

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

Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Інформаційні вимірювальні технології та системи»
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
на тему: Багатоканальний пристрій вимірювання температури

Виконав студент IV курсу, групи ВА-71

_____ Мальцев Дмитро Вячеславович _____	_____
(прізвище, ім'я, по батькові)	(підпис)

Керівник

_____ доц. каф. ІВС, к.т.н., доц. Богомазов С. . _____	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Рецензент

_____	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище ім'я по батькові)	(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 року

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Аркуші	Примітка
1					
2			<u>Альбом 1</u>		
3					
4			<u>Текстова документація</u>		
5					
6			<u>Документація загальна</u>		
7					
8			Заново розроблене		
9					
10	A4		Завдання на дипломне	2	
11			проектування		
12	A4		Анотація українською мовою	1	
13	A4		Анотація іноземною мовою	1	
14	A4	BA71.070004.001 ТЗ	Технічне завдання	4	
15	A4	BA71.070004.001 ТП	Відомість технічного проекту	2	
16	A4	BA71.070004.001 ПЗ	Пояснювальна записка		
17					
18			<u>Документація</u>		
19			<u>по збірним одиницям</u>		
20					
21			<u>Заново розроблена</u>		
22					
23	A4	BA71.070004.001 ПЕЗ	Блок вимірювання	2	
24			температури		
25			Перелік елементів		
26					
27					
28					
29					

					BA71.070004.001 ОП						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата							
Розроб.	Мальцев Д.В.				Багатоканальний пристрій вимірювання температури			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.										1	2
								КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. BA71			
Н. контр.	Богомазов С.А.										
Затв.					Опис						

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Аркуші	Примітка
1					
2			<u>Альбом 2</u>		
3					
4			<u>Графічна документація</u>		
5					
6			<u>Заново розроблена</u>		
7					
8	A1	BA71.070004.001 E1	Багатоканальний пристрій	1	
9			вимірювання температури		
10			Схема електрична		
11			структурна		
12					
13	A1	BA71.070004.001 E2	Багатоканальний пристрій	1	
14			вимірювання температури		
15			Схема електрична		
16			функційна		
17					
18	A1	BA71.070004.001 E3	Багатоканальний пристрій	1	
19			вимірювання температури		
20			Схема електрична		
21			принципова		
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					

					BA71.070004.001 ОП	Арк.
						2
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційні вимірювальні технології та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 20__ р

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Мальцеву Дмитру Вячеславовичу

1. Тема проєкту «Багатоканальний пристрій вимірювання температури», керівник проєкту Богомазов Сергій Анатолійович, к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 14.06.2021
3. Вихідні дані до проєкту 1. Діапазон вимірювання від 0 до 130°C, похибка вимірювання температури не повинна перевищувати $\pm 1^\circ\text{C}$. 2. Кількість каналів вимірювання: 5. 3. Реалізація передачі даних через інтерфейси I2C та USB.
4. Зміст пояснювальної записки ТЗ. Вступ. Огляд існуючих технічних рішень. Розробка структурної, функціональної та принципової схем. Розробка програмного забезпечення. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових

креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична структурна.
Схема електрична функційна. Схема електрична принципова.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 1 квітня 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	10.04.2021 р.	
2.	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень	20.04.2021 р.	
3.	Проектування структурної схеми	30.04.2021 р.	
4.	Проектування функційної схеми	05.05.2021 р.	
5.	Проектування схеми електричної принципової блоку вимірювання температур	15.05.2021 р.	
6.	Аналіз похибок вимірювальних каналів	20.05.2021 р.	
7.	Розробка програмного забезпечення	25.05.2021 р.	
8.	Оформлення графічних матеріалів	28.05.2021 р.	
9.	Оформлення пояснювальної записки	01.06.2021 р.	
10.	Попередній захист дипломного проєкту	09.06.2021 р.	
11.	Рецензування дипломного проєкту	до 14.06.2021 р.	
12.	Захист дипломного проєкту	до 18.06.2021 р.	

Студент

Дмитро МАЛЬЦЕВ

Керівник проєкту

Сергій БОГОМАЗОВ

АНОТАЦІЯ

В дипломному проєкті розроблено багатоканальний пристрій для вимірювання температурних параметрів дизельних двигунів. Пристрій має п'ять вимірювальних каналів. Діапазон вимірювання температури - від 0 до 130 °С. В якості первинних перетворювачів використано платинові термометри опору.

В проєкті розроблена структурна і функційна схеми пристрою вимірювання температур. А також підібрано елементну базу і розроблено принципову схему блоку вимірювання температур.

Проведено аналіз і розрахунок статичної похибки каналу вимірювання температури.

Також під час виконання роботи було проведено аналіз використання систем віддаленого збору вимірювальної інформації. Отриманні данні були використані при розробці вимірювальної системи.

Даний пристрій може використовуватися на підприємствах, які виготовляють двигуни внутрішнього згорання, для випробування системи охолодження.

ANNOTATION

The diploma project develops a multi-channel device for measuring the temperature parameters of diesel engines. The device has five measuring channels. Temperature measurement ranges from 0 to 130 ° C. Platinum resistance thermometers were used as primary transducers.

The structural and functional schemes of the device for measuring temperature are developed in the project. Also, the base element was selected and the schematic diagram of the temperature measurement unit was developed.

The analysis and calculation of the static error of the temperature measurement channel are carried out.

Also, during the work the analysis of the use of systems for remote collection of measuring information was carried out. The obtained data were used in the development of the measuring system.

This device can be used in enterprises that manufacture internal combustion engines to test the cooling system.

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

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ІВТ

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

" ____ " _____ 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт

«Багатоканальний пристрій вимірювання температури»

ВА71.070004.001 ТЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломного проєкту

доцент кафедри ІВТ

(Посада)

Богомазов Сергій Анатолійович

(Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2021 р.

Дипломник:

Ст. гр. ВА-71

_____ (Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2021 р.

Залікова книжка _____

Київ 2021

1 ПРИЗНАЧЕННЯ І СКЛАД СИСТЕМИ

Багатоканальний пристрій для вимірювання температури призначений для вимірювання температури масла на вході та виході дизеля, температури води на вході дизеля, температури води на виході правого та лівого блоків.

Система повинна складатися з 5 вимірювальних каналів. Система може працювати в двох режимах:

- стендовий режим роботи;
- режим ходових випробувань.

В стендовому режимі результати вимірювань повинні передаватись через інтерфейс USB на ПК для подальшої обробки і аналізу.

В режимі ходових випробувань система повинна передавати вимірювальну інформацію через інтерфейс I2C на блок electricImp, який у свою чергу буде передавати інформацію на ПК через інтернет у режимі реального часу.

2 ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ

Багатоканальний пристрій для вимірювання температури призначений для автоматизації вимірювання та відображення температурних параметрів дизельних двигунів. Застосовується для випробування системи охолодження дизельних двигунів.

3 ПІДСТАВИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на дипломний проєкт, видане і затверджене кафедрою інформаційно-вимірювальних технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Прилад має містити:

- набір чутливих елементів;
- блок вимірювання температури.

4.1 Технічні та метрологічні вимоги

Розроблювана система цифрового багатоканального пристрою для вимірювання температури має складатися з 5 каналів вимірювання температури, блоку обробки вимірювальної інформації і забезпечувати відповідні метрологічні характеристики:

Таблиця 4.1 Метрологічні характеристики

№	Найменування параметру	Позначення	Початкове - кінцеве значення	Абсолютна похибка вимірювань
1	Температура масла на вході дизеля, °C	$t_{м.вх}$	0 - 80	± 1
2	Температура масла на виході дизеля, °C	$t_{м.вих}$	0 - 130	± 1
3	Температура води на вході, °C	$t_{в.вх}$	0 - 80	± 1
4	Температура води на виході правого блоку, °C	$t_{в.вихпр}$	0 - 120	± 1
5	Температура води на виході лівого блоку, °C	$t_{в.вихлів}$	0 - 120	± 1

Система повинна виконувати автоматичне вимірювання температури кожні десять секунд та передавати виміряні данні через інтерфейс USB або I2C

для подальшої обробки.

4.2 Вимоги до електроживлення

Живлення повинно здійснюватися від джерела постійної напруги +9В.

4.3 Вимоги до часу встановлення робочого режиму

Час встановлення за нормальних умов не повинен перевищувати однієї хвилини.

Система повинна зберігати свою працездатність і задовольняти задані метрологічні характеристики протягом не менш як 16 годин. При більшій тривалості роботи системи потрібно робити паузи на 15 – 20 хвилин.

4.4 Вимоги стійкості до зовнішніх впливів

Система повинна зберігати працездатність за умов зовнішнього середовища (температура, вологість, атмосферний тиск), які відповідають встановленим санітарним нормам проектування промисловості підприємств СН-245-71.

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Аркуші	Примітка
1					
2			<u>Альбом 1</u>		
3					
4			<u>Текстова документація</u>		
5					
6			<u>Документація загальна</u>		
7					
8			<u>Заново розроблене</u>		
9					
10	A4	BA71.070004.001 ПЗ	Пояснювальна записка		
11					
12			<u>Документація</u>		
13			<u>по збірним одиницям</u>		
14					
15			<u>Заново розроблена</u>		
16					
17	A4	BA71.070004.001 ПЕЗ	Блок вимірювання	2	
18			температури		
19			Перелік елементів		
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					

					BA71.070004.001 ТП		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.		Мальцев Д.В.			Багатоканальний пристрій вимірювання температури Відомість технічного проекту	Літ.	Аркуш
Перевір.							
Н. контр.		Богомазов С.А.				1	2
Затв.						КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. BA71	

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Аркуші	Примітка
1					
2			<u>Альбом 2</u>		
3					
4			<u>Графічна документація</u>		
5					
6			<u>Заново розроблена</u>		
7					
8	A1	BA71.070004.001 E1	Багатоканальний пристрій	1	
9			вимірювання температури		
10			Схема електрична		
11			структурна		
12					
13	A1	BA71.070004.001 E2	Багатоканальний пристрій	1	
14			вимірювання температури		
15			Схема електрична		
16			функційна		
17					
18	A1	BA71.070004.001 E3	Багатоканальний пристрій	1	
19			вимірювання температури		
20			Схема електрична		
21			принципова		
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					

					BA71.070004.001 ТП	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		2

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Багатоканальний пристрій вимірювання
температури»

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	5
1.1 Огляд існуючих методів і пристроїв для вимірювання температури	5
1.1.1 Термометри розширення.....	5
1.1.2 Манометричні термометри	6
1.1.3 Термоелектричні термометри (термопари).....	7
1.1.4 Пірометри випромінення	8
1.1.5 Електричні термометри опору	9
2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ.....	18
2.1 Попередній аналіз похибки каналу вимірювання температури	19
3 РОЗРОБКА ТА ОПИС СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІЙНОЇ	23
3.1 Короткий опис інтерфейсу I2C.....	26
3.2 Короткий опис інтерфейсу SPI.....	29
4 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	33
4.1 Опис та характеристики перетворювача опір-цифровий код MAX31865	35
4.2 Принципова схема та опис мікроконтролера C8051F310.....	41
4.3 Опис та характеристика регулятора напруги LM3940.....	44
4.4 Принципова схема та опис перетворювача інтерфейсу FT232RL ...	45
4.5 Опис та схема включення аналогового комутатора ADG408BR.....	48
4.6 Схема включення та основні характеристики стабілізатора напруги MC78L05ACP	49
4.7 Аналіз похибок каналів вимірювання температур.....	50
4.7.1 Похибка АЦП.....	50
4.7.2 Похибка датчика температури.....	52
4.7.3 Похибка аналогового комутатора	53

					ВА71.070004.001 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата							
Розроб.	Мальцев Д.В.				Багатоканальний пристрій вимірювання температури				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.									0	2	82
									КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. ВА71		
Н. контр.	Богомазов С.А.										
Затв.					Пояснювальна записка						

4.7.4 Похибка нормуючого підсилювача	56
4.7.5 Похибка обчислення.....	57
4.7.6 Сумарна похибка пристрою	58
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	61
5.1 Розробка програмного забезпечення системи віддаленого збору температурних параметрів дизельних двигунів.....	61
5.1.1 Код пристрою.....	62
5.1.2 Частина ініціалізації і початкового налаштування.....	62
5.1.3 Частина отримання даних від блоку температури	62
5.1.4 Код агенту пристрою.....	63
5.1.5 Частина декларації і початкової ініціалізації	64
5.1.6 Код агента для обробки даних від пристрою	64
5.1.7 Код агента для обробки get-запитів від web-сторінки.....	65
5.2 Розробка програмного забезпечення блоку вимірювання температур.....	65
5.2.1 Частина декларації	66
5.2.2 Частина ініціалізації.....	67
5.2.3 Головний цикл.....	67
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
ДОДАТОК А.....	73
ДОДАТОК Б.....	77

ВСТУП

В сучасному світі важливим напрямком виробництва двигунів внутрішнього згорання є поліпшення їх експлуатаційних характеристик. Ефективність їх роботи залежить від роботи окремих систем, таких, як система охолодження, змащувальна система, паливна система, система очищення повітря тощо.

Встановлено, що з підвищенням температури охолоджуючої рідини змінюються параметри його робочого процесу. З підвищенням температури починає зменшуватися ефективна потужність двигуна і збільшуються витрати палива. Також з підвищенням робочих температур деталей двигуна зменшується термін їх служби. З приближенням температури охолоджуючої рідини до температури кипіння, ефективність рідинних систем охолодження зменшується через зниження ККД водяного насосу.

Аналіз методів підвищення ефективності системи охолодження двигунів внутрішнього згорання дозволяє поліпшити експлуатаційні характеристики двигуна і збільшити термін його використання.

Метою дипломного проекту є розробка багатоканального пристрою для вимірювання температурних параметрів дизельних двигунів.

Розроблюваний в дипломному проекті пристрій призначений для вимірювання температури масла на вході і виході двигуна, а також температури охолоджуючої рідини на вході та на виході правого та лівого блоків. Пристрій використовується для випробування систем дизельних двигунів внутрішнього згорання.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						4
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1 Огляд існуючих методів і пристроїв для вимірювання температури

В наш час для вимірювання температури використовують, як електричні, так і неелектричні методи вимірювання температури. Прилади для вимірювання температури до 500°C називаються термометрами, а прилади які вимірюють температури вище 500 °C, називаються пірометрами.

За принципом дії прилади для вимірювання температури поділяють на:

- термоелектричні термометри;
- електричні термометри;
- манометричні термометри;
- термометри розширення;
- термометри випромінення .

В наш час для вимірювання температури найчастіше використовують електричні і термоелектричні термометри.

За методами перетворення, електричні засоби поділяють на аналогові і цифрові. Цифрові мають ряд переваг – кращі метрологічні характеристики, більша швидкодія, надійність і форма представлення інформації більш зручна для подальшої обробки і передачі.

В даний час зазвичай використовують цифрові пристрої для вимірювання температури, принцип роботи яких заснований на використанні електричних і термоелектричних методів перетворення [1].

1.1.1 Термометри розширення

Найпоширенішими термометрами розширення є рідинні скляні термометри, які використовують властивість теплового розширення тіл.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						5
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості речовини, яка розширюється, найчастіше використовують чисту ртуть, бо вона не змочує скло і залишається рідкою в доволі широкому інтервалі температур [1].

Окрім ртуті, можуть також використовуватись і інші речовини, наприклад: метиловий або етиловий спирти, пентан, галій, толуол тощо.

Основною перевагою рідинних термометрів є простота вживання і досить висока точність вимірювання навіть для термометрів серійного виготовлення.

Недоліками таких термометрів є неможливість автоматичної реєстрації показів і передачі показань на велику відстань.

1.1.2 Манометричні термометри

В основу роботи манометричних термометрів покладена залежність тиску речовини при постійному об'ємі від температури.

При вимірюванні температури тиск в системі змінюється, в результаті чого чутливий елемент змінює положення стрілки за шкалою манометра.

Манометричні термометри часто використовують для автоматичного регулювання температури.

Манометричні термометри бувають трьох типів:

- 1) рідинні;
- 2) конденсаційні;
- 3) газові.

В рідинних манометричних термометрах вся система заповнена рідиною. Такі термометри застосовуються для вимірювання температури в діапазоні від -50 до $+300^{\circ}\text{C}$

Конденсаційні термометри частково заповнені рідиною, яка має низьку температуру кипіння і частково – насиченою паром. З'єднувальний капіляр, який з'єднує манометр і термобаллон, заповнений паром або спеціальною

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						6
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

рідиною. Конденсаційні термометри призначенні для вимірювання температури в діапазоні від -50 до $+300^{\circ}\text{C}$.

В газових манометричних термометрах вся система заповнена інертними газами, і вони розраховані на вимірювання в діапазоні від -50 до $+600^{\circ}\text{C}$.

До переваг манометричних термометрів можна віднести:

- 1) простота конструкції;
- 2) можливість дистанційного вимірювання;
- 3) можливість автоматичної фіксації показів.

Недоліками таких систем є:

- 1) невелика відстань дистанційної передачі вимірювальної інформації;
- 2) теплова інерція;
- 3) погана ремонтпридатність при розгерметизації балону.

Манометричні термометри знайшли широкого застосування у випадках, коли за умовами пожежної безпеки не можна використовувати електричні методи вимірювання температури.

1.1.3 Термоелектричні термометри (термопари)

Термоелектричні термометри – це вимірювальні перетворювачі, чутливий елемент яких розташований в захисному корпусі, що забезпечує захист від впливу навколишнього середовища. Чутливим елементом таких термометрів є термопара.

Термопара – це первинний вимірювальний перетворювач у вигляді двох провідників з різних металів, які з'єднані між собою в одному з кінців [2]. Термопара працює за рахунок термоелектричного ефекту – процесу виникнення електрорушійної сили в неоднорідно нагрітому провіднику.

Термоелектричні термометри випускаються двох типів: занурювані і поверхневі. Виготовляється велика кількість різних модифікацій, які

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відрізняються одна від одної за призначенням, умовами використання, матеріалами корпусу, ступенем теплової інерції і способом установки [1].

Сутність термоелектричного методу полягає у виникненні термо-ЕРС в провіднику, кінці якого мають різну температуру [1]. Для вимірювання значення електро-рушійної сили, яка виникла, її порівнюють з ЕРС іншого провідника, який утворює з першим електричну пару (Рис 1.1).

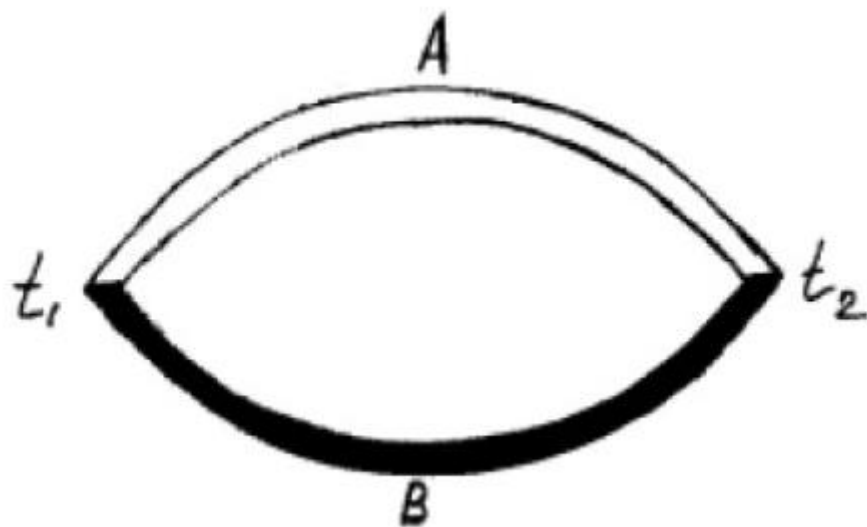


Рисунок 1.1 – Схема термопари

ЕРС термопари залежить тільки від температури кінців і ніяк не залежить від геометричних розмірів електродів, електричної провідності і питомого опору. Температуру вільних кінців зазвичай підтримують постійною, рівною 0 °С.

1.1.4 Пірометри випромінювання

Температуру тіла можна виміряти за допомогою вимірювання параметрів його теплового випромінювання. Теплове випромінювання являє собою

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

електромагнітні хвилі різної довжини [1]. Кількість енергії, що випромінюється на пряму залежить від температури тіла. Зі збільшення температури, кількість випроміненої енергії збільшується.

Для безконтактного вимірювання температури тіл за їх випроміненням використовують пристрої, які називаються пірометри випромінення. Вони здатні вимірювати температуру в діапазоні від 100 до 6000 °С і навіть вище. Основною перевагою є відсутність безпосереднього контакту з досліджуваним тілом, що зменшує вплив засобу вимірювання на температуру тіла і дає змогу проводити вимірювання на великій відстані.

Існують три основні види пірометрів випромінення:

1. пірометри сумарного випромінювання;
2. пірометри часткового випромінювання;
3. пірометри спектрального відношення.

1.1.5 Електричні термометри опору

Термометр опору – це прилад для вимірювання температури, принцип роботи яких оснований на зміні електричного опору провідників під дією температури.

Основною перевагою термометрів опору в порівнянні з іншими термометрами є висока стабільність і майже лінійна характеристика. Також вони стійкі до механічного впливу і мають досить малі розміри.

До недоліків резистивних датчиків температури можна віднести обов'язкову наявність стабільного джерела електричного струму і необхідність використання трьох- або чотирипровідної схеми підключення датчика для усунення впливу опору з'єднувальних дротів.

В якості матеріалу для виготовлення термометрів опору зазвичай використовують чисті метали: мідь, платина та інші, оскільки вони мають достатньо високе значення температурного коефіцієнта опору.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

На практиці найчастіше використовують платинові термометри опору, тому що вони мають найбільшу стабільність, стійкі до впливу агресивного середовища, мають високу лінійність характеристики і найбільший діапазон робочих температур. [3]

Основними параметрами термометрів опору є:

- температурний коефіцієнт опору;
- номінальний опір;
- діапазон вимірюваних температур;
- номінальна статична характеристика.

Температурний коефіцієнт опору характеризує залежність опору від температури:

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot t},$$

де α – температурний коефіцієнт опору;

t – температура матеріалу;

R_t – електричний опір при температурі t ;

R_0 – електричний опір при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Залежність опору від температури для термометрів, виготовлених з різних матеріалів, дається зазвичай у вигляді графіку або в градуйованих таблицях. На рис. 1.2 зображена залежність опору від температури [1].

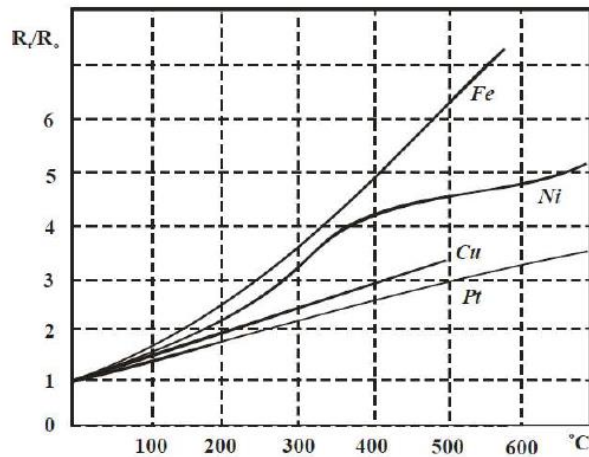


Рисунок 1.2 – Залежність відношення R_t/R_0 від температури деяких металів

Номінальний опір термометра опору – це нормоване виробником значення опору при температурі 0°C , округлене до цілих одиниць. Найбільшу популярність здобули термометри з номінальним опором в 100 та 1000 Ом. Вимірювальні системи, в яких використовуються термометри опору з високим номінальним опором, мають ряд переваг, однією з яких є зменшення впливу довжини з'єднувальних дротів на точність вимірювань [1].

Максимальний діапазон вимірювань залежить не тільки від матеріалу, з якого він виготовлений, але і від конструкції датчика. Для більшості термометрів опору діапазон вимірювань складає:

- від -195 до $+660^\circ\text{C}$ для платинових датчиків;
- від -50 до $+200^\circ\text{C}$ для мідних;
- від -60 до $+180^\circ\text{C}$ для нікелевих.

Номінальна статична характеристика – це залежність опору від температури. Значення електричного опору для платинових термометрів розраховують за формулою Каллендера:

При температурі $-200^\circ\text{C} < t < 0^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)],$$

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де R_t – опір термометра при температурі t ;

A, B, C – сталі коефіцієнти;

R_0 – значення опору датчика при температурі 0°C .

При температурі $0^\circ\text{C} < t < 650^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

Значення сталих коефіцієнтів A, B і C , які використовуються в формулі, було знайдено шляхом вимірювання опору платини при температурі кипіння води, сірки і кисню. При цьому виникає необхідність відтворення потрібної точки води для прив'язки значення R_0 [1].

Значення коефіцієнтів:

$$A = \alpha_1 \left(1 + \frac{\delta_1}{100}\right)$$

$$B = -\alpha_1 \frac{\delta_1}{10000}$$

$$C = -4 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^4$$

Для мідних термометрів опір в діапазоні температур $-50^\circ\text{C} < t < 180^\circ\text{C}$ розраховується за формулою:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

За конструкції чутливого елемента датчики температури поділяють на:

- плівкові;
- дротяні.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Дротяні, як правило, виготовляють з міді або нікелю, а платинові можуть бути, як плівковими так і дротяними.

Плівкові термометри мають більшу чутливість до вібрацій, але здатні працювати в більш вузькому температурному діапазоні, ніж дротяні.

Внутрішня будова дротяного платинового термометра опору зображена на рис. 1.3

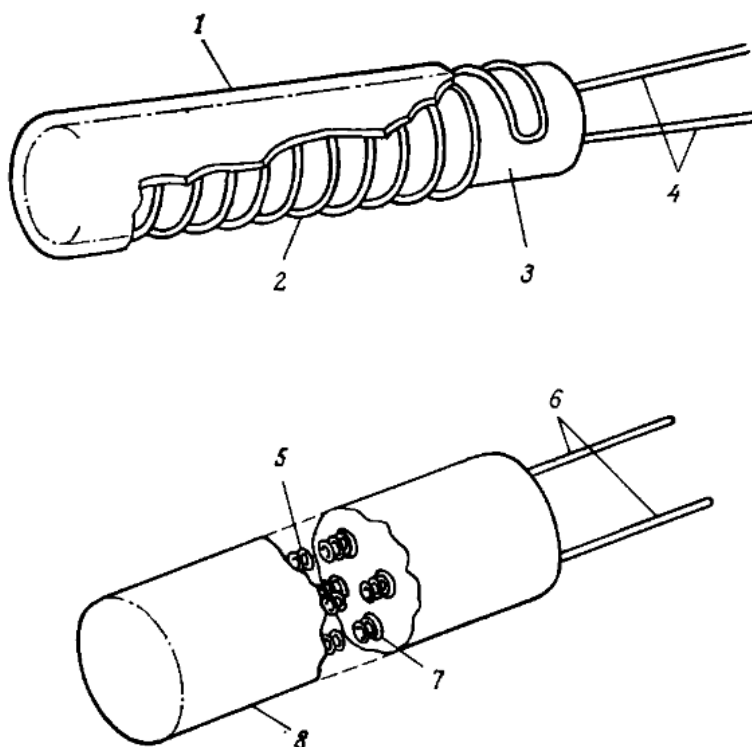


Рисунок 1.3 – Дві різні конструкції платинового дротяного термометра опору загального призначення

На рисунку 1.3 зображено:

1. скляна трубка;
2. платинова проволока;
3. керамічний стержень;
4. виводи;
5. платинова спіраль;
6. виводи;

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

BA71.070004.001 ПЗ

Арк.
13

7. порошок із оксиду алюмінію;
8. керамічний кожух.

Зовнішній вигляд плівкового термометра опору зображений на рис 1.4:

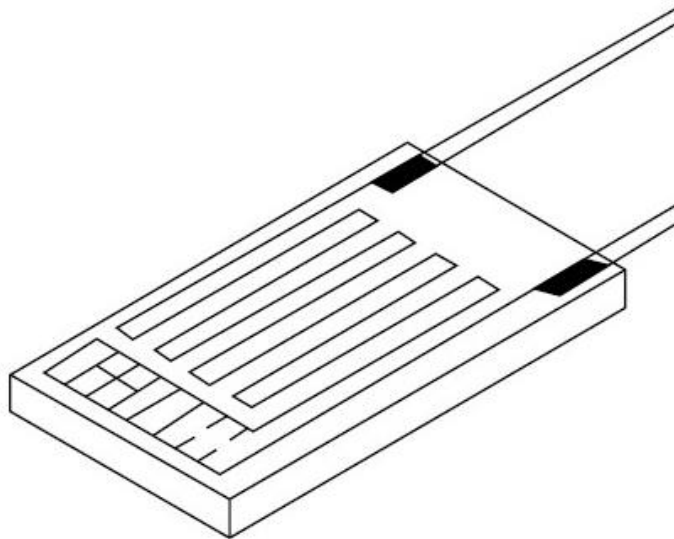


Рисунок 1.4 – Плівковий термометр опору

Для підключення термометрів опору зазвичай використовують одну з трьох основних схем підключення резистивних датчиків:

- двопровідна схема підключення;
- трипровідна схема підключення;
- чотирипровідна схема підключення.

В 2-провідній схемі підключення використовується лише два дроти. Така схема має невисоку точність, оскільки на результат впливає опір з'єднувальних дротів. 2-провідна схема включення термометрів опору зображена на рис. 1.5 [4].

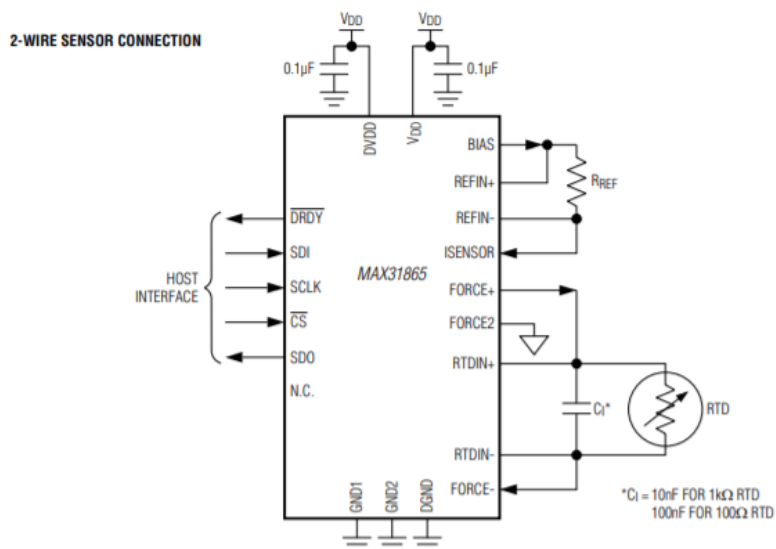


Рисунок 1.5 – Двопровідна схема підключення термометру опору до
RTD – перетворювача MAX31865

Трипровідна схема підключення має більш високу точність, ніж 2-провідна схема. Більша точність досягається за рахунок можливості виміряти опір з'єднувальних дротів, щоб врахувати їх вплив на результат вимірювання.

На рис. 1.6 зображена 3-провідна схема підключення термометрів опору:

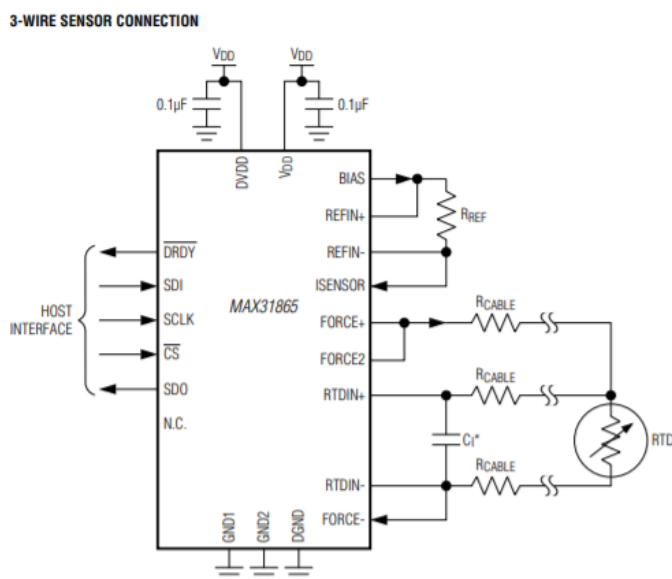


Рисунок 1.6 – 3-провідна схема підключення термометру опору

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк. 15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш точною є 4-провідна схема підключення (рис. 1.7), оскільки вона повністю виключає вплив з'єднувальних дротів на результат вимірювання.

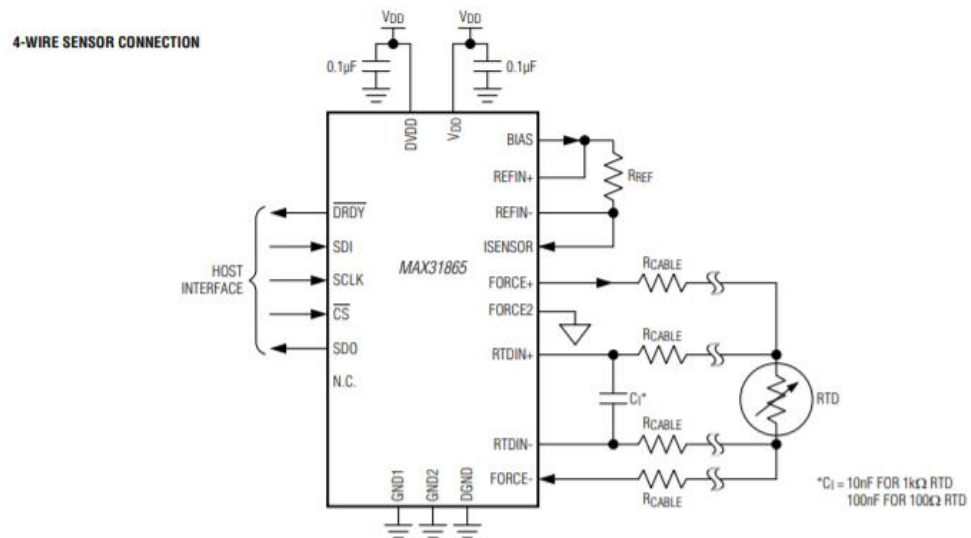


Рисунок 1.7 – Чотирипровідна схема підключення резистивного датчика температури

Висновки до розділу

В цьому розділі були розглянуті основні методи і засоби для вимірювання температури. В якості чутливого елемента розроблюваного пристрою було обрано платиновий термометр опору.

До основних переваг термометрів опору над іншими датчиками температури належать:

- висока точність вимірювання;
- широкий діапазон вимірювання;
- невеликі розміри;
- лінійність характеристик;
- високе значення температурного коефіцієнту опору.

Найпоширенішими термометрами опору є платинові, це можна пояснити високим температурним коефіцієнтом опору платини і стійкістю до дії агресивних середовищ. Платинові термометри мають найбільший діапазон робочих температур і високу лінійність номінальної статичної характеристики.

Мідні термометри опору мають меншу вартість в порівнянні з платиновими, але вони мають ряд недоліків, які вводять обмеження на їх використання, а саме вони мають малий питомий опір та сильно окислюються. Вони мають меншу точність і стабільність характеристик, ніж платинові датчики. Тому в якості датчику температури було обрано саме платиновий термометр опору.

В якості схеми підключення було обрано чотирипровідну схему підключення термометрів опору, оскільки вона дозволяє виключити вплив опору з'єднувальних дротів на результат вимірювання.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ

Цифровий багатоканальний пристрій для вимірювання температури складається з 5 вимірювальних каналів і блоку вимірювання температури. В якості датчиків температури використано платинові термометри опору. Структурна схема системи зображена на рисунку 2.1

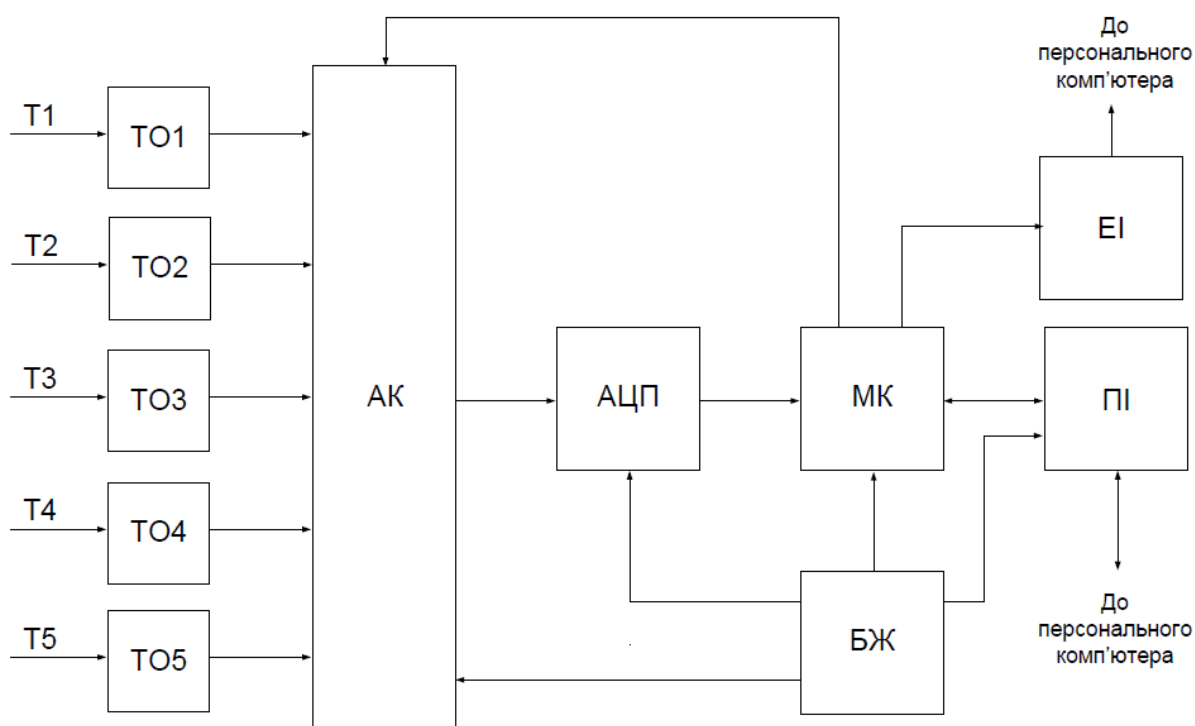


Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна мікропроцесорної системи для вимірювання температури

На рис. 2.1 позначено:

- Т – температура;
- TO1, TO2, TO3, TO4, TO5 – платинові термометри опору;
- АК – аналоговий комутатор;
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- МК – мікроконтролер;
- БЖ – блок живлення;
- ПІ – перетворювач інтерфейсу UART – USB;
- ЕІ – модуль Electric Imp.

Принцип дії багатоканального пристрою для вимірювання температури оснований на перетворенні температури на напругу за рахунок використання термометрів опору.

Чутливий елемент являє собою резистор, виготовлений з платинової проволочки з відомою залежністю електричного опору від температури.

Датчик температури підключається до блоку вимірювання з використанням чотирипровідної схеми підключення для мінімізації впливу опору з'єднувальних дротів.

За допомогою аналогових комутаторів, які входять до складу блоку вимірювання температури, відбувається підключення до АЦП постійної напруги, яка виділяється на кожному з 5 датчиків температури при протіканні по ньому електричного струму.

В якості блоку АЦП використано мікросхему MAX31865.

MAX31865 – це простий у використанні перетворювач опору в цифровий код, який оптимізований для платинових термометрів опору [5].

Мікроконтролер використовуємо C8051F310 від компанії Silicon Labs. Він отримує код від АЦП через цифровий вхід та розраховує значення температури за певним алгоритмом, а далі передає результати розрахунків на модуль Electric Imp через інтерфейс I2C.

2.1 Попередній аналіз похибки каналу вимірювання температури

Структуру каналу вимірювання температури наведено на рис 2.2

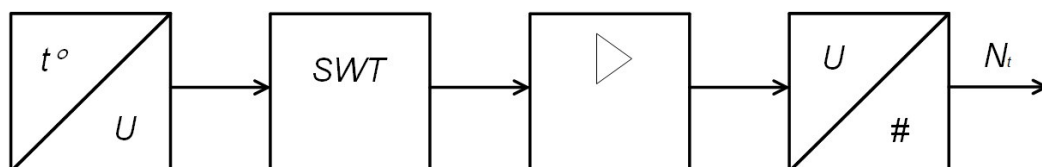


Рисунок 2.2 – Канал вимірювання температури

В якості первинного вимірювального перетворювача для вимірювання температурних параметрів дизельних двигунів використовується резистивний датчик температури.

Функція перетворення датчику температури:

$$U_t = T \cdot K,$$

де U_t – вихідна напруга датчика температури;

K – коефіцієнт перетворення датчика;

T – температура.

Рівняння перетворення каналу вимірювання температури:

$$N_t = U_t \cdot K_{\text{НП}} \cdot K_{\text{АК}} \cdot K_{\text{АЦП}},$$

де N_t – вихідний цифровий код;

U_t – вихідна напруга термометра опору;

$K_{\text{НП}}$ – коефіцієнт підсилення нормуючого підсилювача;

$K_{\text{АК}}$ – коефіцієнт передачі аналогового комутатора;

$K_{\text{АЦП}}$ – коефіцієнт перетворення аналого-цифрового перетворювача.

Рівняння перетворення вимірювального каналу з урахуванням похибок блоків:

$$N_t = U_t \cdot K_{\text{НП}} \cdot (1 + \gamma_{\text{НП}}) \cdot K_{\text{АК}} \cdot (1 + \gamma_{\text{АК}}) \cdot K_{\text{АЦП}} \cdot (1 + \gamma_{\text{АЦП}})$$

Тоді рівняння сумарної зведеної похибки каналу має вигляд:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{\text{НП}} + \gamma_{\text{АК}} + \gamma_{\text{АЦП}},$$

де γ_{Σ} – сумарна зведена похибка каналу вимірювання температури;

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$\gamma_{\text{НП}}$ – зведена похибка підсилювача;

$\gamma_{\text{АК}}$ – зведена похибка аналогового комутатора;

$\gamma_{\text{АЦП}}$ – зведена похибка аналого-цифрового перетворювача.

Зведена похибка пристрою розраховується за формулою:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_{\text{max}}} \cdot 100\%,$$

де γ – зведена похибка пристрою для вимірювання температури;

Δ – абсолютна похибка пристрою;

x_{max} – верхня границя діапазону пристрою.

Згідно з технічним завданням, зведена похибка пристрою не повинна перевищувати:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_{\text{max}}} \cdot 100\% = \frac{1}{130} \cdot 100\% = 0,76\%$$

Похибка квантування аналого-цифрового перетворювача розраховується за формулою:

$$\gamma_{\text{КВ}} = \frac{1}{2^n} \cdot 100\%,$$

де $\gamma_{\text{КВ}}$ – похибка квантування;

n – розрядність АЦП.

В розроблювальному пристрої буде використовуватися 15 бітний сігма-дельта АЦП:

$$\gamma_{\text{КВ}} = \frac{1}{2^{15}} \cdot 100\% = 0,003051\%$$

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Похибка аналогового комутатора в сумі з похибкою АЦП дорівнює:

$$\gamma_{\text{КВ}} + \gamma_{\text{АК}} = 0,007\% + 0,003\% = 0,01\%$$

Тоді похибка нормуючого підсилювача не повинна перевищувати:

$$\gamma_{\text{НП}} = \gamma - (\gamma_{\text{КВ}} + \gamma_{\text{АК}}) = 0,75\%$$

Сумарна зведена похибка дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma} = 0,007\% + 0,003\% + 0,75\% = 0,76\%$$

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ТА ОПИС СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІЙНОЇ

Схему функційну електричну пристрою вимірювання температури наведено на рис 3.1.

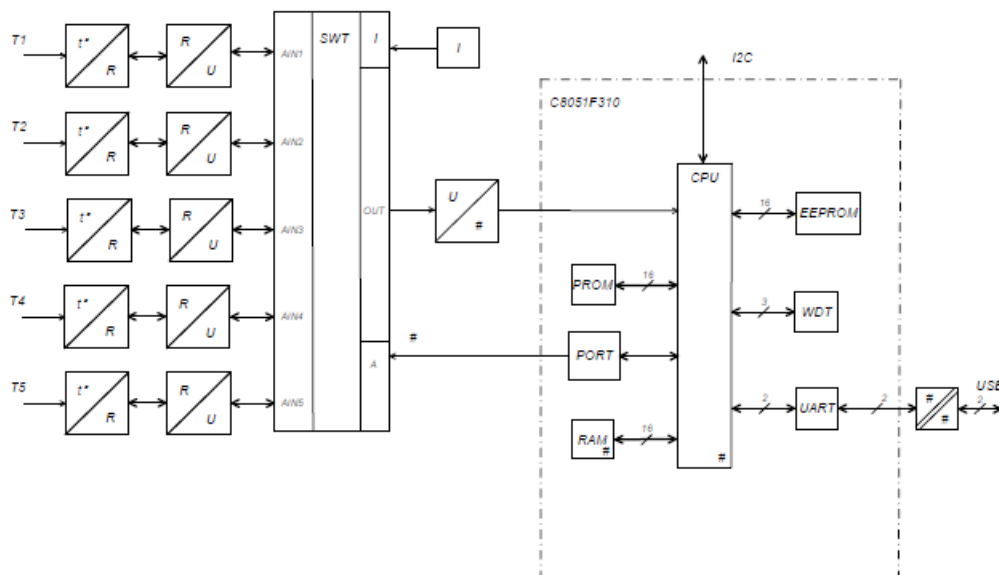


Рисунок 3.1 – Схема електрична функційна цифрового багатоканального пристрою для вимірювання температури

На рис 3.1 позначено:

- T1, T2, T3, T4, T5 – температура ;
- SWT – аналоговий комутатор;
- RAM – оперативний запам'ятовуючий пристрій;
- WDT – сторожовий таймер;
- EEPROM – постійний запам'ятовуючий пристрій з електричним стиранням;
- UART – послідовний інтерфейс;
- PROM – постійний запам'ятовуючий пристрій;
- PORT – порт введення-виведення ;

- I – джерело струму.

Функційна схема багатоканального пристрою для вимірювання температури складається з 5 вимірювальних каналів, аналогового комутатора, аналого-цифрового перетворювача і мікроконтролера C8051F310.

Вимірювальні канали складаються з платинових термометрів опору підключених за допомогою чотирипровідної схеми підключення.

Принцип визначення температури базується на властивості провідників змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Чутливий елемент цього датчика (рис. 3.2) являє собою резистор, виготовлений із платинового дроту, який має відому залежність електричного опору від температури.

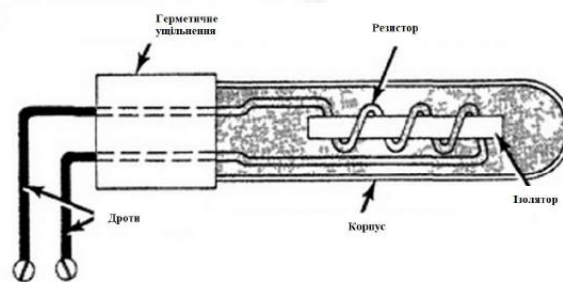


Рисунок 3.2 – Платиновий термометр опору

Вимірювання температури відбувається наступним чином. Датчик реагує на зміну температури зміною власного опору. Для перетворення зміни опору у цифровий код використовується мікросхема MAX31865. Мікроконтролер подає на аналоговий комутатор через порт введення-виведення адресу каналу, який потрібно підключити до перетворювача опору в цифровий код. Після цього аналоговий комутатор підключає відповідний канал.

При отриманні сигналу, що надійшов від АЦП, мікроконтролер обробляє цей код за певним алгоритмом, і результат обробки виводиться у послідовний інтерфейс UART та інтерфейс I2C.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення обробки сигналу, мікроконтролер відправляє номер наступного вимірювального каналу на аналоговий комутатор і очікує новий сигнал від АЦП для обробки.

Всі канали підключаються по черзі і циклічно, тобто після обробки інформації від останнього каналу, до перетворювача опору в цифровий код знову буде підключений перший канал.

При відсутності живлення пристрій вимикається.

На рис. 3.3 зображений алгоритм роботи блоку вимірювання температур.

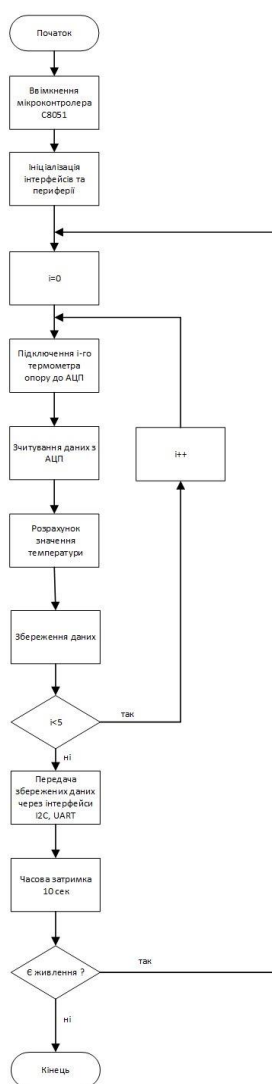


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи блоку вимірювання температури

3.1 Короткий опис інтерфейсу I2C

В розроблюваній системі інтерфейс I2C використовується для передачі даних від блоку вимірювання температури до модуля Electric Imp.

I2C – це протокол, призначений для забезпечення зв'язку декількох мікросхем між собою на невеликій відстані всередині плати. Інтерфейс Inter-Integrated Circuit (I2C) був розроблений у 1982 році компанією Philips [6].

Всі операції по шині I2C здійснюються за двома двонаправленими лініями зв'язку: лінії послідовних даних (SDA) і лінії синхронізації (SCL).

Будь-який пристрій, підключений до шини, може як передавати, так і приймати дані в залежності від його функцій. Пристрій, який ініціює передачу даних і генерує тактові сигнали на лінії синхронізації, називається ведучим пристроєм (master), а всі інші адресовані пристрої в цей час розглядаються як ведені (slave). Всього до шини I2C одночасно може бути підключено до 127 пристроїв [6].

На рис. 3.4 наведено типову схему підключення пристроїв шини I2C:

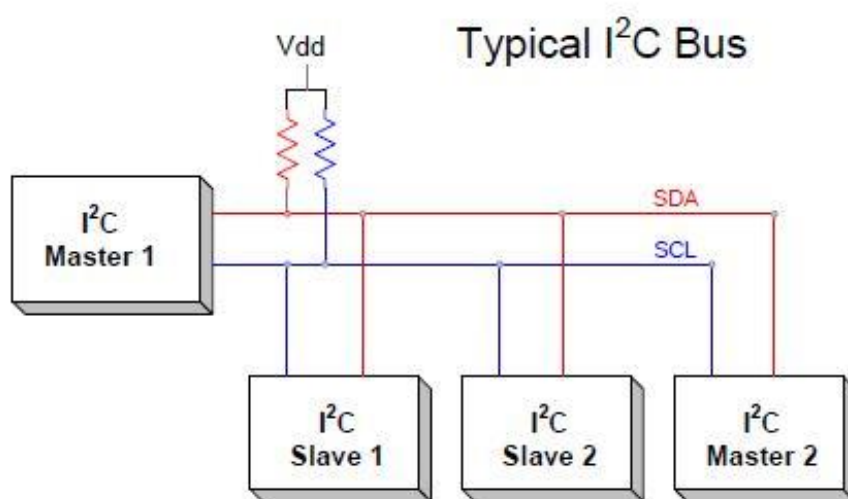


Рисунок 3.4 – Схема підключення пристроїв до шини I2C

SDA і SCL є лініями з відкритим колектором (стоком), які під'єднані до позитивної напруги через підтягуючий резистор. Зазвичай в якості позитивної напруги використовують джерело живлення + 5 В або +3.3 В.

Передача даних по шині I2C починається з формуванням ведучим пристроєм START-умови (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Формування START і STOP умови шини I2C

Для формування START-умови потрібно при високому рівні на лінії SCL згенерувати перехід сигналу на лінії SDA з високого рівня в низький.

Перехід з низького рівня на високий на лінії SDA, коли лінія SCL знаходиться в високому рівні, визначає STOP-умову [6].

START і STOP умови завжди генеруються ведучим пристроєм.

Дані по протоколу передаються пакетами. Кожний пакет починається з байту в якому вказана адреса веденого пристрою і напрям передачі даних. Кожен пристрій, який підключений до інтерфейсу I2C, повинен мати унікальну 7-ми бітну адресу. Виключенням є адреса спільного виклику, яка може адресувати усі пристрої одночасно [6].

Всі дані, які передаються по лінії SDA, повинні бути 8-ми бітними (рис. 3.6).

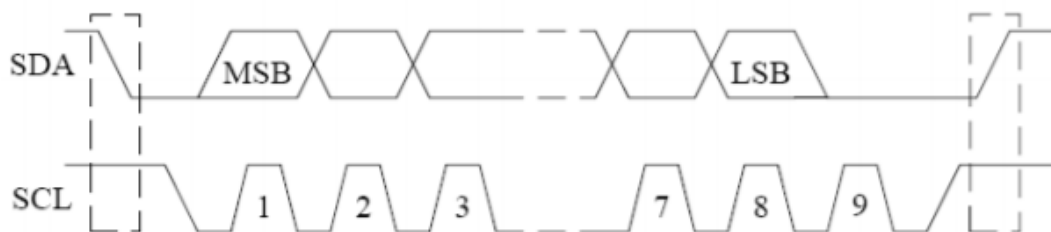


Рисунок 3.6 – Передача даних шиною I2C

Число байт, даних в пакеті, не обмежене. Після кожного байту передається біт підтвердження.

Якщо приймач не може прийняти весь пакет даних, він може перевести передачу в стан очікування, встановивши низький рівень на лінії синхронізації. Передача продовжиться тоді, коли приймач звільнить лінію SCL [6].

Підтвердження при переді є обов'язковим. Тактовий імпульс підтвердження генерується отримувачем. Приймач повинен встановити низький рівень на лінії даних і утримувати його протягом високого стану тактового імпульсу підтвердження. Якщо приймач не підтверджує прийом, то лінія даних переводиться в високий рівень веденим пристроєм для того, щоб ведучий міг видати STOP-умову.

Основні переваги:

- використовується лише 2 дроти;
- підтримка декілька ведучих і ведених пристроїв;
- підтвердження успішності передачі даних;
- простий апаратний рівень інтерфейсу;
- висока популярність і велика кількість документації.

Недоліки:

- невисока швидкість передачі;
- розмір одного слова даних обмежений 8 бітами;
- важкість пошуку несправності.

3.2 Короткий опис інтерфейсу SPI

Послідовний інтерфейс SPI, як правило, використовується для обміну інформацією між мікроконтролером і периферійними пристроями, такими як датчики, АЦП, ЦАП і тому подібне [7]. В нашому пристрої він використовується для передачі інформації від АЦП до мікроконтролера.

SPI – це синхронний послідовний інтерфейс, розроблений компанією Motorola.

Шина SPI використовує принцип ведучого-веденого пристрою. В якості ведучого пристрою найчастіше виступає мікроконтролер.

Обов'язковою умовою для передачі даних є генерація тактових сигналів. Їх може генерувати лише ведучий пристрій і від цього сигналу залежить робота веденого пристрою.

Інтерфейс SPI може бути як 3-провідним так і 4-провідним. Найпростіша схема підключення двох пристроїв по протоколу SPI зображена на рис. 3.7 [8]:

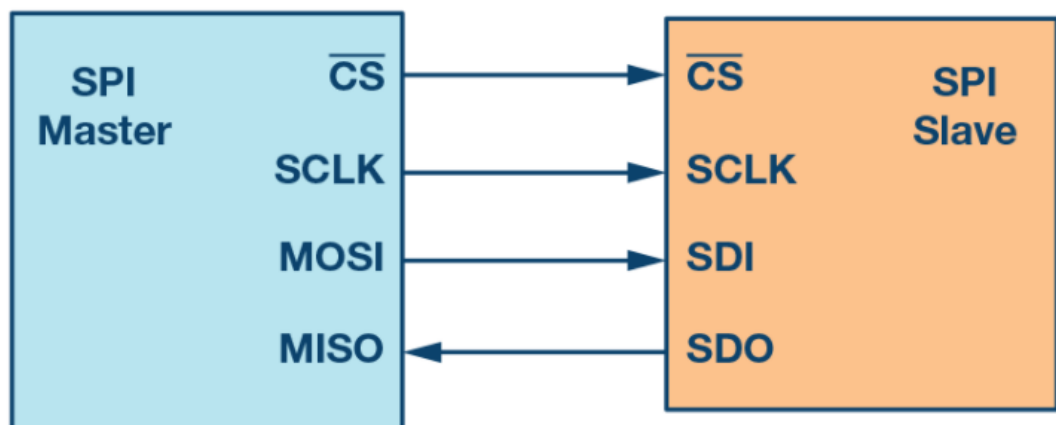


Рисунок 3.7 – Схема підключення пристроїв між собою по шині SPI

При використанні 4-провідної схеми підключення шина визначає чотири види сигналів:

- SCLK (Serial Clock);
- MOSI (Master Out Slave In);
- MISO (Master In Slave Out);
- SS (Slave Select).

Лінія SCLK використовується для синхронізації передачі даних між пристроями. Сигнали синхронізації на цій лінії генеруються ведучим пристроєм.

Лінія MOSI використовується для передачі даних від ведучого пристрою до веденого.

MISO – використовується для передачі даних від веденого пристрою ведучому. Дані в ліній MOSI і MISO передаються побайтно, починаючи зі старшого біту. Якщо передача даних не передбачає відповіді від веденого пристрою, то в використанні лінії MISO не має потреби. В такому випадку можна використати 3-провідний інтерфейс SPI (рис 3.8).

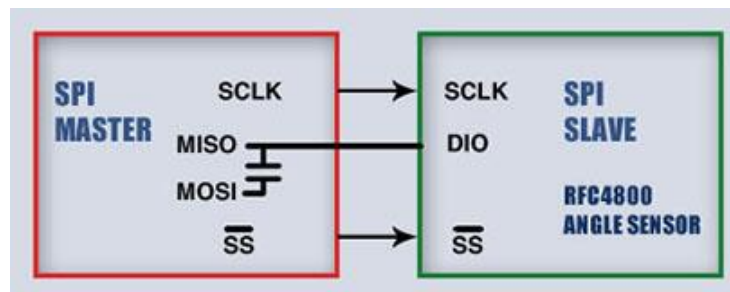


Рисунок 3.8 – Трипровідна схема підключення SPI

Лінія вибору мікросхеми (SS) використовується для вибору веденого пристрою. Зазвичай це низький рівень сигналу, який підтягується до високого для відключення веденого пристрою від шини. При використанні декількох ведених пристроїв потрібно для кожного з них використовувати окрему лінію вибору мікросхеми (рис. 3.9).

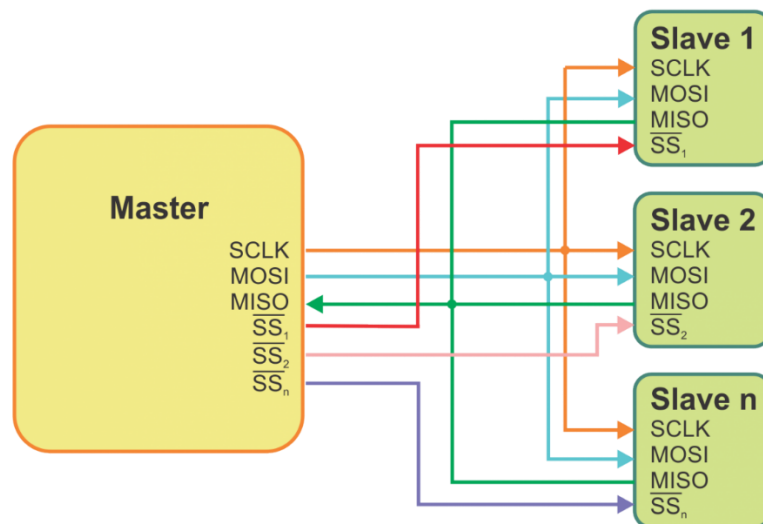


Рисунок 3.9 – Підключення декількох ведених пристроїв до шини SPI

Щоб почати обмін даними за протоколом SPI, ведучий пристрій повинен відправити тактовий сигнал і вибрати ведений пристрій. Протокол передачі ідентичний логіці роботи зсувного регістру. Вона полягає у виконанні операції зсуву і, відповідно, побітного вводу і виводу даних [7].

Під час кожного тактового сигналу ведучий пристрій відправляє один біт по лінії MOSI, ведений пристрій читає його, і одночасно з цим відбувається передача біту у зворотному напрямку. Передача і прийом сигналів завжди відбуваються по протилежним фронтам такту синхронізації. Це потрібно для гарантії встановлення біту на лінії даних під прийомом. В якості першого фронту сигналу синхронізації може виступати, як передній фронт, так і задній фронт. В залежності від цього існують чотири режими роботи SPI.

Режими SPI можна описати двома параметрами:

- CPOL;
- CPHA.

Біт CPOL встановлює полярність тактового сигналу в стані очікування. Якщо він встановлений в нульове значення, то лінія синхронізації до передачі і після її завершення знаходиться в низькому стані. А якщо біт встановлений в одиницю, то перший фронт буде спадаючим, а останній наростаючим.

Від біта CPHA залежить, в якій послідовності буде відбуватися передача і прийом даних. Якщо біт встановлений в нульове значення, то прийом буде відбуватися по передньому фронту, а передача по задньому. А якщо біт буде встановлений в одиницю, то навпаки (рис. 3.10) [7].

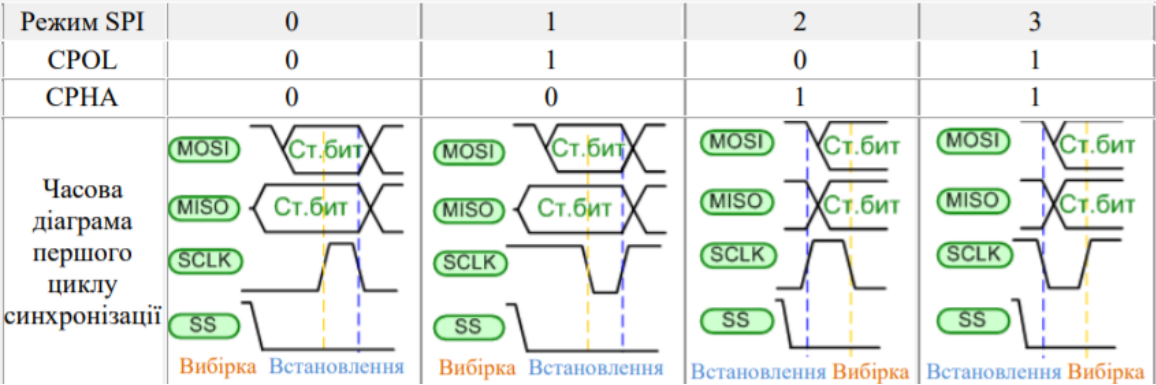


Рисунок 3.10 – Режими роботи SPI

Ведучий і ведений пристрої повинні працювати в одному режимі, в іншому випадку вони будуть не сумісні.

4 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

Багатоканальний пристрій для вимірювання температури призначений для отримання вимірювальної інформації стосовно температури масла на вході і виході дизеля, температури охолоджуючої рідини на вході і виході.

Пристрій для вимірювання температури складається з датчиків температури, вихідні сигнали якого подаються на блок вимірювання температури, де здійснюється їх перетворення у кодові сигнали вимірювальної інформації, які передаються далі з використанням інтерфейсів UART та I2C.

В основі принципу дії лежить перетворення температури відповідних середовищ у постійну напругу за допомогою електричних термометрів опору та перетворенні цієї напруги у цифровий код.

Для перетворення опору термометрів опору в постійну напругу використовують джерело стабільного струму I , який протікає через опір і виділяє на ньому постійну напругу. В якості джерела струму використано струмове дзеркало, яке виконане на узгодженій парі біполярних транзисторів $V1$ та резисторах $R2 - R5$. Принципова схема дзеркала струму зображена на рис. 4.2

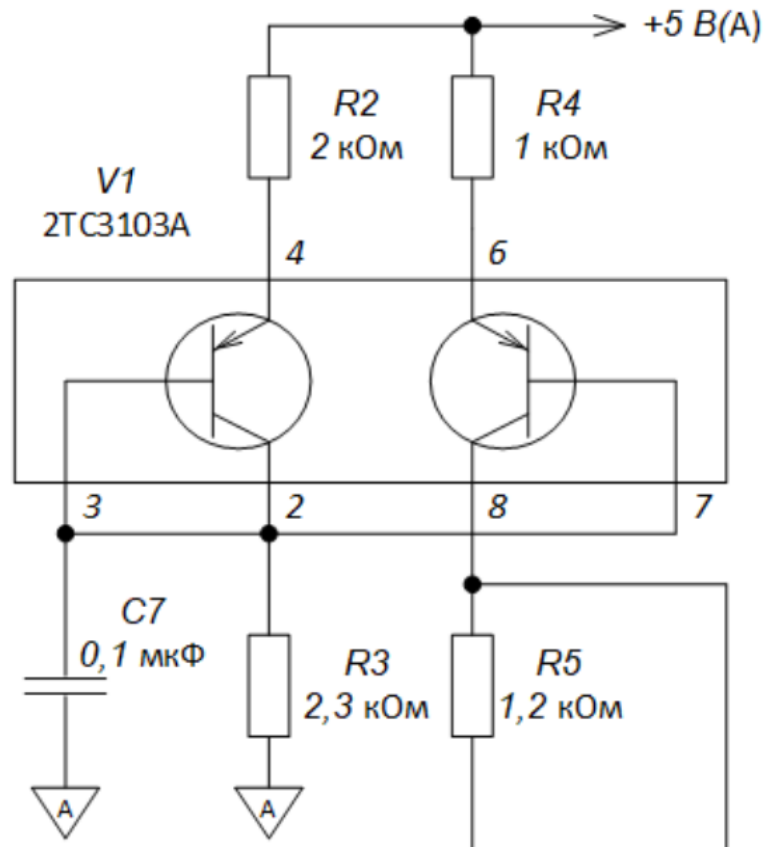


Рисунок 4.2 – Схема електрична принципова дзеркала струмів

Просте струмове дзеркало на р-п-р транзисторах здатне працювати, як джерело струму.

Якщо знехтувати струмами бази і вважати, що $U_{BE} = 0,7$ В, то значення керуючого струм струмового дзеркала дорівнює:

$$I_k \approx \frac{U - U_{BE}}{R_2 + R_3} \approx \frac{5 - 0,7}{2 + 2,3} = 1 \text{ мА}$$

де U_{BE} – падіння напруги на переході база емітер;

U – напруга на вході.

Значення вихідного струму можна розрахувати, як :

$$I_{\text{вих}} = \frac{R_2}{R_4} I_{\text{к}} = \frac{2}{1} 1 = 2 \text{ мА}$$

4.1 Опис та характеристики перетворювача опір-цифровий код MAX31865

MAX31865 – це простий перетворювач опору в цифровий код, оптимізований для платинових резистивних датчиків температури (RTD). Для перетворення значення опору в цифрову форму використовується 15-бітний прецензійний дельта-сігма аналого-цифровий перетворювач.

Типова схема підключення зображена на рис. 4.3.

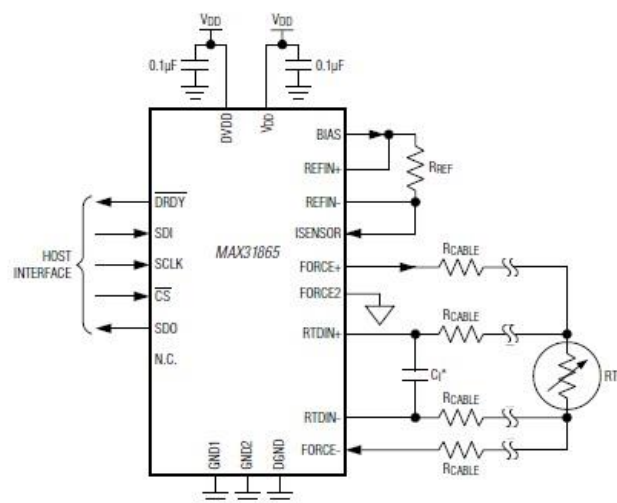


Рисунок 4.3 – Типова схема підключення перетворювача MAX31865

Входи MAX31865 захищені від перенавантаження по напрузі до $\pm 45 \text{ В}$. RTD – to – digital конвертор також включає програмне виявлення розриву кабелю та коротких замикань [5].

Для передачі отриманого коду використовується інтерфейс, сумісний с Serial Peripheral Interface (SPI).

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема перетворення оптимізована для роботи с RTD від PT100 до PT1000. При роботі з MAX31865 можуть використовуватись і інші датчики температури, такі як термістори. Для цього потрібно підібрати опорний опір, який буде більшим або рівним максимальному опору датчика в потрібному температурному діапазоні [5]. Вихідні дані – це відношення опору датчика до опору опорного резистора.

Характеристики:

- 15 бітний дельта-сігма АЦП;
- Захист від перевантажень до ± 45 В;
- Підтримка інтерфейсу SPI;
- Система виявлення обриву і короткого замикання ;
- Повна похибка за всіх умов експлуатації: 0.5°C ;
- Максимальний час перетворення 45 мс.

Призначення виводів MAX31865 наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Призначення виводів RTD-конвертера MAX31865

Номер виводу	Умовне позначення	Опис
1	BIAS	Напруга зміщення.
2	REFIN+	Позитивна вхідна опорна напруга.
3	REFIN-	Негативна вхідна опорна напруга.
4	ISENSOR	Вивід, який використовується для підключення опорного резистора.
5	FORCE+	Вивід, який підключається до RTD і через нього подається струм до датчика.
6	FORCE2	Позитивний вхід, який використовується тільки при 3-провідному включенні датчика температури.

Продовження таблиці 4.1

7	RTDIN+	Позитивний вхід RTD.
8	RTDIN-	Негативний вхід RTD.
9	FORCE-	Вивід, який підключається до RTD і через нього подається струм до датчика.
10	GND2	Аналогове заземлення.
11	SDI	Вхід даних для інтерфейсу SPI.
12	SCLK	Лінія синхронізації даних для SPI.
13	CS	Вибір веденого пристрою.
14	SDO	Вихід даних для інтерфейсу SPI.
15	DGND	Цифрове заземлення.
16	GND1	Аналогове заземлення.
17	N.C	Не використовується .
18	DRDY	Вивід переходить в низький рівень, коли в регістрі даних доступний новий результат перетворення. Під час операції зчитування даних, DRDY встановлений в високий рівень.
19	DVDD	Цифровий вхід напруги живлення.
20	VDD	Аналоговий вхід напруги живлення.

Аналого-цифровий перетворювач має повністю диференціальні аналогові входи, RTDIN+ і RTDIN-, і повністю диференціальні опорні входи, REFIN+ і REFIN- [5]. Код на виході АЦП – співвідношення між аналоговою вхідною напругою і опорною напругою. Від’ємна вхідна напруга дає на виході код 0. Вхідна напруга, яка перевищує опорну напругу, дає повно-розмірний

вихідний сигнал. Вхідні завади послаблюються цифровим фільтром третього порядку

MAX31865 виявляє різні несправності, які можуть виникнути з зовнішнім RTD і кабелями під час використання 2-, 3- або 4-провідної схеми підключення датчика. Деякі збої виявляються при кожному перетворенні, а деякі лише тоді, коли запускається цикл виявлення збоїв. Під час циклу виявлення несправностей MAX31865 може відключити вхід FORCE- від GND2 за допомогою внутрішнього аналогового перемикача.

Умови які можуть привести до виникнення несправностей:

- виявлення в будь-який момент часу підвищеної напруги, яка більша за напругу живлення, або пониженої, яка менша за напругу на виводі GND1, на контактах FORCE+, FORCE2, RTDIN+, RTDIN- або FORCE-;
- якщо результат перетворення АЦП більший або рівний верхньому пороговому рівню, менший або рівний нижньому пороговому рівню.

При виявленні підвищеного або пониженого рівня напруги АЦП зупиняє перетворення до тих пір, поки несправності не перестануть виявлятися, після чого перетворення відновляться [5].

Після збоїв через підвищену або понижену напругу, після циклу виявлення несправностей або після включення V_{bias} , потрібно завжди враховувати час встановлення вхідного фільтра перед перезапуском АЦП. Для досягнення вказаної в технічній документації точності рекомендується робити затримку на час не менший 5 постійних часу плюс додатково 1 мс для стабілізації пристроїв захисту.

Під час використання 3- або 4-провідної конфігурації підключення RTD зламаний або від'єднаний кабель RTDIN+ призводить до непередбачуваних результатів роботи АЦП, на які можуть впливати компоновка друкованої плати, шум зовнішнього електричного кола і температура зовнішнього середовища. Цей стан несправності дроту може залишатися непоміченим

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

досить довго в залежності від значень, встановлених в порогових регістрах. Для вирішення цієї проблеми потрібно підключити резистор на 10 МОм від виводу RTDIN+ до виводу BIAS. Це призведе до повного вимірювання RTD, якщо дріт RTDIN+ зламаний або відключений [5].

Результати перетворення АЦП можуть бути перетворені в температуру виконанням декількох операцій:

- перетворення результату АЦП в значення опору;
- розрахунок значення температури по значенню опору за відомою залежністю.

Для розрахунку значення опору RTD використовують наступне рівняння:

$$R_{RTD} = (\text{код АЦП} * R_{REF}) / 2^{15},$$

де R_{RTD} – значення опору платинового термометру опору;

R_{REF} – опорний опір.

Для досягнення найкращого результату при використанні MAX31865, потрібно використовувати окремі блоки живлення для VDD і DVDD, або роз'єднати їх за допомогою конденсатора 0,1 мкФ. В якості конденсатора бажано використовувати високоякісний керамічний конденсатор для поверхневого монтажу. Використання компонентів для поверхневого монтажу мінімізує індуктивність виводів, що поліпшує характеристики [5].

MAX31865 підтримує режими SPI 1 і 3. Чотири контакти потрібні для SPI-сумісного зв'язку: SDO (вихід послідовних даних), SDI (вхід послідовних даних), CS (вибір веденого пристрою) і SCLK (таймер для синхронізації).

Вхід CS ініціює та припиняє передачу даних. SCLK синхронізує передачу даних між ведучим пристроєм (C8051F310) і веденим (MAX31865). Таймер синхронізації, керований мікроконтролером, активний лише тоді, коли

					BA71.070004.001 ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

на лінії CS встановлений низький рівень напруги і під час передачі адреси і даних на будь-який пристрій шини SPI.

Вихідні дані закріплюються на фронті внутрішнього строба, а вихідні зсуваються на край зсуву. На кожний переданий біт припадає по одному тактовому імпульсу. Біти адреси і даних передаються групами по 8 бітів, спочатку старший.

Будь-яка передача потребує, щоб байт адреси визначав запис або читання, за яким слідує декілька байтів даних. Дані передаються з SDO для операції читання і в SDI для операції запису. Байт адреси завжди є першим байтом, який передається після встановлення на лінії CS низького рівня. Старший біт цього байту визначає, чи буде відбуватися читання або запис наступного байту.

Спроба запису в регістр, який призначений тільки для читання, не призводить до зміни вмісту цього регістру.

					BA71.070004.001 ПЗ	Арк.
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Принципова схема та опис мікроконтролера C8051F310

C8051F310 – це 8-ми бітний мікроконтролер виробництва компанії Silicon Labs. Зв'язок мікроконтролера з периферійними пристроями забезпечується за рахунок підтримки інтерфейсів Enhanced SPI, UART, SMBus/I2C.

Мікроконтролер поєднує 8-бітний процесор з потужним ядром 8051 з частотою 25 МГц, 16 Кб флеш-пам'яті та 1,25 Кб оперативної пам'яті [9].

Основні характеристики:

- тактова частота процесора 25 МГц;
- робоча напруга живлення 2,7 – 3,6 В;
- цифрові входи/виходи 29;
- 20 аналогових входи;
- флеш-пам'ять 16 Кб;
- ОЗП 1280 байт;
- чотири 16-бітних лічильників/таймерів загального призначення;
- вбудований 10-ти бітний АЦП;
- підтримка інтерфейсів Enhanced SPI, UART, SMBus/I2C;
- розміри: 7 мм x 7 мм.

На рис. 4.4 наведено схему електричну принципову мікроконтролера C8051F310:

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

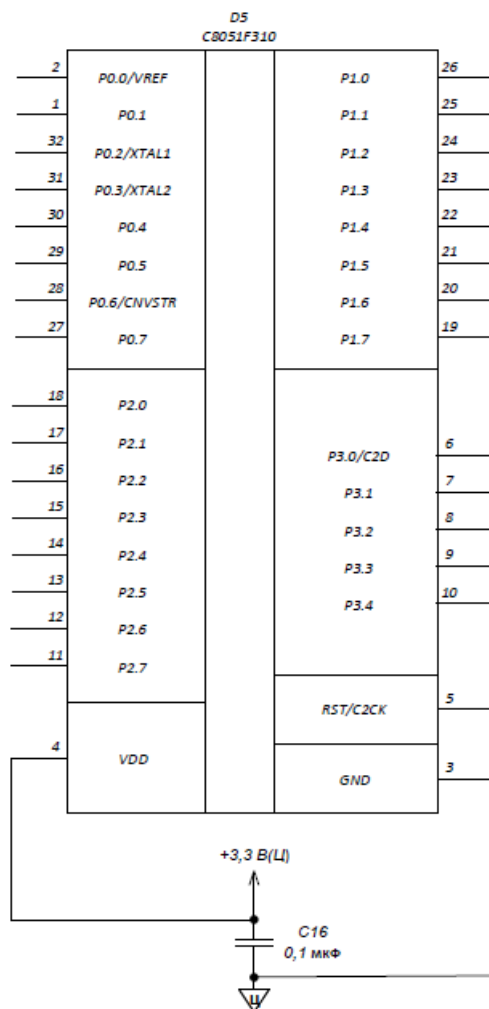


Рисунок 4.4 – Схема електрична принципова мікроконтролера
C8051F310

Мікроконтролер має 21 аналогових входів і 1 один аналоговий вихід, а також 29 цифрових виводів, які можуть бути використані в якості як входу, так і виходу.

Опис виводів C8051 наведений на рис. 4.5

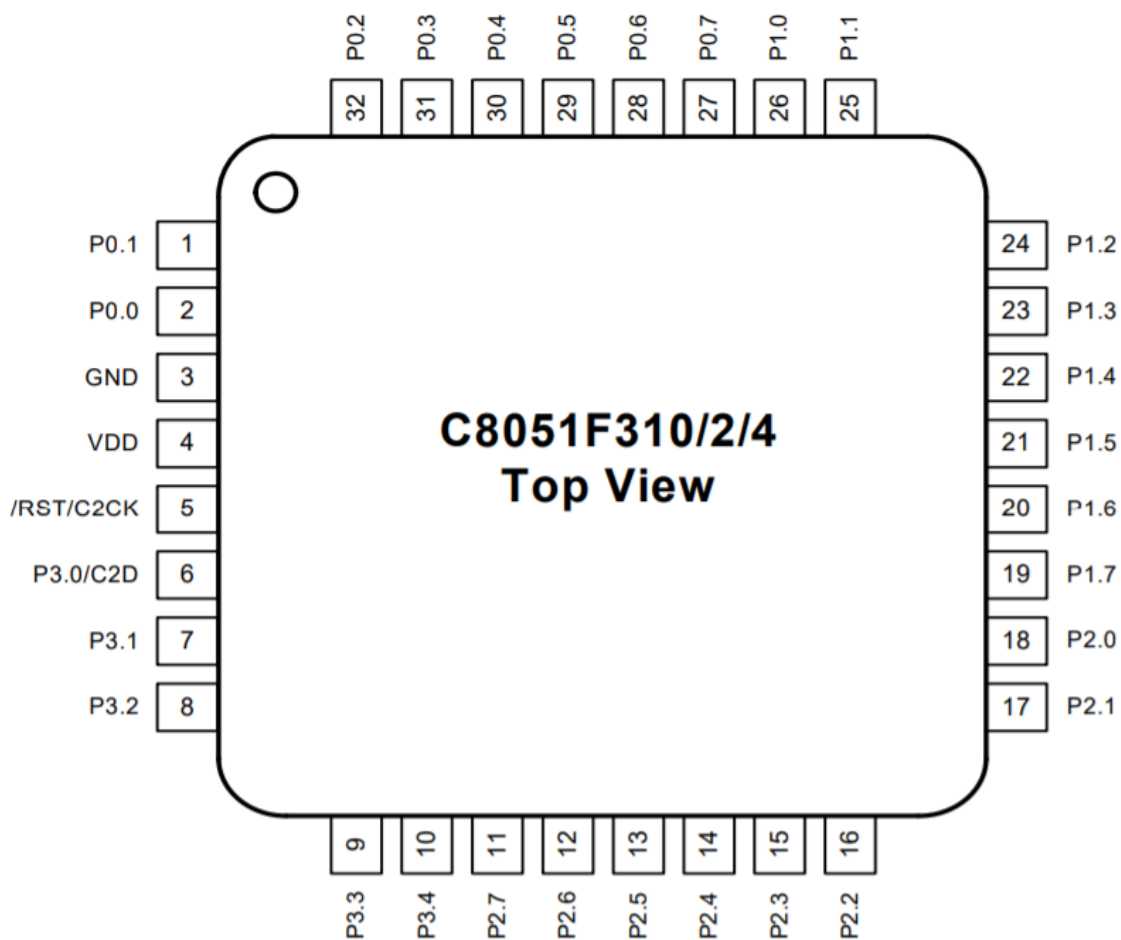


Рисунок 4.5 – Опис виводів мікроконтролера C8051F310

Деякі виводи виконують спеціальні функції:

- вивід 4 (Vdd) – напруга живлення;
- вивід 3 (GND) – заземлення;
- вивід 5 (RST) – Скидання пристрою. Вихід з відкритим стоком внутрішнього POR (Power-on-reset). Використовується для зовнішнього скидання системи, встановленням на цьому виводі низького рівня напруги не менш як на 10 мкс;
- вивід 5 (C2CK) – тактовий сигнал для інтерфейсу налагодження C2;
- вивід 6 (C2D) – двонаправлений сигнал даних для інтерфейсу налагодження C2;

- вивід 2 (VREF) – Вхід для підключення зовнішнього джерела опорної напруги;
- виводи 32 (XTAL1) і 31 (XTAL2) – Використовуються для підключення зовнішнього кварцового генератора частоти або резонатора;
- виводи 25 (SDA) і 26 (SCL) використовуються для підключення мікроконтролера до інтерфейсу I2C;
- виводи 29 (RX0) і 30 (TX0) використовуються для інтерфейсу універсального послідовного інтерфейсу UART;
- виводи 1 (MISO), 2 (SCK), 27 (NSS), 28 (MOSI) використовуються для інтерфейсу SPI.

Програмування мікроконтролеру здійснюється за допомогою роз'єму X8, який зображений на схемі електричній принциповій блоку вимірювання температури.

Розробка програмного забезпечення для C8051F310 на мові C або на асемблері A51, і підтримується середовищем програмування Keil uVision.

4.3 Опис та характеристика регулятора напруги LM3940

LM3940 – це ефективний регулятор напруги з малим падінням напруги, розроблений для утворення напруги 3,3 В від джерела живлення [10]. Такий регулятор підходить для систем, які для роботи потребують 3,3 В. Оскільки LM3940 – регулятор з малим падінням напруги, то він може забезпечувати напругу на виході 3,3 В, а в режимі стабілізації до 4,5 В.

Спрощена схема підключення регулятора напруги зображена на рис. 4.6

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

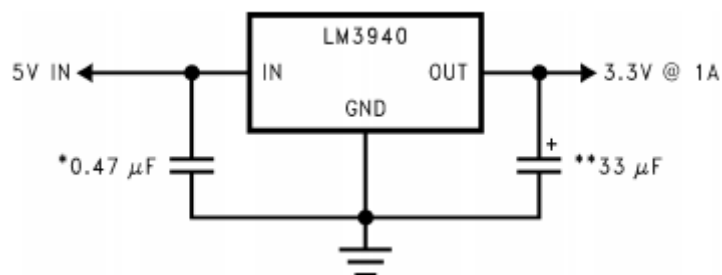


Рисунок 4.6 – Типова схема підключення регулятора напруги LM3940

В LM3940 вбудована внутрішня система обмеження струму, яка використовується для захисту від збоїв, пов'язаних з високим струмом навантаження або струмом короткого замикання.

Також використаний регулятор напруги містить захист від теплового відключення, коли на LM3940 розсіюється велика кількість теплоти. Теплова стала дуже мала, тому вихідний сигнал циклічно вмикається і вимикається з високою швидкістю, поки теплова потужність не зменшиться. Система внутрішнього захисту регулятора напруги LM3940 призначена для захисту від теплового перевантаження, але вона не замінить належного тепловідводу, і постійна робота пристрою в умовах теплового відключення зменшує його надійність [10].

Основні характеристики :

- вхідна напруга - 5В, $\pm 10\%$;
- вихідна напруга - 3,3 В $\pm 3\%$;
- вихідний струм - 1 А;
- вбудована система захисту від теплового відключення;
- вбудована система захисту від короткого замикання.

4.4 Принципова схема та опис перетворювача інтерфейсу FT232RL

FT232RL – це перетворювач інтерфейсу USB в послідовний порт UART.

					BA71.070004.001 ПЗ	Арк.
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Він суттєво полегшує перехід від USB до UART і зменшує кількість зовнішніх компонентів за рахунок повної інтеграції в пристрій зовнішнього EEPROM і інтегральної мікросхеми синхронізації, яка не потребує зовнішнього кристала [11].

Принципова схема перетворювача зображена на рис. 4.7

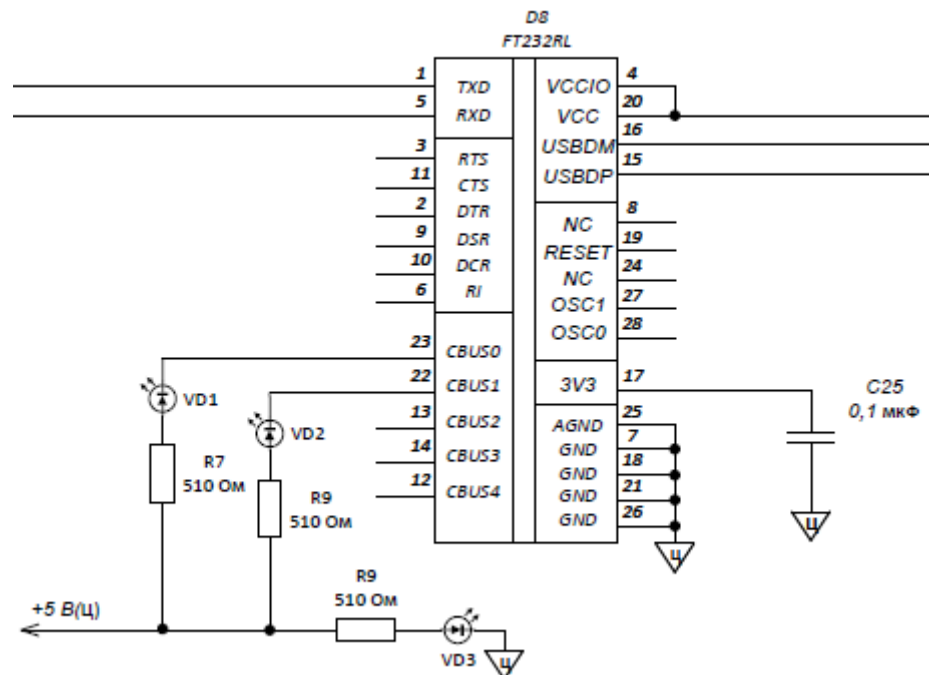


Рисунок 4.7 – Принципова схема перетворювача інтерфейсу FT232RL

Характеристики:

- повністю інтегрована 1024-бітна EEPROM;
- вбудована генерація тактових імпульсів без використання зовнішнього кристалу кварцу;
- швидкість передачі від 300 бод до 3 Мбод;
- 128-байтовий буфер приймання і 256-байтовий буфер передачі;
- вбудований перетворювач напруги до рівня +3,3 В для вводу/виводу;
- інтегрована схема ввімкнення/скидання;

- вбудована система фільтрації живлення;
- діапазон робочих температур від - 40 °С до 85 °С.

Також FT232RL має кілька наступних функціональних особливостей:

- весь протокол оброблюється на мікросхемі;
- унікальна функція USB FTDIChip-ID™;
- передача та приймання сигналів керування світлодіодами;
- підтримка конфігурації USB з живленням від шини, з автономним живленням і живленням від шини високої потужності;
- сумісність з USB 2.0 Full Speed;
- сумісність з хост-контролером UHCI/ OHCI/ EHCI.

Призначення виводів, які використовуються в перетворювачі USB-UART наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Призначення виводів FT232RL

Номер виводу	Позначення	Призначення
1	TXD	Вивід, призначений для передачі даних до UART.
4	VCCIO	Живлення інтерфейсу UART від +1,8 В до + 5,25 В.
5	RXD	Вивід, призначений для отримання даних від інтерфейсу UART.
7, 18, 21	GND	Виводи заземлення пристрою.
15	USBDP	USB Data Signal plus.
16	USBDM	USB Data Signal minus.
17	3V3	+3,3 В вивід від вбудованого регулятора напруги. Основне використання цього виводу полягає у забезпеченні внутрішнього джерела живлення

Продовження таблиці 4.2

20	VCC	Живлення пристрою від +3,3 В до + 5,25 В
22	CBUS1	Налаштовуваний контакт вводу-виводу CBUS. Функція цього виводу налаштована у внутрішньому пристрої EEPROM. За замовчуванням є RXLED.
23	CBUS0	Налаштовуваний контакт вводу-виводу CBUS. Функція цього виводу налаштована у внутрішньому пристрої EEPROM. За замовчуванням є TXLED.
25	AGND	Аналогове заземлення пристрою.

4.5 Опис та схема включення аналогового комутатора ADG408BR

В якості аналогових комутаторів для підключення платинових термометрів опору до АЦП, було використано мікросхему ADG408BR.

Схему включення зображено на рис. 4.8

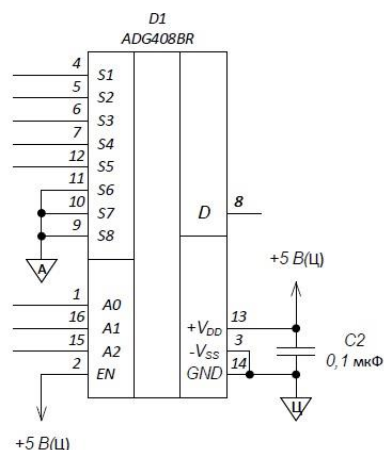


Рисунок 4.8 – Схема включення комутатора ADG408

ADG408 – це монолітний аналоговий комутатор, який містить вісім вхідних каналів. Він підключає один з восьми вхідних каналів до вихідного. Адреса каналу, який потрібно підключити, задається за допомогою трьох-бітної адресної лінії [12].

Кожний канал може проводити сигнал однаково добре в обидва напрямки.

Вхід EN використовується для ввімкнення і вимкнення комутатора. У вимкненому стані всі канали вимкнені.

4.6 Схема включення та основні характеристики стабілізатора напруги MC78L05ACP

MC78L05ACP – простий у використанні стабілізатор напруги. Схема включення зображена на рис. 4.9.

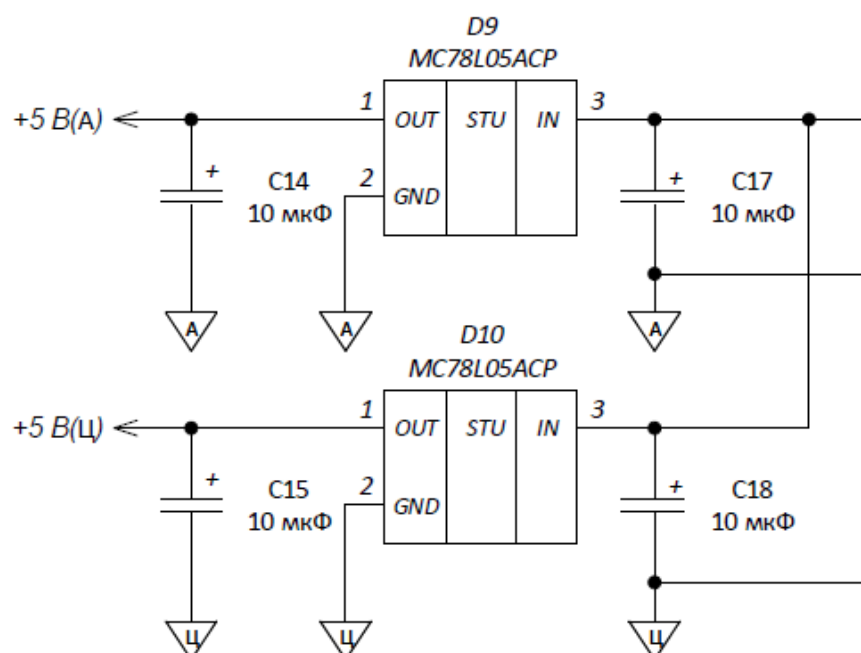


Рисунок 4.9 – Схема включення стабілізатора напруги MC78L05ACP

До основних переваг належать:

- широкий діапазон вихідних напруг;
- захист від короткого замикання;
- захист від теплового відключення;
- маленька вартість.

4.7 Аналіз похибок каналів вимірювання температур

Для розрахунку похибки вимірювального каналу потрібно провести аналіз та розрахувати мультиплікативні і адитивні складові похибок всіх елементів схеми.

4.7.1 Похибка АЦП

В розробленій системі аналого-цифровий перетворювач використовується для вимірювання температури. Температура змінюється повільно, і вхідна напруга пропорційна до відносно постійної величини. В таких системах основну роль відіграє статична похибка. Вона складається з адитивної похибки АЦП (offset), мультиплікативної похибки (Full-Scale), інтегральної нелінійності і похибки квантування.

Похибка квантування є найбільш суттєвою. Вона не може бути виключена оскільки вона є невід'ємною частиною аналого-цифрового перетворення. Вона залежить тільки від розрядності АЦП і є однаковою для різних АЦП з однаковою розрядністю. Для зменшення похибки квантування потрібно збільшити розрядність АЦП. Похибка квантування визначається як половина найменшого значущого розряду:

$$\gamma_{\text{кв}} = \frac{1}{2 \cdot 2^n} \cdot 100\%,$$

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\gamma_{\text{кв}}$ – похибка квантування;

n – розрядність АЦП.

В розроблювальному пристрої використано 15 бітний сігма-дельта АЦП:

$$\gamma_{\text{кв}} = \frac{1}{2^{16}} \cdot 100\% = 0,001526\%$$

Інтегральна нелінійність АЦП – це похибка, викликана відхиленням передаточної характеристики АЦП від прямої лінії. Інтегральну нелінійність визначають шляхом порівняння ідеальних рівнів напруги, при яких відбувається перехід між кодовими рівнями, і їх реальним значення.

Значення інтегральної нелінійності АЦП наведено в технічній документації до МАХ31865:

$$\Delta_{\text{ІН}} = \pm 1 \text{ LSB}$$

Розрахуємо зведену похибку інтегральної нелінійності:

$$\gamma_{\text{ІН}} = \frac{\Delta_{\text{ІН}}}{2^N} \cdot 100\% = \frac{100\%}{2^{15}} = 0,003051\%$$

Адитивна похибка АЦП визначається як зміщення передаточної характеристики відносно осі вхідної напруги. Значення цієї похибки наведено в документації:

$$\Delta_{\text{ЗМ}} = \pm 3 \text{ LSB}$$

Розрахуємо зведену адитивну похибку АЦП:

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma_{зм} = \frac{\Delta_{зм}}{2^N} \cdot 100\% = \frac{300\%}{2^{15}} = 0,009153\%$$

Мультиплікативна похибка АЦП являє собою різницю між ідеальною і реальною передаточними характеристиками в точці максимального вхідного значення.

Значення мультиплікативної похибки АЦП наведено в технічній документації:

$$\Delta_{ппш} = \pm 1 \text{ LSB}$$

Значення зведеної похибки повної шкали буде дорівнювати:

$$\gamma_{ппш} = \frac{\Delta_{ппш}}{2^N} \cdot 100\% = \frac{100\%}{2^{15}} = 0,003051\%$$

MAX31865 перетворює в цифровий вигляд відношення опорів датчика та опорного резистора, тому в якості опорного резистора R5 потрібно використано резистор з малим відхиленням опору від номінального:

$$\delta_{R5} = \pm 0,5\%$$

4.7.2 Похибка датчика температури

Згідно з технічним завданням, пристрій повинен вимірювати температуру в діапазоні від 0°C до 130°C. Згідно з документацією, на платиновий термометр опору PT100, абсолютна похибка в діапазоні від 0°C до 150°C складає $\Delta_d = 0,1^\circ\text{C}$.

Зведена похибка датчика температури розраховується за формулою:

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma_D = \frac{\Delta_D}{X_n} \cdot 100\%,$$

де γ_D – зведена похибка датчика;

Δ_D – абсолютна похибка датчика температури;

X_n – нормуюче значення.

В якості нормуючого значення візьмемо ширину діапазону вимірювання нашого пристрою:

$$\gamma_D = \frac{0,1}{130} \cdot 100\% = 0,077\%$$

4.7.3 Похибка аналогового комутатора

На рис. 4.10 наведена еквівалентна схема аналогового комутатора:

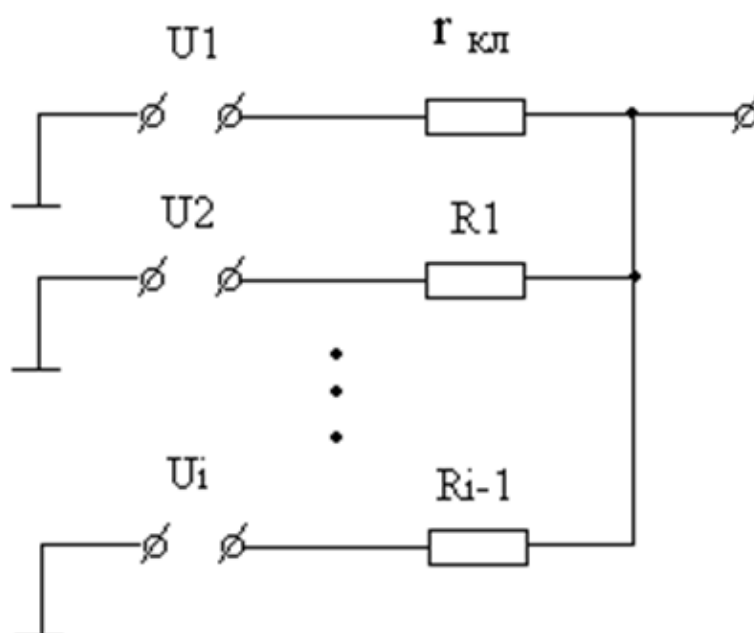


Рисунок 4.10 – Еквівалентна схема аналогового комутатора

Опір закритого ключа набагато більший ніж вихідний опір джерела живлення U_i :

$$K_n = \frac{R_1 I I R_2 I I \dots I I R_{i-1}}{r_{\text{кл}} + R_1 I I R_2 I I \dots I I R_{i-1}},$$

де K_n – коефіцієнт перетворення аналогового комутатора;

$R_1, R_2, R_3 \dots R_{i-1}$ – опори закритих каналів;

$r_{\text{кл}}$ – опір відкритого ключа.

Оскільки $R_1 = R_2 = \dots = R_{i-1}$, то коефіцієнт передачі аналогового комутатора дорівнює:

$$K_n = \frac{\frac{R_3}{n-1}}{r_{\text{кл}} + \frac{R_3}{n-1}},$$

де n – кількість каналів;

R_3 – опір закритого ключа.

В ідеальному аналоговому комутаторі опір відкритого ключа дорівнює нулю, опір закритого ключа нескінченності, а коефіцієнт передачі $K_0 = 1$:

$$\gamma_{\text{вк}} = \frac{K_n - K_0}{K_0} \cdot 100\% = - \frac{(n-1)r_{\text{кл}}}{(n-1)r_{\text{кл}} + R_3} \cdot 100\%,$$

де $\gamma_{\text{вк}}$ – зведена похибка відкритого ключа;

K_0 – коефіцієнт передачі ідеального аналогового комутатора.

Оскільки значення опору відкритого ключа набагато менше від опору закритого ключа, то рівняння для розрахунку похибки відкритого ключа приймає вигляд:

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$|\gamma_{\text{вк}}| = \frac{(n-1)r_{\text{кл}}}{R_3} \cdot 100\%$$

Використаний в роботі аналоговий комутатор має вісім входів, які він може підключати до одного виходу ($n = 8$). Максимальний опір розімкненого ключа не перевищує 100 Ом, а опір замкненого ключа більший ніж 20 МОм.

Похибка відкритого ключа:

$$\gamma_{\text{вк}} = \frac{(8-1) \cdot 100}{20 \cdot 10^6} \cdot 100\% = 0,0035\%$$

Похибка відкритого ключа є мультиплікативною випадковою похибкою. Вихідна напруга при підключених джерелах напруги і розімкнених ключах дорівнює:

$$U_{\text{вих}} = \frac{r_{\text{кл}} \cdot II(R_2 II \dots II R_{n-1})}{R_1 + r_{\text{кл}} \cdot II(R_2 II \dots II R_{n-1})} \cdot U_2$$

Похибка закритого ключа дорівнює:

$$\gamma_{\text{зк}} = \frac{r_{\text{кл}}}{r_{\text{кл}} + \frac{R_3}{(n-1)}} \cdot 100\% = 0,0035\%$$

Похибка закритого ключа – мультиплікативна випадкова похибка.

Похибка залишкової напруги на ключах розраховується за формулою:

$$\delta_{\text{зн}} = \frac{U_3}{U_{\text{вх}}} \cdot 100\%,$$

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\delta_{\text{зн}}$ – похибка від залишкової наруги;

U_3 – залишкова наруга на ключах комутатора;

$U_{\text{вх}}$ – вхідна номінальна наруга.

Значення залишкової наруги на ключах комутатора і вхідної наруги візьмемо з технічної документації аналогового комутатора:

$$\delta_{\text{зн}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10} \cdot 100\% = 0,1\%$$

4.7.4 Похибка нормуючого підсилювача

Оскільки коефіцієнт підсилення в використаному операційному підсилювачі досить малий, то значення мультиплікативної похибки буде дуже малим і його можна не враховувати. Тому потрібно розрахувати лише адитивні складові похибки операційних підсилювачів, а саме похибку дрейфу наруги і похибку дрейфу струму.

Похибка дрейфу наруги зміщення операційного підсилювача розраховується за формулою:

$$\gamma_{U_{\text{др}}} = \pm \frac{\Delta U_{\text{др}}}{U_{\text{вих}}} \cdot 100\% \cdot \Delta t,$$

де $\gamma_{U_{\text{др}}}$ – похибка температурного дрейфу наруги;

$\Delta U_{\text{др}}$ – дрейф наруги;

$U_{\text{вих}}$ – вихідна наруга;

Δt – зміна температури.

Згідно з технічною документацією операційного підсилювача, температурний дрейф дорівнює 50 мкВ/°С, вихідна номінальна - напруга 2,4 В, тоді:

$$\gamma_{U_{др}} = \pm \frac{50 \cdot 10^{-6}}{2,4} \cdot 100\% \cdot 20 = 0,042\%$$

Похибка, яка виникає через температурний дрейф струму розраховується за формулою:

$$\gamma_{I_{др}} = \frac{\Delta I}{U_{вих.ном}} \cdot R_{вх} \cdot \Delta t \cdot 100\%,$$

де $\gamma_{I_{др}}$ – похибка через дрейф струму;

ΔI – дрейф струму;

$R_{вх}$ – вхідний опір операційного підсилювача.

Розрахуємо значення похибки дрейфу струму:

$$\gamma_{I_{др}} = \frac{5 \cdot 10^{-9}}{2,4} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 100\% = 0,0083\%$$

4.7.5 Похибка обчислення

Для усунення похибок обчислення, які проводить мікроконтролер, потрібно, щоб обчислення виконувались з точністю, яка перевищує точність АЦП. Задовольнити цю потребу можна декількома шляхами:

- Вибрати мікроконтролер, у якому розрядність вища за розрядність АЦП.
- Виконувати розрахунки з меншою розрядністю, але з подвійною точністю.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						57
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки розрядність вибраного мікроконтролера нижча за розрядність АЦП, то для мінімізації похибки збільшено час обчислення.

4.7.6 Сумарна похибка пристрою

Для знаходження суми випадкової мультиплікативної похибки потрібно розрахувати їх середнє квадратичне відхилення з урахуванням закону розподілу:

$$\sigma = \frac{\gamma}{K},$$

де σ – СКВ випадкової складової мультиплікативної похибки;

γ – випадкова мультиплікативна похибка;

K – коефіцієнт, який залежить від виду розподілу.

Розрахуємо середнє квадратичне відхилення для кожної складової випадкової мультиплікативної похибки:

$$\sigma(\gamma_{\text{зк}}) = \frac{\gamma_{\text{зк}}}{K} = \frac{0,0035}{3} = 0,0012\%$$

$$\sigma(\gamma_{\text{ін}}) = \frac{\gamma_{\text{ін}}}{K} = \frac{0,003051}{3} = 0,001017\%$$

$$\sigma(\delta_{R5}) = \frac{\delta_{R5}}{K} = \frac{0,5}{3} = 0,16\%$$

Розрахуємо значення сумарного СКВ випадкової мультиплікативної похибки:

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						58
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma^2(\gamma_{3K}) + \sigma^2(\gamma_{iH}) + \sigma^2(\delta_{R5})} = \sqrt{0,0012^2 + 0,001017^2 + 0,16^2} = 0,16\%$$

Випадкова складова мультиплікативної похибки дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma \text{вип}} = K \cdot \sigma_{\Sigma} = 3 \cdot 0,16 = 0,48\%$$

Систематична складова мультиплікативної похибки пристрою розраховується як сума всіх систематичних мультиплікативних похибок пристрою:

$$\gamma_{\Sigma \text{сист}} = \gamma_{\text{ппш}} + \gamma_{\text{д}} + \gamma_{\text{вк}},$$

де $\gamma_{\Sigma \text{сист}}$ – систематична складова мультиплікативної похибки;

$\gamma_{\text{ппш}}$ - похибка повної шкали.

Сумарна систематична мультиплікативна похибка пристрою дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma \text{сист}} = 0,003051 + 0,077 + 0,0035 = 0,08355\%$$

Сумарна мультиплікативна похибка дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma \text{мульти}} = \gamma_{\Sigma \text{сист}} + \gamma_{\Sigma \text{вип}} = 0,48 + 0,08355 = 0,5634\%$$

Сумарна систематична складова адитивної похибки розраховується як алгебраїчна сума усіх складових:

$$\gamma_{\Sigma \text{сист}} = \sum_{i=1}^n \gamma_i$$

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарна систематична складова адитивної похибки дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma\text{сист}} = 0,009153 + 0,042 + 0,0083 = 0,05945\%$$

Випадкова сумарна адитивна похибка дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma\text{вип}} = \gamma_{\text{кв}} + \delta_{\text{зн}} = 0,001526 + 0,1 = 0,1015\%$$

Сумарна адитивна похибка:

$$\gamma_{\Sigma\text{адит}} = \gamma_{\Sigma\text{вип}} + \gamma_{\Sigma\text{сист}} = 0,05945 + 0,1015 = 0,1609\%$$

Сумарна похибка пристрою вимірювання температури дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{\Sigma\text{адит}} + \gamma_{\Sigma\text{мульт}} = 0,5634 + 0,1609 = 0,72\%$$

Сумарна абсолютна похибка пристрою дорівнює:

$$\Delta_{\Sigma} = \gamma_{\Sigma} \cdot X_N = \frac{0,72 \cdot 130}{100} = 0,94 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Сумарна похибка пристрою вимірювання температури не перевищує 1°C, що задовольняє вимогам, поставленим в технічному завданні.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Розробка програмного забезпечення системи віддаленого збору температурних параметрів дизельних двигунів

Програмне забезпечення системи віддаленого збору даних з використанням платформи Electric Imp складається з двох частин:

- 1) код пристрою;
- 2) програма, яка працює на сервері Electric Imp Cloud.

Програма, яка працює на сервері, називається агентом пристрою. Кожен пристрій має власного агента, який розташований в impCloud. Він забезпечує надійний і безпечний зв'язок між пристроєм і нашими серверами. Для зв'язку агенту з хмарою використовується протокол HTTP, що полегшує взаємодію з іншими програмами [13].

Програмне забезпечення пристрою imp001 і агенту написано на мові Squirrel. Squirrel – це мова програмування високого рівня, яка розроблена в якості скриптової мови для додатків, які працюють в режимі реального часу. Синтаксис цієї мови схожий з синтаксисом мови javascript.

Для написання програмного забезпечення для системи віддаленого збору температурних параметрів дизельних двигунів використано середовище розробки impCentral

Пристрій отримує данні від блоку вимірювання температури через протокол I2C і відправляє отримані данні власному агенту. Цей процес повторюється після кожного зчитування блоком вимірювання температури даних з термометрів опору.

Агент отримує дані, які йому надіслав пристрій, і виводить їх на web-сторінку, або передає далі на інший сервер для подальшої обробки або зберігання [14].

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.1 Код пристрою

Код пристрою можна умовно поділити на декілька основних частин:

- частина ініціалізації і початкового налаштування пристрою;
- отримання даних від блоку вимірювання температури;
- передача отриманих даних агенту.

5.1.2 Частина ініціалізації і початкового налаштування

У частині ініціалізації описано змінні і константи, які будуть використані у нашій програмі:

```
const SLEEP_TIME = 10; //створення константи часу для режиму сну.
```

```
sensor <- null; //створення глобальної змінної в якій буде зберігатися об'єкт для зчитування даних з блоку вимірювання температури.
```

<- – це оператор новий слот, який використовується для роботи з таблицями в мові Squirrel, він додає новий слот в таблицю і задає йому значення. В мові Squirrel таблиця є фундаментальною структурою. Кожен метод або змінна об'єкта – це слот в таблиці. Squirrel також використовують таблиці для зберігання даних середовища і глобальних змінних. Тому створення глобальної змінної - це просто створення нового слоту в кореневій таблиці.

Для передачі даних від блоку вимірювання температур до пристрою віддаленого збору інформації використано інтерфейс I2C.

Налаштування шини i2c:

```
hardware.i2c89.configure(CLOCK_SPEED_400_KHZ);
```

5.1.3 Частина отримання даних від блоку температури

У частині отримання даних від блоку температури було створено функцію, яка отримує дані від блоку вимірювання температури і передає ці

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

данні агенту, після чого викликається функція, яка переводить пристрій в режим сну на встановлений константою час.

Функція для зчитування даних з блоку вимірювання температур:

```
function getData() {  
    local sendData = {}; //Створення локальної змінної для зберігання  
    значення температури  
  
    local reading = sensor.read(); //Зчитування вимірювальної  
    інформації з блоку вимірювання температур  
  
    // Add the temperature using Squirrel's 'new key' operator  
    sendData.temp <- reading.temperature;
```

Після зчитування даних значення температури буде передано агенту, а також виведено в лог сервера:

```
// Send the packaged data to the agent  
agent.send("reading", sendData);  
server.log("Temperature: " + reading.temperature);
```

Коли пристрій виконає всі поставлені перед ним завдання, він буде переведений в режим очікування на час, який встановлюється відповідною константою в блоці ініціалізації:

```
imp.onidle(function() {  
    server.sleepfor(SLEEP_TIME);  
});  
}
```

Для передачі даних від пристрою до агенту потрібно на об'єкті агента викликати метод, в який передати змінну з отриманими даними:

```
agent.send("reading", sendData); //Виклик методу для передачі  
інформації від пристрою до агента
```

5.1.4 Код агенту пристрою

Агент пристрою – це програма, яка працює на сервері і виконує декілька основних функцій:

- отримання даних від пристрою;

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- обробка запитів від web-інтерфейсу.

5.1.5 Частина декларації і початкової ініціалізації

В програмі агенту використано бібліотеку Rocky:

```
#require "rocky.agent.lib.nut:3.0.0" //Підключення бібліотеки Rocky
```

Rocky - це фреймворк для створення потужних і масштабованих API-інтерфейсів для продуктів на базі Imp.

У частині декларації створено декілька глобальних змінних:

```
api <- null; //Змінна для зберігання посилання на об'єкт для роботи з фреймворком Rocky
```

```
savedData <- null; // Змінна для зберігання значення температури отриманого від пристрою.
```

```
debug <- true;
```

Також у частині декларації створено константу HTML_STRING для зберігання html коду web-сторінки агента:

```
const HTML_STRING = @"<!DOCTYPE html><html lang='en-US'>...</html>
```

Ініціалізація змінної api:

```
api = Rocky.init();
```

5.1.6 Код агента для обробки даних від пристрою

Функція, яка зберігає отримані від пристрою дані на сервері:

```
function postReading(reading) {
    savedData.temp = "temp" in reading ? format("%.2f", reading.temp) :
    "0.0";

    local result = server.save(savedData);
    if (result != 0) server.error("Could not back up data");
}

savedData = {};
savedData.temp <- "TBD";
```

Зчитування збережених за допомогою функції server.save даних:

```
local backup = server.load();
```

					BA71.070004.001 ПЗ	Арк.
						64
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка наявності збережених даних:

```
if (backup.len() != 0) {  
    savedData = backup;  
} else {  
    local result = server.save(savedData);  
    if (result != 0) server.error("Could not back up data");  
}
```

Реєстрація функції обробки даних від пристрою:

```
device.on("reading", postReading);
```

5.1.7 Код агента для обробки get-запитів від web-сторінки

Функція для обробки корневих get-запитів :

```
api.get("/", function(context) {
```

Отримання url – адреси агента:

```
    local url = http.agenturl();
```

Відправка відповіді на запит:

```
    context.send(200, format(HTML_STRING, url));  
});
```

Функція обробки get-запитів для кінцевої точки /state:

```
api.get("/state", function(context) {
```

Відправка відповіді на запит в форматі JSON:

```
    context.send(200, { "temp" : savedData.temp });  
});
```

5.2 Розробка програмного забезпечення блоку вимірювання температур

Для розробки програмного забезпечення для мікроконтролера C8051F310 використано середовище розробки Keil uVision.

Програму можна поділити на 3 частини:

- частина декларації змінних/функцій;
- частина ініціалізації;

					BA71.070004.001 ПЗ	Арк.
						65
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- ГОЛОВНИЙ ЦИКЛ.

5.2.1 Частина декларації

У цьому проєкті підключені бібліотеки:

```
#include <C8051F310.H> // файл заголовку, для більш зручного звернення до регістрів мікроконтролера
```

У частині декларації описуємо декілька змінних для спрощення зберігання даних і підвищення читабельності коду.

```
unsigned int conv_val; // для зберігання отриманого від АЦП коду  
unsigned int current_termometr; // для зберігання індексу поточного каналу
```

```
unsigned int temperatureArray[5]; // масив для зберігання значення температури
```

```
unsigned char slave_address // адреса веденого пристрою  
unsigned int temperature
```

Опис прототипів функцій:

```
void i2c_init (void); // функція для ініціалізації інтерфейсу I2C  
void i2c_start (void); // функція для відправки початкової умови  
void i2c_stop (void); // функція для відправки стоп умови  
bit i2c_write (unsigned char input_data); // функція для передачі даних через інтерфейс I2C
```

```
unsigned char i2c_read (bit send_ack); // функція для зчитування даних з інтерфейсу I2C
```

```
void delay_time (unsigned int time_end); // функція, яка призупинить виконання програми на встановлений час
```

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						66
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.2 Частина ініціалізації

На етапі ініціалізації програмі потрібно виконати декілька завдань:

Ініціалізувати роботу I2C:

```
i2c_init();
```

Ініціалізувати змінні початковим значенням:

```
current_termometr = 0x10h
```

5.2.3 Головний цикл

Завдання для головного циклу:

- підключити термометр опору до АЦП;
- зняти нові показання з АЦП;
- перетворити, отриманий від АЦП, код в значення температури;
- зберегти значення температури;
- передати отримані дані через інтерфейси UART та I2C, для подальшої обробки і зберігання.

Підключення термометрів до АЦП відбувається по черзі за допомогою аналогових комутаторів, для цього потрібно в порт P0 записати адресу відповідного термометра.

```
P0 = current_termometr // Підключення поточного термометра опору до АЦП
```

Після завершення аналого-цифрового перетворення відбувається виклик зовнішнього переривання INT0. В функції обробки переривання відбувається зчитування коду АЦП з MAX31865 через шину SPI.

Значення температури можна отримати з отриманого від АЦП коду шляхом виклику відповідної функції:

```
temperature = getTemperature (conv_val); // Виклик функції перетворення АЦП коду в значення температури
```

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						67
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримане значення зберігається в масив temperatureArray

```
temperatureArray[i] = temperature;
```

Після зчитування даних з усіх датчиків потрібно передати значення температури за допомогою інтерфейсу I2C:

```
i2c_start(); // відправка початкової умови
```

```
i2c_write(slave_adress); // відправлення адреси веденого пристрою
```

```
for(int i = 0; i < 5; i++){ // цикл для перебору масиву значень температури
```

```
    i2c_write(temperatureArray[i]); // передача значення температури
```

```
    delay_time(20); // часова затримка
```

```
}
```

```
i2c_stop(); // відправлення стоп умови
```

Після відправки усіх значень температури робиться затримка на 10 секунд за допомогою виклику функції delay_time.

Після паузи головний цикл починається спочатку.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						68
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Завданням даного дипломного проєкту було дослідження і аналіз існуючих методів і засобів вимірювання температури та розробка на основі отриманих даних багатоканального пристрою для вимірювання температурних параметрів дизельних двигунів.

В першому розділі був проведений аналіз існуючих методів і засобів для вимірювання температури, було розглянуто основні характеристики, переваги і недоліки існуючих методів.

Була розроблена структурна і функційні схеми пристрою, а також розроблено алгоритм його роботи. Була підібрана елементна база і розроблена принципова схема пристрою.

В процесі роботи було розроблене програмне забезпечення для блоку вимірювання температур і системи віддаленого збору вимірювальної інформації.

Проведений розрахунок каналу вимірювання температури і розрахунок сумарної похибки каналу.

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						69
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коновалова С.А., Менафова Ю.В., Авдеев А.П. Лабораторный прак-тикум по курсам «Теоретические основы теплотехники», «Теплотехника и теплоэнергетика» – Краматорск: ДГМА, 2005. - 164 с.
2. Термопара – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0#:~:text=%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%B0%CC%81%D1%80%D0%B0%20%E2%80%94%D1%87%D1%83%D1%82%D0%B%D0%B8%D0%B2%D0%B8%D0%B9%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%20%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87%D0%B0,%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B5%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B8.> – 15.05.2021
3. Андрусевич А., Губа А., Термометры сопротивления: от теории к практике // Компоненты и технологии. – 2011. - № 7. – С. 76-81
4. Термометры сопротивления: виды, типы конструкции, классы допуска – Режим доступу: <https://www.asutpp.ru/termometry-soprotivleniya.html> – 27.05.2021

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						70
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5. MAX31865. – Maxim Integrated. – 26 p. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31865.pdf>. Accessed on: May 10, 2021.
6. Шевченко К.Л. Інформаційно-вимірювальні системи систем: Конспект лекцій. – Київ: НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського” – Лекція 13 Режим доступу: https://do.ipk.kpi.ua/pluginfile.php/213618/mod_resource/content/1/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F13.pdf – 29.05.2021
7. Шевченко К.Л. Інформаційно-вимірювальні системи: Конспект лекцій. – Київ: НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського” – Лекція 14 Режим доступу: https://do.ipk.kpi.ua/pluginfile.php/215238/mod_resource/content/1/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F14.pdf – 29.05.2021
8. Introduction to SPI Interface. Available: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html> Accessed on: May 29, 2021.
9. C8051F310 Available: <https://www.silabs.com/mcu/8-bit/c8051f31x/device.C8051F310> Accessed on: May 10, 2021.
10. LM3940 1-A Low-Dropout Regulator for 5-V to 3.3-V Conversion . – Texas Instrument. – 23 p. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3940.pdf> Accessed on: May 10, 2021.
11. FT232R USB UART IC Datasheet – FTDI Chip – 40 p. Available: https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/08/DS_FT232R.pdf Accessed on: May 11, 2021.
12. LC2 MOS 4-/8-Channel High Performance Analog Multiplexers – Analog Devices – 15 p. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical->

					Арк. 71
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

BA71.070004.001 ПЗ

[documentation/data-sheets/ADG408_409.pdf](#) Accessed on: May 11, 2021.

13. Мальцев Д.В., Богомазов С.А. Організація системи Інтернету речей на базі платформи ElectricImp// Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”. – К.: ПБФ, КПП ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 419 – 421
14. Мальцев Д.В., Богомазов С.А. Система віддаленого збору експериментальних даних з використанням хмарних технологій // 25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. Матеріалів форуму. Т.4. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – С. 129 – 130

					ВА71.070004.001 ПЗ	Арк.
						72
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Лістинг 1 – Код агенту

```
#require "rocky.agent.lib.nut:3.0.0"

// CONSTANTS
const HTML_STRING = @"<!DOCTYPE html><html lang='en-US'><meta
charset='UTF-8'>
<html>
<head>
<title>Environment Data</title>
<link rel='stylesheet'
href='https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.5.0/css/bootstrap.min.cs
s' integrity='sha384-
9aIt2nRpC12Uk9gS9baDl411NQApFmC26EwAOH8WgZl5MYXxFfc+NcPb1dKGj7Sk'
crossorigin='anonymous'>
<link href='//fonts.googleapis.com/css?family=Abel'
rel='stylesheet'>
<meta name='viewport' content='width=device-width, initial-
scale=1.0'>
<style>
.center { margin-left: auto; margin-right: auto; margin-bottom:
auto; margin-top: auto; }
body {background-color: #ffffff}
p {color: black; font-family: Abel}
h2 {color: #99ccff; font-family: Abel; font-weight:bold; padding:
20px;}
h4 {color: black; font-family: Abel}
a:link {color: white; font-family: Abel}
a:visited {color: #cccccc; font-family: Abel}
a:hover {color: black; font-family: Abel}
a:active {color: black; font-family: Abel}
</style>
</head>
<body>
<div class='container' style='padding: 20px'>
<div style='border: 2px solid white'>
<h2 class='text-center'>Environment Data</h2>
<div>
<h4 class='temp-status text-center'>Current Temperature:
<span></span>&deg;C</h4>
```

```

        <h4 class='humid-status text-center'>Current Humidity:
<span></span> per cent</h4>
        <p class='timestamp text-center'>Last reading:
<span></span></p>
    </div>
    <br />
    <p class='text-center'><a
href='https://developer.electricimp.com/examples/webserver'><small>Powered by
Electric Imp</small></a></p>
    </div>
</div>

<script src='https://code.jquery.com/jquery-3.5.1.min.js'></script>
<script>
    // Store the agent URL
    var agenturl = '%s';

    // Get the current state of the device, calling 'updateReadout()'
when we have it
    getState(updateReadout);

    // Update the display when we receive device state information
    function updateReadout(data) {
        // Update the readouts
        $('.temp-status span').text(data.temp);
        // Display the current time and date (when the thermal data was
received)
        var date = new Date();
        $('.timestamp span').text(date.toTimeString());

        // Auto-update in 0.5 minutes' time
        setTimeout(function() {
            getState(updateReadout);
        }, 5000);
    }

    // Get the device state from the agent
    function getState(callback) {
        $.ajax({
            url : agenturl + '/state',
            type: 'GET',

```

```

        success : function(response) {
            if (callback) {
                callback(response);
            }
        }
    });
}
</script>
</body>
</html>";

// GLOBAL VARIABLES
api <- null;
savedData <- null;
debug <- true;

// FUNCTIONS
function postReading(reading) {
    // Format and save the data
    savedData.temp = "temp" in reading ? format("%.2f", reading.temp) :
"0.0"

    local result = server.save(savedData);
    if (result != 0) server.error("Could not back up data");
}

// Instantiate Rocky
api = Rocky.init();

// Set up the app's API
api.get("/", function(context) {
    // Root request: just return standard HTML string
    local url = http.agenturl();
    context.send(200, format(HTML_STRING, url));
});

api.get("/state", function(context) {
    // Request for data made to the /state endpoint
    context.send(200, { "temp" : savedData.temp});
});

// Set up the backup data
savedData = {};

```



```
savedData.temp <- "TBD";  
local backup = server.load();  
if (backup.len() != 0) {  
    savedData = backup;  
} else {  
    local result = server.save(savedData);  
    if (result != 0) server.error("Could not back up data");  
}  
  
// Register the function to handle data messages from the device  
device.on("reading", postReading);
```

ДОДАТОК Б

Лістинг 2 – Код пристрою віддаленого збору вимірювальної інформації

```

const SLEEP_TIME = 5;

// GLOBAL VARIABLES
sensor <- null;

// FUNCTIONS
function getData() {
  // Create a Squirrel table to hold the data - handy if we
  // later want to package up other data from other sensors
  local sendData = {};

  // Get the sensor data
  local reading = sensor.read();

  // Add the temperature using Squirrel's 'new key' operator
  sendData.temp <- reading.temperature;
  // Send the packaged data to the agent
  agent.send("reading", sendData);

  server.log("Temperature: " + reading.temperature);
  server.log("  Humidity: " + reading.humidity);

  // All done, we can put the device to sleep for 'SLEEP_TIME' minutes,
  imp.onidle(function() {
    server.sleepfor(SLEEP_TIME);
  });
}

hardware.i2c89.configure(CLOCK_SPEED_400_KHZ);
sensor <- (hardware.i2c89);

getData();

```

ДОДАТОК В

Мальцев Д.В., Богомазов С.А. Організація системи Інтернету речей на базі платформи ElectricImp// Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 419 – 421.

Д.В. Мальцев, студент гр. ВА-71, к.т.н., доц. Богомазов С.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Організація системи Інтернету речей

на базі платформи Electric Imp

Анотація. У статті наведено аналіз особливостей організації системи інтернету речей. Визначені основні переваги використання даної концепції та перспективи її застосування. Систему реалізовано на базі платформи Electric Imp.

Ключові слова: Інтернет речей, IoT, Electric Imp, збір та обробка даних, Squirrel.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сьогодні світ знаходиться на порозі четвертої промислової революції. У всьому світі швидкими темпами відбувається повна автоматизація виробництва. Дуже важливу роль у цьому відіграє система інтернету речей. Кількість під'єднаних до мережі об'єктів, відомих як Інтернет речей, неспинно зростає і разом з цим зростає кількість сфер їх використання. Якщо, ще десять років тому кількість пристроїв не перевищувала 500 мільйонів, то на сьогодні їх вже близько 20 мільярдів.

Так що таке інтернет речей? Інтернет речей (англ. internet of things, IoT) – це мережа фізичних об'єктів (“Речей”), які оснащені технологіями для взаємодії між собою та з навколишнім середовищем без необхідності втручання людини. Всі обчислення в таких системах відбуваються у хмарному середовищі. Інформація від датчиків потрапляє на сервер який обробляє ці дані та посилає відповідний керуючий сигнал на актуатор. При цьому виникає необхідність організації та розробки системи автоматично збору та обробки вимірювальних даних. Тому нами було проведено аналіз особливостей таких систем і розроблено демонстраційну модель на базі платформи Electric Imp

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

На базі платформи Electric Imp була розроблена демонстраційна модель системи збору та обробки експериментальних даних. До її складу входять: модуль imp001, плата impExplorer, яка включає сенсори (датчик температури і вологості, датчик атмосферного тиску, акселератор) та хмарне середовище Electric Imp Cloud. На рис.1 зображено структурну схему платформи Electric Imp.

IMP001 – це повноцінний бездротовий мережевий вузол у форм-факторі SD – картки. Він працює разом із службою imp і дозволяє з легкістю

під'єднати будь-який пристрій до мережі інтернет. Великою перевагою наявності WiFi в середині карти є те, що всі дозволи керуючих органів бездротового зв'язку відбуваються на рівні карти. Це виключає необхідність в сертифікації регуляторів бездротового зв'язку на рівні продукту [1].

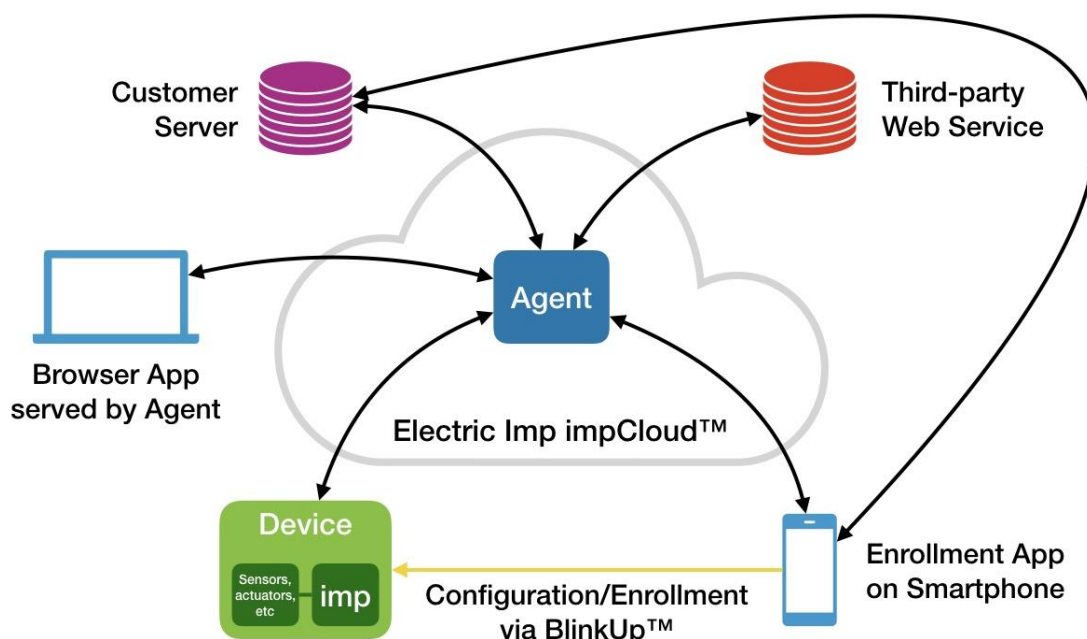


Рис. 1. Структурна схема системи збору даних на базі платформи Electric Imp.

impExplorer – модуль який включає в себе три датчика (датчик температури і вологості, датчик тиску, акселератор), а також RGB-світлодіод для зворотного зв'язку. Крім того він надає можливість для розширень функціоналу за допомогою Grove System. Два з цих роз'ємів призначенні для периферійних пристроїв I2C, а інші – для аналогових або цифрових пристроїв[2]. Схема підключень модулю impExplorer зображена на рис. 2.

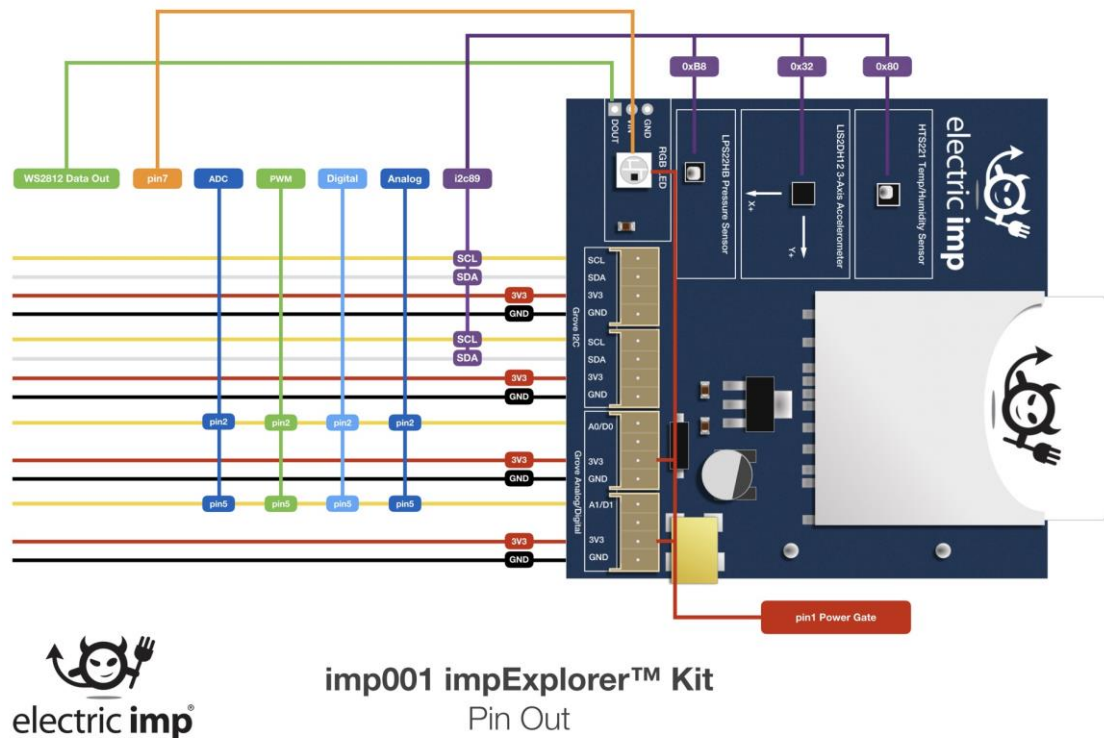


Рис. 2. Схема підключення модулю impExplorer

Electric Imp Cloud – хмарне середовище, яке є кінцевою точкою для всіх пристроїв зв'язку і надає всі необхідні для управління послуги, включаючи.

- Аутентифікація пристрою
- Управління пристроєм
- OTA оновлення
- Забезпечення безпеки
- Операції
- Масштабованість

Electric Imp Cloud має віртуальне представлення пристрою в хмарі та виконую логіку додатку і інтеграції від імені пристрою. Це забезпечує максимальну гнучкість, хмарову функціональність і інтеграцію з нашим IoT рішенням[3].

Кожний пристрій пов'язаний зі свої власним агентом, розташованим в impCloud, який слугує посередником і забезпечую безпеку всіх комунікацій, включаючи наші власні сервери і мобільний додаток.

В розробленій системі для налаштування і реєстрації пристрою використовується мобільний додаток в який інтегрована технологія **BlinkUP**. BlinkUp – це система налаштування пристроїв, яка оптичним шляхом передає інформацію про налаштування локальної мережі і данні авторизації з дисплею мобільного телефону [4].

Коли пристрій налаштований за допомогою BlinkUp, він підключається до мережі інтернет і отримує доступ до Imp Cloud. Imp001 зчитує інформацію з датчиків та надсилає її агенту на хмарне середовище для обробки та подальшої передачі на інший пристрій або сервер.

ВИСНОВОК

Таким чином, була реалізована демонстраційна система інтернету речей на базі платформи Electric Imp. Данна платформа дає можливість швидко підключити будь-який сенсор, пристрій або систему до додатків Інтернету речей. Вона надійна і дає можливість для розширення свого функціоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Imp001. [Online]. Available:.. Accessed on: <https://store.electricimp.com/products/imp001?variant=31635697938> November 22, 2020.
- [2] Electric Imp impExplorer Kit [Online]. Available: <https://developer.electricimp.com/hardware/resources/reference-designs/explorerkit>. Accessed on: November 22, 2020.
- [3] Electric Imp Cloud. [Online]. Available: <https://www.electricimp.com/platform/cloud/>. Accessed on: November 22, 2020.
- [4] Platform Overview. [Online]. Available: <https://developer.electricimp.com/platform-overview> . Accessed on: November 22, 2020.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Богомазов С.А.

ДОДАТОК Г

Мальцев Д.В., Богомазов С.А. Система віддаленого збору експериментальних даних з використанням хмарних технологій // 25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. Матеріалів форуму. Т.4. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – С. 129 – 130.

СИСТЕМА ВІДДАЛЕНОГО ЗБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Мальцев Д.В., Богомазов С.А.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Богомазов С.А.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

03056, Київ, просп. Перемоги, 37, каф. Інформаційно-вимірювальних
технологій, тел. (044) 204-98-93, e-mail: malcevdimitriy@gmail.com

The article presents an analysis of the peculiarities of the organization of experimental data collection systems. Determining the main advantages of using this concept in modern IoT systems. The system is implemented using the Electric Imp platform. The Electric Imp connects sensors, devices, or systems to services and IoT applications quickly. It securely scales to large volumes. On the basis of this platform the model of system of collecting and processing of temperature parameters of diesel engines was developed.

На сьогоднішній день Інтернет речей – один із головних світових трендів в сфері інформаційних технологій. Звичні нам прилади стають частиною системи Інтернету речей і можуть виконувати нові функції. Важливу роль в таких системах відіграють засоби віддаленого збору вимірювальної інформації. Складні обчислення в таких системах в багатьох випадках виконуються в хмарному середовищі. При цьому виникає необхідність розробки систем автоматизації віддаленого збору експериментальних даних. Тому було проведено аналіз особливостей реалізації таких систем на базі платформи Electric Imp [1].

На базі цієї платформи була розроблена модель системи збору і обробки температурних параметрів дизельних двигунів. Вона складається з модуля imp001 (мережевого вузла бездротового зв'язку) [2], плати-носія impExplorer, хмарного середовища Electric Imp Cloud і блоку вимірювання температур. Плата impExplorer включає в себе датчик температури і вологості, акселерометр, датчик атмосферного тиску та надає можливість розширення своїх функцій за допомогою чотирьох роз'ємів GroveSystem (два роз'єми для підключення пристроїв за допомогою інтерфейсу I2C, інші – для підключення цифрових і аналогових пристроїв) [3].

Платформа Electric Imp складається з трьох рівнів. На рівні пристроїв (Device Tier) авторизований модуль imp дозволяє підключити кінцевий

пристрій до хмари Electric Imp Cloud. Наступний рівень платформи – рівень хмари Electric Imp Cloud Tier. Хмарне середовище Electric Imp Cloud є кінцевою точкою для всіх пристроїв і надає необхідні послуги для:

- управління пристроєм;
- оновлення “на льоту” (Over-the-Air – OTA);
- аутентифікації пристрою в системі;
- безпечного збереження даних;
- можливості легкого масштабування системи.

Electric Imp Cloud надає віртуальне представлення пристрою в хмарі та виконує логіку додатку і інтеграції від імені пристрою [4]. Кожний пристрій системи Electric Imp пов'язаний зі своїм програмним агентом, який розташований в хмарному середовищі і відповідає за безпеку і обробку вхідних даних. Третій рівень платформи (Customer Cloud Tier) – це користувацький хмарний додаток, що отримує надійні та оброблені дані від хмари Electric Imp.

Розроблена модель системи реалізує п'ять вимірювальних каналів (температура води на вході дизеля, температура води на виході правого і лівого блоків дизеля, температури масла на вході і температури масла на виході дизеля). В якості датчиків температури було використано платинові термометри опору. Мікропроцесорний блок вимірювання температури виконує вимірювання опору та розраховує температуру за відповідною залежністю. Отримані значення температури передаються по інтерфейсу I2C на модуль Electric Imp. Пристрій imp001 зчитує інформацію від блоку вимірювання температури і надсилає її агенту в хмарне середовище для подальшої обробки і передачі на інший пристрій або сервер.

Використання хмарних технологій для збору експериментальних даних забезпечило можливість проведення випробувань дизельних двигунів із обробкою результатів вимірювань в реальному часі і збереженням даних в хмарному середовищі.

Таким чином, розроблена система для отримання експериментальних даних з використанням хмарних технологій надає можливість швидко підключати будь-який сенсор, пристрій або систему до додатків Інтернету речей. Використання хмарних технологій та платформи Electric Imp спрощує організацію систем віддаленого збору даних, підвищує їх надійність і надає великі можливості для розширення свого функціоналу.

Список використаних джерел

- [5] Мальцев Д.В., Богомазов С.А. Організація системи Інтернету речей на базі платформи ElectricImp// Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 419 - 421
- [6] Imp001.[Online]. Available: <https://store.electricimp.com/products/imp001?variant=31635697938>. Accessed on: November 22, 2020.

- [7] Electric Imp impExplorer Kit [Online]. Available: <https://developer.electricimp.com/hardware/resources/reference-designs/explorerkit>. Accessed on: November 22, 2020.
- [8] Electric Imp Cloud. [Online]. Available: <https://www.electricimp.com/platform/cloud/>. Accessed on: November 22, 2020

		Поз. познач.	Найменування				Кіл.	Примітки (фірма виробник, код виробника)				
		B1	Резонатор кварцевий 32,768 кГц				1	KX-327S 32.768 kHz				
		C1...C7	Конденсатор SMD-0805-0,1 uF -50V-10%				7	225211343204				
		C8,C9	Конденсатор SMD-0805-100 nF-16V-10%				2	C0805B104K160NT-Hitano				
		C10	Конденсатор SMD-0805-0,1 uF -50V-10%				1	225211343204				
		C11,C12	Конденсатор SMD-C-33 uF-16V-20%				2	T491C336M016AT-KEMET				
		C13	Конденсатор SMD-0805-0,1 uF -50V-10%				1	225211343204				
		C14,C15	Конденсатор SMD-0805-10 uF -16V-10%				2	GRM21BR61C106KE15L				
		C16	Конденсатор SMD-0603-1 uF-16V-10%				1	C0603B105K160NT-Hitano				
		C17,C18	Конденсатор SMD-0805-10 uF -16V-10%				2	GRM21BR61C106KE15L				
		C19...C22	Конденсатор SMD-0805-0,1 uF -50V-10%				4	225211343204				
		Підпис і дата										
D1...D3	Мікросхема ADG408BR				3	Analog Devices						
D4	Мікросхема MAX31865				1	Maxim integrated						
Інв. № дубл.												
		D5	Мікросхема C8051F310				1	Silicon Labs				
		D6,D7	Мікросхема LM3940				2	Texas Instruments				
Зам. інв. №												
		D8	Мікросхема FT232RL				1	FTDI Chip				
		D9,D10	Мікросхема MC78L05ACP				2	Motorola				
Підпис і дата												
		R1	Резистор SMD - 0805 - 100 Ом ± 1 %				1	Uni Ohm				
		R2	Резистор SMD - 0805 - 2 kОм ± 1 %				1	Royal Ohm				
		R3	Резистор SMD - 0805 – 2.32 kОм ± 1 %				1	Hitano				
							BA71.070004.001 ПЕЗ					
		Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						
Інв.№ ор-ла		Розроб.	Мальцев			Блок вимірювання температур Перелік елементів			Літ.	Аркуш	Аркушів	
		Перевір.							Т		1	2
									кафедра ІВТ НТУУ "КПІ"			
		Н.контр.										
		Затв.										

Інв.№ ор-ла	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата	Поз. познач.	Найменування					Кіл.	Примітки (фірма виробник, код виробника)		
					R4	Резистор SMD - 0805 – 1 kОм ± 1 %					1	Hitano		
					R5	Резистор C2-29B – 1,2 kОм ± 0,5 %					1	ОАО "НПО "ЭРКОН"		
					R6	Резистор SMD - 0805 – 510 Ом ± 1 %					1	Hitano		
					R7	Резистор SMD - 0805 – 1 kОм ± 1 %					1	Hitano		
					R8,R9	Резистор SMD - 0805 – 510 Ом ± 1 %					2	Hitano		
					R10	Резистор SMD - 0805 – 1 kОм ± 1 %					1	Hitano		
					R11	Резистор SMD - 0805 – 475 Ом ± 1 %					1	Stackpole		
					R12	Резистор SMD - 0805 – 1 kОм ± 1 %					1	Hitano		
					S1	Кнопка TS3611-2.5-180-B					1	KLS		
					V1	Транзистор спарений 2TC3103A					1			
					VD1...VD3	Світлодіод SMD – 0805 – RED					3			
					VD4	Світлодіод SMD – 0805 – GREEN					1			
					VD5	Діод Шотткі MBR0520					1	MCC		
					X1...X5	Роз’єм XM1-3.00-1x04-S					5	KLS		
					X6	Роз’єм USBB-1J					1	KLS		
					X7	Роз’єм GROVE-Universal 4-pin Connector					1	Seed		
					X8	Роз’єм MF30-DHP1-10					1	Amphenol		
					X9	Роз’єм MF-2MA					1	KLS		
											BA71.070004.001 ПЕЗ			
	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата									
	Розроб.		Мальцев			Блок вимірювання температур Перелік елементів				Літ.		Аркуш	Аркушів	
	Перевір.									Т		2	2	
										кафедра ІВТ НТУУ "КПІ"				
	Н.контр.													
	Затв.													