

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електронних приладів та пристроїв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.Д. Писаренко

“ ___ ” _____ 201__ р.

Дипломний проект

освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»

(назва ОКР)

з спеціальності : **6.050802 - Електронні пристрої та системи**

Спеціалізація: **Електронні прилади та пристрої**

на тему: Система збору даних

Виконав:

студент IV курсу, гр. ДЕ-51

_____ Мігуш Максим Олександрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник ст. викладач Бевза Олег Миколайович _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

Нормоконтроль доцент, к.т.н. Чадюк Вячеслав Олексійович _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет Е л е к т р о н і к и
Кафедра Електронні прилади та пристрої
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Бакалавр
Спеціальність: 6.050802 - Електронні пристрої та системи
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.
_____ Л.Д.Писаренко
«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Мігушу Максиму Олександровичу

1. Тема проекту «Система збору даних»

і керівник проекту **Бевза Олег Миколайович, ст. викладач**

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2019 р., № _____

2. Строк подання студентом проекту «__» _____ 2019р.

3. Вихідні дані до проекту: Розробити 8-ми канальну систему збору даних, для збору 8-ми бітної цифрової інформації. Амплітуда уніполярного вхідного сигналу до 24 В. Максимальна частота вхідного сигналу – до 1 МГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури зі схемо-технічних принципів побудови та функціонування перетворювачів інтерфейсу; розробка структурної, електричної принципової схем пристрою; розробка конструкторської документації на друковану плату; висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.

5.Перелік графічного матеріалу: Структурна та електрична принципова схеми пристрою, креслення друкованої плати перетворювача інтерфейсу, плакати з рисунками, графіками та формулами

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по перетворювачам інтерфейсу	01.02.2019 – 22.02.2019	
2	Розробка структурної та електричної принципової схем	04.03.2019 – 29.03.2019	
3	Розробка конструкторської документації на пристрій (креслення друкованої плати)	02.04.2019 – 15.04.2019	
4	Технологія виготовлення друкованої плати	15.04.2019 – 26.04.2019	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслення, плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді	02.05.2019 – 30.05.2019	

Студент гр. ДЕ-51

М.О. Мігуш

Керівник роботи

О.М. Бевза

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
студента кафедри електронних приладів та пристроїв факультету електроніки

Київський Політехнічний Університет імені Ігоря Сікорського

Мігуша Максима Олександровича

на тему: «Система збору даних»

РЕФЕРАТ

Електронна система збору даних

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 171- Електроніка, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. Мігуш Максим О. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-51. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 – 74 с., іл. 19, табл. 15.

Ключові слова : СЗД, ФІЛЬТРИ НИЖНІХ ЧАСТОТ (ФНЧ), АНАЛОГОВИЙ МУЛЬТИПЛЕКСОР (МУХ), НОРМУЮЧИЙ ПІДСИЛЮВАЧ (НП), ПРИСТРІЙ ВИБІРКИ І ЗБЕРІГАННЯ , АЦП, МІКРОКОНТРОЛЕР, ГАЛЬВАНІЧНА РОЗВ'ЯЗКА , ТРАНЗИСТОРНА ОПТОПАРА, МІКРОСХЕМА, DSP, ATMEGA16

Короткий зміст роботи:

У дипломному проекті представлено огляд науково-технічної літератури з обладнання систем збору даних та загальних відомостей про реалізацію типових систем на базі мікроконтролерних систем. Було розроблено пристрій збору даних з наступними параметрами та функціями:

- Передача даних через USB інтерфейс
- Підтримка півдуплексної передачі даних (в обидва боки)
- Підключення сторонніх пристроїв за допомогою USART та GPIO інтерфейсу
- Можливість перепрограмування мікроконтролера

Показано перспективи використання таких пристроїв для промислового використання. Наведені параметри та характеристики системи збору даних, розраховані параметри друкованої плати.

У ході виконання завдання дипломної роботи були розроблені структурна та електрична принципова схеми системи.

А Н О Т А Ц І Я

У дипломній роботі представлено огляд науково-технічної літератури по існуючим системам збору даних, зазначені переваги та недоліки вже існуючих систем. При ознайомленні з системою збору даних більш детально, можна зробити висновок, що найважливішими параметрами, з якими пов'язана робота системи збору даних, є швидкість передачі, режими роботи, підтримувані інтерфейси виведення даних, а також надійність та захищеність від перешкод. Необхідність точної роботи затребувана при діагностиці систем виробництва.

Розроблена конструкція пристрою, структурна та електрична принципова схеми системи збору даних.

S U M M A R Y

The dissertation presents the review of scientific and technical literature on existing systems of data collection, the advantages and disadvantages of already existing systems. When you look at the data collection system in more detail, one can conclude that the most important parameters associated with the work of the data collection system are the speed of transmission, operating modes, supported data interfaces, and the reliability and security of interference. The need for accurate work is needed in diagnosing production systems.

The design of the device, the structural and electrical principle schemes of the data collection system have been developed.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ

ВСТУП.....	11
1. ОГЛЯДОВО-ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	12
1.1. Опис системи збору даних.....	13
1.2. Огляд гальванічних розв'язок.....	18
1.3. Огляд перетворювачів сигналу.....	20
1.4. Висновки розділу.....	22
2. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	23
2.1. Розробка структурної схеми системи збору даних.....	23
2.2. Розробка електричної принципової схеми СЗД.....	25
2.2.1. Вибір мікроконтролера.....	25
2.2.2. Розробка гальванічної розв'язки.....	27
2.2.3. Розробка модулю понижуючого стабілізатора напруги 36В до 5В.....	31
2.2.4. Розробка модулю зв'язку з іншими пристроями.....	33
2.3. Висновки розділу.....	34
3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ.....	35
3.1. Завдання до розробки друкованої плати.....	35
3.2. Вибір та обґрунтування типу друкованої плати.....	36
3.3. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати.....	38
3.4. Вибір та обґрунтування форми та розміру друкованої плати.....	39
3.5. Вибір та обґрунтування класу точності.....	40
3.6. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати.....	43
3.6.1 Розрахунок елементів друкованого монтажу за постійним струмом.....	43
3.6.2 Визначення номінального значення перехідних отворів.....	45
3.6.3 Визначення номінального значення монтажних отворів.....	46
3.6.4 Визначення діаметру контактної площадки для двосторонніх ДП, виготовлених комбінованим позитивним методом.....	46
3.6.5 Визначення мінімальної відстані між елементами провідного рисунку.....	47
3.7. Електричний розрахунок друкованої плати.....	48
3.7.1 Визначення падіння напруги на друкованих провідниках.....	48
3.7.2 Визначення потужності втрат.....	49
3.7.3 Визначення взаємної ємності паралельних провідників.....	49

					БР. 6.050802.0.51.014 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система збору даних	Літ.	Арк.	Арк.всього
Розроб.	Мігуш М.О.						9	76
Перевір.	Бевза О.М.							
Реценз.								
Н. Контр. Затверд.	Чадюк В.О. Писаренко Л.Д.							
						«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51		

3.7.4	Визначення взаємної індуктивності паралельних провідників.....	50
3.8.	Розрахунок надійності.....	50
3.8.1.	Розрахунок віброміцності.....	55
3.8.2	Розрахунок теплового режиму.....	58
3.9.	Розробка посадкових місць.....	58
3.10.	Створення друкованої плати у САПР.....	62
3.11.	Висновки розділу.....	65
	ВИСНОВКИ.....	66
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	69
	ДОДАТКИ	

					БР. 6.050802.0.51.014 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Система збору даних	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архівів</i>
<i>Розроб.</i>		Мігуш М.О.					9	76
<i>Перевір.</i>		Бевза О.М.				«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		Чадюк В.О.						
<i>Затверд.</i>		Писаренко Л.Д.						

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

СЗД – система збору даних;

МК – мікроконтролер;

ДП – друкована плата;

АЦП – аналогово – цифровий перетворювач;

ФНЧ – фільтр нижніх частот;

НП – нормуючий підсилювач;

ДОН – джерело опорної напруги;

MUX – аналоговий мультиплексор.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

ВСТУП

Сучасний світ розвивається швидкісними темпами. Електронне обладнання та об'єкти автоматизації стають все більш складними і дорогими. Розвиток технологій і мікропроцесорної техніки дозволяє вирішити більшу частину проблем, пов'язаних з продуктивністю, точністю, ефективністю роботи обладнання. Разом з тим, більш актуальною стала проблема якісного та безперервного функціонування об'єктів виробництва, оскільки непередбачені розлади в системі зводять практично до нуля всі інші досягнення.

З розширенням виробничих площ усе частіше виникає потреба в керуванні або контролі роботи віддалених інженерних систем. Загальне автоматичне керування роботою віддаленого обладнання і контроль за ним забезпечують стабільну роботу системи. На сьогоднішній день підприємства з виробництва електроніки підвищують та покращують свої виробничі потужності, зі збільшенням яких виникає проблема зі збором даних з виробничих ліній та їх подальшою обробкою. Застарілі способи збору даних призупиняють швидкі темпи модернізації підприємств.

У даній роботі спроектовано систему збору даних. Особливістю даної системи є можливість приймати цифровий сигнал до 24В. Також система має гальванічну розв'язку, що дозволяє захистити обладнання та людей від ураження електричним струмом.

Завданням дипломної роботи є розробка системи збору даних. Система має відповідати таким вимогам:

Вхідний цифровий сигнал – до 24В;

Джерело живлення – до 36В;

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1. ОГЛЯДОВО – ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Сучасне виробництво електроніки – надзвичайно складна система, яка базується на взаємозв'язках між різними операціями, процесами та системами виробництва. Якщо на початку розвитку ери електроніки виробництва склалися з декількох виробничих ліній, то сучасне промислове виробництво включає в себе велику кількість електронних систем та підсистем, що покликані узгоджено взаємодіяти між собою.

Логічним є припущення, що для керування усіма цими системами потрібно використовувати спеціальні блоки керування, які можуть збирати інформацію, обмінюватися нею з підсистемами.

Наприклад, сучасна виробнича лінія може складатися з декількох десятків станків, а кожний із станків, у свою чергу, може мати багато підсистем. Усі ці системи та підсистеми повинні працювати як єдиний механізм, взаємодіяти одна з одною. На перший погляд, здається, що до кожного окремого датчика необхідно підводити дроти, але, якщо підрахувати загальну кількість таких підсистем, то довжина усіх дротів має простягатися на багато кілометрів. Тому для розв'язання цієї проблеми було вирішено застосувати системи збору даних, які отримують інформацію, конвертовану у потрібний формат, та за допомогою систем передачі даних далі передають дані на сервери для подальшої обробки.

У сучасному технологічному процесі виробництва часто виникає потреба збору інформації з датчиків і управління виконавчими пристроями та механізмами. Такі завдання виникають в найрізноманітніших сферах людської діяльності: охоронні сигналізації, управління технологічними процесами, виробництвом, дотримання заданих технологічних умов, вимір різних параметрів і величин тощо. При цьому процес проведення збору інформації з датчиків і управління виконавчими пристроями пов'язаний з необхідністю постійної присутності людини, можливості якої є обмеженими. Також інколи виникають ситуації обмеженої відстані, на якій можна збирати дані і управляти пристроями, крім того, трапляються випадки, коли люди через свої фізіологічні особливості

									Арк.
									12
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

або умови навколишнього середовища не мають можливості в повному обсязі виконувати поставлені завдання. Саме в таких випадках на допомогу людині приходять віддалені системи збору інформації з датчиків і управління виконавчими пристроями. Сьогодні є велика кількість систем, які дають можливість об'єднати всі процеси та вирішити проблему збору даних і керування процесами, але в переважній більшості вони розраховані на спеціальні умови роботи і функціонування, застосовують дороге обладнання й значні витрати на облаштування та функціонування системи.

Тому виникає потреба в бюджетному пристрої, який виконував би функцію збору інформації, контролю та управління віддаленими об'єктами через підключення пристрою до звичайної локальної мережі. Важливим є забезпечення основних функціональних можливостей за умови мінімальних витрат на розробку, впровадження та експлуатацію, а також можливу подальшу модернізацію системи.

Отже, ці системи спрощують і значно здешевлюють забезпечення безперебійної роботи й успішне протікання технологічних процесів. Тому розробка таких систем збору даних є актуальною в умовах все більшої автоматизації виробництва, розвитку інформаційних технологій та їх впровадження в усі сфери життя суспільства.

1.1 Опис систем збору даних

Система збору даних (СЗД) - це сукупність апаратних засобів, що здійснює вибірку, перетворення, зберігання і первинну обробку різноманітних вхідних аналогових сигналів.[1] Система збору даних є основним елементом багатоканальних засобів вимірів, що визначає його технічні характеристики.

До складу СЗД можуть входити фільтри нижніх частот (ФНЧ), нормуючі підсилювачі (НП), аналоговий мультиплексор (MUX), пристрій вибірки і зберігання (ПВЗ), аналого-цифровий перетворювач (АЦП) і мікроконтролер (МК). Деякі типи СЗД містять програмований підсилювач після мультиплексора, що

					<i>БР. 6.050802.051.014 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>13</i>

дозволяє перебудовувати діапазон вимірів. Найбільш поширена структура СЗД надана на Рис. 1.1

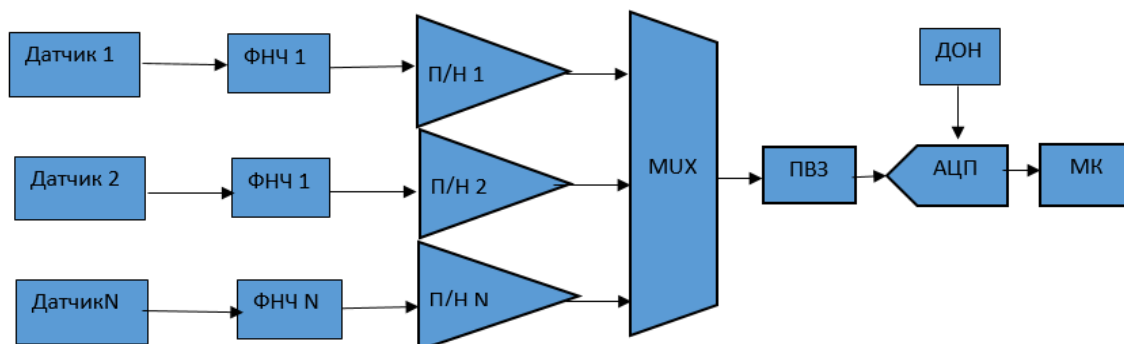


Рис.1.1 Структура СЗД: ФНЧ – фільтр нижніх частот; П/Н – пристрій посилення/нормування сигналу; MUX – аналоговий мультиплексор; ПВЗ – пристрій вибірки/зберігання; ДОН – джерело опорної напруги; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МК - мікроконтролер

На вхід СЗД поступають аналогові сигнали, наприклад, з датчиків фізичних величин. Тип і рівень аналогового сигналу визначаються фізичними особливостями датчиків, що використовуються. Як правило, сигнал малий за амплітудою, і в ньому наявні побічні шуми й перешкоди. Фільтр нижніх частот (ФНЧ) фільтрує сигнал і запобігає накладанню його спектрів. Нормуючий підсилювач погоджує за амплітудою сигнал первинного перетворювача з вхідним діапазоном АЦП. Аналоговий мультиплексор забезпечує комутацію вибраного аналогового вхідного каналу з ПВЗ. Облаштування вибірки-зберігання забезпечує зберігання сигналу протягом усього періоду часу роботи аналого-цифрового перетворювача. АЦП здійснює перетворення напруги з вхідного аналогового каналу в цифровий код. Далі цифровий код, пропорційний вхідному сигналу з датчика, потрапляє до мікроконтролера, де й відбувається його первинна обробка.

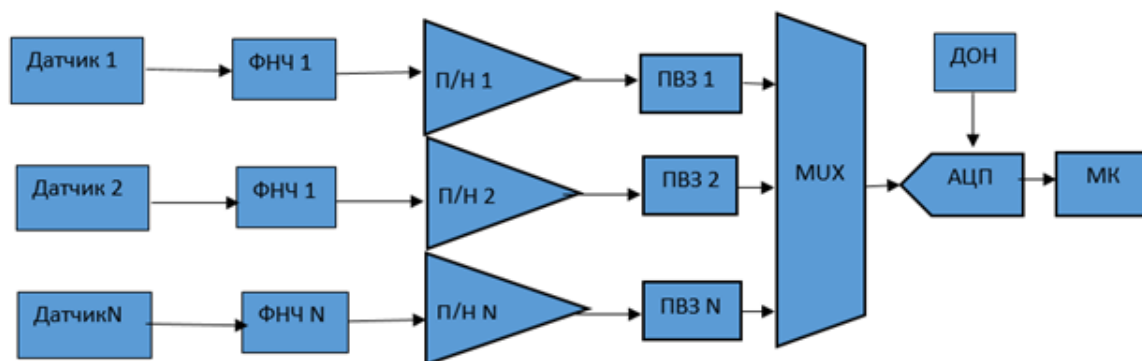
СЗД використовуються в різних галузях, таких як прецизійні низькочастотні вимірювання, акустика, а також у високошвидкісних вимірах. Незважаючи на

					<i>БР. 6.050802.051.014 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

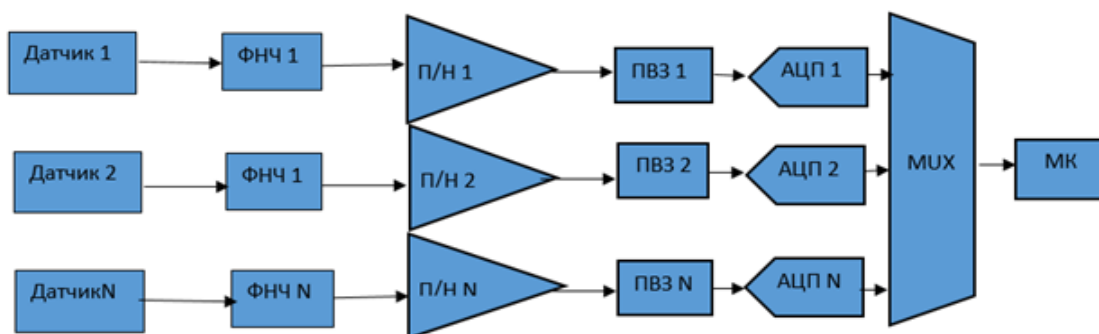
схожі структури, у залежності від галузі застосування СЗД, до них можуть пред'являтися різні вимоги.

У деяких випадках використовуються й інші структури СЗД, наприклад, структура з декількома ПВЗ (рисунок 1.2а). Ця структура використовується, коли необхідно здійснити вибірку значень двох або більшої кількості сигналів точно в один і той же момент часу (одночасна вибірка).

Структура з паралельно працюючими АЦП (рисунок 1.2б) використовується, коли перетворення всіх сигналів повинно проходити максимально швидко і в один і той же момент часу. Наявність окремого АЦП для кожного каналу надає можливість реалізувати більш високу частоту дискретизації в розрахунку на канал. Така структура найчастіше використовується в системах контролю якості електромереж, управління двигуном тощо. Обидві структури СЗД, зображені на рисунку 2, використовуються в додатках, де різниця фаз вибірки сигналів, що виникає через затримку перетворення, призводить до появи методичної похибки.



а)



б)

Рис.1.2 (а, б) Структура СЗД; ФНЧ – фільтр нижніх частот; П/Н – пристрій посилення/нормування сигналу; MUX – аналоговий мультиплексор; ПВЗ – пристрій вибірки/зберігання; ДОН – джерело опорної напруги; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МК - мікроконтролер

Сьогодні існують два основні підходи до проектування сучасних систем збору даних: побудова СЗД з використанням дискретних компонентів і побудова СЗД з використанням технологій систем на кристалі.

Перший підхід є найбільш складним способом розробки СЗД. Він вимагає обґрунтованого вибору елементної бази, схемотехніки та конструкції друкованої плати. Цей підхід передбачає створення макетного зразка і проведення випробувань, що значно збільшує терміни й вартість розробки. Для всього перерахованого необхідні висока кваліфікація розробника, а також досить значні часові й економічні витрати. Проте побудова СЗД на дискретних компонентах необхідна для вирішення вузькоспеціалізованих завдань. Це доцільно у випадках, коли для вирішення завдання не існує спеціалізованих систем на кристалі або готових інтегральних СЗД.

Існує значна кількість систем збору даних, що успішно використовуються на сучасних виробництвах.

Характеризувати такі системи збору даних можна ще й таким чином:

- за способом роботи з комп'ютером системи збору даних;
- за способом отримання інформації.

До способу роботи з комп'ютером можна віднести:

- системи збору даних на основі вбудованих плат СЗД із стандартним системним інтерфейсом (PCI);
- системи збору даних на основі модулів збору даних із зовнішнім інтерфейсом (RS-232, RS-485, USB);
- системи збору даних, виконані у вигляді крейтів (магістрально модульні системи збору даних – КАМАК);

									Арк
									16
Змн	Арк	№ док.	Піппис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

- групи цифрових вимірювальних приладів або інтелектуальних датчиків.
- До СЗД за способом отримання інформації належать:
- скануючі системи збору даних;
 - мультиплексні (мультиплексорні) СЗД;
 - паралельні СЗД;
 - мультипліковані СЗД.

Кожен з цих типів систем збору даних має свої особливості. Так скануючі системи використовують для отримання поля розподілу параметрів. У паралельних системах кожен канал має свій АЦП, а за необхідності - свій процесор обробки даних.

Мультиплексні системи мають окремі блоки аналогової обробки даних, а всі інші блоки системи є загальними для всіх каналів. Найбільшого розповсюдження в електроніці отримали саме мультиплексорні системи збору даних.

Основне призначення аналогових мультиплексорів - передача даних від декількох джерел сигналу до одного приймача. Використання аналогового мультиплексора допомагає збільшити кількість каналів при використанні одного АЦП. Основними вимогами, що пред'являються до аналогових мультиплексорів, є мінімальний опір каналу у відкритому стані, максимальний опір у закритому стані, швидкодія, температурний дрейф характеристик, величини комутованої напруги і струму, споживана потужність, а також наявність вбудованих додаткових функцій.

Згідно із завданням, інформація до СЗД, що розробляється, надходить з промислового обладнання вже в цифровому вигляді по 8 каналах та має розрядність у 8 бітів. Це суттєво спрощує систему. Найбільше для обробки даної інформації підходить саме мультиплексна система збору даних.

Вхідні сигнали мають амплітуду до 24 В та максимальну частоту вхідного каналу 1 МГц.

					<i>БР. 6.050802.051.014 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

1.2. Огляд гальванічних розв'язок

Для надійної роботи системи збору даних, вона має бути гальванічно розв'язаною.

Гальванічна розв'язка - передача енергії або інформаційного сигналу між електричними ланцюгами, що не мають безпосереднього електричного контакту між ними. [2]

Гальванічні розв'язки використовують для передачі сигналів задля зниження перешкод, для безконтактного керування і з метою захисту обладнання від пошкодження, а людей - від ураження електричним струмом.

Існує декілька видів гальванічних розв'язок, наприклад:

- індуктивна розв'язка;
- оптоелектронна розв'язка;
- діодна оптопара;
- транзисторна оптопара.

Оптоелектронні та оптичні розв'язки зазвичай застосовують у сучасних цифрових схемах з метою передачі аналогових сигналів з оптимізованою точністю. Якщо фотоструми фотодіодів можуть бути рівними на всьому діапазоні зміни вхідного сигналу, то нелінійність каналу, як правило, компенсується.

У пристроях цього типу сигнал передається за допомогою оптичного випромінювання і використовується виключно для передачі інформаційних сигналів, так як через такі розв'язки важко і технічно недоцільно передавати велику потужність.

У даний час оптичні розв'язки - найбільш використовуваний і популярний тип інформаційних розв'язок. Принцип їх дії заснований на випромінюванні світла певним керованим електричним сигналом світловипромінювача, на передачі оптичного сигналу в гальванічно ізольовану частину і зворотне перетворення випромінювання в електричний сигнал.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		18

Оптоелектронна розв'язка, на відміну від трансформаторної, має значно менші габарити, більш дешева й має можливості передавати повільно мінливі сигнали, у тому числі й сигнали постійного струму.

Недоліком оптичної розв'язки щодо передачі аналогових сигналів низьких частот вважається суттєва нелінійність каналу під час передачі сигналу, нерівномірність коефіцієнта передачі - 10-30% у всьому діапазоні зміни сигналу.

У діодній оптопарі джерелом світлового потоку є світлодіод. Така оптопара може використовуватися замість ключа і працювати з сигналами частотою в декілька десятків МГц. За необхідності передачі сигналу джерело подає на світлодіод живлення, у результаті чого випромінюється світло, що потрапляє на фотодіод. Під дією світла фотодіод відкривається і пропускає через себе струм. Приймач реагує на появу струму як на робочий сигнал. Недоліком діодних оптопар є те, що керування підвищеними струмами без допоміжних елементів неможливе. Також до недоліків можна віднести їх малий ККД.

Трансформаторна (індуктивна) розв'язка – це гальванічна розв'язка у трансформатора. Первинна обмотка (зверху) електрично ізольована від вторинної обмотки (знизу). Це історично перший вид розв'язок, який використовується досі як для передачі потужності, так і для передачі інформації.

Для побудови трансформаторної (індуктивної) розв'язки необхідно застосувати магнітоіндукційний елемент, який називається трансформатором. Він може бути як з сердечником, так і без нього.

При розв'язці трансформаторного виду застосовують трансформатори з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці. Первинна котушка трансформатора з'єднується з джерелом сигналу, вторинна - з приймачем. Для розв'язки ланцюгів за такою схемою можна застосовувати магнітомодуляційні пристрої на основі трансформаторів. Відповідно, напруга на виході, яка є на вторинній обмотці трансформатора, буде в прямій залежності від напруги на вході пристрою. Індуктивна розв'язка має ряд серйозних недоліків:

- значні габаритні розміри, що не дозволяють виготовити компактний пристрій;

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		19

- частотна модуляція гальванічної розв'язки обмежує частоту пропускання;
- на якість вихідного сигналу впливають перешкоди вхідного сигналу;
- дія трансформаторної розв'язки можлива тільки при змінній напрузі.

Отже, використання індуктивної гальванічної розв'язки стає неможливим через великі габаритні розміри трансформаторів, частотна модуляція гальванічної розв'язки обмежує частоту пропускання, на якість вихідного сигналу впливають перешкоди вхідного сигналу, а дія трансформаторної розв'язки можлива тільки за змінної напруги.

Діодну гальванічну розв'язку вирішено не використовувати, через малий ККД, та через неможливість керування підвищеними струмами без допоміжних елементів. Таким чином, вирішено, що найбільш доцільним є використання транзисторної оптопари.

Транзисторна гальванічна розв'язка має декілька ключових переваг:

- широкий інтервал напруг розв'язки (до 0,5 кВ). Це відіграє велику роль в проектуванні систем введення інформації.
- Може функціонувати з високою частотою, яка досягає декількох десятків МГц.
- Компоненти схеми такої розв'язки мають незначні габаритні розміри.

1.3 Огляд перетворювачів сигналу

Мікроконтролер – це обчислювально-керуючий пристрій, призначений для виконання функцій контролю й керування периферійним устаткуванням. [3]

Якщо уявити всі типи сучасних мікроконтролерів (МК), то можна здивуватися величезній кількості різноманітних приладів цього класу, доступних споживачеві. Усі ці прилади можна розподілити на такі основні типи:

- вбудовувані (embedded) 8-розрядні МК;
- 16- і 32-розрядні МК;

					<i>БР. 6.050802.051.014 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Піппис</i>	<i>Лата</i>		20

- цифрові сигнальні процесори.

Основне призначення вбудованих мікроконтролерів - забезпечити за допомогою недорогих засобів гнучке (програмоване) керування об'єктами і зв'язок із зовнішніми пристроями. Ці мікроконтролери не призначені для того, щоб реалізовувати комплекс складних функцій, але вони здатні забезпечити ефективне керування в багатьох галузях застосування [3].

Мікроконтролери із зовнішньою пам'яттю призначені для іншого використання, ніж вбудовані мікроконтролери. Ці застосування зазвичай вимагають великого обсягу пам'яті (RAM) і невеликої кількості пристроїв (портів) введення-виведення. Для мікроконтролерів із зовнішньою пам'яттю найбільш підходящими є додатки, у яких критичним ресурсом є пам'ять, а не кількість логічних входів-виходів загального призначення, тоді як для вбудованих мікроконтролерів має місце протилежна ситуація [3].

Цифрові сигнальні процесори (DSP) - відносно нова категорія процесорів. Призначення DSP полягає в тому, щоб отримувати поточні дані від аналогової системи і формувати відповідний відгук. DSP і їх арифметично-логічний пристрій, який є апаратним засобом для виконання обчислень, працюють з дуже високою швидкістю, що дозволяє здійснювати обробку даних в реальному вимірі часу.[4]

Саме через велику швидкодію, великий ККД, малі габарити, простоту використання і був обраний мікроконтролер ATMEGA16 [5].

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.4. Висновки

Отже, розглянувши СЗД різних типів, дійшов висновку, що кожна з існуючих систем збору даних має свої особливості використання. Так скануючі системи використовують для отримання поля розподілу параметрів.

Мультиплексні системи мають окремі блоки аналогової обробки даних, а всі інші блоки системи є загальними для всіх каналів. Найбільшого розповсюдження в електроніці отримали саме мультиплексорні системи збору даних.

Основне призначення аналогових мультиплексорів - передача даних від декількох джерел сигналу до одного приймача. Використання аналогового мультиплексора допомагає збільшити кількість каналів при використанні одного АЦП.

Згідно із завданням, інформація до СЗД, що розробляється, надходить з промислового обладнання вже в цифровому вигляді по 8 каналах та має розрядність у 8 бітів. Це суттєво спрощує систему.

Із розглянутих СЗД, згідно з поставленими технічними завданнями, найбільше підходить мультиплексна система збору даних. Дана СЗД не вимагатиме встановлення аналого - цифрового перетворювача через те, що дані на систему збору даних поступатимуть у цифровому вигляді.

Більшість існуючих систем збору даних випускаються для промислового використання, а спеціалізованих систем для збору даних на виробництві небагато. Отже, розробка власного пристрою є доцільною.

Розроблена система збору даних може використовуватися на виробничому обладнанні, де встановлені цифрові датчики, з метою його безперервного контролю. Перевагами є простота СЗД при виробництві та експлуатації, висока стійкість до перешкод.

Із розглянутих СЗД, згідно з поставленими технічними завданнями, найбільше підходить мультиплексна система збору даних. Дана СЗД не вимагатиме встановлення аналого- цифрового перетворювача через те, що дані на систему збору даних поступатимуть у цифровому вигляді.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		22

2. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

2.1. Розробка структурної схеми системи збору даних

Структурна схема, представлена на Рис.2. 1., складається з наступних блоків:

- Блок гальванічної розв'язки
- Блок мікроконтролера
- Блок стабілізатора напруги з 36В у 5В
- Блок виводів

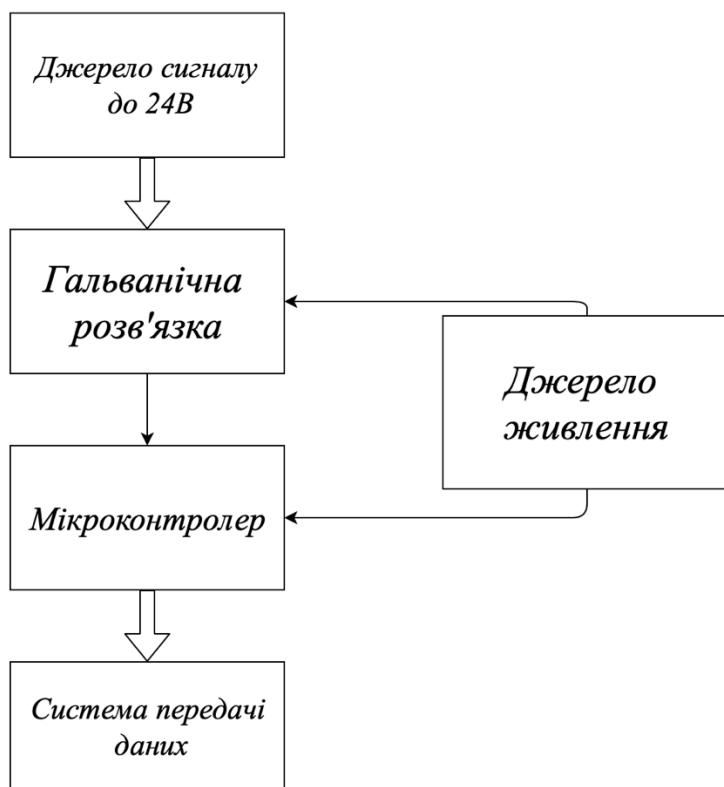


Рис. 2.1. Структурна схема СЗД

Блок гальванічної розв'язки використовується для передачі електричного сигналу між електричними колами без електричного контакту між ними. Обрано використовувати транзисторну оптопару. Дана гальванічна розв'язка має декілька ключових переваг:

- широкий інтервал напруг розв'язки (до 0,5 кВ). Це відіграє велику роль в проектуванні систем введення інформації;
- може функціонувати з високою частотою, що досягає декількох десятків МГц;

									Арк.
									23
Змн	Арк	№ докум.	Піппис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

- компоненти схеми такої розв'язки мають незначні габаритні розміри.

Блок мікроконтролера використовується для забезпечення за допомогою недорогих засобів гнучкого (програмованого) управління об'єктами і зв'язку із зовнішніми пристроями. Ці мікроконтролери не призначені для реалізації комплексу складних функцій, але вони здатні забезпечити ефективне керування в багатьох галузях застосування. Для системи обрано використовувати мікроконтролер ATMEGA 16.

Стабілізатор напруги з 36В, що надходять з ліній живлення підприємства, у 5В, які використовуються для живлення мікроконтролера, системи передачі даних та оптопар.

Блок виводів використовується для безпосереднього з'єднання пристрою з іншими пристроями. Дозволяє робити із мікроконтролера контролер лінії, відправляти у мережу повідомлення, сформовані зовнішніми пристроями, або отримувати керуючі сигнали з мережі та перенаправляти їх у зовнішній пристрій. Додатково блок використовується для перепрограмування мікроконтролера, оскільки різні протоколи потребують різного програмного забезпечення.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		24

2.2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СЗД

2.2.1 Вибір мікроконтролера

ATmega16 (Рис.2.2) – мікроконтролер фірми ATMEL, побудований на основі розширеної архітектури RISC AVR. Для роботи даного МК потрібно живлення у 5 вольт, яке можна буде отримувати з 36 вольт, які задані технічним завданням.

Характеристики:

- Робоча напруга живлення – 5В
- Діапазон вхідної напруги живлення – 4,5В – 5,5В
- Максимальна частота - 16 МГц
- Робоча температура - -40°C – $+70^{\circ}\text{C}$
- Флеш-пам'ять – 512 байт
- ОЗП – 16 Кбайт SRAM пам'яті
- Кількість вводів-виводів – 32
- Тип корпусу – PDIP40
- Кількість таймерів – два 8-розрядних таймера/лічильника з попередніми дільником частоти і режимом порівняння, один 16-розрядний таймер/лічильник з окремим попередніми дільником і режимами захоплення і порівняння

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		25

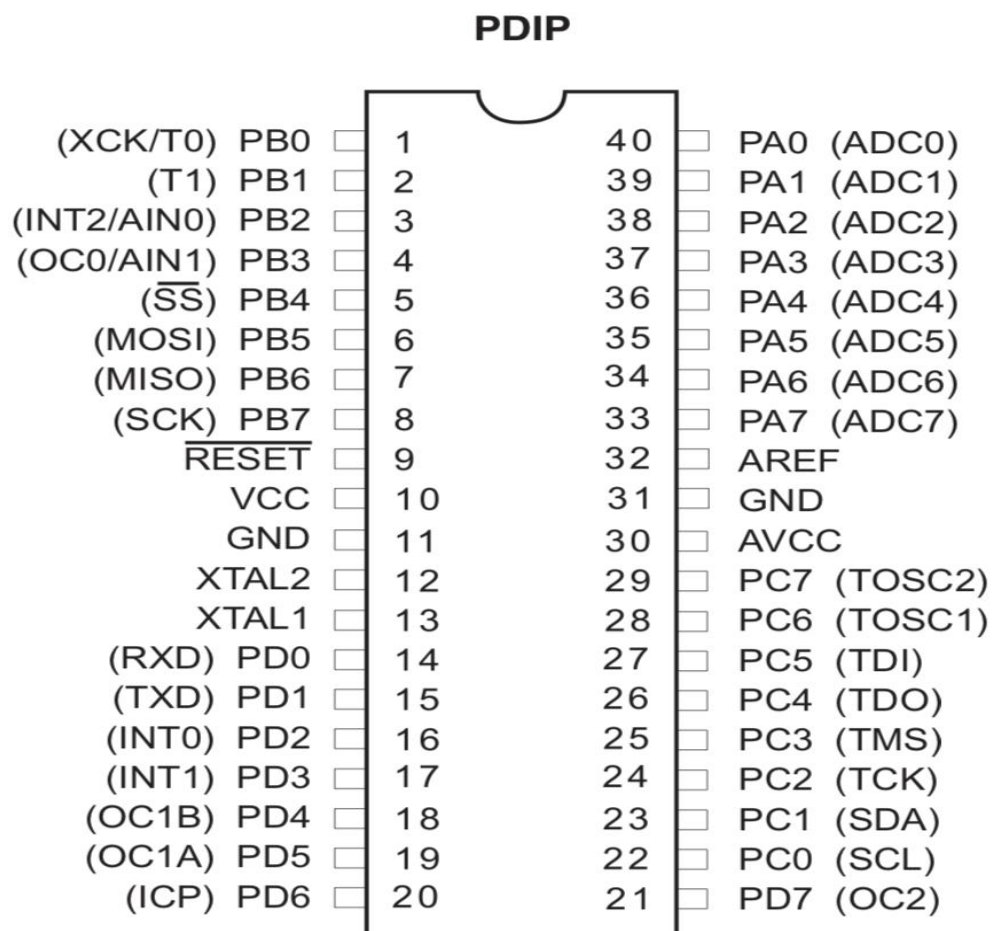


Рис.2.2 Розташування вводів-виводів на платі ATmega16

Для налаштування конфігурації та створення автозавантажувача для мікроконтролера використовується програмне забезпечення AVR Studio, яке створено в Atmel для простішої роботи з їх контролерами. ПЗ дозволяє задати необхідні параметри при ввімкненні пристрою. Також в цій програмі можна налаштувати необхідні для роботи приладу інтерфейси.

Для досягнення максимальної частоти роботи буде використовуватися зовнішній кварцовий резонатор на 16 МГц. Для підвищення стабільності роботи навколо ставляться рекомендовані конденсатори відповідно до документації на мікроконтролер.

Мікроконтролер ATMEGA16 (Рис.2.3) 8-розрядний АЦП як з несиметричними, так і з диференціальними входами. Має 32 програмовані лінії введення / виводу з рівнями TTL; на ці лінії виведена також підтримка периферійних функцій; напруга живлення 2.7 ... 5.5 В. AVR RISC-архітектура - архітектура високої продуктивності та малого споживання. Є можливість програмування безпосередньо в цільовій системі через послідовні інтерфейси SPI і JTAG. Тактова частота – 16МГц. [6,7]

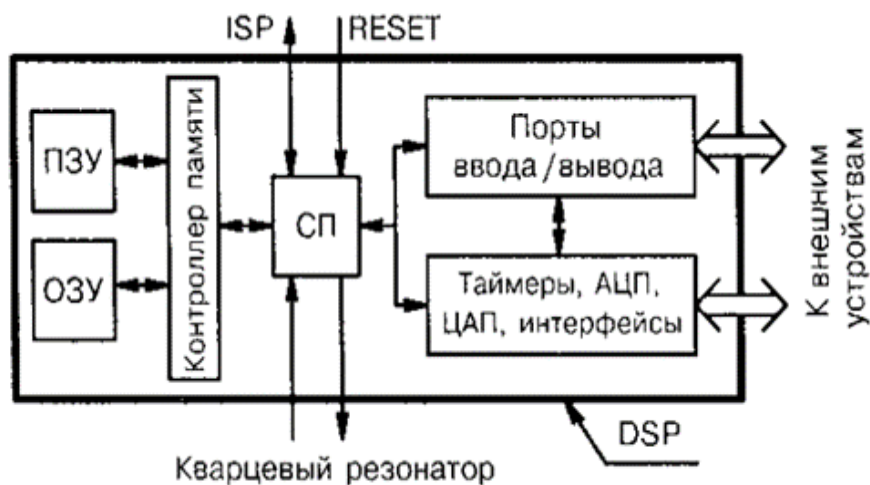


Рис.2.3 Схема перетворювача сигналу

2.2.2. Розробка гальванічної розв'язки

Для надійної роботи системи збору даних потрібно гальванічно розв'язати зовнішній ланцюг та внутрішній ланцюг системи збору даних. Це необхідно для передачі електричного сигналу між електричними колами без електричного контакту між ними. У даній системі використовується транзисторна оптопара H11L1MS. [8]

Оптопарі типу H11L1MS мають параметри, що відповідають усім поставленим задачам .

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		27

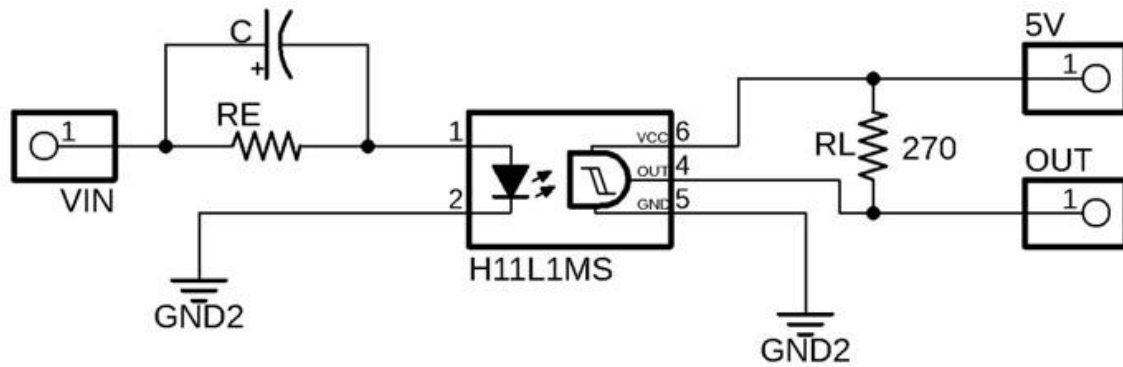


Рис.2.4 Схема ввімкнення оптичної розв'язки.

Із сімейства оптопар серії H11L1 найточніше відповідає технічним параметрам системи мікросхема H11L1MS, яка має високу завадостійкість. Обрана оптопара повністю задовольняє технічним вимогам завдання.

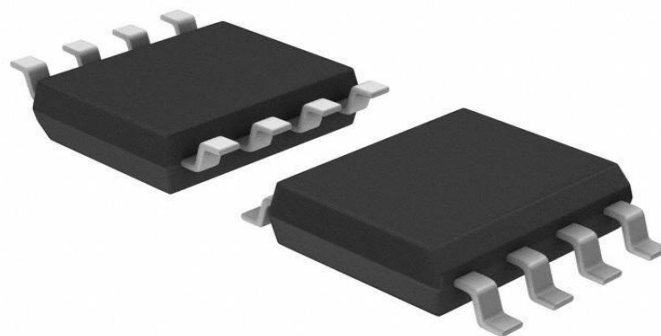


Рис.2.5 Транзисторна оптопара H11L1MS

Оптопару Н11L1MS (Рис.2.5) розроблено американською фірмою Fairchild Semiconductors. [8]

Н11L1MS (Рис.2.6) складається з арсенід-галієвого інфрачервоного світлодіоду на вході, оптично пов'язаного з високошвидкісної схемою фотодетектора на виході. Схема фотодетектора містить тригер Шмітта, що забезпечує захист від шумів і спотворень імпульсів. Вихід з відкритим колектором дозволяє використовувати оптрони в широкому спектрі застосувань.

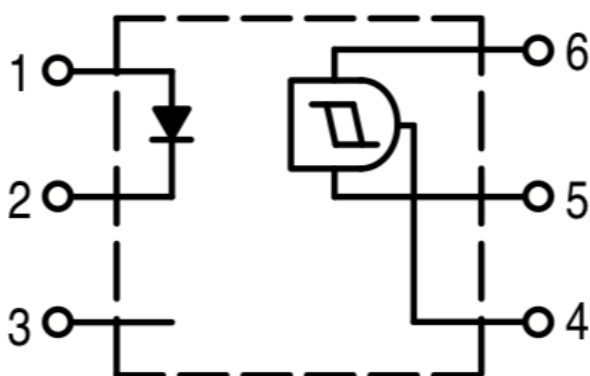


Рис.2.6 Мікросхема Н11L1MS

Призначення портів оптопар:

1. Анод
2. Катод
3. Не використовується
4. Відкритий вихід колектора
5. Заземлення
6. Живлення

Характеристики:

- Постійна напруга живлення – 5В
- Максимальна вхідна напруга – 15В
- Максимальний струм входу – до 1,6 мА

Змн	Арк	№ док	Підпис	Дата

БР. 6.050802.051.014 ПЗ

Арк

29

- Мінімальний струм вимкнення – 0,3 мА
- Робоча температура – –40С° – +85С°
- Тип корпусу – DIP6

Основною функцією модулю є створення гальванічної розв'язки, що забезпечить безперебійну роботу пристрою при стрибках напруги або струму.

Максимальний струм спрацювання 1,6 мА, мінімальний струм вимкнення оптопар 0,3 мА. Для коректної роботи оптопар потрібно понизити максимальний вхідний струм до 1,6 мА, що вирішується ввімкненням обмежувача опору .

Для підрахунку потрібного номіналу обмежувача опору використовується формула закону Ома:

$$R = U / I = 24V / 1,6mA = 15 k\Omega.$$

Даний резистор входить до ряду E12.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.2.3. Розробка модулю понижуючого стабілізатора напруги 36В у 5В

Так як у технічному завданні задане живлення виробництва сягає 36В, а живлення оптопар та мікроконтролеру є 5В, то використовується перетворювач напруги. У схемі буде використовуватися стабілізатор напруги LM317 (Рис.2.7).

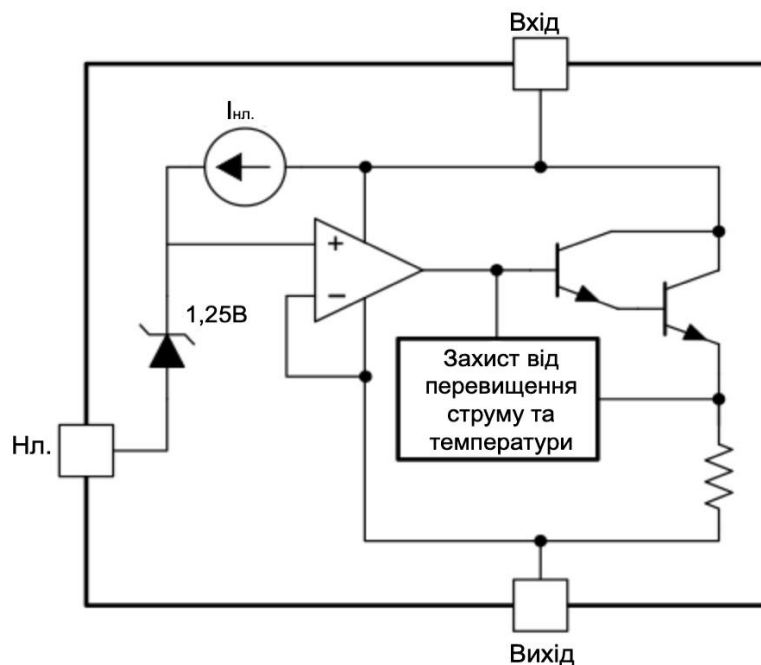


Рис.2.7 Стабілізатор напруги LM317

Схема приведена на Рис. 2.8 може підтримувати струм у навантаженні до 1,5А і регульовану напругу в діапазоні від 1.2В до 37В. Номінальна вихідна напруга встановлюється шляхом розрахунку резистивного дільника.[9]

У стабілізатора є два важливих параметри: опорна напруга і струм, який виникає в результаті підстроювання.

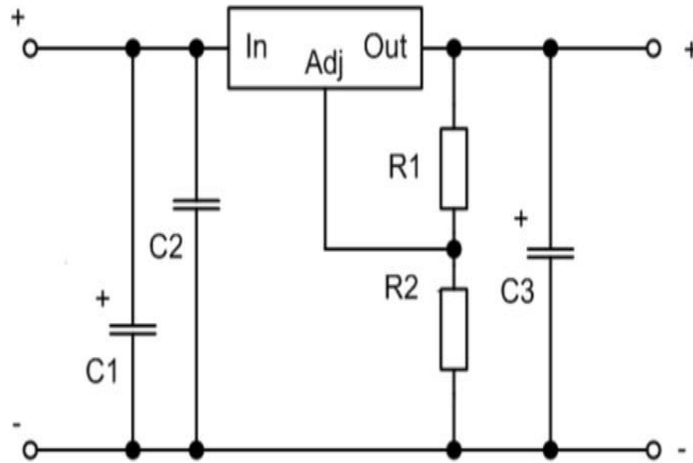


Рис.2.8 Принципова схема перетворення напруги

Величина опорної напруги може змінюватися від екземпляра до екземпляра, від 1,2 до 1,3В, але в середньому становить 1,25В. Опорна напруга - це та напруга, яку мікросхема стабілізатора прагне підтримувати на резисторі R1. Таким чином, якщо резистор R2 замкнути, то на виході схеми буде 1,25 В. За умови збільшення падіння напруги на R2, пропорційно збільшуватиметься напруга на виході. Виходить, що 1,25 В на R1 в сумі з падінням на R2 утворює вихідну напругу. Дільник розраховується за формулою:

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\left(\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{оп}}} \right) - 1 \right)$$

У результаті обрахунку отримуємо такі опори резисторів:

$$R_1 = 3 \text{ К}\Omega, R_2 = 1 \text{ К}\Omega$$

Вони відносяться до номінального ряду E12. За умови використання дільника напруги, стає можливим зменшення напруги до необхідного рівня.

У результаті перетворень на виході отримуємо 5В, які необхідні для живлення оптопар.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ док.	Підпис	Дата		32

Характеристики:

- Забезпечення вихідної напруги – від 1,2 до 37 В
- Струм навантаження – до 1,5 А
- Наявність захисту від можливого короткого замикання
- Надійний захист мікросхеми від перегріву
- Похибка вихідної напруги 0,1%

2.2.4. Розробка модулю зв'язку з іншими пристроями

За технічним завданням, пристрій повинен мати можливість підключатися до зовнішніх пристроїв, у якості контролера шини чи перетворювача інтерфейсу для інших систем. У цьому випадку програмне забезпечення для мікроконтролера буде змінюватися, тому потрібно мати можливість завантажувати програмне забезпечення на контролер.

Для обміну інформацією з іншими мікроконтролерами використовується інтерфейс USART (англ. *universal asynchronous receiver/transmitter* — універсальний асинхронний приймач/передавач) для послідовної та паралельної передачі даних. Для роботи протоколу потрібно 2 лінії USART_RX, USART_TX та земля.[10]

Для використання пристрою у якості контролера для інших цифрових схем буде використовуватися 1 GPIO вхід-вихід та вихід землі. Це дозволить приєднувати будь-які електронні системи.

Для універсального підключення зовнішньої периферії було обрано штирьові піни класу 4-103747 (Рис.2.9). Це універсальний спосіб з'єднання між собою різних електронних пристроїв.

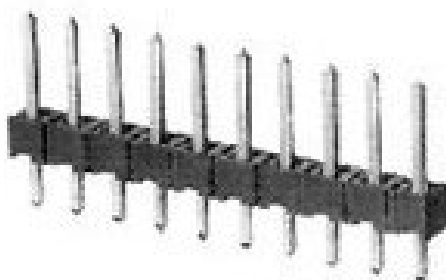


Рис.2.9 Піни 4-103747-0

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		33

2.3. Висновки

Була розроблена структурна схема, що дозволяє вирішити поставлені технічні завдання, були описані модулі та компоненти системи, визначені їх функції та взаємозв'язки між ними.

Була розроблена схема електричного принципового перетворювача інтерфейсу, яка складається з :

- Мікроконтролера;
- Гальванічної розв'язки;
- Живлення від напруги до 36В;
- Стабілізації вхідної напруги;
- Вхідного цифрового сигналу до 24В;
- Перетворення напруги 36В у 5В;
- Захисту від перевантаження та стрибків напруги.

Система може живитись від зовнішньої мережі з напругою від 5В і до 36В, вхідний цифровий сигнал може сягати від 3В і до 24В. Розроблений прилад відповідає поставленому завданню на розробку.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		34

3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

3.1.Завдання до розробки друкованої плати

Друкована плата (ДП) - це пластина, що виконана з плаского ізоляційного діелектрика, який має отвори, пази, вирізи, та певної системи металевих провідників (доріжок), що використовують для монтажу й комутації радіоелементів та функціональних вузлів.[11] Друкована плата розробляється на основі електричної принципової схеми. Для створення друкованої плати слід виконати такі завдання:

- здійснити вибір типу ДП;
- обрати матеріал ДП;
- вибрати клас точності ДП;
- здійснити конструкторський та технологічний розрахунок ДП;
- виконати електричний розрахунок ДП;
- розрахувати тепловий режим ДП;
- розрахувати віброміцність ДП;
- здійснити розрахунок надійності плати;
- розробити посадові місця;
- створити плату в САПР (EAGLE програма)

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		35

3.2. Вибір та обґрунтування типу ДП

Згідно з ДСТУ 2646-94 існує 3 типи друкованих плат:

- односторонні (ОДП);
- двосторонні (ДДП);
- багат шарові (БДП).

Їхнє виконання можливе на гнучкій (гнучка друкована плата, ГДК) або жорсткій основі. Щоб зробити обґрунтований оптимальний вибір, розглянемо недоліки та переваги кожного типу вище зазначених плат та ключові особливості й галузі їх застосування.

Односторонні друковані плати (ОДП), як правило, виконуються на пресованій або рельєфній литій пластині без металізації або з металізацією монтажних отворів. Плати на шаруватому діелектрику прості за конструкцією і економічні у виготовленні. За неможливості стовідсоткової розводки друкованих провідників можливе застосування навісних перемичок. ОДП використовують для монтажу побутової радіоапаратури, блоків живлення, пристроїв техніки зв'язку тощо.

ОДП мають такі переваги :

- можливість забезпечення підвищених вимог до точності виконання рисунку провідників;
- установка навісних елементів на площину плати з боку, протилежного стороні пайки, без додаткової ізоляції; можливість використовувати перемички без ізоляції;
- низька вартість елементів конструкції.

До недоліків ОДП можна віднести досить низьку щільність компоновання, яка, зазвичай, не перевищує $1,5 \text{ ел/см}^3$; відносно низьку теплову й механічну стійкість контактних пластин. Головною ж перевагою ОДП можна вважати елементарність виготовлення та її низьку собівартість . Застосовується ОДП, головним чином, для проектування простих схем.[12]

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		36

Двосторонні друковані плати (ДДП) функціонально проводять рисунок на обох сторонах діелектричної або металевої пластини й забезпечують досить високу щільність монтажу компонентів і трасування. Переходи провідників із шару в шар здійснюються за допомогою металізованих перехідних отворів. Плати дозволяють і монтаж компонентів на двосторонній поверхні, і монтаж компонентів з штировими та осьовими виводами в металізовані отвори. ДДП є найпоширенішим різновидом ДП у виробництві модулів РЕА. Їх використовують у вимірювальній техніці, у системах керування та автоматичного регулювання тощо.[12]

До переваг ДДП можна віднести забезпечення високої щільності монтажу й задовільну механічну міцність кріплення, оптимально ефективно використання поверхні ДП. Недоліками вважається більша собівартість та складність виготовлення. Застосовуються для схем підвищеної складності.

Багат шарові друковані плати (БДП) складаються з декількох шарів ізоляційного матеріалу з провідними рисунками на двох або більше шарах, між якими здійснено необхідні з'єднання. Шари з'єднано між собою клейовими прокладками в монолітну структуру шляхом пресування.

БДП у порівнянні з ОДП і ДДП характеризуються підвищеною щільністю монтажу, стійкістю до механічних та кліматичних впливів, зменшеними розмірами та кількістю контактів. За недоліки можна вважати досить високу трудомісткість виготовлення плати, складність отримання високоточного друкованого рисунку та суміщення шарів, а також низьку ремонтпридатність.

Для реалізації друкованого вузла пристрою, що розробляється, доцільно використовувати ДДП, оскільки вона забезпечить невеликі розміри друкованого вузла за низької вартості виготовлення. ОДП збільшить габаритні розміри друкованого вузла, а використання БДП не є раціональним, оскільки нема потреби у значній кількості друкованих провідників.

					<i>БР. 6.050802.051.014 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

3.3. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати

Матеріал для друкованої плати буде обиратися у відповідності з ГОСТ 10316-76.

Для виготовлення ДП застосовуються різноманітні матеріали, такі як гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, ебоніт, мікалекс, вініпласт тощо. Розглянемо декілька матеріалів, придатних для виготовлення ДП, задля порівняння ефективності використання :

- Гетинакс – це багатошаровий матеріал, виготовлений методом гарячого пресування зі спеціального паперу, насиченого фенолальдегідною або крезолальдегідною смолою. Матеріал має високі електроізоляційні властивості та ефективно піддається механічній обробці.
- Текстоліт - пресований багатошаровий матеріал, який виготовлено з бавовняної тканини або склолакотканини, насиченої фенольдегідною або крезолальдегідною смолами. Має підвищену теплостійкість, високі механічні властивості, добре обробляється і шліфується.
- Склотекстоліт – матеріал, для виготовлення якого застосовують скляні тканини, насичені спеціальними смолами. Відрізняється високою теплостійкістю (до 180 °С), а також покращеними електроізоляційними і механічними властивостями, добре обробляється.[13]

Ураховуючи вимоги до підвищеної механічної міцності пристрою, що розробляється, у якості матеріалу для основи друкованої плати обирається склотекстоліт.

Фольгований склотекстоліт може бути одно- і двошаровим. Розроблену схему неможливо розвести в одному шарі. Крім того, за цієї умови, в одному шарі сильно збільшаться розміри плати, що забезпечить використання додаткових перехідних перемичок. А це, в свою чергу, призведе до зниження надійності роботи пристрою в умовах підвищеної механічної вібрації та механічного перевантаження. Розглянувши наведені аргументи, було обрано двосторонній фольгований склотекстоліт з металізацією перехідних отворів .

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докum.	Піппис	Лата		38

Товщина фольги має бути рівною 35 мкм, що є достатнім для більшості малопотужних пристроїв, у тому числі і пристрою, що розробляється. Товщина основи з фольгою обирається 1,5 мм для можливості забезпечити задовільні механічні характеристики ДП.

Таблиця 3.1 .[13]

Матеріали друкованих плат

Назва матеріалу	Марка матеріалу	ГОСТ, ТУ	Товщина фольги, мкм	Товщина основи з фольгою, мм
Склотекстоліт фольгований двобічний	СФ-2-35	ГОСТ 10316-68	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	СФ-2-50		50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	FR-4	IPC4101 С	12, 18, 35, 70, 105	0,05 – 3,5
Склотекстоліт теплостійкий фольгований двобічний	СТФ-2	ТУ 16-503.161-77	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0

3.4. Вибір та обґрунтування форми та розміру друкованої плати

У загальному випадку форми та розміри ДП обирають виходячи з вимог двох напрямків — функціонального й технологічного.

До вимог функціонального напрямку в конструктивному плані належить щільність компоновки, яка залежить від розмірів та кількості корпусів мікросхем і види монтажу розв'язок електричної схеми.

Вимоги технологічного напрямку визначаються обмеженням типорозмірів з точки зору технологічних можливостей та ефективності виробництва заготовок, механічної міцності та можливостей систем автоматизованого проектування.

Вимоги до розмірів ДП регламентовані вітчизняними стандартами, найбільш поширені з яких фактично стали міжнародними. Вітчизняний стандарт ГОСТ 10317-79 встановлює такі вимоги до розмірів ДП:

- 1) граничний розмір сторони не більше 470 мм;
- 2) розміри сторін мають бути кратні:
 - 2,5 мм при довжині сторони не більше 100 мм;
 - 5,0 мм при довжині сторони не більше 350 мм;
 - 10,0 мм при довжині сторони більше 350 мм;
- 3) співвідношення сторін не більше 3:1.

Прямокутна форма друкованої плати обирається з огляду на те, що так доцільніше розміщувати компоненти на схемі та сама плата буде розміщена у прямокутному переносному корпусі.

Згідно з ГОСТ 10317-79 довжини сторін друкованої плати повинні бути кратними 2,5 мм при довжині до 100мм та 5мм при довжині до 350мм.

З урахуванням вимог ГОСТу, а також сумарної площі поверхні елементів друкована плата буде розміром 120x65 мм.

3.5. Вибір та обґрунтування класу точності

ГОСТ 23751-86 передбачає п'ять класів точності (Табл. 3.2).[14].

Плати першого і другого класів точності прості у виготовленні, дешеві, не вимагають для свого монтажу обладнання з високими технічними показниками, але не відрізняються високими показниками щільності компоновки і трасування.

Для виготовлення плат четвертого і п'ятого класів потрібне спеціалізоване високоточне обладнання, спеціальні матеріали, технологічні режими фотохімічних і гальвано-хімічних процесів повинні підтримуватися з високою точністю.

					<i>БР. 6.050802.051.014 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		40

Проаналізувавши дані геометричних розмірів та параметрів виводів мікросхем, наведені в Таблиці 3.3, дійшов висновку, що необхідно виготовляти плату четвертого класу точності, оскільки для правильного розміщення всіх мікросхем та інших елементів необхідним є крок координатної сітки 0,2 мм.

Таблиця 3.2.

Класи точності друкованих плат

Опис	Умовне позначення	Номінальні значення основних розмірів для класу точності				
		1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника	t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між краями сусідніх елементів	S , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок	b , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
Відношення мінімального діаметру металізованого отвору до товщини ДП	γ	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

Розміри виводів конструктивних елементів

КЕ	Ширина виводу, мм	Відстань між центрами двох сусідніх виводів, мм	Відстань між двома сусідніми виводами, мм
Резистор SMD	1,20	–	–
Конденсатор SMD	3,2	–	–
H11L1MS	0,29	0,5	0,21
LM317	0,7	2,5	1,15
LM7805	0,8	2,5	1,2

3.6. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати

3.6.1 Розрахунок елементів друкованого монтажу за постійним струмом

- Ширину друкованого провідника, як правило, визначають з мінімально допустимої ширини провідника з огляду на те, який саме струм через нього протікає та мінімально допустиму ширину друкованого провідника з огляду на падіння напруги на ньому. [14] Окрім того, мінімальну ширину провідника обмежують класом точності плати, а тому остаточну ширину має бути визначено за формулою:

$$b_{\text{дп}} = \max(b_{\text{min ГОСТ}}, b_{\text{min } I}, b_{\text{min } U}), \quad (1)$$

де $b_{\text{min ГОСТ}}$ – мінімальна ширина друкованого провідника відповідно до ГОСТ 23751-86;

$b_{\text{min } I}$ - мінімальна ширина силового друкованого провідника за постійним струмом;

$b_{\text{min } U}$ - мінімальна ширина силового друкованого провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Згідно з обраним четвертим класом точності: $b_{\text{min ГОСТ}} = 0,15$ мм.

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом відбувається за формулою:

$$b_{\text{min}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot t} \quad (2)$$

де $j_{\text{доп}} = 48$ А/мм² – допустима густина струму з $h_{\phi} = 35$ мкм, виготовлених комбінованим позитивним методом;

t – товщина провідника:

$$t = h_{\phi} + h_{\text{хм}} + h_{\text{зм}}. \quad (3)$$

$h_{\phi} = 35$ мкм – товщина мідної фольги.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк
						43
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$h_{хм} - (0,005 \div 0,008) \text{ мм}$ товщина хімічно осадженої міді;

$h_{гм} - (0,05 \div 0,06) \text{ мм}$ товщина гальванічно осадженої міді;

$$t = 0,035 + 0,007 + 0,055 = 0,097 \text{ (мм)}$$

I_{max} – максимальний постійний струм у провіднику визначається за схемою з Таблиці 3.4:

Визначимо максимальний струм споживання I_{max} . Для цього складається таблиця струмів споживання всіх мікросхем приладу (Таб.3.4.) [14]

Таблиця 3.4.

Максимальний струм споживання мікросхем приладу

Компонент	$I_{жив}, \text{ мА}$	Кількість
H1L11MS	60	1
ATmega 16	500	1

$$I_{max} = \sum I = 60 + 500 = 560 \text{ (мА)}.$$

Отже, підставляючи значення у формулу, отримуємо:

$$b_{min} = \frac{0,56 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,097} = 0,119 \text{ (мм)}$$

Мінімальна ширина силового провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому обчислюється за такою формулою:

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}} \quad (4)$$

де $\rho = 0,0175 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м)}$ - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим методом;

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		44

$L_{\text{пров}} = 0,11$ м - довжина найдовшого друкованого провідника на ДП;

$U_{\text{доп}} = 5\%V_{\text{CC}} = 0,6$ В - допустимий спад напруги на друкованому провіднику.

$$b_{\text{min}U} = \frac{0,56 \cdot 0,0175 \cdot 0,11}{0,6 \cdot 0,097} = 0,0185 \text{ (мм)}$$

Отже, ширина силового друкованого провідника має бути не меншою, ніж:

$$b_{\text{дп}} = \max(b_{\text{min Гост}}, b_{\text{min}I}, b_{\text{min}U}) = b_{\text{min Гост}} = 0,15 \text{ (мм)}$$

Усі провідники обираються з шириною 0,2 мм, що перекиває мінімальну допустиму ширину для четвертого класу точності. [15]

3.6.2 Визначення номінального значення перехідних отворів

$$d = d_n + |\Delta d_{\text{но}}| \quad (5)$$

де,

$d_n = 0,38$ (мм) – мінімальний діаметр отвору, відповідно до класу точності ДП;

$\Delta d_{\text{но}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору;

$r = 0,1 \div 0,2$ мм – різниця між мінімальним діаметром монтажного отвору і максимальним діаметром виводу.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		45

Для інтегральних схем:

$$d = 0,38 + 0,1 = 0,48(\text{мм})$$

3.6.3 Визначення номінального значення монтажних отворів

$$d = d_3 + |\Delta d_{но}| + r \quad (6)$$

де,

d_3 – максимальний діаметр виводу конструктивного елемента;

$\Delta d_{но}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору;

r – різниця між мінімальним діаметром монтажного отвору і максимальним діаметром виводу

Для інтегральних схем:

$$d = 0,5 + 0,1 + 0,1 = 0,7(\text{мм}).$$

Максимальний діаметр отвору для контактної площадки:

$$\max d_{мо} = d + \Delta d + (0,1 \div 0,15) \text{ мм} = 0,7 + 0,05 + 0,15 = 0,9 \text{ (мм)},$$

3.6.4 Визначення діаметру контактної площини для двосторонніх ДП, виготовлених комбінованим позитивним методом

Мінімальний ефективний діаметр контактної площини

$$d_{км} = \max d_{мо} + 2b_{по} + 2\delta_0 + 2\delta_{км} \quad (7)$$

де,

$\max d_{мо}$ - максимальний діаметр просвердленого у друкованій платі отвору;

$b_{по} = 0.05 \text{ мм}$ – ширина пояса контактної площини;

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		46

$\delta_0 = 0,07$ мм – похибка позиціонування центру отвору відносно вузла координатної сітки;

$\delta_{\text{кМ}} = 0,15$ – похибка позиціонування центру контактної площини відносно вузла координатної сітки.[16]

$$d_{\text{кМ}} = 0,9 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 = 1,44 \text{ (мм)},$$

Мінімальний діаметр контактної площини:

$$\min d_{\text{кМ}} = d_{\text{кМ}} + 1,5h_{\text{ф}} + 0,03 \text{ мм} = 1,44 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,54 \text{ (мм)},$$

де $d_{\text{кМ}}$ - ефективний діаметр контактної площини;

$h_{\text{ф}} = 35$ мкм – товщина мідної фольги.

Максимальний діаметр контактної площини:

$$\max d_{\text{кМ}} = \min d_{\text{кМ}} + 0,02 \text{ мм} = 1,54 + 0,02 = 1,56 \text{ (мм)}.$$

Мінімальний ефективний діаметр контактної площини для перехідного отвору

$$d_{\text{кМП}} = d_{\text{П}} + 2b_{\text{ПО}} + 2\delta_0 + 2\delta_{\text{кМ}} \quad (8)$$

$$d_{\text{кМП}} = 0,48 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 = 1,22 \text{ (мм)},$$

Діаметр контактної площини для перехідного отвору

$$d_{\text{кМП}} = d_{\text{кМП}} + 0,03 \text{ мм} = 1,22 + 0,03 = 1,25 \text{ (мм)}$$

3.6.5 Визначення мінімальної відстані між елементами провідного рисунку

Мінімальна відстань між провідником та контактною площиною:

$$S_{\min \text{ПКМ}} = L_0 - (0,5 \cdot (\max d_{\text{кМ}} + b_{\text{ДП}}) + \delta_{\text{фш}} + \delta_{\text{зс}}) \quad (9)$$

де $L_0 = 1$ мм - відстань між центрами;

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		47

$\delta_{\text{фш}} = 0,05$ мм – похибка розміщення контактної площини відносно вузла координатної сітки на фотошаблоні;

$\delta_{\text{зс}} = 0,08$ мм – зсув друкованого провідника відносно координатної сітки.

$$S_{\text{min ПКМ}} = 1,1 - (0,5 \cdot (1,56 + 0,2) + 0,05 + 0,08) = 0,18 \text{ (мм)},$$

Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками:

$$S_{\text{min СП}} = L_0 - (b_{\text{дп}} + 2 \cdot \delta_{\text{зс}}) \quad (10)$$

$$S_{\text{min СП}} = 0,6 - (0,2 + 0,16) = 0,24 \text{ (мм)}.$$

Мінімальний просвіт між двома сусідніми контактними площинами:

$$S_{\text{min КМ}} = 2L_0 - (\max d_{\text{КМ}} + 2\delta_{\text{фш}}) \quad (11)$$

$$S_{\text{min КМ}} = 2 - (1,56 + 0,1) = 0,34 \text{ (мм)}.$$

3.7. Електричний розрахунок друкованої плати

3.7.1 Визначення падіння напруги на друкованих провідниках

$$U_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{max}} \cdot \rho \cdot l_{\text{пр}}}{t_{\text{пров}} \cdot b_{\text{дп}}} \quad (12)$$

$$U_{\text{пр}} = \frac{0,560 \cdot 0,0175 \cdot 0,11}{0,097 \cdot 0,2} = 0,0357 \text{ (В)}.$$

Граничні значення спаду напруги не повинні перевищувати 5% напруги живлення схеми (для живлення +12 В: 0,6 В), оскільки ширина провідника розраховується так, щоб спад напруги знаходився у вище зазначених межах. [17]

Розраховане значення падіння напруги не перевищує дозволене значення.

									Арк
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				48

3.7.2 Визначення потужності втрат

$$P_{\Pi} = 2\pi f E_{\text{жив}}^2 \text{tg}\delta C, \quad (13)$$

де f – робоча частота електричної схеми;

$E_{\text{жив}}$ - напруга живлення пристрою;

$\text{tg}\delta$ - тангенс кута діелектричних втрат (для склотекстоліту 0,002);

C – власна ємність друкованої плати.

$$C = \frac{0,009 \varepsilon S}{h_{\text{дп}}}, \quad (14)$$

де S [мм²] – площа металізації;

$h_{\text{дп}} = 35$ (мкм) - товщина провідника.

$$S = L_{\text{св}} \cdot b_{\text{дп}} \quad (15)$$

$$S = 1887 \cdot 0,2 = 344 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Отже:

$$C = \frac{0,009 \cdot 4 \cdot 344}{1,5} = 8,04 \text{ (пФ)}.$$

Потужність втрат друкованої плати дорівнює:

$$P_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 0,002 \cdot 8,04 = 2,54 \text{ (мкВт)}.$$

3.7.3 Визначення взаємної ємності паралельних провідників

$$C = K_{\text{пог}} \cdot 0,5(\varepsilon_{\text{пов}} + \varepsilon_{\text{дп}}) \cdot l_{\text{пар}} \quad (16)$$

де $K_{\text{пог}} \left[\frac{\text{пФ}}{\text{см}} \right]$ – коефіцієнт погонної ємності (визначається за графіком залежно від ширини друкованих провідників та просвіту між ними);

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		49

$\epsilon_{\text{пов}} = 1$ – діелектрична стала повітря;

$\epsilon_{\text{дп}} = 4 \div 5$ – діелектрична стала склотекстоліту;

$l_{\text{пар}} = 5,6$ см - взаємна протяжність двох паралельних провідників.[18]

$$C = 0,3 \cdot 0,5(1 + 4.5) \cdot 5,6 = 4,62 \text{ (пФ)}$$

3.7.4 Визначення взаємної індуктивності паралельних провідників

Розрахунок взаємної індуктивності двох паралельних провідників обчислюється за такою формулою:

$$M = 0,02 \cdot l_{\text{шп}} \cdot \left(l_{\text{пар}} \cdot \lg \left(\frac{l_{\text{шп}}}{b+t} \right) + \frac{b+t}{l_{\text{шп}}} + 0,5 \right) \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

$$M = 0,02 \cdot 1887 \left(5,6 \cdot \lg \left(\frac{1887}{0,097 + 0,5} \right) - \frac{0,097 + 0,5}{1887} + 0,5 \right) \cdot 10^{-3}$$
$$= 0,7585 \text{ (мкГн)}.$$

3.8. Розрахунок надійності

Надійність є одною з основних параметрів системи.

Однією з найважливіших задач конструювання є розробка систем, які матимуть високу економічну й технічну ефективність, що в значній мірі визначатиметься їх надійністю.

Надійність – це властивість об'єкту зберігати з часом в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують можливість виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, збереження і транспортування (ГОСТ 27.002-83). [18, 19]

									Арк
									50
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

Виділяють два основні види надійності:

- 1) технічна – це надійність на відповідність ТУ , визначається в заводських умовах для всіх виробів;
- 2) експлуатаційна – надійність даного елемента в умовах експлуатації з урахуванням режимів роботи, місцевих умов та кваліфікації обслуговуючого персоналу. Основними властивостями цього типу надійності є безвідмовність, ремонтоздатність, довготривалість експлуатації .

1. $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи;
2. $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов;
3. T – середній час напрацювання до першої відмови;
4. $Q(t)$ – вірогідність відмови.

Розрахунок надійності базується на визначенні основних показників надійності виробу за відомими характеристикам надійності складових компонентів та умов експлуатації.[20]

Дані для розрахунку надійності зведені в Таблицю 3.5

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		51

Дані для розрахунку надійності

Найменування елементів	N_i	$\lambda_{оэ}, ч-1$	K_H	a_t	$a_э$	$\lambda_{рзі}$
Конденсатори	4	3,30E-09	0,24	0,45	10	8.55E-08
Резистори	10	3,00E-09	0,2	1,3	10	1.09E-07
Мікроконтролер	1	2,00E-09	3.11	3	9	1.67E-07
Стабілізатор	2	2,00E-09	2.3	2,5	9	1.67E-07
Вихідні піни	6	2,00E-09	1	1	10	2.2E-07
Друкована плата	1	2,00E-08	1	1	10	4E-07
Пайка виводів	178	5,00E-11	1	1	9	8.68E-08
СУМА						1,18E-06

де, N_i – кількість елементів;

$\lambda_{оэ}$ – інтенсивність відмов у нормальному режимі роботи;

K_H – коефіцієнт навантаження;

a_t – температурний коефіцієнт;

$a_э$ – коефіцієнт, який враховує умови експлуатації;

$$\lambda_{рзі} = \lambda_{оэ} N_i K_H a_t a_э$$

Коефіцієнти навантаження радіоелементів визначаються за формулами:

для мікросхем

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^n I_{вхi}}{I_{выхтах}},$$

де, $I_{\text{ввыхmax}}$ – максимальний вихідний струм;

$I_{\text{вхi}}$ – вхідний струм мікросхем;

n – число навантажених входів;

для конденсаторів $K_H = \frac{U}{U_{\text{доп}}}$,

де U – напруга на обкладках;

для резисторів $K_H = \frac{P}{P_{\text{доп}}}$,

де P – розсіювана потужність.[21]

1) Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{рез}}} = \frac{1}{9,58 \cdot 10^{-7}} = 907000 \text{ годин} \quad (18)$$

2) Вірогідність безвідмовної роботи приладу в залежності від годин:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{рез}} t} \quad (19)$$

$$P(1000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,9988$$

$$P(2000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,9975$$

$$P(4000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 4000} = 0,9953$$

$$P(9000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,9894$$

$$P(18000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 8000} = 0,9789$$

$$P(27000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 10000} = 0,9686$$

$$P(36000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 12000} = 0,9584$$

$$P(45000) = e^{-1.18 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,9485$$

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		53

Вірогідність відмов :

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (20)$$

$$Q(1000) = 1 - P(1000) = 0,0013$$

$$Q(2000) = 1 - P(2000) = 0,0026$$

$$Q(4000) = 1 - P(4000) = 0,0046$$

$$Q(9000) = 1 - P(9000) = 0,0116$$

$$Q(18000) = 1 - P(18000) = 0,0221$$

$$Q(27000) = 1 - P(27000) = 0,0324$$

$$Q(36000) = 1 - P(36000) = 0,0516$$

$$Q(45000) = 1 - P(45000) = 0,0517$$



Рис.3.1. Графік імовірності безвідмовної роботи друкованого вузла

Змн	Арк	№ док	Підпис	Дата

БР. 6.050802.051.014 ПЗ

Арк

54

3.8.1 Розрахунок віброміцності

Для забезпечення віброміцності друкованої плати необхідним є виконання таких вимог:

- відсутність у конструкції механічних резонансів;
- обмеження амплітуди віброколивання значеннями, що виключають небезпечні механічні напруження.

Таблиця 3.6

Параметри елементів

Найменування елементів	Ni	мэ, г
Конденсатори	4	6
Резистори	10	2
Мікроконтролер	1	5
Вихідні піни	4	22
Стабілізатор напруги	2	5
Роз'єми	2	5
Разом		50(г)

Віброміцність друкованої плати із склотекстоліту розміром

$$a*b*\delta=75*70*1,5(\text{мм}) \quad (21)$$

коефіцієнт перевантаження $n = 8$, частота вібрацій 60Гц. Параметри склотекстоліту:

- тимчасовий опір $\sigma_T = 105$ Мпа;
- модуль Юнга $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Па;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$;
- показник затухання $\varepsilon = 0,06$;
- питома вага 2050 кг/м³;
- питома щільність $2,05 \cdot 10^4$ Н/м³;
- коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$;

Варіанти закріплення друкованих плат:

$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \quad \text{обпирання на 4 сторони;}$$

$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}} \quad \text{обпирання на 3 сторони;}$$

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} \quad \text{жорстке закріплення на 4}$$

сторони;

Розрахунки:

1. Маса друкованої плати і елементів:

$$m_n = a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho = 0,075 \cdot 0,07 \cdot 0,0015 \cdot 2050 = 0,0079 \text{ (кг)} = 7,9 \text{ (г)}$$

$$m_s = 50 \text{ (г)}.$$

2. Коефіцієнт K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_s}{m_n}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{50}{7,9}}} = 0,37 \quad (22)$$

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		56

Коефіцієнт α . Вважається, що друкована плата жорстко закріплена на 4 сторони:

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} = 38,86 \quad (23)$$

3. Циліндрична жорсткість D:

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot (0,0015)^3}{12 \cdot (1 - (0,22)^2)} = \frac{101,925}{11,4192} = 8,926(\text{Нм}) \quad (24)$$

4. Власна частота коливань друкованої плати:

$$f_c = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot \delta}} = \frac{0,37 \cdot 38,6}{2 \cdot \pi \cdot 0,05^2} \cdot \sqrt{\frac{8,9 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} = 1121 * 1,68 = 1532(\text{Гц}) \quad (25)$$

5. Амплітуда вібрацій на власній частоті:

$$A = \frac{0,25 \cdot n}{f_c^2} = \frac{0,25 \cdot 8}{1532^2} = 0,000000085(\text{м}) = 0,085(\text{мкм}) \quad (26)$$

6. Коефіцієнт динамічності (у скільки разів амплітуда вимушених коливань відрізняється від амплітуди на частоті власних):

$$K_\delta = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \cdot \varepsilon^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \frac{50}{1532}\right]^2 + \left(\frac{50}{1532}\right)^2 \cdot 0,6^2}} = 1,01 \quad (27)$$

7. Динамічний прогин:

$$W = K_\delta \cdot A = 1,001 \cdot 0,085 = 0,085(\text{мкм}) \quad (28)$$

Прогин W не перевищує $\frac{1}{5}h$, й умова віброміцності виконується

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		57

3.8.2 Розрахунок теплового режиму

Мікросхема ATmega16 є найбільш теплонавантаженим елементом, оскільки вона споживає найбільший струм. Мікросхема повинна розсіювати $P = U * I = 5 \text{ В} * 500 \text{ мА} = 2.5 \text{ Вт}$. Потрібно визначити необхідність застосування тепловідведення. [22]

Мікросхема працює за умов нормальної конвекції та нормального атмосферного тиску. Для корпусу PDIP-40 тепловий опір переходу «корпус – оточуюче середовище» складає $R_{\text{корп. серед.}} = 60^\circ\text{C/Вт}$, а тепловий опір переходу «напівпровідниковий кристал – корпус» складає $R_{\text{нп. корп.}} = 10^\circ\text{C/Вт}$. Гранично допустима температура напівпровідникового кристалу становить $T_{\text{кр.мах}} = 70^\circ\text{C}$.

Для розрахунку прийємо значення температури навколишнього середовища з деяким запасом на рівні $T_{\text{н.с}} = 20^\circ\text{C}$.

Температура напівпровідникового кристалу:

$$T_{\text{кр}} = T_{\text{н.с.}} + P * \left(R_{\text{нп. корп.}} + R_{\text{корп. серед.}} \right) = 20 + 1,5 * (10 + 60) = 125^\circ\text{C} \quad (29)$$

Оскільки, $T_{\text{кр}} < T_{\text{кр.мах}}$, то нема потреби використовувати радіатор.

3.9 Розробка посадкових місць

Корпус DIP-6 (Рис.3.2) У цьому корпусі реалізована мікросхема H11L1MS.

									Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				58

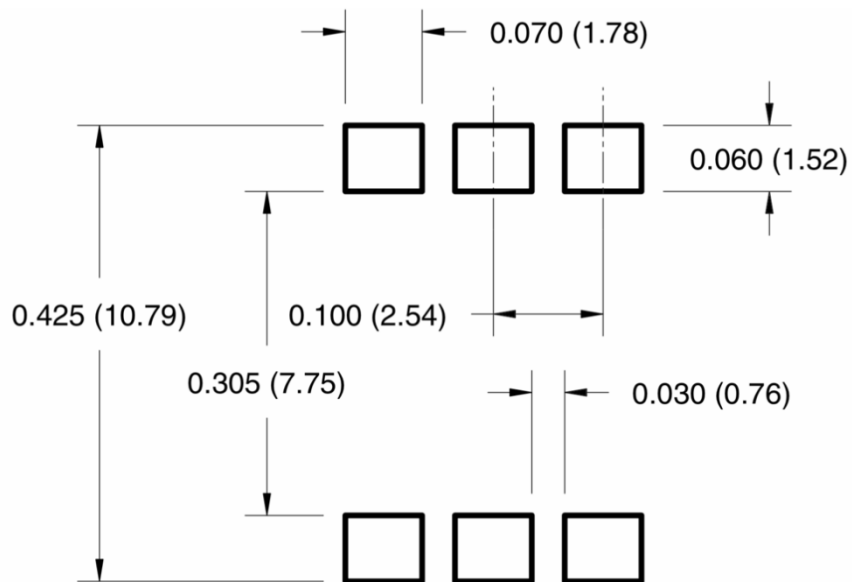
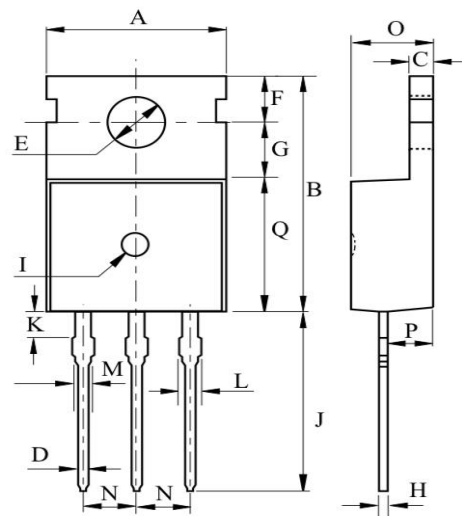
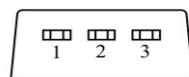


Рис 3.2 Посадкові місця для корпусу DIP-6

Корпус ТО-220АВ (Рис.3.3). У цьому корпусі реалізована мікросхема стабілізатора LM7805.[23]



Літ.	Міліметри
A	9.9 ± 0.2
B	15.95 MAX
C	1.3+0.1/-0.05
D	0.8 ± 0.1
E	∅ 3.6 ± 0.2
F	2.8 ± 0.1
G	3.7
H	0.5+0.1/-0.05
I	∅ 1.5
J	13.08 ± 0.3
K	1.46
L	1.4 ± 0.1
M	1.27 ± 0.1
N	2.54 ± 0.2
O	4.5 ± 0.2
P	2.4 ± 0.2
Q	9.2 ± 0.2



1. Вхід
2. Земля
3. Вихід

Рис. 3.3 Корпус ТО-220АВ

Корпус T-SUFFIX (Рис.3.4). У цьому корпусі реалізована мікросхема стабілізатора LM317. [23]

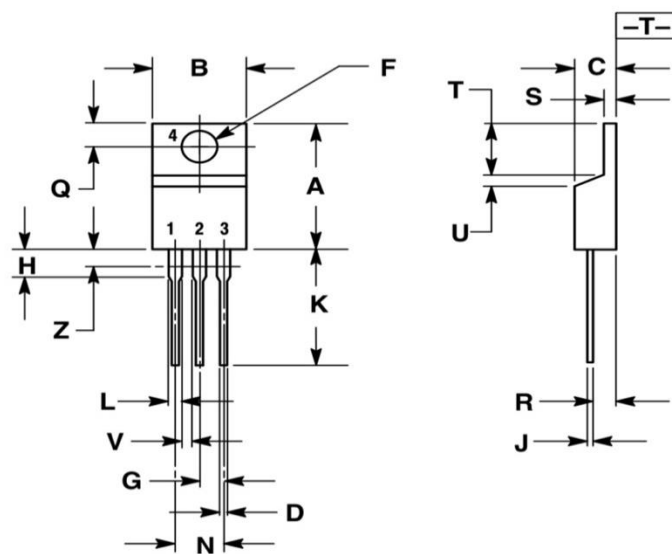


Рис 3.4 Корпус T-SUFFIX

Літ.	Дюйми		Міліметри	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.080	---	2.04

Рис 3.5 Позначення літер

Корпус SMD 0805 (Рис.3.6) У цьому корпусі реалізовані резистори та конденсатори.

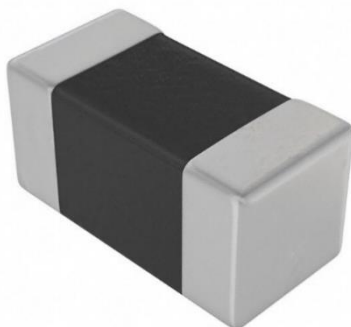


Рис 3.6 Корпус SMD 0805

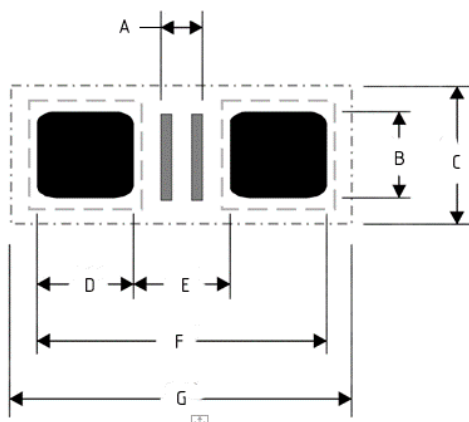


Рис 3.7 Посадкове місце SMD 0805

Таблиця 3.7

Розміри для посадкового місця SMD 0805

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	1.5	1.5	1.5
B	0.8	0.8	0.8
C	1.9	1.9	1.9
D	0.9	0.9	0.9
E	2.3	2.3	2.3
F	2.7	2.7	2.7
G	3.4	3.4	3.4

3.10 Створення друкованої плати у САПР

Для проектування друкованої плати буде використовуватися програмне забезпечення Eagle.

Eagle - це система для проектування електричних принципових схем та друкованих плат, яка була розроблена компанією CadSoft Computer GmbH. Програма дозволяє експортувати та імпортувати файли до інших САПР.[24]

Можливості САПР EAGLE:

- а) Модуль електронних принципових схем дозволяє створювати принципові електричні схеми, проектувати складні електронні системи, переключати анотацію на модуль друкованої плати. Файли зберігаються у форматі .SCH, а компоненти зберігаються в бібліотеках пристроїв з розширенням .LBR.

Має вбудовані блоки:

- схемний редактор (використовується для розміщення компонентів на схемі, прокладення з'єднань);
- контролер бібліотек (дозволяє додавати, налаштовувати та створювати власні бібліотеки);
- ERC модуль (Перевірка Електричних Правил. Перевіряє узгодження схеми, а саме з'єднання елементів між собою, коректність з'єднання живлення та розриви на електричній схемі, неузгодження принципової схеми та друкованої плати);

б) модуль друкованих плат (дозволяє створити друковану плату. Якщо електрична принципова схема вже була зібрана, то модуль автоматично дозавантажує необхідні компоненти та зв'язки між ними).[25]

Має вбудовані блоки:

- DRC (Перевірка Правил Проектування. У цьому місці потрібно задекларувати необхідні правила для друкованої плати. Наприклад, ширина доріжок, параметри отворів тощо).

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		62

- Autorouter (Автотрасування доріжок. Дозволяє автоматично прокласти маршрути для доріжок, враховуючи задані правила).
- Ratsnest (Оптимізація. Оцінюється маршрут повітряних з'єднань та створюється найоптимальніший маршрут).

Важливою можливістю програми є створення GERBER файлів. GERBER – спеціальний файловий формат, який є способом опису проекту друкованої плати для виготовлення фотошаблонів на різноманітному обладнанні. Майже все сучасне обладнання дозволяє зчитувати файли у цьому форматі.

Практично всі компанії - виробники друкованих плат приймають на замовлення GERBER файли.

Розробка друкованої плати у програмі EAGLE відбувається у декілька етапів.

1) Створення принципової схеми (Рис.3.8.)

Спочатку створюється електрична принципова схема та розміщуються зв'язки у схемі. Це необхідно для автоматичного створення файлу друкованої плати .BRD. [26]

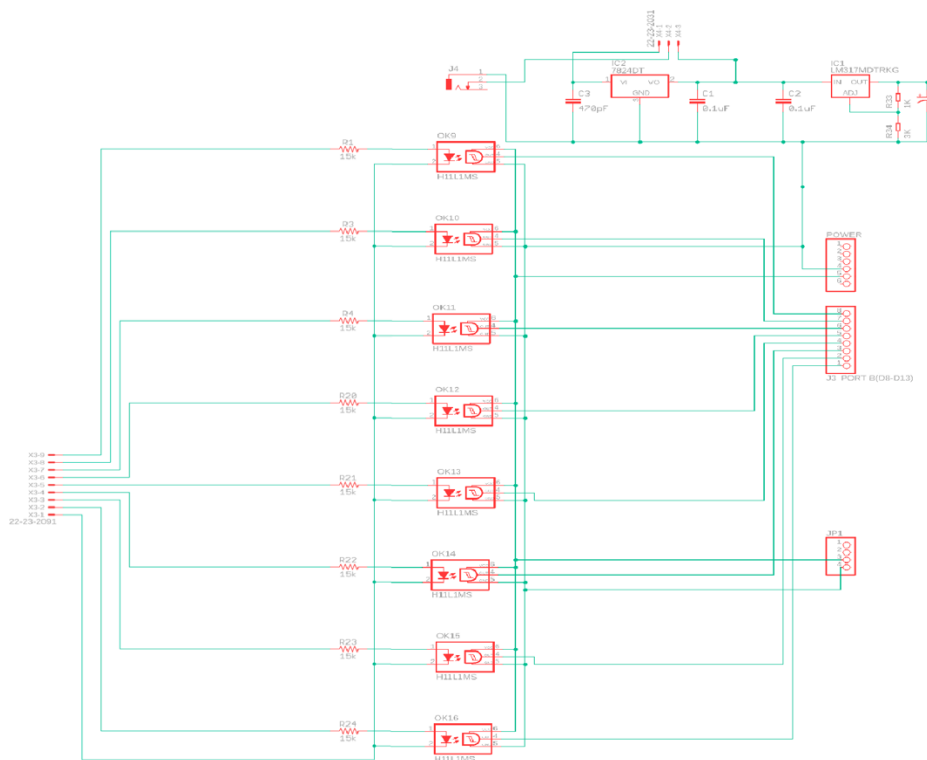


Рис.3.8 Електрична принципова схема у середовищі EAGLE

									Арк
									63
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

Висновки

У даному розділі було виконано такі задачі:

- вибір та обґрунтування типу ДП;
- вибір та обґрунтування матеріалу ДП;
- вибір та обґрунтування класу точності ДП;
- конструкторсько-технологічний розрахунок ДП;
- електричний розрахунок ДП;
- розрахунок теплового режиму ДП;
- розрахунок віброміцності ДП;
- розрахунок надійності;
- розробка посадових місць;
- створення плати у програмі EAGLE;

Прийнято рішення розробити друкований вузол на двосторонній друкованій платі 4 класу точності, для підтримки LQFP корпусу. Розміри друкованої плати обрати 120x65 мм, ширина друкованих провідників - не менше 0,30 мм, максимальний діаметр контактної площини - 3 мм, мінімальна відстань між провідником та контактною площиною - 0,32 мм, між двома провідниками - 0,25мм, між двома контактними площинами - 0,28 мм. Електричний розрахунок друкованої плати підтвердив, що не перевищено допустиме падіння напруги (5% від $U_{жив}$) на найдовшому провіднику.

Розрахунок віброміцності друкованого вузла підтвердив відсутність механічних резонансів, розраховане значення динамічного прогину дорівнює 0,12мм, що не перевищує допустиме значення (0,3мм).

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		65

Висновки

Автоматизовані системи збору даних у наш час є загальнодоступними засобами отримання інформації. Системи збору даних знайшли застосування в наукових дослідженнях, керуванні виробничими процесами, моніторингу в промисловості, медицині, метеорології, інших сферах людської діяльності. Автоматизований ЗД пропонує дані нової якості, які неможливо отримати іншими способами - це результати статистичної обробки величезної кількості вимірів, отриманих в цифровій формі, можливість реєстрації випадкових подій з недосяжною раніше роздільною здатністю в часі та амплітуді, реєстрація швидкісних процесів. Завдяки різкому здешевленню СЗД в порівнянні з вартістю людської праці, вони знайшли застосування там, де раніше використовували ручну реєстрацію даних: в теплицях, елеваторах, на метеостанціях, у процесі сертифікаційних випробувань продукції, при автоматизації наукових експериментів тощо.

СЗД можуть застосовуватися як у реальному часі, наприклад, для моніторингу різноманітних процесів, ідентифікації аварійних ситуацій в технологічних системах, для керування системами, а також для архівування даних, коли їх обробка відділена в часі від процедури збору даних.

У даній роботі спроектовано та розроблено систему збору даних. Метою даного проекту є створення функціональної, зручної і відносно не дорогої системи збору даних для використання на підприємствах з виготовлення електронних пристроїв та систем.

Запропонована СЗД є розподільною, коли прилади вводу даних рознесені територіально по об'єкту збору даних, а отримувані дані сходяться до єдиного накопичувача інформації.

Для вирішення проблем, пов'язаних із заземленням, і для захисту приладів від стрибків напруги та людей від ураження електричним струмом у приладі передбачено гальванічну розв'язку.

									Арк.
									66
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

У процесі роботи над приладом була розроблена схема електричного принципового перетворювача інтерфейсу, яка складається з :

- мікроконтролера;
- гальванічної розв'язки;
- живлення від напруги до 36В;
- стабілізації вхідної напруги;
- вхідного цифрового сигналу до 24В;
- перетворення напруги 36В у 5В;
- захисту від перевантаження та стрибків напруги.

Розроблений прилад відповідає поставленому технічному завданню на розробку.

Під час роботи над приладом було здійснено конструкторсько-технологічний та електричний розрахунки друкованої плати; розраховано тепловий режим ДП, зроблено розрахунки віброміцності та надійності ДП.

Електричний розрахунок друкованої плати підтвердив, що не перевищено допустиме падіння напруги , а розрахунок віброміцності друкованого вузла підтвердив відсутність механічних резонансів. Також було розроблено друковану плату в програмі EAGLE.

Розроблений пристрій збору даних має такі допоміжні функції:

- передача даних через USB інтерфейс;
- підтримка півдуплексної передачі даних (в обидва боки);
- підключення сторонніх пристроїв за допомогою USART та GPIO інтерфейсу;
- можливість перепрограмування мікроконтролера.

При ознайомленні з системою збору даних більш детально, можна зробити висновок, що найважливішими параметрами, з якими пов'язана робота системи збору даних, є швидкість передачі, режими роботи, підтримувані інтерфейси виведення даних, а також надійність та захищеність від перешкод.

									Арк.
									67
Змн	Арк	№ докум.	Піппис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

Описана СЗД може бути ефективним засобом моніторингу фізичних процесів та накопичення даних з широким спектром застосування.

Спроектовано СЗД відповідно до технічного завдання.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		68

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жуйков В.Я., Терещенко Т.О., Петергеря Ю.С. і ін «Мікропроцесори і мікроконтролери» - Електронний підручник
2. Мікропроцесорна техніка: Підручник / Ю.І. Якименко, Т.О. Терещенко, Є.І. Сокол, В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря / За ред. Т.О. Терещенко. – К.: Видавництво “Політехнік”, 2002. – 439 с
3. Спеціалізовані і промислові мікропроцесорні системи. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 – «Електронні пристрої та системи». Спеціальність 7(8).05080202 – «Електронні системи». Розділ 1 . Розподілені мікроконтролерні системи - К.: НТУУ “КПІ”, 2013. –149
4. Understanding and using the Controller Area Network Communication Protocol / Marco Di Natale, Haibo Zeng, Paolo Giusto – Springer, 2012, ISBN: 978-1461403135 – 226с.
5. A Comprehensible Guide to Controller Area Network / Wilfried Voss – Copperhill Media Corporation, 2005 – ISBN-10: 0976511606 – 164с.
6. Implementing Scalable CAN Security with CANcrypt: Authentication and encryption for CANopen, J1939 and other Controller Area Network or CAN FD protocols / Olaf Pfeiffer – Embedded Systems Academy Inc., 2017 – ISBN: 0998745405 – 224с.
7. Дитрих Д., Артемов Н.И., Низамутдинов О.Б., Белковский С.В. Fieldbus-концепция построения систем промышленной автоматизации // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика, 11/2000. – С. 35-38.
8. Даташит до оптопарі H11L1MS [Електронний ресурс]– Режим доступу: https://cdn.datasheetspdf.com/pdf_down/H/1/1/H11L1M_FairchildSemiconductor.pdf
9. Даташит до LM317 [Електронний ресурс]– Режим доступу: https://eandc.ru/pdf/mikroskhema/lm117_lm317.pdf

									Арк
									69
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	БР. 6.050802.051.014 ПЗ				

10. Make Your Own Pcb's With Eagle - 14 edition / Simon Monk - McGraw-Hill Publishing Company, 2014 - 272с.

11. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л.Н.Кечив – Группа ИДТ, 2007 – ISBN:978-5-94833-024-2 – 616с.

12. Проектирование и технология печатных плат / Е.В. Пирогова – ИНФРА-М, 2005 – ISBN:5-16-001999-5 – 560с. 13. Печатные платы. Справочник. В 2-х книгах. / ред. Клайв Ф. Кумбз – Техносфера, 2011 – ISBN: 978-5-94836-258-8 - 2032с.

13. Мистецтво схемотехніки. 7-е видання / Пауль Хоровітц, Уінфрід Хілл-Біном, 2016 – ISBN: 978-5-9518-0351-1 – 704с.

14. Радиотехнические цепи и сигналы / Баскаков С.И. – Ленанд, 2016 – ISBN: 978-59710-2464-4 – 528с.

15. Интерфейс USB. Практика использования и программирования / Агуров В.П. – БВХ-Петербург, 2004 – ISBN:5-94157-202-6 – 576с.

16. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет / Гейтенко Е.Н. – Солон-Пресс, 2008 – ISBN: 978-5-91359-025-1 – 448с.

17. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007.–288с.,ил.

18. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М; «Дадэка-XXI», 2007.-592 с

19. Гребньов В.В. Мікроконтролери сімейства AVR фірми Atmel. - М. В«ІП РадіоСофтВ» 2002 р.

20. Белов А.В. Самовчитель розробника пристроїв на мікроконтролерах AVR. - Санкт-Петербург, В«Наука і технікаВ» 2010 р.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		70

21. Шелестов І.П. “Радіолюбителям: корисні схеми”. Книга 6. - М.: видавництво «Слон-Р», 2005р.

22. Мортон Дж. “Мікроконтролери AVR. Вводний курс” – М.: видавницький дім «Додека-XXI», 2006.

23. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. / Гребнев В.В. Руководство пользователя. - М.: ИП РадиоСофт, 2012. - 176 с.

24. Мікропроцесорні засоби передавання інформації / [Васюра А.С., Кривогубченко С.Г., Кулик А.Я., Компанець М.М., Возняк О.М] / . Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 136 с.

25. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Сов.радио, 1979.

26. Справочник по расчету электронных схем / Б.С.Гершунский. - К.: Выща шк. Головное изд-во, 1983.

27. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы: справ. пособие / С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Л.И. Ниссельсон и др.; под ред. С.В. Якубовского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1985.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Арк.
						71
Змн	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Найменування і область використання.

Система збору даних. Використання на виробництвах, для контролю стану та ходу роботи

2. Основа для виконання роботи.

Основою для проектування є завдання на дипломний проект.

3. Мета і призначення розробки.

Метою розробки є схемотехнічне проектування апаратно – програмного комплексу електронної системи збору даних. Система призначена для зчитування та обробки даних, і для моніторингу цифрових датчиків, які використовуються на виробничих лініях.

4. Технічні вимоги.

4.1. Вимоги до функціональних характеристик системи.

- Можливість забезпечувати постійний моніторинг даних, що надходять до системи;
- Збір та зберігання даних, що надходять з цифрових датчиків обладнання, та зберігання їх на сервері для подальшої обробки;
- Легкий доступ до даних через мережу Інтернет.

4.2. Вимоги до надійності системи.

Час напрацювання за раптовими відмовами не менше 25 тис. годин. Система має містити гальванічну розв'язку для більшого захисту від раптових стрибків напруги та струму.

4.3. Вимоги до технологічності.

Використання сучасної елементної бази з покращеними експлуатаційними характеристиками. Можливість виготовлення на обладнанні, до якого не висувається підвищених вимог.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Піппис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Мігуш М.О.			Система збору даних	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Арквнів</i>
<i>Перевір.</i>		Бевза О.М.					1	75
<i>Реценз.</i>						«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51		
<i>Н. Контр.</i>		Чадюк В.О.						
<i>Затверд.</i>		Писаренко Л.Д.						

4.4. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

Використання технологій та елементів, регламентованих стандартами, прийнятими на території України. Максимально уніфікувати деталі.

5. Вимоги до складових частин виробу, сировини та експлуатаційних матеріалів.

Використовувати матеріали та компоненти серійного виробництва помірної вартості. Конструкція виробу має бути ремонтпридатною та забезпечувати можливість заміни елементів.

6. Результати роботи.

Робота повинна містити наступні документи:

- пояснювальну записку;
- схему електричну принципову;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення друкованої плати;
- перелік елементів;
- специфікацію;
- додатки.

					БР. 6.050802.051.014 ПЗ	Дрк
Змн	Дрк	№ докум.	Пілпис	Дата		74

ДОДАТОК А

Зона	Поз.	Позначення	Найменування <u>Деталі</u>	Кіл.	Прим.
	1	БР. 6.050802.051.014.01 ЕЗ	Принципова схема	1	
			<u>Конденсатори</u>		
	2		Конденсатор <i>Generic</i> 470 пФ	1	C1
	3		Конденсатор <i>Generic</i> 0.1мкФ	1	C2
	4		Конденсатор <i>Generic</i> 0.1 мкФ	1	C3
	5		Конденсатор <i>Generic</i> 10 мкФ	1	C4
			<u>Резистори</u>		
	6		<i>Резистор Generic 15 КОм</i>	8	R1-R8
	7		<i>Резистор Generic 1 КОм</i>	1	R9
	8		<i>Резистор Generic 3КОм</i>	1	R10
			<u>Лінійний стабілізатор напруги</u>		
	9		<i>Стабілізатор Tiger Electronic LM7824</i>	1	DA9
	10		<i>Стабілізатор Vishay LM317</i>	1	DA10

					БР. 6.050802.051.014.01 ПЕ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Мігуш М.О.				Система збору даних Специфікація	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Бевза О.М.						1	2
						«КПІ ім. І.Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51		
Н.контр	Чадюк В.О.							
Затверд.	Писаренко Л.Д.							

