число ліній зв'язку МК з об'єктом управління - шляхом підключення різних інтерфейсних ВІС. Мікроконтролери серії 1816 вимагають одного джерела електропитання напругою $+5\text{ В} \pm 10\%$, розсіюють потужність близько 1,5 Вт і працюють в діапазоні температур від 0 до 70 °С. По входам і виходам МК серії 1816 електричні сумісні з інтегральними схемами ТТЛ.

Мікроконтроллер МК51 може працювати в діапазоні частот від 1,2 до 12 МГц, при цьому мінімальний цикл виконання команди рівня 1 мкс, а також швидкодіє рівно одному мільйону коротких операцій в секунду. [11]

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. Вибір ультразвукового датчика

Для безпосереднього отримання інформації про поточний рівень рідини в технологічному резервуарі необхідно застосувати безконтактний метод вимірювання, оскільки безпосередній контакт чутливих елементів із середовищем може призвести до їх окиснення або швидкого зносу. Найбільш раціональним для локальних мікропроцесорних систем є ультразвуковий метод.

У проектованій мікропроцесорній системі як первинний вимірювальний перетворювач обґрунтовано обрано ультразвуковий датчик моделі HC-SR04 (рис. 4.3).



Рис.4.3 – Ультразвуковий датчик

Основні характеристики датчика HC-SR04:

- Номінальна напруга живлення, +5 В;
- Струм споживання в робочому режимі, ≤ 15 мА;
- Струм споживання в режимі очікування, < 2 мА;
- Робоча частота ультразвукового випромінювача, 40 кГц;
- Мінімальна дистанція вимірювання, 2 см;
- Максимальна дистанція вимірювання, 4 м;
- Ефективний кут вимірювання (спрямованість), $< 15^\circ$;
- Кут огляду (оптимальний), 30° ;
- Точність (роздільна здатність вимірювання), 3 мм;
- Тривалість імпульсу запуску (Trigger), ≥ 10 мкс ;
- Габаритні розміри модуля, 45x20x15 мм.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Завдяки своїй універсальності, високій лінійності вимірювальної характеристики та простоті апаратної інтеграції, ультразвуковий перетворювач HC-SR04 знаходить широке застосування в робототехнічних комплексах, локальних системах промислової та побутової автоматизації, електронних далекомірах, а також у системах охоронної сигналізації та контролю присутності об'єктів. У проектованому пристрої його функціонал орієнтований на точне визначення відстані до дзеркала рідини.

Фізичний алгоритм роботи модуля та взаємодії з мікроконтролером KM1816BE51 реалізується за такими етапами:

1. Ініціалізація циклу вимірювання: Мікроконтролер генерує та подає на вхідний вивід датчика *Trigger* (Trig) керуючий стробуючий імпульс високого логічного рівня тривалістю не менше 10 мкс.

2. Акустичне випромінювання: Отримавши стартовий імпульс, внутрішній контролер датчика активує п'єзоелектричний випромінювач, який генерує в навколишнє середовище пачку (серію) з 8 коротких ультразвукових коливань на частоті 40 кГц. Одночасно з цим датчик переводить свій вихідний вивід *Echo* у стан логічної одиниці (високий рівень).

3. Прийом ехо-сигналу та формування результату: Згенеровані ультразвукові хвилі поширюються у просторі, відбиваються від поверхні об'єкта (рідини) і повертаються назад до п'єзоелектричного приймача модуля. У момент фіксації відбитої хвилі датчик миттєво скидає сигнал на виході *Echo* в логічний нуль.

Таким чином, тривалість високого рівня (ширина імпульсу) на виводі *Echo* чітко відповідає часу подорожі звукової хвилі від датчика до об'єкта і назад. Зафіксувавши цей часовий інтервал за допомогою вбудованого апаратного таймера мікроконтролера, обчислюють точну відстань до перешкоди за формулою (4.1):

$$S = (\text{time} * \text{sound} * \text{velocity}) / 2 \quad (4.1)$$

де *time* – виміряний час імпульсу, *sound velocity* – швидкість звуку (340 м/с).[12]

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Вибір дисплея

При проектуванні мікропроцесорної системи важливим етапом є оптимізація використання виводів вводу-виводу обчислювального ядра. Як було обґрунтовано у попередніх розділах, для візуалізації вимірювальних даних обрано символьний рідкокристалічний дисплей типу LCD 1602 (рис.4.4).



Рис. 4.4 – Зовнішній вигляд LCD 1602

Пряме паралельне підключення цього рідкокристалічного екрана до мікроконтролера KM1816BE51 (навіть за оптимізованою 4-бітною схемою) потребує щонайменше 6 ліній порту, що створює значні апаратні обмеження та дефіцит вільних виводів для підключення двох ультразвукових датчиків і блоку сигналізації. Для вирішення цієї проблеми обґрунтовано прийнято рішення про підключення дисплея за допомогою послідовного інтерфейсу I2C.

Оскільки базовий модуль LCD 1602 не підтримує послідовну шину апаратно, у системі застосовується спеціалізований модуль розширення (модуль сполучення) на базі мікросхеми-експандера PCF8574. Це дозволяє здійснювати повне керування дисплеєм, використовуючи лише дві лінії мікроконтролера:

- SDA (лінія даних);
- SCL (лінія синхронізації).

Такий підхід забезпечує максимальну економію портів обчислювача та спрощує трасування друкованої плати.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Символьні дисплеї LCD 1602 на базі контролера HD44780 є промисловим стандартом і широко застосовуються вбудованих системах, вимірювальних приладах та контролерах автоматики. Функціональні можливості цього індикатора дозволяють динамічно відображати текстові повідомлення, числові значення виміряного рівня, спеціальні символи та прості графічні елементи (наприклад, кастомні значки або індикатори заповнення ємності). Це робить його оптимальним компонентом для побудови інформативного, надійного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу взаємодії між системою моніторингу та оператором технологічного процесу.

Основні характеристики дисплея LCD 1602:

Символьний рідкокристалічний дисплей типу LCD 1602 є промисловим стандартом для вбудованих систем і забезпечує відображення інформації у два рядки по 16 знакомісць у кожному. Кожен символ формується рідкокристалічною матрицею розміром 5×8 точок під керуванням інтегрованого контролера HD44780 (або сумісного KS0066), що містить повну таблицю знакогенератора. Модуль працює від номінальної напруги живлення +5 В}, споживаючи разом із ввімкненим світлодіодним підсвічуванням до 50мА струму, що повністю узгоджується з можливостями адаптера первинного живлення системи. Завдяки інтеграції інтерфейсного модуля розширення на базі мікросхеми PCF8574, обмін даними з мікроконтролером KM1816BE51 реалізовано за двопровідною послідовною шиною I2C (лінії SDA та SCL) зі стандартною адресацією 0x27 або 0x3F. Дисплей має конструктивні габарити плати 80x36мм, оснащений апаратним потенціометром для точного підлаштування контрастності відображення літер та здатний стабільно функціонувати у температурному діапазоні від -20°C до +70°C в умовах промислових приміщень.[13]

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4.Вибір світлового та звукового оповіщення

В якості звукового оповіщувача було обрано міні сирену Elegant EL 101 706 (6-тональна) 25 Ватт рис.4.5.



Рис.4.5 – Зовнішній вигляд міні сирени Elegant EL 101

Технічні характеристики:

- Сирена автомобільна (міні) 6 тонів, 25 Вт Elegant(EL 101 706);
- призначена для монтажу зі всіма видами авто сигналізації;
- сучасний дизайн;
- високий рівень гучності
- водонепроникність;;
- відповідає умовам 10 ЕКГ;
- Звуковий тиск 110 +/- 3 дБ;
- Напруга живлення 12 В постійного струму;
- Потужність 25 Вт;
- Кількість тонів 6 [14]

Для сигналізації критичних рівнів використаємо світлове оповіщення.

Для цього застосуємо червоний світлодіод, що представлено на рис.4.6.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.6 – Зовнішній вигляд червоного світлодіода

В якості світлової сигналізації застосуємо LED червоний ультра яскравий світлодіод, діаметр 5мм рис.4.6.

Характеристики:

- виробник: KENTO;
- колір світіння: червоний
- колір лінзи: знову таки червоний;
- діаметр: 5 мм;
- форма лінзи: коло;
- довжина хвилі / колірна температура: 620-630 нм;
- інтенсивність світіння: 8000 - 10000 мкд;
- кут огляду: 30 град;
- пряма напруга: 1.9 - 2.1 В;
- прямий струм: 20 мА;
- максимальна робоча температура: + 100 С;
- мінімальна робоча температура: - 20 С.[15]

4.5.Вибір тактової кнопки

Для забезпечення ручного керування та взаємодії оператора з мікропроцесорною системою вимірювання рівня рідини обрано малогабаритний електромеханічний мікроперемикач типу Tact Switch з конфігурацією контактів SPST-NO. Конструктивне виконання цього комутаційного елемента у червоному кольорі представлено на рис. 4.7.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 4.7 – Тактова кнопка SPST-NO

Обрана тактова кнопка є нормально розімкненою: у вихідному стані електричний ланцюг розірваний, а при механічному натисканні на штовхач рухома металева мембрана миттєво замикає контактну групу. Після зняття зусилля кнопка автоматично повертається у початковий розімкнений стан під дією внутрішньої пружини.

Основні технічні та експлуатаційні характеристики мікроперемикача:

- Конструктивне виконання та габарити: Кнопка виконана у стандартному компактному корпусі типу DIP для монтажу в отвори друкованої плати, має квадратну основу розміром 6х6 мм та загальну висоту штовхача 4.3мм.

- Електричні параметри: Комутаційна здатність контактів становить до 0.05А при постійній напрузі до 24В 24 VDC. Це повністю задовольняє умови роботи в слабкострумових колах керування мікроконтролера KM1816BE51, де комутується цифровий TTL-сигнал напругою +5В із робочим струмом у кілька мікроампер.

- Експлуатаційна надійність: Модуль характеризується високою зносостійкістю і розрахований на тривалий термін служби, який становить до 1 мільйона циклів безвідмовних натискань, що гарантує довговічність вузла введення даних.

Завдяки своїй надійності, чіткому тактильному відгуку та мінімальним габаритам, мікроперемикачі такої топології є промисловим стандартом і широко застосовуються в автомобільній електроніці, медичній техніці,

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

побутових приладах та системах промислової автоматизації для реалізації функцій скидання (Reset), калібрування або вибору режимів роботи пристроїв.

4.6. Вибір блока живлення

Блок живлення обираємо, враховуючи всі складові системи:

- Мікроконтролер KM1816BE51: 5В;
- Ультразвуковий датчик HC-SR04: 3,3-5,5В;
- Дисплей LCD 1602: 5В;
- Міні сирена Elegant EL 101: 12В;
- Червоний світлодіод: 1,9 -2,1 В;
- Стабілізатор напруги MT3608: 2-24В.

Для підвищувача напруги для отримання 12В для міні сирени застосуємо підвищувач напруги на базі мікросхеми MT3608 рис.4.7.

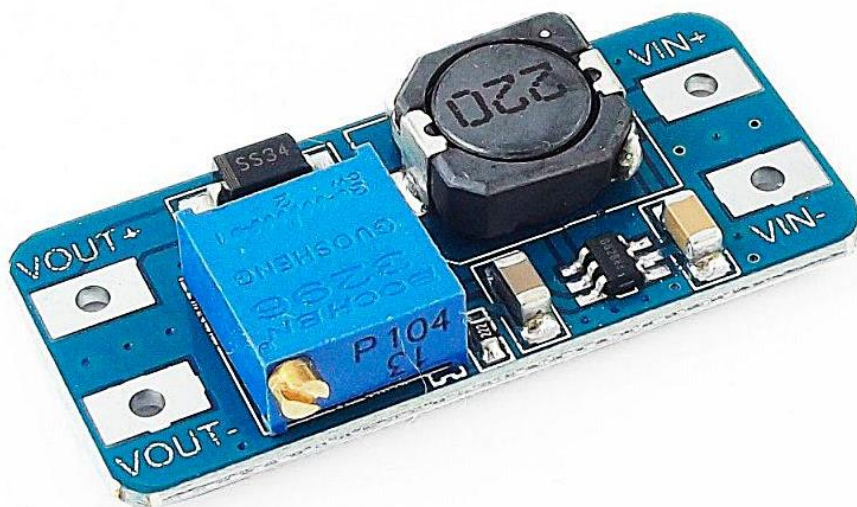


Рис.4.8 – Зовнішній вигляд MT3608M

Інтегрована мікросхема MT3608 є високоефективним імпульсним підвищувачем DC-DC перетворювачем напруги, який призначений для трансформації постійної напруги низького рівня у стабільну постійну напругу вищого рівня. У сучасній електронній техніці такі модулі широко застосовуються для узгодження низьковольтних джерел енергії з потужними або специфічними споживачами, що потребують підвищеного потенціалу,

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зокрема світлодіодними матрицями підсвічування, рідкокристалічними індикаторами, виконавчими двигунами та блоками звукової сигналізації.

Для проектованої системи вимірювання рівня рідини технічні можливості даної мікросхеми забезпечують гнучкі та стабільні експлуатаційні параметри. Модуль підтримує широкий діапазон вхідної напруги від 2 до 24В, що дозволяє йому безперебійно працювати від спільної 5-вольтової шини адаптера живлення. Вихідна напруга перетворювача є регульованою і може настраюватися за допомогою апаратного потенціометра в межах від 2 до 28В, завдяки чому досягається стабільна генерація необхідних для сирени +12В. Мікросхема характеризується високим коефіцієнтом корисної дії (ККД), який у пікових режимах досягає 93%, що мінімізує втрати енергії на тепловиділення всередині корпусу пристрою та підвищує загальну енергоефективність апаратури. Максимальний вихідний струм навантаження, який здатна забезпечити дана топологія, становить до 2 А, що суттєво перевищує імпульсний струм споживання підключеної аварійної сирени. Додатковою перевагою інтегрального виконання МТ3608 є наявність розвиненого комплексу вбудованих засобів захисту, який включає блоки блокування пристрою при перегріві кристала (термозахист), захист від тривалого короткого замикання на виході та автоматичне обмеження за максимальним струмом внутрішнього силового транзистора, що гарантує високу експлуатаційну надійність і завадостійкість усього вузла сигналізації.[16]

Блок живлення обрано HG Power 5 В 4 А вилковий, що зображений на рисунку 4.9.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 4.9 – Зовнішній вигляд блоку живлення HG Power 5 В 4 А

Технічні характеристики

- Тип: вилковий блок живлення;
- Напруга: 5 В;
- Струм: 4 А. [17]

Для забезпечення енергопостачання низьковольтних компонентів мікропроцесорної системи від стандартної первинної мережі змінного струму 220 В традиційно застосовуються блоки живлення, які в сучасній інженерній практиці реалізуються за імпульсною топологією. На відміну від класичних трансформаторних джерел, імпульсні перетворювачі характеризуються мінімальною питомою масою, компактними габаритними розмірами та високою щільністю потужності на одиницю об'єму. Серед усього спектра імпульсних пристроїв найбільш раціональними за критеріями ергономіки та економічної доцільності є мережеві адаптери, що випускаються у закритих пластикових корпусах і розраховані на струми навантаження в межах кількох ампер, чого цілком достатньо для стабільного функціонування більшості цифрових та аналогових схем керування.

У проектованому пристрої інтегровано імпульсний мережевий адаптер HG Power із вихідними параметрами +5 В та 4А, конструктивне виконання якого передбачає безпосереднє підключення до мережевої розетки за допомогою вбудованої вилки штепсельного типу. Дане джерело стабільної постійної напруги характеризується низьким коефіцієнтом пульсацій та

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімальним рівнем високочастотних завад, що є критично важливою умовою для виключення збоїв в обчислювальному ядрі мікроконтролера KM1816BE51 та збереження точності вимірювальних каналів ультразвукових датчиків. Організація живлення системи від адаптера HG Power дозволяє безпечно підключати будь-які види периферійного навантаження із сумарним струмом споживання, що не перевищує граничне номінальне значення 4 А. До специфічних особливостей експлуатації таких адаптерів належить повністю герметичний пластиковий корпус, який дещо обмежує природну конвекцію та погіршує умови відведення надлишкового тепла при тривалій роботі на максимальних режимах. З метою нівелювання цього чинника та підвищення експлуатаційної надійності всього комплексу, максимальний струм споживання елементів проектованої системи розрахований із двократним запасом відносно номіналу блока живлення, що повністю виключає ризик його теплового перевантаження чи виходу з ладу.

4.7. Побудова принципово-електричної схеми

На основі детального аналізу технічних характеристик вибраних апаратних компонентів, а також відповідно до розробленої архітектури структурної схеми, було спроектовано повну принципову електричну схему мікропроцесорної системи вимірювання рівня рідини в резервуарі, яка представлена на рис. 4.10.

Перелік елементів принципової схеми:

- DD1, DD2 – ультразвуковий датчик HC-SR04;
- DD3 – мікроконтролер KM1816BE51;
- DD4 – стабілізатор напруги MT3608;
- HG1 – LCD1602 дисплей з конвертором I2C;
- R1 – 8,2кОМ;

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$T = (80,05; 80,93; 80,95; 80,06; 80,07; 80,06; 80,06; 80,95; 80,96; 80,96)$ мм.

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне $\bar{L}$ за (4.1):

$$\bar{L} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} L_i \cong 20,505 \quad (4.1)$$

2) похибки повторних вимірювань ΔL_i та ΔL_i^2 (4.2):

$$\Delta L = |\bar{L} - L_i| \text{ та } \Delta L_i^2 = (\bar{L} - L_i)^2, \quad (4.2)$$

де $i = 1, 2 \dots 10$;

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

№ з. п.	L, °C	ΔL_i , °C	ΔL_i^2 , °C ²
1	80,05	0,455	0,207025
2	80,93	0,425	0,180625
3	80,95	0,445	0,198025
4	80,06	0,445	0,198025
5	80,07	0,435	0,189225
6	80,06	0,445	0,198025
7	80,06	0,445	0,198025
8	80,95	0,445	0,198025
9	80,96	0,455	0,207025
10	80,96	0,455	0,207025
сер	80,505	0,445	0,198105

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (4.1). За даними табл. 4.2 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{L} - L_i)^2} \approx 0,022 \text{ мм}$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B L = 2,26 * 0,022 = 0,049 \text{ мм}$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.2.)

1) похибку приладу за (4.3):

					МММТ 480.009.009 - ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_{\text{пр}} L = \frac{1}{300} t_p k L_{\text{гр}} \quad (4.3)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.2 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $L_{\text{гр}} = 20\text{мм}$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} T = \frac{1}{300} 2,0 * 20 * 1 \approx 0,13 \text{ мм};$$

2) похибку заокруглення за (4.4):

$$\Delta L_3 = P \frac{h}{2}. \quad (4.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,05. Отже:

$$\Delta L_3 = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,02\text{мм}$$

3) загальну абсолютну похибку (4.5):

$$\Delta L = \sqrt{(\Delta_B L)^2 + (\Delta_{\text{п}} L)^2 + (\Delta_3 L)^2} = \sqrt{0,049^2 + 0,13^2 + 0,02^2} \approx \quad (4.5)$$

$$\approx 0,14\text{мм}$$

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

Графічне представлення послідовності виконання операцій та логіки розгалуження процесів у вигляді блок-схеми наведено на рис. 5.1.

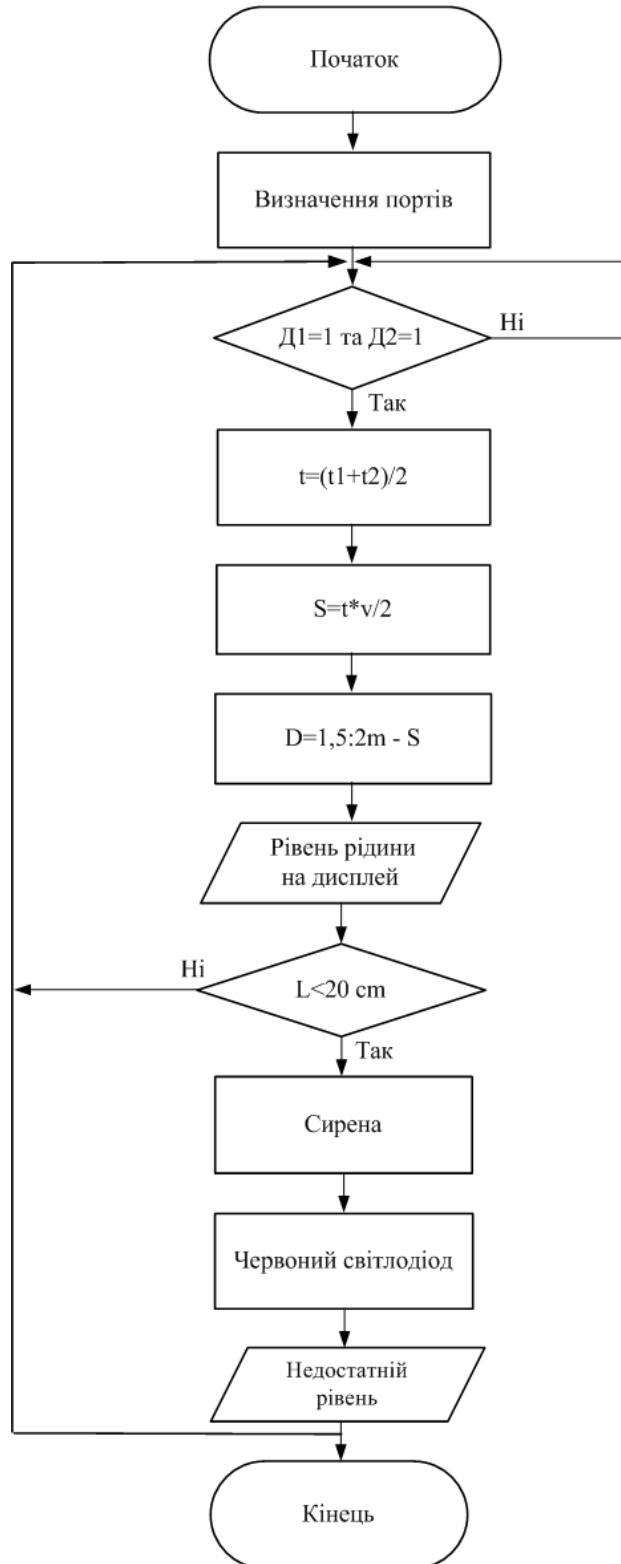


Рис. 5.1 – Алгоритм роботи програмної частини

Функціонування програмного забезпечення здійснюється за такими етапами:

1. Блок «Початок»: Ініціалізує запуск обчислювального ядра при подачі напруги живлення на мікроконтролер КМ1816ВЕ51.

2. Блок «Визначення портів»: На етапі початкової конфігурації програми виконується ініціалізація внутрішніх регістрів мікроконтролера, налаштування напрямку роботи портів введення/виведення (вхідні лінії для датчиків та кнопки, вихідні – для інтерфейсу дисплея та елементів сигналізації), а також конфігурування апаратних таймерів та послідовної шини I2C.

3. Умовний блок « $D1=1$ та $D2=1$ »: Реалізує циклічне опитування готовності первинних вимірювальних перетворювачів. Програма очікує підтвердження синхронної та коректної роботи обох ультразвукових датчиків рівня. Якщо сигнали відсутні або некоректні (гілка «Ні»), система залишається в режимі очікування. При успішному отриманні відгуку від обох каналів (гілка «Так») алгоритм переходить до математичної обробки даних.

4. Блок « $t=(t1+t2)/2$ »: Виконує первинне цифрове фільтрування завад шляхом розрахунку середнього арифметичного значення часу (t) проходження ультразвукового імпульсу за даними першого ($t1$) та другого ($t2$) каналів вимірювання.

5. Блок « $S=tv / 2$ »: На основі отриманого усередненого часу обчислює фізичну відстань (S) від площини розміщення датчиків до поточного дзеркала рідини, враховуючи константу швидкості поширення звуку в повітрі (v).

6. Блок « $D=1,5:2\text{м} - S$ »: Розраховує безпосередній рівень заповнення резервуара рідиною (D) як різницю між повною конструктивною висотою ємності (яка становить від 1.5 до 2 метрів залежно від калібрування резервуара) та виміряною відстанню S .

7. Блок даних «Рівень рідини на дисплей»: Виводить на дисплей значення рівня рідини.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Умовний блок « $L < 20 \text{ cm}$ »: Виконує автоматичний логічний контроль поточної координати рівня на відповідність технологічному критерію безпеки. Програма порівнює поточне значення зі встановленою межею критичного мінімуму (20 см).

Якщо рівень рідини є достатнім (умова не виконується, гілка «Ні»), програма замикає цикл і повертається до етапу повторного опитування датчиків.

Якщо рівень падає нижче критичної мітки (умова виконується, гілка «Так»), алгоритм переходить до ініціалізації режиму аварійного оповіщення.

9. Блоки «Сирена» та «Червоний світлодіод»: Апаратно активують вихідні порти мікроконтролера, вмикаючи звукову сигналізацію через підвищуючий перетворювач напруги та переводячи червоний світлодіодний індикатор у режим блимання.

10. Блок даних «Недостатній рівень»: Виводить на екран дисплея текстове попередження про досягнення аварійного залишку рідини в резервуарі, після чого транзитом через блок «Кінець» керування знову передається на початок головного циклу вимірювання для безперервного моніторингу об'єкта.

5.2. Розробка програми

Важливим етапом створення мікропроцесорної системи вимірювання є вибір інструментальних засобів розробки програмного забезпечення, які мають забезпечувати високу швидкість виконання коду, оптимальне використання обмежених ресурсів пам'яті мікроконтролера та зручність відлагодження.

Для програмування мікроконтролера KM1816BE51 традиційно застосовують два основні підходи: мову високого рівня C або низькорівневу мову асемблера (Assembler).

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У рамках даного проєкту для реалізації керуючого алгоритму було обґрунтовано обрано мову асемблера. Таке рішення зумовлене специфікою архітектури MCS-51 та архітектурними вимогами до системи:

- Максимальна оптимізація пам'яті: Асемблер дозволяє створювати максимально компактний бінарний код, що вкрай важливо в умовах жорстко обмеженого обсягу вбудованої пам'яті програм і даних мікроконтролера KM1816BE51. При використанні компіляторів мови C обсяг згенерованого коду часто збільшується через надлишкові бібліотечні функції.

- Пряме керування апаратними ресурсами: Низькорівневе програмування забезпечує розробнику повний безпосередній доступ до всіх внутрішніх регістрів, таймерів, прапорців та ліній портів введення/виведення, дозволяючи мінімізувати час реакції системи на зовнішні події та точно налаштувати часові інтервали для формування керуючих імпульсів датчиків HC-SR04.

- Швидкодія в реальному часі: Код, написаний на асемблері, виконується без додаткових системних витрат на інтерпретацію, що гарантує максимальну точність при підрахунку тривалості сигналів відлуння (Echo) в режимі реального часу.

Як інтегроване середовище розробки (IDE) було використано пакет Keil uVision. Цей програмний комплекс є галузевим стандартом для мікроконтролерів сімейства 8051. Середовище Keil uVision містить потужний текстовий редактор із підсвічуванням синтаксису, макроасемблер (A51), компоновальник ліній зв'язку, а також високоточний програмний симулятор-відлагоджувач.

Частина програмного лістингу з коментарями, що ілюструє ініціалізацію системи та базовий цикл вимірювання, представлена нижче, а повний текст розробленої програми наведено у Додатку А.

```
RS EQU P2.7           ;equates RS to P2.7
RW EQU P2.6           ;equates RW to P2.6
E EQU P2.5            ;equates E to P2.5
ORG 00H               ;origin
    MOV DPTR, #LUT     ;move starting address of LUT to DPTR
    CLR P3.0           ;clears P3.0 (output)
```

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        SETB P3.1                ;sets p3.1(input)
CLR P3.2                ;clears P3.0(output)
        SETB P3.3                ;sets p3.1(input)
        MOV TMOD,#00100001B      ;sets Timer1 as Mode2 timer and Timer0 as Mode1
timer
MAIN:ACALL DINT           ;calls DINT subroutine
      ACALL TEXT1         ;calls TEXT1 subroutine
      MOV TL1,#200D       ;loads TL1 with start value
      MOV TH1,#200D       ;loads TH1 with reload value
      MOV A,#00000000B    ;loads A with all Zeros
      SETB P3.0           ;sets P3.0(trigger pulse)
      ACALL DELAY1        ;calls DELAY1 subroutine (1uS)
      CLR P3.0            ;clears P3.0
      HERE: JNB P3.1,HERE  ;loops here until echo is received
BACK:SETB TR1            ;statrs Timer1
HERE1:JNB TF1,HERE1      ;loop here until Timer1 roll over occurs
      CLR TR1             ;stops Timer1
      CLR TF1            ;clears Timer Flag 1
      INC A              ;Increments accumulator
      JB P3.1,BACK       ;jumps to label BACK if echo is still present
      MOV R7,A           ;saves accumulator to R7
      ACALL SPLIT        ;calls SPLIT subroutine
      ACALL LINE2        ;calls LINE2 subroutine
      ACALL LEVEL        ;calls LEVEL subroutine
      ACALL TEXT2        ;calls TEXT2 subroutine
      ACALL TEXT3        ;calls TEXT3 subroutine
      ACALL CHECK        ;calls CHECK subroutine
      JB P2.0,JUMP       ;jumps to label JUMP if P2.0 is set
      ACALL TEXT4        ;calls TEXT4 subroutine
      SJMP EXIT2         ;jumps to label EXIT2
JUMP:ACALL TEXT5         ;calls TEXT5 subroutine
EXIT2:ACALL DELAY2       ;calls DELAY2 subroutine(1S)
      SJMP MAIN          ;jumps to label MAIN
CHECK:MOV A,R7           ;loads value of R7 to accumulator
      SUBB A,#20D        ;subtracts 20D from A
      JNC ON            ;jumps to label ON if carry flag not set(A>20D)
      ACALL OFF          ;else calls OFF subrotine
      SJMP EXIT         ;jumps to label EXIT
ON:SETB P2.0            ;sets P2.0 (motor ON)
EXIT:CLR CY             ;clears carry flag
      RET              ;return from subroutine
OFF: MOV A,R7           ;loads value of R7 to accumulator
      SUBB A,#5D        ;subtracts 5D from A
      JNC EXIT1         ;jumps to label EXIT1 if carry flag not set(A>5D)
      CLR P2.0          ;else clears P2.0(motor OFF)
EXIT1:CLR CY           ;clears carry flag
      RET              ;return from subroutine

```

6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка друкованої плати

Заключним етапом технічного проектування апаратної частини системи є розробка топології друкованої плати, яка об'єднує всі елементи в єдиний завадостійкий вимірювально-обчислювальний комплекс. Проектування топології було виконано у спеціалізованому середовищі автоматизованого проектування EasyEDA. З огляду на специфіку схеми, система реалізована як одноплатна, а сама плата є двошаровою з двобічним монтажем та металізацією наскрізних переходів, виготовленою з високоякісного шаруватого матеріалу — склотекстоліту марки FR-4.

При визначенні загальної геометрії друкованого вузла було чітко враховано габаритні розміри та специфіку монтажу таких ключових компонентів, як мікроконтролер KM1816BE51 у DIP-корпусі, два ультразвукових датчики рівня HC-SR04, імпульсний підвищуючий перетворювач напруги MT3608, виконавча міні-сирена Elegant EL 101 та тактова кнопка керування конфігурації SPST-NO. Також на платі закладено посадкові місця під дискретні допоміжні елементи, включаючи резистори, конденсатори фільтрів живлення, напівпровідникові діоди та транзисторні ключі керування навантаженням. Для підключення зовнішнього рідкокристалічного дисплея передбачено спеціалізований штировий роз'єм послідовного інтерфейсу I2C, а інтеграція центрального блока живлення виконується через надійний силовий клемний або гніздовий роз'єм.

При формуванні контуру плати в редакторі EasyEDA було враховано необхідні технічні зони для монтажу у корпус, а також нанесено шовкографічне маркування полярності компонентів і роз'ємів. Зафіксовані системою автоматизованого проектування підсумкові габаритні розміри розробленої друкованої плати становлять 78x106мм відповідно до рисунка 6.1.

Згідно з технологічними вимогами виготовлення друкованих плат та з метою забезпечення високої щільності трасування без втрати надійності, було

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

обрано такі базові геометричні параметри елементів провідникового малюнка, де ширина сигнальних доріжок становить 0.25мм}, зовнішній діаметр контактних площадок і перехідних отворів дорівнює 0.6 мм, а внутрішній діаметр отвору під свердління складає 0.3мм. Обрана ширина сигнальних ліній повністю задовольняє умови проходження слабкострумівих TTL-сигналів та забезпечує високу завадостійкість інформаційних каналів.

Трасування силових шин живлення +5 В та +12В виконано навмисно розширеними провідниками для виключення падіння напруги при спрацьовуванні індикації та аварійної сирени Elegant EL 101. Вільні від сигнальних ліній зони верхнього та нижнього шарів склотекстоліту заповнені суцільними полігонами заземлення, що виконують роль екрана для захисту обчислювального ядра мікроконтролера від зовнішніх електромагнітних завад.

[17]

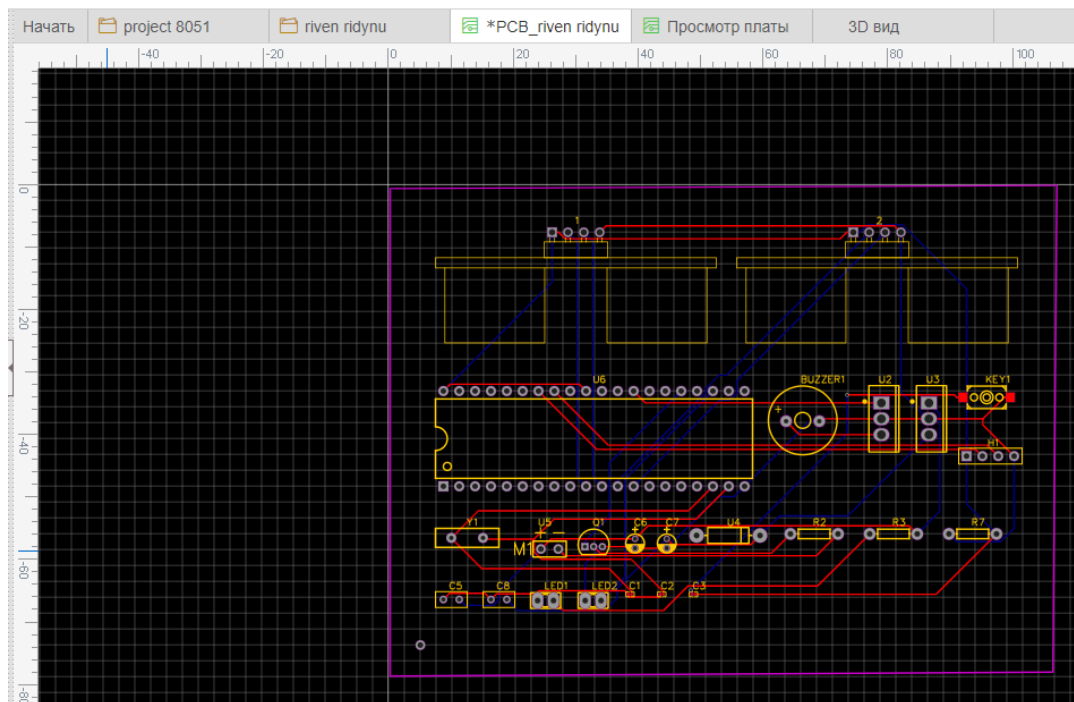


Рис.6.1 – Розведена друкована плата в середовищі EasyEda

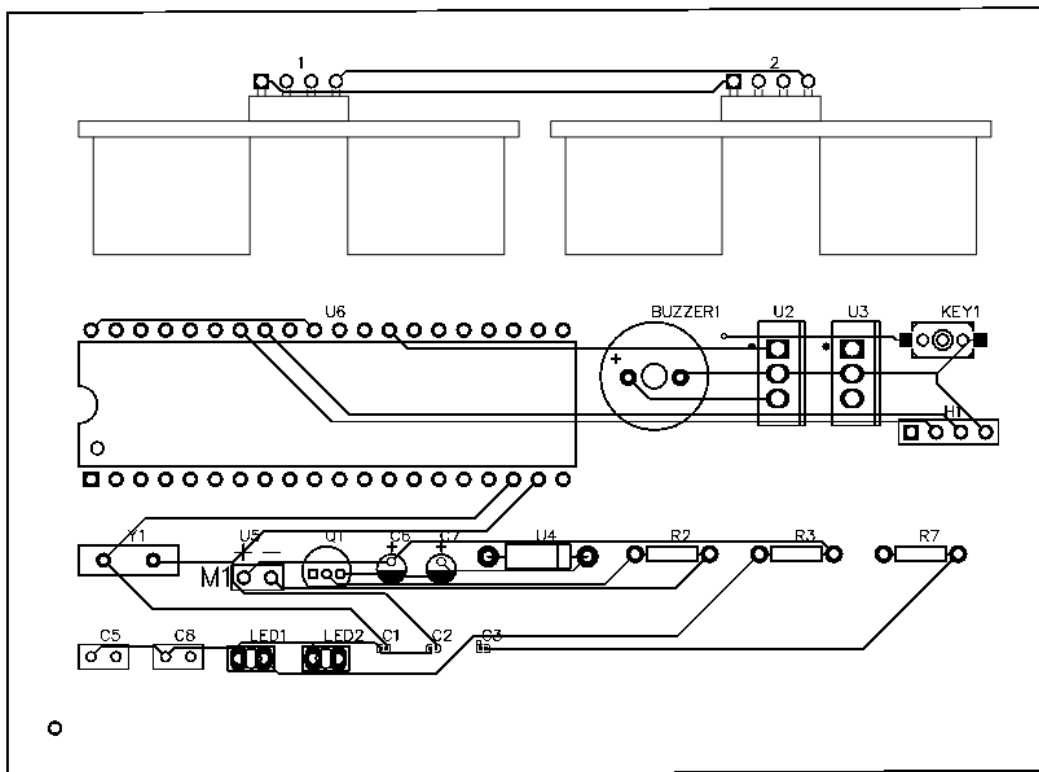


Рис. 6.2 – Перший шар плати в програмі EasyEda

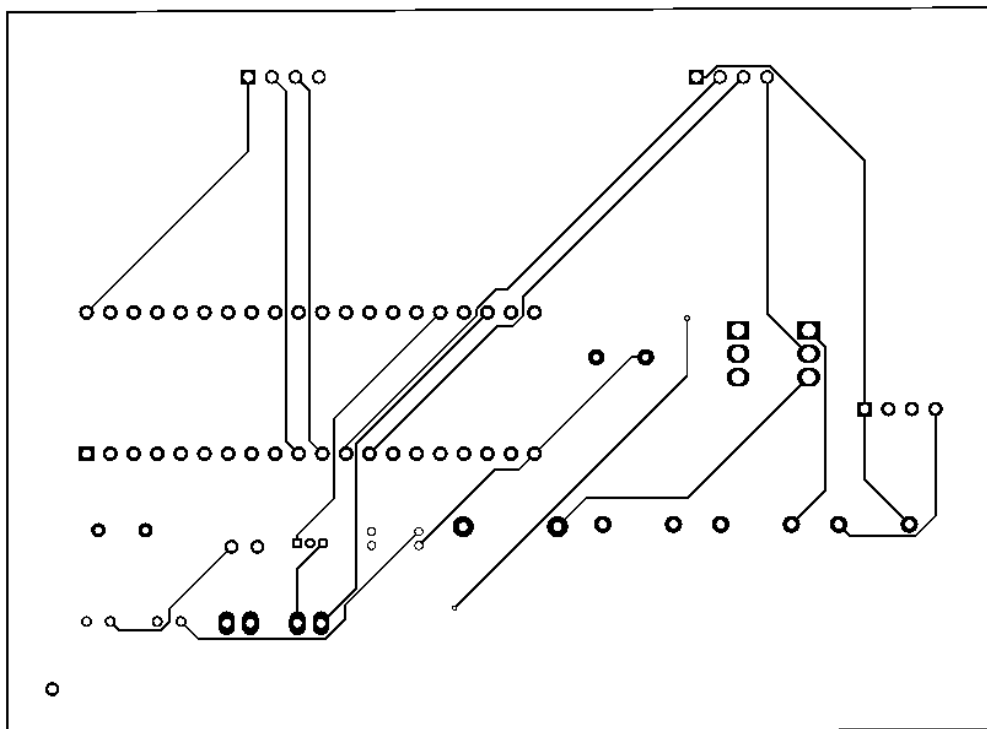


Рис. 6.3 – Другий шар плати в програмі EasyEda

Система буде знаходитися в чорному корпусі Kradex Z5AJ, з розмірами 90x110x49мм [17] з необхідними доробками.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

6.2. Розрахунок надійності системи

Надійність – це властивість об'єкта (пристрою, елемента або системи) зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

При розрахунку надійності визначалися наступні кількісні показники:

1. Імовірність безвідмовної роботи за заданий час $P(t)$;
2. Параметр потоку відмовлень $\lambda(t)$;
3. Середній наробіток до відмовлення T_e .

Безвідмовність – властивість системи неперервно зберігати працездатність впродовж заданого інтервалу часу. Звичайно визначається імовірність безвідмовної роботи за даний інтервал часу, що вибирається рівним 500, 1000 чи 2000 годин.

Основним показником, що враховується при розрахунках надійності, є інтенсивність відмовлень $\lambda(t)$ – число відмовлень в одиницю часу, віднесене до числа елементів, що залишилися справними до початку даного інтервалу часу.

Розрахунок показників надійності проводився методом λ -характеристик, заснованому на інтенсивностях відмовлень комплектуючих виробів (КВ) і поправочних коефіцієнтах, що враховують реальні режими і умови експлуатації виробу.

Виріб призначений для роботи в умовах помірного клімату:

- робочий діапазон температури від -25 до 55°C , відносна вологість повітря до 80% при 20°C ;
- конструктивно виконано для роботи на зовні автомобіля без штучно регульованих кліматичних умов, вібростійкий.

Склад виробу – мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерієм відмовлення виробу вважається відмовлення будь-якої його складової частини (вузла), що приводить до порушення працездатності виробу і неможливості використання його по призначенню.

При розрахунку надійності були прийняті наступні допущення:

1. відмовлення КВ і ІС є подіями випадковими і незалежними;
2. відмовлення будь-якого КВ приводить до відмовлення виробу в цілому;
3. інтенсивність відмовлень КВ протягом терміну їхньої служби в тих самих робочих режимах і умовах є постійною;
4. закон розподілу в розрахунках безвідмовної роботи передбачається експоненціальним.

Розрахунок надійності спроектованого виробу проводиться в відповідності з електричною принциповою схемою виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу спроектованого виробу;
 $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.1.

Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у [18] з врахуванням вихідних даних для проектуваного виробу.

Таблиця 6.1 – Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	KM1816BE51	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	MT3608	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
2	Датчики НС-SR04	2	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	1,638
3	Резистори	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,02184
4	Конденсатори	4	0,01	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,00672
5	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	LED RED	1	0,05	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,0735
6	Дисплей LCD1602	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
7	Кнопка тактова	1	0,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1			1	0,21
8	Кварцовий резонатор	1	1,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	3,78
9	Пайки	70	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,0147
10	Блок живлення 5В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
	Разом								71,20

По формулі (6.1) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 10 таблиці 6.2):

$$\lambda = 71,20 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.3)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год) [18].

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.2 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,98110	0,96219	0,94329	0,92438	0,85433	0,67462	0,53520	0,46143

На графіку,веденому на рис 6.4 приведена залежність надійності $P(t)$.

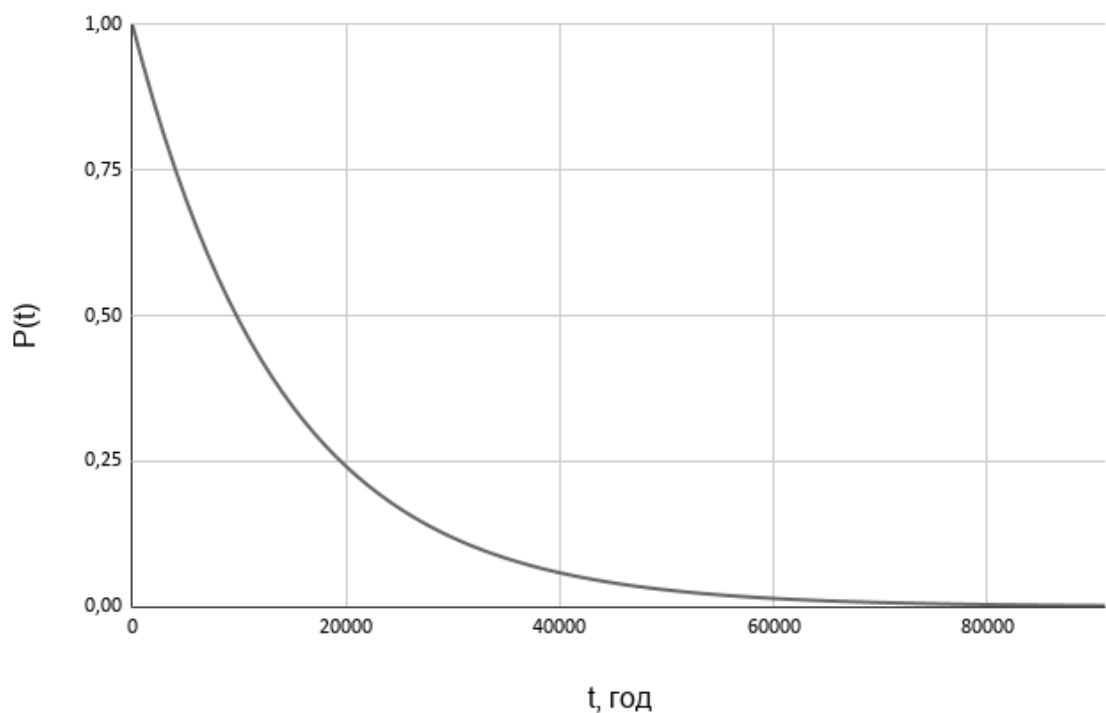


Рис.6.4 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.4)$$

Підставляючи дані в формулу (2.4) одержимо

$$T = (71,20 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14044,59 \text{ годин.}$$

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1.Охорона праці

Охорона праці представляє собою комплексну систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, які спрямовані на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Вона базується на розробці та неухильному виконанні нормативно-правових актів, стандартів і процедур, орієнтованих на повне запобігання виробничому травматизму, мінімізацію ризиків виникнення професійних захворювань та усунення небезпечних чинників робочого середовища.

Фундаментальні принципи організації охорони праці включають такі основні засади:

1. Ідентифікація ризиків: Безперервний аналіз виробничого середовища та робочих процесів з метою своєчасного виявлення потенційних небезпек і шкідливих чинників для персоналу.

2. Профілактика: Розробка та впровадження технічних і організаційних заходів для попередження нещасних випадків, що включає встановлення безпечних режимів роботи, надання засобів індивідуального та колективного захисту, а також навчання працівників.

3. Нагляд та контроль: Забезпечення постійного моніторингу стану умов праці на робочих місцях, оперативне виявлення будь-яких відхилень від чинних санітарно-технічних норм та вжиття заходів щодо їх усунення.

4. Освіта та навчання: Організація регулярних інструктажів, навчання персоналу правилам безпечної експлуатації мікропроцесорної техніки та відпрацювання практичних навичок поведінки в аварійних ситуаціях.

5. Участь працівників: Залучення персоналу до процесу прийняття рішень щодо покращення умов безпеки, слухання їхніх пропозицій та зауважень стосовно оптимізації робочих місць.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою реалізації цих принципів є створення безпечного, ергономічного та сприятливого для здоров'я виробничого простору, що безпосередньо знижує рівень травматизму, запобігає професійним захворюванням та стимулює підвищення продуктивності праці.

В Україні сфера охорони праці жорстко регулюється чинним законодавством, яке встановлює базові правові норми. Основними правовими актами, що регулюють цю галузь, є:

1. Кодекс законів про працю України: Цей кодекс закладає загальні юридичні та соціальні гарантії, чітко розмежовуючи обов'язки та міру відповідальності роботодавців і найманих робітників у контексті створення безпечних умов на робочих місцях.

2. Закон України «Про охорону праці»: Спеціалізований базовий документ, що визначає соціально-економічні, організаційні та лікувально-профілактичні засади функціонування відповідних служб на підприємствах, а також регулює обов'язковість проведення періодичних медичних оглядів.

3. Нормативні акти з охорони праці: Профільні документи, які містять поглиблені технічні вимоги та конкретні нормативи, розроблені під специфіку окремих технологічних процесів (наприклад, обслуговування електроустановок, робота з обчислювальними комплексами чи вимірювальною апаратурою).

4. Постанови та інструкції з охорони праці: Локальні та міжгалузеві акти, що видаються державними наглядовими органами або адміністрацією установ. Вони регламентують конкретні правила безпеки, чітко визначають послідовність дій персоналу при роботі з приладами та встановлюють алгоритми ліквідації наслідків можливих аварій [19].

7.2. Охорона праці при вимірюванні рідини на підприємстві

Організація охорони праці при експлуатації та технічному обслуговуванні розробленої мікропроцесорної системи вимірювання рівня

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рідини на підприємстві має вирішальне значення для гарантування безпеки обслуговуючого персоналу (операторів, інженерів-електроніків) та забезпечення безперебійної роботи технологічного обладнання. Специфіка обслуговування даного пристрою поєднує в собі вимоги безпеки при роботі з низьковольтним електрообладнанням, електронно-обчислювальною технікою, а також правила виконання робіт безпосередньо на технологічних об'єктах (резервуарах, баках, критих вузлах водозабору).

Основні організаційно-технічні аспекти охорони праці при роботі з вимірювальною системою охоплюють такі напрямки:

1. Електробезпека при роботі з обладнанням: Незважаючи на те, що цифрова частина плати мікроконтролера KM1816BE51, датчики HC-SR04 та дисплей працюють під безпечною слабкострумовою напругою +5В, первинне живлення системи здійснюється від мережі змінного струму 220 В через імпульсний мережевий адаптер. Персонал повинен суворо дотримуватися правил безпечної експлуатації електроустановок, уникати торкання оголених струмоведучих частин адаптера, а будь-які монтажні чи ремонтно-налагоджувальні роботи, заміну компонентів або перевірку цілісності провідників друкованої плати виконувати виключно при повному знеструмленні пристрою.

2. Безпека при роботі на вимірювальних майданчиках резервуарів: Оскільки ультразвукові вимірювальні перетворювачі встановлюються у верхній частині резервуара (на кришці або спеціальних фланцях), оператори під час монтажу, калібрування чи очищення випромінювачів від конденсату і пилу можуть перебувати на висоті. У таких умовах робочі місця мають бути обладнані надійними огороженнями, стаціонарними драбинами та технологічними майданчиками, а персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту, включаючи захисні каски, спецвзуття та, за потреби, запобіжні пояси.

3. Професійне навчання та первинний інструктаж: До безпосереднього обслуговування мікропроцесорної системи та зчитування метрологічних даних

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допускаються особи, які пройшли спеціалізоване навчання, курс електробезпеки та детальний інструктаж на робочому місці.

Персонал повинен чітко знати алгоритм функціонування пристрою, правила взаємодії з інтерфейсом користувача (дисплеєм LCD 1602 та кнопками керування), а також послідовність дій і процедури екстреної евакуації або локалізації аварії у разі спрацьовування світлозвукової сирени недостатнього рівня рідини.

4. Регулярне технічне обслуговування та метрологічна перевірка: З метою запобігання хибним спрацьовуванням автоматики та виникненню аварійних ситуацій через несправність елементів, електронний блок і сенсори мають проходити регулярний планово-попереджувальний огляд. Технічний персонал зобов'язаний періодично перевіряти надійність з'єднувальних шлейфів датчиків, відсутність окиснення на контактах роз'ємів, стабільність вихідної напруги підвищуючого DC-DC перетворювача MT3608, а також здійснювати тестові перевірки каналів сигналізації для підтвердження працездатності системи в критичних режимах.

5. Екологічна безпека та управління відходами при ремонті: Будь-які відходи, що утворюються в процесі регламентного обслуговування або модернізації вимірювальної системи (залишки припою, флюси, відпрацьовані компоненти електронних плат, зіпсовані з'єднувальні дроти або деталі корпусів), містять шкідливі хімічні сполуки та важкі метали. Вони підлягають обов'язковому збору, обліку та подальшій передачі на спеціалізовані підприємства для утилізації або знищення відповідно до встановлених екологічних норм та вимог законодавства.[19]

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі була розроблена мікропроцесорна система вимірювання рівня рідини в резервуарі.

Розроблений пристрій орієнтований на застосування в системах промислової автоматизації, на об'єктах житлово-комунального господарства та водозабірних вузлах для безперервного завадостійкого моніторингу рідких середовищ.

Апаратна архітектура створеної системи базується на обчислювальному ядрі мікроконтролера KM1816BE51. Вимірювальний контур реалізовано на основі двох ультразвукових датчиків рівня HC-SR04, що дозволило підвищити точність вимірювань шляхом цифрового усереднення часових інтервалів відлуння та мінімізувати вплив локальних збурень дзеркала рідини. Зчитувана інформація про поточну координату рівня оперативно обробляється за низькорівневим алгоритмом, написаним мовою асемблера у середовищі Keil uVision, та транслюється через послідовну шину I2C на символний рідкокристалічний дисплей LCD 1602. Системою передбачено автоматичний безперервний контроль технологічних меж: у разі падіння рівня рідини нижче критичної позначки у 20см, мікроконтролер ініціює спрацьовування аварійної світлозвукової сигналізації через блимання червоного світлодіода та активацію потужної міні-сирени Elegant EL 101, яка живиться від імпульсного підвищуючого DC-DC перетворювача напруги MT3608.

Під час виконання дипломної роботи було повністю вирішено такі основні завдання:

1. Проведено глибокий аналітичний огляд існуючих методів та засобів вимірювання рівня рідини, за результатами якого обґрунтовано переваги безконтактного ультразвукового методу контролю.

2. Здійснено раціональний вибір сучасної елементної бази та допоміжних компонентів системи за критеріями енергоефективності, метрологічної точності та економічної доцільності.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розроблено та детально описано структурну та принципову електричну схеми мікропроцесорного пристрою, а також організовано його стабільне живлення від мережевого адаптера HG Power.

4. Створено алгоритм функціонування програми та розроблено відповідний програмний код мовою асемблера.

5. За допомогою EasyEDA спроектовано топологію одноплатної двошарової друкованої плати зі склотекстоліту FR-4 із габаритними розмірами 78x106 мм та фіксованими технологічними параметрами провідникового рисунку.

6. Проведено теоретичний розрахунок показників надійності та безвідмовності розробленого пристрою, час безвідмовної роботи системи склав 14044 години, точність системи склала 0,14 мм.

7. Обґрунтовано комплекс заходів з охорони праці та техніки безпеки при його промисловій експлуатації.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цифровий ультразвуковий рівнемір ВЗЛЕТ УР (УР-2xx) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: mashprom.com.ua/vzlet-ur-ur-2hh-cifrovoj-ultrazvukovoj.
2. Радарний рівнемір УР203Ех [Електронний ресурс]. – Режим доступу: mashprom.com.ua/radarnyj-urovnemer-ur203eh.
3. Радарний Вимірювач Рівня Micropilot FMR10 Endress+Hauser [Електронний ресурс]. – Режим доступу: celmet.com.ua/kataloh-produktsii/vymiriuvannia-rivnia-eh/radarni-rivnemiry/fmr10.
4. Магнітострикційний рівнемір Start Italiana (серія ХМТ) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: lebedka.ua/rivnemir-start-italiana.
5. Мікроконтролер i8051 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/728717>.
6. Переваги ультразвукових датчиків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sensorica.ru/s3-3a.shtml>.
7. Принцип роботи УЗ-датчиків рівня [Електронний ресурс]. – Режим доступу: rusautomation.ua/articles/ultrazvukovye-datchiki-urovnya-osobennosti-primeneniya.
8. Як влаштований РК дисплей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://techno-guide.ru/informatsionnye-tehnologii/displei/ustrojstvo-zhk-displeya.html>.
9. Обираємо текстовий екран [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://amperka.ua/page/text-displays-guide>.
10. Принцип роботи сирени для сигналізації та особливості підключення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: signalkaman.ua/remont/printsip-raboty-sireny-dlya-signalizatsii-podklyucheniya.html
11. Характеристики мікроконтролера KM1816BE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://textarchive.ua/c-2562827.html>.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino-diy.com/arduino-ultrazvukovoy-datchik-rasstoyaniya>.

13. LCD 1602 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duino.ua/lcd-1602-arduino>.

14. Міні сирена Elegant EL 101 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/elegant-419316-gpl/p355846767>.

15. LED червоний ультра яскравий [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://arduino.ua/prod372-Svetodiod_krasnii.

16. Стабілізатор напруги MT3608 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://3v3.com.ua/product_1019.html.

17. Блок живлення HG Power 5 В 4 А [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/blok-pitaniya-5v-4a--adpv26b-5.php>.

18. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух ; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 457 с.

19. Голінько В.І. Г 60 Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; Міністерство освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

					МММТ 480.009.009 – ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		