

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій

Кафедра «Електронні системи»

Кваліфікаційна робота / проект

магістра

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження інтелектуальних  
датчиків для побудови систем  
управління

Виконав: студент II курсу, групи ЕЛ-18-1сз  
напряму підготовки (спеціальності)

171-електроніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Самбоєвої С.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доц. Шмалій С.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С.А.

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

м. Запоріжжя – 2020 року

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет

Енергетики, електроніки та інформаційних

Кафедра

технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність

171 - електроніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕС  
М. С. Крижова Т. О.  
«   »     20    року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Самбоковій Світлані Григорівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження інтелектуальних датчиків для побудови системи управління керівник проекту (роботи) к.т.н доц. Шмалій С.В.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «   »     20    року №   

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) датчик температури DS18B20, датчик тиску MS5611

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ 1. Переваги використання інтелектуальних датчиків. 2. Елементна база інтелектуальних датчиків. 3. Дослідження датчиків для побудови системи управління. 4. Конструкторсько-технологічна частина. 5. Економічні показники. 6. Охорона праці.

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

Розподіл датчиків за типом та структурою (А1); Експериментальні дані з датчику тиску (А1); Експериментальні дані двох датчиків температури (А1);

Алгоритми роботи системи (AI); Схема електрична принципова (AI); Грама друкована (AI); Економічні показники (AI); Охорожа праці (AI).


### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шваніт С.А.	Швант	
2	Шваніт С.А.	Швант	
3	Шваніт С.А.	Швант	
4	Шваніт С.А.	Швант	
5	Шваніт С.А.	Швант	
6	Шваніт С.А.	Швант	

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

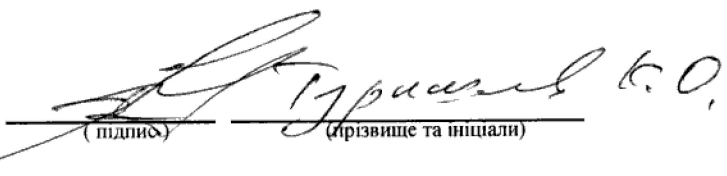
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Розділ 1	2.09.19р - 13.09.19р	
	Розділ 2	16.09.19р - 27.09.19р	
	Розділ 3	30.09.19р - 18.10.19р	
	Розділ 4	21.10.19р - 08.11.19р	
	Розділ 5	11.11.19р - 06.12.19р	
	Розділ 6	09.12.19р - 24.12.19р	

Студент  Савченко С.Т.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  Шваніт С.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Гурмань К.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 120 стор., 55 рис., 12 табл., 22 джерел

Об'єкт дослідження: датчики для системи управління.

Предмет дослідження: перехідні процеси в датчиках.

Мета роботи: дослідження роботи інтелектуальних датчиків і алгоритмів їх роботи для підвищення ефективності використання в системах управління.

У даній роботі проведено дослідження потенціалу використання інтелектуальних датчиків в умовах промисловості та для побудови системи “Разумний будинок”. Показано переваги датчиків при використанні універсального модуля по обчислювальним ресурсам та точності показників.

Розглянуто алгоритми роботи системи контролю, типи первинних перетворювачів та розраховано розрядність АЦП без врахування шуму.

Розроблено схему електричну структурну та схему електричну принципову інтелектуального універсального датчику.

Розроблено друковану плату та алгоритм роботи інтелектуального датчику.

ДАТЧИК, ПЕРВИННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, АЛГОРИТМ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, ДРУКОВАНА ПЛАТА

## ЗМІСТ

Вступ	6
1 Переваги використання інтелектуальних датчиків	8
1.1 Технічні особливості використання сучасних інтелектуальних датчиків	9
1.2 Економічні аспекти використання сучасних інтелектуальних датчиків	10
1.3 Структура інтелектуальних датчиків	11
1.4 Реалізовані інтелектуальними датчиками функції	12
1.5 Інтелектуальні датчики як частина системи контролю та управління	15
1.6 Підключення пасивного датчика	19
1.7 Перспективи розвитку інтелектуальних датчиків	27
2 Елементна база інтелектуальних датчиків	34
2.1 Розвиток мікросхем для датчиків	36
2.2 Приклади структур мікросхем для обробки сигналів датчиків	37
2.3 Мікросхеми з вбудованими цифровими автоматами	38
2.4 Список рекомендованих компанією Maxim рішень	43
2.4.1 Датчики тиску і ваги	43
2.4.2 Обробка сигналу: інтегральні рішення	47
2.4.3 Гнучкі АЦП для зв'язку з датчиками різних типів	48
2.5 Список рекомендованих компанією Maxim рішень для задач, пов'язаних з вимірюванням температури	56
2.5.1 Інтегральні датчики температури	59
2.5.2 Аналогові датчики температури	60
2.5.3 Цифрові датчики для локального вимірювання температури	60
2.5.4 Цифрові датчики для віддаленого вимірювання температури	61
2.6 Мікросхеми для організації інтерфейсів термопар	64
2.7 Вимірювання струму, освітленості і відстані до об'єкта	66

2.7.1	Вимірювання струму	67
2.7.2	Вимірювання освітленості за допомогою трансїмпедансних підсилювачів	68
2.7.3	Вимірювання відстані до об'єкта за допомогою фотодіодів	68
2.8	Комунікаційні інтерфейси датчиків	69
2.9	Мікроконтролери для датчиків	70
2.10	Мікросхеми живлення	73
2.11	Управління виконавчими пристроями	77
3	Дослідження датчиків для побудови систем управління	79
3.1	Дослідження точності датчиків	82
4	Конструкторсько-технологічна частина	89
4.1	Конструкція датчика	89
4.2	Технологія виготовлення та збірки друкарської плати	91
5	Економічні показники	97
5.1	Суми витрат по статтям кошторису	97
5.2	Розрахунок терміну окупності розробки	102
6	Охорона праці	104
6.1	Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	104
6.2	Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	107
6.3	Виробнича санітарія	108
6.4	Електробезпека	110
6.5	Пожежна та техногенна безпека	111
6.6	. Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини	113
	Висновки	116
	Список використаних джерел	117
	Додаток А	119
	Додаток Б	120

## ВСТУП

Паралельно розвитку IoT («Інтернет речей») і Real-Time Ethernet в промисловості відбувається і еволюція в замкнених складних системах управління рухомими об'єктами. На даний момент у всесвітній мережі Інтернет кількість підключених приладів перевищило населення Землі в 1,5-2 рази і продовжує стрімко зростати. У рухливих об'єктах відбувається те ж саме: кількість обслуговуваних датчиків і виконавчих механізмів, інформаційно доступних центральній обчислювальній системі управління, безперервно збільшується.

Тому для управління складними технічними об'єктами (процесами) з динамічно мінливим станом потрібні розподілені комп'ютерні системи, здатні вирішувати завдання в високому темпі реального часу. При створенні таких систем акцент робиться на розвиток і застосування розпаралелювань інтелектуальних методів управління, розподілених обчислень і інтелектуальної обробки інформації. Сьогодні це стосується і низового рівня управління. Якщо 30-35 років тому в серійних автомобілях, крім контролю швидкості, температури двигуна і ще трьох-шести параметрів, ніякої контрольно-вимірювальної апаратури не було, то сьогодні навіть в самому простому автомобілі можна нарахувати більше десятка мікроконтролерів, які здійснюють контроль до сотні різних параметрів автомобіля. Інтелектуальними вузлами систем управління є вже не тільки промислові комп'ютери і контролери, ними стають також датчики і виконавчі пристрої [1].

Дійсно, складні, функціонально насичені системи збору та обробки технологічної інформації вимагають застосування датчиків і виконавчих пристроїв, здатних на щось ще, крім видачі повідомлень про рівень сигналів або просто включення-виключення елементів обладнання. Удосконалення сучасних електронних пристроїв обумовлено в першу чергу високими темпами розвитку мікроелектроніки. Безперервне зниження вартості мікропроцесорних елементів і стрімке зростання їх функціональних можливостей дозволяють вбудовувати ці

чіпи в усі менші за розмірами виробу. Саме зі зміною елементної бази електронних пристроїв обробки сигналів первинних перетворювачів пов'язана поява нового покоління датчиків і виконавчих пристроїв, які отримали назву інтелектуальних.

Своїм інтелектом датчики і виконавчі пристрої зобов'язані мікропроцесорним технологіям. Будучи самонавчальною мікропроцесорною системою, такі пристрої здатні отримувати і обробляти великі обсяги інформації з високою швидкістю і точністю. Саме завдяки мікропроцесорам сьогодні у користувача є досить зручні в установці, налаштуванні і застосуванні датчики і виконавчі пристрої.



## 1 ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ

Сучасні датчики, які є найважливішими частинами мікропроцесорних систем управління технологічними об'єктами і виробництвом в цілому, з одне функціональних засобів визначення поточних значень вимірюваних величин поступово перетворюються в багатофункціональні засоби автоматизації, які вирішують ще цілий ряд завдань з діагностики, перетворення вимірювальної інформації, виконання простих алгоритмів управління та т. інш. Така багатофункціональність стала можлива після оснащення датчиків вбудованим мікропроцесором. Швидкий розвиток мікропроцесорної техніки, зростання потужності мікропроцесорів при одночасному їх різке здешевлення роблять економічно вигідним включення їх в датчики будь-яких типів.

В останні роки за датчиками, в які вбудований мікропроцесор, закріпилася назва «інтелектуальні датчики». Як в повсякденній мові, так і в літературі під цим терміном розуміють різні за можливостями класи приладів. Інтелектуальним датчиком позначається як датчик, в якому мікропроцесор використовується тільки для найпростіших, фіксованих в ньому обчислювальних перетворень значень вимірюваної величини; так і прилад, який є багатофункціональним програмованим вимірювальним засобом, які мають інтерфейси до типових польовим мереж [2].

Сучасні інтелектуальні датчики, які виконують, крім процесу вимірювання, перетворення вимірюваних сигналів в типові аналогові і цифрові значення, самодіагностику своєї роботи, дистанційну настройку діапазону вимірювання, первинну обробку вимірювальної інформації, іноді мають ще ряд досить простих, типових алгоритмів контролю і управління. Вони мають інтерфейси до стандартних / типовим польовим цифрових мережах, що робить їх сумісними з практично будь-якими сучасними засобами автоматизації, і дозволяє інформаційно спілкуватися з цими коштами і отримувати живлення від блоків живлення цих коштів. За суті, зазначений тут клас вимірювальних

засобів, іменованих в огляді як «сучасні інтелектуальні датчики», об'єднує в собі функції датчика і ряд функцій контролера і змінює всю структуру нижнього рівня систем автоматизації виробництва.

Коротко можна порівняти сучасні інтелектуальні датчики зі звичайними, традиційними датчиками.

1.1. Технічні особливості використання сучасних інтелектуальних датчиків:

- Різке зменшення спотворень вимірювальної інформації на шляху від датчика до контролера, т. К. Замість низьковольтного аналогового сигналу по кабелю, що з'єднує датчики з контролером, йдуть цифрові сигнали, на які електричні і магнітні промислові перешкоди надають незрівнянно менший вплив.

- Збільшення надійності вимірювання за рахунок самодіагностики датчиків, т. К. Кожен датчик сам оперативно повідомляє оператору факт і тип виникає порушення, тим самим виключаючи використання для управління неякісних і / або недостовірних вимірювань.

- Можливість використання принципів вимірювання, які потребують досить складної обчислювальної обробки вихідних сигналів сенсора, але мають ряд переваг перед традиційно використовуваними принципами вимірювання за точністю, стабільності показань, простоті установки і обслуговування датчика в процесі його експлуатації.

- Можливість побудови мультисенсорних датчиків, в яких перетворювач отримує і переробляє сигнали ряду однотипних або різнотипних чутливих елементів.

- Можливість проведення всієї необхідної первинної переробки вимірювальної інформації в датчику і видачі їм шуканого поточного значення вимірюваної величини в заданих одиницях виміру.

- Можливість передачі в систему автоматизації не тільки поточного значення вимірюваної величини, але і додаткових сигналів про вихід його за

межі заданих норм, а також можливість передачі по мережі не кожного поточного вимірюваного значення, а тільки зміненого в порівнянні з попереднім значення, чи вийшов за межі заданих норм значення, або значення, що вимагає керуючого впливу.

- Наявність в датчику бази даних для зберігання значень вимірюваної величини за заданий тривалий інтервал часу.

- Можливість дистанційно з пульта оператора в оперативному режимі вибирати діапазон виміру датчика.

- Можливість, шляхом програмування роботи датчика на досить простому технологічному мовою, реалізовувати в ньому прості алгоритми регулювання, програмного управління, блокувань механізмів.

- Можливість будувати досить прості ланцюги регулювання, програмного управління, блокувань на найнижчому рівні управління з трьох компонентів: інтелектуальних датчиків, польовий мережі і інтелектуальних виконавчих механізмів, не завантажуючи цими обчислювальними операціями контролери, що дозволяє використовувати потужність контролерів для реалізації в них досить складних і скоєних алгоритмів управління [3].

## 1.2 Економічні аспекти використання сучасних інтелектуальних датчиків:

- Слід зазначити, що вартість сучасних інтелектуальних датчиків перевищує вартість звичайних датчиків, тому початкові витрати замовників зростають.

- Зменшується вартість їх установки і обслуговування за час експлуатації, а збільшення стабільності їх роботи призводить до економії за рахунок більш рідкісних повірочних випробувань.

- Знижуються втрати на виробництві, викликані використанням для управління неточних і невірних показань датчиків.

- Економія виникає в вартості кабельних ліній, що з'єднують вимірювальні засоби з контролерами, так як до однієї шини можна під'єднати від 8-ми до порядку 100 датчиків.

- Є економія у вартості контролерів, так як не потрібно включати в них блоки введення.

- При застосуванні на вибухонебезпечних виробництвах польових мереж Profibus PA або Foundation Fieldbus H1 виникає економія через зменшення (або виключення) бар'єрів іскробезпеки.

### 1.3 Структура інтелектуальних датчиків

Сучасні інтелектуальні датчики мають багатоваріантну блочну структуру. Основними блоками є чутливий елемент (сенсор) і перетворювач. В одному датчику може бути ряд сенсорів, взаємодіючих з одним перетворювачем. Додатковим блоком може бути місцевий показує прилад.

Сенсор має зазвичай безліч варіантів виконання, розрахованих на різні властивості вимірюваної і навколишнього середовищ і різну конструкцію об'єкта вимірювання:

-варіанти арматури (корпусу сенсора) під різні тиски, температури, впливу і перешкоди;

-варіанти матеріалів арматури, що контактують з вимірюваним середовищем, під звичайну, хімічно агресивну, абразивну і інші середовища;

-варіанти виконання сенсора під звичайну, гігієнічну, вибухонебезпечну середовища;

-варіанти з'єднання сенсора з конструкцією об'єкта вимірювання типу фланцевої, вафельної, різьбовій і т. інш.

Перетворювач може бути компактно об'єднаний з сенсором в одному конструктиві, а може виконуватися в окремому конструктиві і розташовуватися поруч або на невеликій дистанції від сенсора.

Сам перетворювач, як мінімум, складається з програмованого мікропроцесора з оперативним і постійним модулями пам'яті, аналого-цифрового перетворювача, мережевого контролера зв'язку з типовими польовими мережами. Зазвичай він також має ряд варіантів виконання:

-варіанти корпусу перетворювача під різні властивості навколишнього середовища та різні наявні зовнішні перешкоди;

-варіанти живлення приладу за наявністю блоку живлення в ньому або живлення його від стороннього джерела через польову мережу;

-варіанти вихідних сигналів перетворювача по числу, за параметрами, по комунікаційним можливостям зв'язку з різними польовими мережами.

Дуже важливо, що більшість виробників комплектують датчики з поєднання різних варіантів сенсорів одного методу вимірювання з різними варіантами перетворювачів, розрахованих на роботу з даною серією сенсорів. Завдяки цьому вдається найбільш точно і повно задовольняти окремим конкретним вимогам до приладів. Слід мати на увазі, що подібна, вельми технічно раціональна гнучкість побудови датчиків, в той же час, не дозволяє, в ряді випадків, дати оцінку вартості приладу без детального аналізу обраних варіантів складових його блоків [2].

#### 1.4 Реалізовані інтелектуальними датчиками функції

Розглянуті інтелектуальні датчики є багатофункціональними приладами, для яких тільки традиційно зберігається найменування «датчик», а по виконуваних функцій вони все більше наближаються до симбіозу датчика і контролера. Тенденція їх розвитку, пов'язана з усе дедалі ширшими можливостями вбудованих в них мікропроцесорів, полягає в передачі їм від контролерів все більшого числа найпростіших типових функцій контролю і управління. Крім того, сучасні інтелектуальні датчики все більш широко використовують можливості свого мікропроцесорного перетворювача для вдосконалення процесу вимірювання: підвищення точності, збільшення надійності, вибору діапазону вимірювання, виключення помилкових вихідних даних, розширення функцій дистанційного керування роботою сенсора.

Нижче розглядається комплекс функцій, який реалізується в найбільш просунутих інтелектуальних датчиках, що випускаються провідними зарубіжними виробниками.

Інформаційні функції. Датчики зберігають у своїй пам'яті і з дистанційного запитом користувача видають всі дані, що визначають властивості, характеристики, параметри даного конкретного приладу: його тип, заводський номер, технічні показники, можливі діапазони вимірювання, встановлену шкалу, задані параметри налаштування сенсора, що працює версію програмного забезпечення, архів проведених метрологічних перевірок, термін проведення наступної перевірки датчика і т. п. Крім того, датчики можуть мати архів поточних вимірюваних і обчислюваних ними значень величин за заданий інтервал часу.

Функції конфігурації. Дистанційне формування або модифікація користувачем основних настроювальних параметрів датчика: установка нуля приладу, вибір заданого діапазону вимірювання, фільтрація поточних значень, вибір назви одиниць виміру, в яких датчик повинен видавати інформацію і т. п. дії.

Функції форматування. Автоматичний аналіз змін вимірюваної величини і поточного стану середовища вимірювання: визначення виходів значень вимірюваної величини за задані норми, видача різних повідомлень про зміни значень вимірюваної величини, перевірка знаходження в допустимих діапазонах параметрів вимірюваного середовища. Всі ці функції дистанційно налаштовуються користувачем.

Функції самодіагностики. В процесі роботи датчики виконують аналіз своєї роботи: при виникненні різних збоїв, порушень і несправностей фіксують їх місце виникнення і причину, визначають вихід похибки приладу за паспортну норму, аналізують роботу бази даних датчика, розглядають правильність обліку чинників, які коригують вихідні показання датчика. Датчик може видавати оператору до 30-ти різних повідомлень, які конкретизують поточні особливості

його роботи і різко полегшують і прискорюють його обслуговування (при необхідності втручання співробітників КВП, в його роботу).

Зазвичай, інформація, яка видається датчиком про окремі його несправності, підрозділяється на два типи:

-не критична інформація, коли датчик вимагає певного обслуговування, але вимірювані їм значення можуть використовуватися для управління;

-Критична інформація, коли вихідні дані датчика невірні і або потрібне негайне втручання оператора по припиненню використання його показань, або сам датчик переводить свій вихід в постійне безпечне для управління процесом значення і повідомляє про необхідність термінового обслуговування приладу.

#### Функції перетворення.

Датчик перетворює електричний сигнал на виході сенсора (зазвичай, низьковольтний аналоговий, або частотний, або імпульсний сигнали) в значення заданого найменування одиниці виміру; при цьому він виконує корекцію вихідного значення по супутнім поточним показниками стану вимірюваного середовища (наприклад, по її температурі і / або тиску), в разі, якщо показання датчика залежать і від них. У приладі проводяться необхідні перетворення вимірювальної інформації: посилення сигналів сенсора, стандартизація діапазонів вихідних аналогових сигналів, лінеаризація і фільтрація вимірюваних значень, розрахунок вихідних значень за заданими алгоритмами, аналого-цифрове перетворення значень вимірюваної величини.

Керуючи функції. Останнім часом все більше число додаткових функцій, безпосередньо пов'язаних з управлінням технологічним процесом, стали покладати на інтелектуальні датчики (особливо при їх використанні з польовою мережею Foundation Fieldbus). Для реалізації цих функцій в пам'ять мікропроцесора датчика прошивається відповідний набір типових програмних модулів, а їх ініціація і пераметризація проводиться дистанційно оператором за допомогою найпростішого графічного конфігуратора. В якості типових програмних модулів використовуються найпростіші арифметичні і логічні операції, таймер, елемент чистого запізнювання, інтегратор, варіанти

регуляторів: P, I, PI, PD, PID і т. п. Функції, з яких легко набираються конкретні алгоритми регулювання різних видів, блокувальні залежності, алгоритми змішування і інші алгоритми управління технологічними процесами [3].

### 1.5 Інтелектуальні датчики як частина системи контролю та управління

Як правило, датчики використовуються не самі по собі, а входять до складу системи управління, забезпечуючи сигнал зворотного зв'язку.

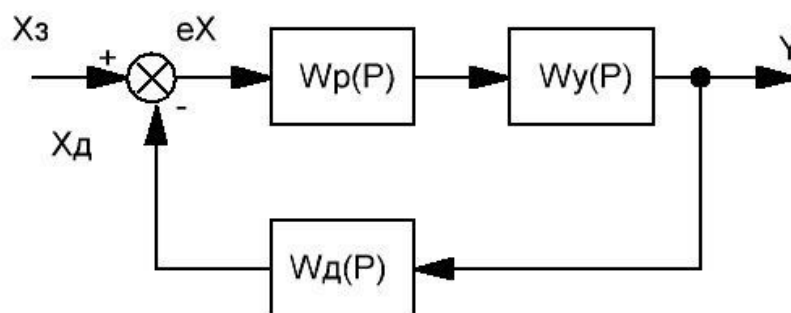


Рисунок 1.1 - Типова схема замкнутої системи регулювання

На рис. 1.1 представлена типова схема системи регулювання. Є сигнал завдання  $X_z$ , який порівнюється з сигналом на виході, що отримуються за допомогою датчика, що має передавальну функцію  $W_d(p)$ . Помилка управління подається на регулятор, який, в свою чергу, формує сигнал управління виконавчим вузлом, що формує вихідний сигнал  $Y$  [8].

Простий приклад - відцентровий регулятор частоти обертання двигуна, де датчиком є платформа з кулями, яка, обертаючись, встановлює ту чи іншу становище паливної рейки. Заслінка, керована цією рейкою, регулює кількість палива, що подається на двигун. Сигналом завдання буде необхідне значення швидкості.

Більшість датчиків мають складну процедуру перетворення вимірюваної величини в електричний сигнал. Наприклад, в тензорезисторному датчику тиску величина, що вимірюється впливає на чутливий елемент, змінюючи його



опір. Після подачі сигналу збудження, падіння напруги на резисторі дозволить побічно визначити його опір  $i$ , на підставі залежності опору від тиску, обчислити вимірювану величину.

Для розробника датчик являє собою чорний ящик з відомими співвідношеннями сигналів між входами і виходами.

Діапазон вимірюваних значень показує, яку максимальну значення вхідного сигналу датчик може перетворити в вихідний електричний сигнал, не виходячи за межі встановлених похибок. Дані цифри завжди наводяться в специфікації на датчик, одночасно відображаючи можливу точність вимірювань в тому чи іншій діапазоні.

Слід розуміти, що одні датчики при подачі вхідного сигналу більше максимальних значень просто увійдуть в насичення і повертатимуть невірні дані. Інші ж датчики (наприклад датчики температури) можуть вийти з ладу. Надалі, для кожного типу датчика будуть дані свої рекомендації.

Діапазон вихідних значень датчика - це мінімальне і максимальне напруження, яке датчик здатний видати при мінімальному і максимальному зовнішньому впливі. Так як ми розглядаємо датчики, що перетворюють вхідний сигнал в електричний, то діапазон вихідних значень датчика буде визначатися в вироблюваної їм напрузі, або пропускають через нього струмі. Однією з наших завдань при підключенні датчика буде узгодження вихідного діапазону датчика з вхідним діапазоном вимірювального тракту.

Однією з важливих характеристик датчика є його точність в діапазоні вимірюваних величин. Вихідний сигнал датчика відповідає значенню вимірюваної величини з деякою вірогідністю, званої похибкою.

Наприклад, датчик температури має точність  $\pm 2$  градуси. Це означає, що при реальній температурі вимірюваного об'єкта в 100 градусів, допустимі свідчення даного датчика температури знаходяться в межах 98 - 102 градусів.

Похибка датчика буває різною. Розрізняють адитивну і мультиплікативну похибку.

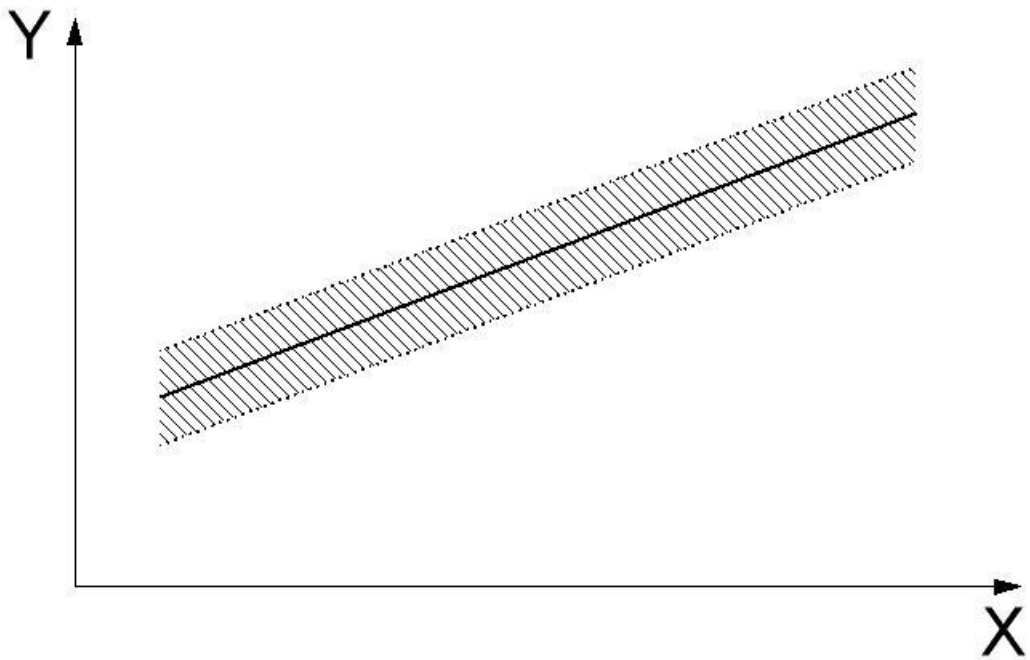


Рисунок 1.2 - Адитивна похибка

Мультиплікативна лінійно залежить від рівня вимірюваної величини:

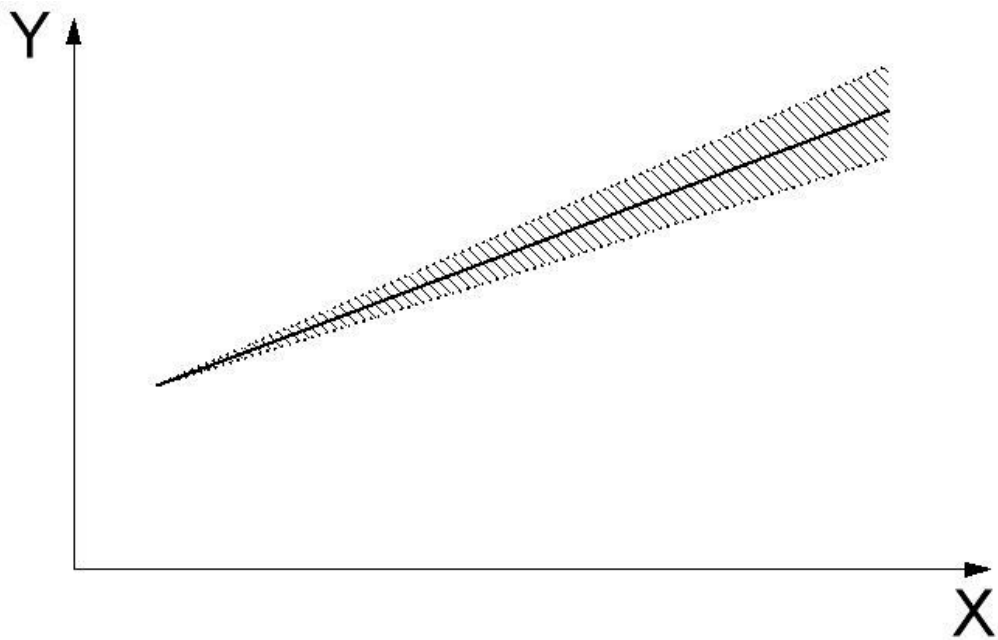


Рисунок 1.3- Мультиплікативна похибка

Крім того, існує нелінійність датчика в вимірюваному діапазоні. Залежно від поточного діапазону вимірювання, коефіцієнт нахилу передавальної функції змінюється в деяких межах. При цьому, в специфікації вказуються або криві

зміни точності за діапазоном, або гірші показники нелінійності в тому чи іншому діапазоні.

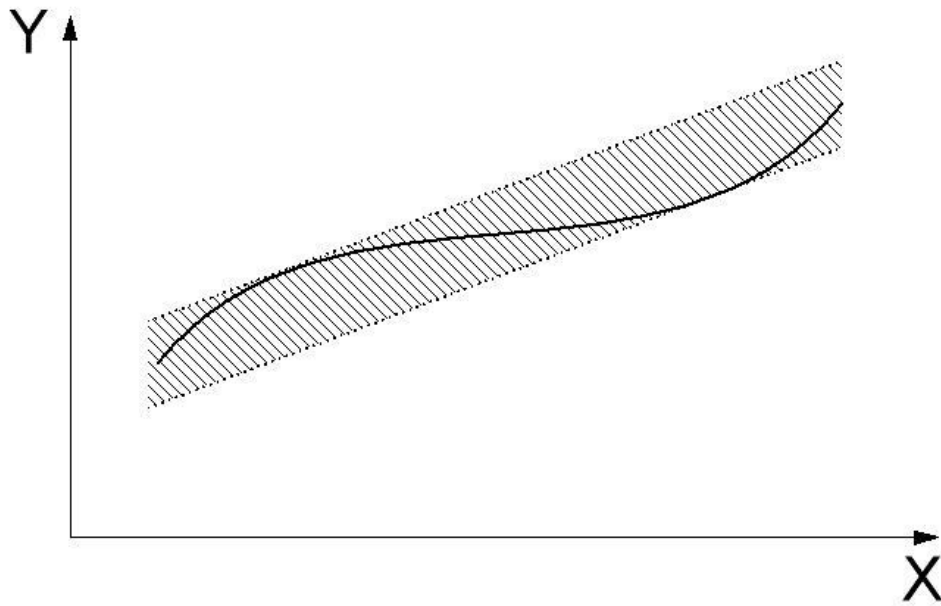


Рисунок 1.4 - Нелінійність датчика

Крім того, деякі датчики мають ефект гістерезису, коли для одного і того ж вхідного сигналу після зростання і зменшення значення вихідного сигналу виходять різними. Типовою причиною гістерезису є тертя і структурні зміни матеріалів. Найбільшому ефекту гістерезису схильні датчики на основі феромагнітних матеріалів.

Для підвищення точності і компенсації адитивної і мультиплікативної похибки може проводитися процес калібрування датчика. Наприклад, для лінійного датчика необхідно зі свідомо відомою точністю визначити показання в двох точках, що знаходяться на різних кінцях робочого діапазону. Для деяких датчиків дані калібрування можуть наводитися в паспорті на кожний конкретний екземпляр. Для проведення процедури калібрування можна скористатися більш точною апаратурою, можна скористатися еталоном (наприклад чорне тіло, еталонний кілограм і т. п.). Точність після калібрування природно не зможе перевищувати точність еталона [4].

Мертва зона датчика - це нечутливість датчика в певному діапазоні вхідних сигналів. У межах цієї зони вихідні свідчення некоректні. Такою

особливістю грішать, наприклад, деякі датчики струму, що мають нульове напруга на виході при струмах менших, наприклад, 10мА.

У всьому іншому діапазоні має місце певна чутливість датчика, тобто наскільки сильний приріст вихідного сигналу на зміна вхідного сигналу. Таким чином, чутливість визначається наступною формулою:

$$a = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

Для лінійного датчика, чутливість буде постійною на всьому вимірюваному діапазоні.

Роздільна здатність показує, наскільки мала зміна вимірюваної величини здатне викликати зміну вихідного сигналу. Наприклад, який-небудь інкрементальний датчик положення має роздільну здатність в 1 градус. Аналогові датчики мають нескінченно великою роздільною здатністю, так як в їх вихідному сигналі не можна визначити окремих ступенів його зміни.

## 1.6 Підключення пасивного датчика

Так як пасивний датчик без сторонньої допомоги у відповідь на зовнішній вплив самостійно виробляє для нас електричний сигнал, нам цей сигнал потрібно вважати.

Залежно від того, чи буде наш датчик джерелом струму або джерелом напруги, спосіб підключення буде відрізнятися.

Наприклад, термопара є джерелом напруги - напруга на виході не залежить від величини вихідного струму (в розумних межах звичайно). Наше завдання - виміряти яку вироблено ЕРС. Так як вимірювальний тракт матиме деякий кінцевий опір, схема підключення буде наступною:

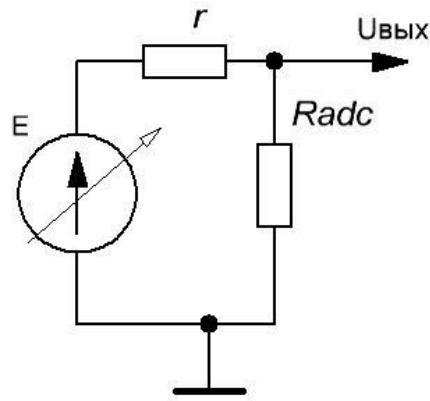


Рисунок 1.5 - Підключення джерела напруги до АЦП

Якщо  $R_{adc}$  буде багато більше внутрішнього опору  $r$ , тоді падіння напруги на ньому буде прагнути до нуля і напруга на вході АЦП буде прагнути до значення  $EPC$ .

У другій частині я детально розгляну термодпару, як один з найточніших і швидкодіючих датчиків.

Інший випадок, якщо наш датчик є джерелом струму, тобто генерується їм напруга залежить від пропускається через навантаження струму.

Підключення датчика аналогічно:

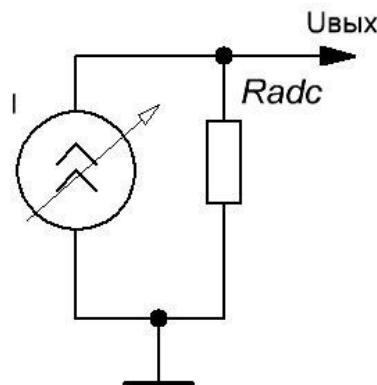


Рисунок 1.6 - Підключення джерела струму до АЦП

Однак, опір навантаження джерела струму тепер повинен наближатися до нуля. Для цього, датчик шунтується резистором необхідного опору, перетворюючи тим самим, джерело струму в джерело напруги:

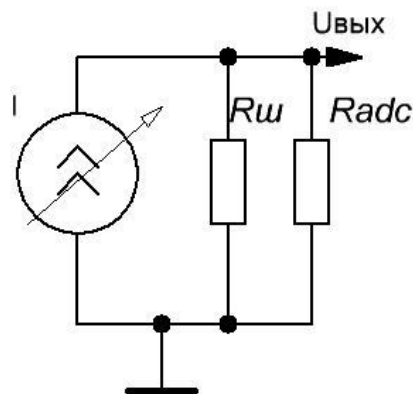


Рисунок 1.7 - Правильне підключення джерела струму до АЦП

Опір резистора  $R_{ш}$  розраховується як частка від ділення максимального напруги, що подається на вхід АЦП на максимальний струм, який здатний видати датчик

$$R = \frac{U_{max}^{adc}}{I_{max}}$$

Підключення активного датчика

Розглянемо активні датчики, що представляють собою змінний опір. Зокрема це терморезистори, тензорезистори та інші подібні датчики. Щоб опір датчика виміряти, його необхідно підключити до джерела струму і визначити падіння напруги на ньому:

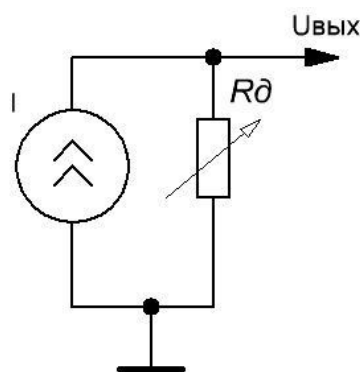


Рисунок 1.8 - Підключення датчика до нерегульованого джерела струму

Джерело струму виробляє струм постійного значення відомої величини. Тоді, вихідна напруга буде визначатися за формулою:

$$U_{\text{вих}} = I \cdot R_{\text{Д}}$$

Наприклад, розрахуємо вихідне значення напруги при струмі джерела 10мА якщо наш датчик змінює опір від 0,1кОм до 1 кОм. Тоді максимальна вихідна напруга буде дорівнювати

$$U_{\text{вих}}^{\text{max}} = 0,01 \cdot 1000 = 10\text{В}$$

Що цілком відповідає необхідному значенню напруги для аналогової системи управління на базі операційних підсилювачів [5].

Буває так що джерело струму вбудований в сам мікроконтролер. Наприклад в мікроконтролерах ADuCM360 / 361 є два вбудованих джерела струму 0,01-1мА. Правда там у них діагностична задача - подаючи малий струм через ланцюга датчика можна переконатися в його наявності та справності.

Звичайно, нам звичніше використовувати джерело напруги з подільником:

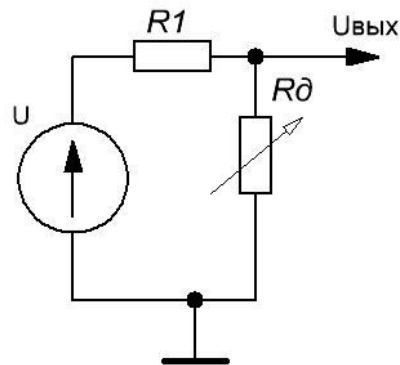


Рисунок 1.9 - Підключення датчика до джерела напруги з подільником

Якщо говорити на чистоту, то ланцюжок U-R1 утворює той же самий джерело струму, тільки його параметри залежать від навантаження - Rд. Напруга на виході буде визначатися за такою формулою:

$$U_{\text{вих}} = U \frac{R_1}{R_1 + R_{\text{д}}}$$

І тут спливає головна проблема такого методу - від опору нашого датчика в знаменнику не позбудешся ніяк і показання стають нелінійними, на відміну, до речі, від першого варіанту.

Значення опору  $R_1$  повинно забезпечувати максимальний діапазон вихідної напруги. Тобто при відомих значеннях мінімального і максимального опору датчика  $R_{d1}$  і  $R_{d2}$ ,  $\text{abs}(U_{\text{вих1}} - U_{\text{вих2}}) \rightarrow \text{max/}$

З іншого боку, максимальна вихідна напруга у нас обмежена вхідними ланцюгами вимірювального пристрою. Наприклад, на вхід мікроконтролера з живленням 5В необхідно подати напругу, наприклад, не більше 2,5 В. Зазначу, що якщо максимально можлива напруга, що подається на вхід АЦП менше напруги живлення, то ми зможемо його туди подати.

Якщо наш датчик змінює опір від 0,1кОм до 1 кОм, то прийемо опір резистора  $R_1$  рівне верхній межі опору датчика. Тоді  $U_{\text{вих}}$  зможе змінюватися в межах від  $1 / 11U_{\text{вх}}$  до  $1 / 2U_{\text{вх}}$ . В абсолютних цифрах даного прикладу - від 0,45 до 2,5 В. І такими значеннями ми використовуємо  $(2,5-0,45) / 2,5 = 82\%$  всього діапазону АЦП, що досить непогано.

Ще датчик можна увімкнути в склад вимірювального моста і вимірювати різницю напруги в його плечах:

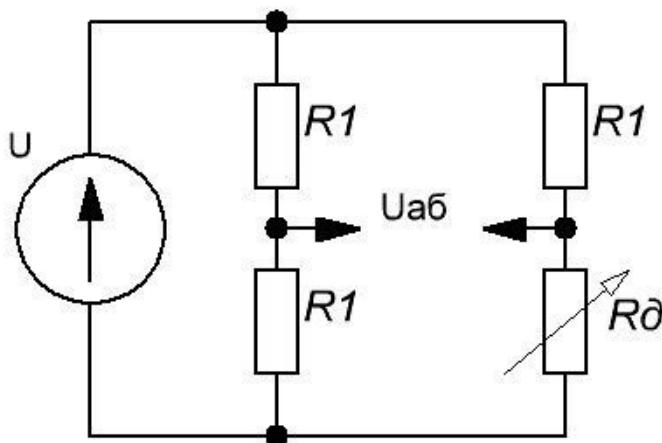


Рисунок 1.10 - Датчик в складі вимірювального моста

В цьому випадку ми працюємо з диференціальним АЦП, вимірюючи різницю потенціалів  $U_{ab}$ . Вона буде дорівнює:

$$U_{AB} = U_a - U_b = U \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{R_1}{R_1 + R_0} \right)$$

Причому опір резистора  $R_1$  може бути таким, щоб  $U_{ab}$  могло бути і негативним. Існують датчики, внутрішня схема яких вже є балансний міст з



необхідними характеристиками. Пізніше я розгляну приклади таких датчиків.

Існують більш зручні у використанні датчики. Вони видають необхідний аналоговий сигнал і без танців з резисторами. Наприклад, аналоговий датчик вологості НН-4010-004 — трьохвыводний корпус, 5В живлення, лінійний вихід. Підключається це чудо так:

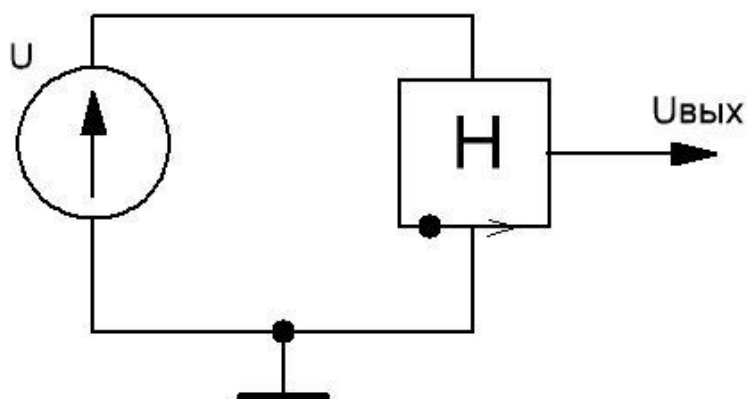


Рисунок 1.11 - Підключення датчика вологості НН-4010-004

Два дроти до джерела опорного напруги, вихід - до АЦП мікроконтролера.

Підключення цифрових датчиків за стандартом 1-Wire. Це двонаправлена низько швидкісна цифрова шина передачі даних, що вимагає всього два дроти - інформаційний провід і землю. Шина досить проста у використанні, підтримує паразитне живлення пристроїв від лінії і дозволяє підключати паралельно безліч однотипних пристроїв на зразок датчиків температури (усіма улюбленими DS18B20), або мікросхем ідентифікації (iButton) [6].

Паразитне живлення організовується наступним чином:

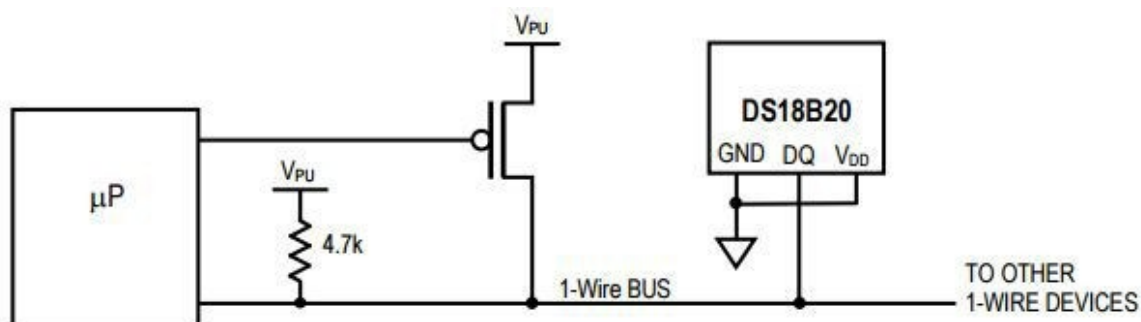


Рисунок 1.12 - Паразитне живлення пристроїв шини 1-Wire

А це звичайне активне живлення пристрою, коли до джерело перебувати на одній платі пристрою.

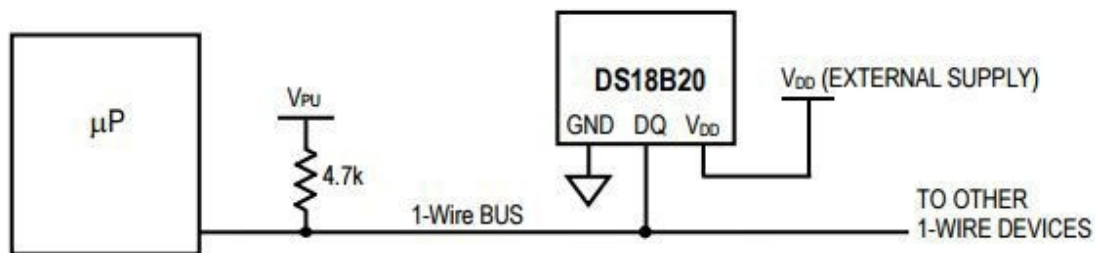


Рисунок 1.13 - Живлення пристрою 1-Wire від зовнішнього джерела

Кількість підключених паралельно датчиків фактично обмежена лише параметрами лінії.

Підключення цифрових датчиків по стандарту I2C (TWI) / SMBus. Якщо 1-Wire вимагала один провід даних, то ця шина, виходячи з назви Two-Wire Bus — два. Один з дротів - SCL буде таким, що тактується, по другому - SDA, напівдуплекс будуть передаватися дані.

Шина з відкритим колектором, отже обидві лінії необхідно підтягнути до живлення. Датчик буде підключатися як показано на рис. 1.14.

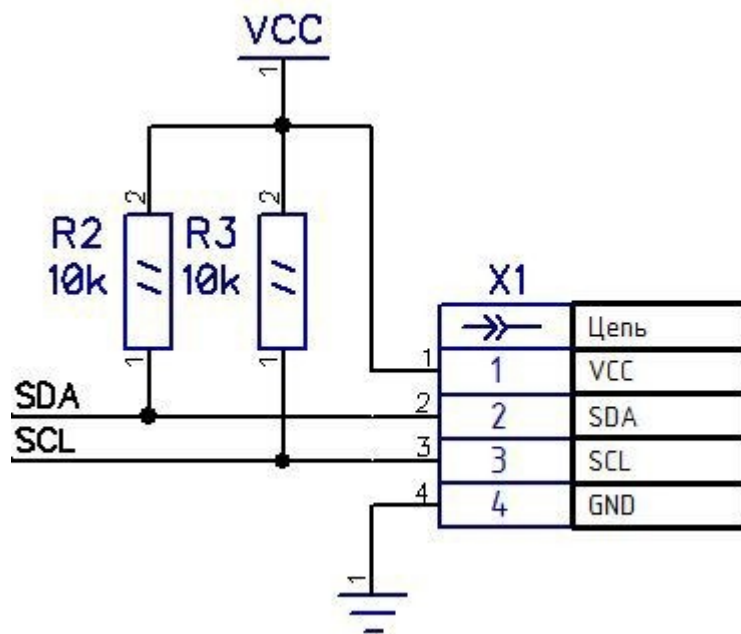


Рисунок 1.14 - Підключення датчиків по I2C

Загальна кількість пристроїв, які можна підключити до шини I2C - 112 пристроїв при 7-розрядній адресації. Кожному пристрою на ділі виділяється два послідовних адреси, молодшим бітом виставляється режим - на читання або запис. Є суворі вимоги по ємності шини - не більше 400пФ.

Загальноживані значення швидкостей - 100 кбіт / сек і 10 кбіт / сек, хоча останні стандарти допускають і швидкісні режими в 400 кбіт / сек і 3.4мбіт / сек. Шина може працювати як з незмінюваним майстром, так і з передачею прапора.

Підключення цифрових датчиків за стандартом SPI. Вимагає як мінімум три дроти, працює в режимі повного дуплексу - тобто організовує одночасну передачу даних в обидві сторони.

Лінії зв'язку:

CLK - лінія тактового сигналу.

MOSI - вихід майстра, вхід слейв

MISO - вхід майстра, вихід слейв

CS - вибір чіпа (опціонально).

Одне з пристроїв вибирається майстром. Воно буде відповідати за тактирование шини. Підключення здійснюється, як показано на рис. 1.15.

Кожний пристрій в ланцюзі містить свій зсувний регістр даних. За допомогою сигналів тактирования, через 8 тактів вміст регістрів міняється місцями, тим самим, здійснюючи обмін даними.

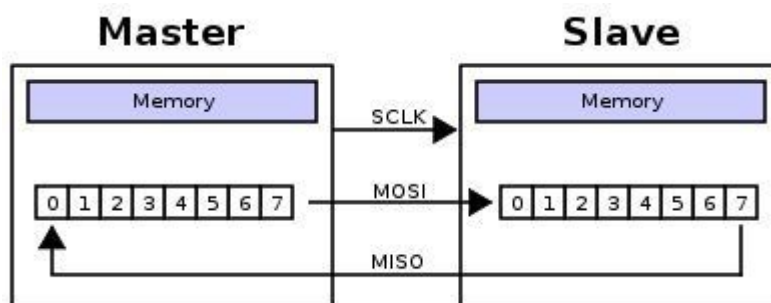


Рисунок 1.15 - Підключення по SPI і суть передачі

SPI - Самий швидкісний з представлених інтерфейс передачі даних. Залежно від максимально-можливих частот тактирования швидкість передачі

даних може становити 20, 40, 75 Мбіт / сек і вище.

Шина SPI дозволяє підключати пристрої паралельно, але тут виникає проблема - кожному пристрою потрібно своя лінія CS до процесора. Це обмежує загальну кількість пристроїв на одному інтерфейсі.

Головна складність в налаштуванні SPI - це встановити полярність сигналу тактування. Серйозно. Налаштувати SPI не просто, а дуже просто.

### 1.7 Перспективи розвитку інтелектуальних датчиків

Спостережувані в даний час тенденції розвитку інтелектуальних датчиків можна поділити на ряд напрямків, по кожному з яких в провідних приладобудівних фірмах ведуться роботи і з'являються промислові розробки, що мають успішні впровадження.

В останні роки намічається певна перспективна тенденція розробки таких методів вимірювання, які потребують суттєвого обчислювальної обробки, що реалізовується мікропроцесором в датчику. Засновані на цих методах сенсори мають такі важливі для замовників властивості:

- розташування сенсора поза вимірюваного середовища, що істотно позначається на розширенні сфери його застосування, на збільшенні стабільності показань, на полегшенні установки і обслуговування, веде до відсутності економічних втрат при його експлуатації;

- виняток в сенсорі будь-яких рухомих частин (в тому числі, електромеханічних блоків), - що підвищує надійність його роботи і спрощує його обслуговування;

- відсутність особливих вимог сенсора до конструкції об'єкта вимірювання і до характеру вимірюваного потоку в районі вимірювання, що розширює можливості використання датчиків в різних місцях об'єктів і здешевлює їх установку.

Економічна і технічна перспективність використання для широко кола промислових об'єктів бездротових датчиків безперечна. Це стосується і рухомих

об'єктів автоматизації, і об'єктів, що мають значну розподіленість в просторі. Практично, в бездротових інтелектуальних датчиках до всіх наявних у них функцій додають функцію телемеханічної радіозв'язку з іншими засобами автоматики (зазвичай, з контролерами, також оснащеними блоками радіозв'язку).

Принципово, широкий розвиток бездротових датчиків сьогодні ще стримується досить високою вартістю систем радіозв'язку, що існують. Передумовами розвитку зазначених типів датчиків служать з одного боку спостерігається зниження вартості радіотехнічних пристроїв і підвищення їх якості, а з іншого боку виникає економія витрат на дротовий зв'язок.

При використанні бездротового зв'язку розробниками проглядаються наступні стратегії поділу радіоканалів:

- множинний доступ в тимчасовій області (TDMA). Кожен датчик отримує свій часовий інтервал, протягом якого він може передавати інформацію;

- множинний доступ в частотній області (FDMA). Кожен датчик передає інформацію на відведеній йому частоті;

- множинний доступ з кодовим поділом (CDMA). Кожен датчик має свій код, причому коди корельовані, що дозволяє придушувати будь-які сигнали - обурення, які при цьому сприймаються приймачем як білий шум.

Поруч фірм намічається випуск бездротових датчиків і інших пристроїв автоматики, які будуть підтримувати бездротову технологію Bluetooth.

Дуже перспективним напрямком є розробка мініатюрних датчиків. Широке поширення таких датчиків в майбутньому докорінно змінить структуру нижнього рівня систем автоматизації. Воно дозволить випускати промислове обладнання з вбудованими в нього датчиками, завдяки чому самі засоби автоматизації стануть не зовнішніми доповненнями технологічного процесу, а його невід'ємними частинами.

Фірмами робляться пілотні розробки датчиків об'ємом в кілька мм<sup>3</sup> для вимірювання температури, тиску, вологості, інших параметрів середовища. У цей обсяг входить як сам сенсор, так і необхідний обчислювальний ресурс для

перетворення вимірюваного сигналу в цифрову форму, його обробки і передачі в польову мережу. Створення мініатюрних датчиків можливо на базі ряду сучасних і частково нових методів вимірювання і паралельно веде до збільшення точності і якості роботи приладів.

Немає принципових труднощів у підключенню до одного перетворювача декількох сенсорів, які вимірюють різні величини (в ряді датчиків це вже реалізується). У той же час деякі методи вимірювання дозволяють одному сенсора визначати кілька вимірюваних величин (так витратомір Коріоліса одним сенсором визначає масову витрата і щільність потоку). Датчик, який видає інформацію про поточні значення ряду вимірюваних величин, у багатьох промислових застосуваннях буде і економічно і технічно істотно більш ефективний, ніж використовується для цих же цілей група датчиків окремих вимірюваних величин [2].

Рівень «інтелектуальності» датчиків з часом все більше підвищується, датчики стають все більш багатофункціональними засобами автоматизації, для яких сам термін «датчик» стає все більш неповним і умовним. Перспективні розробки включають в себе:

- адаптивні датчики;
- Датчики, що прогнозують значення вимірюваних величин;
- Датчики, що мають власні сховища вимірюваної інформації і виробляють досить складну і об'ємну обробку даних вимірювання;
- Датчики з повною самодіагностикою. Зокрема, повідомляють не тільки про вже виникли збої і несправності, а й видають прогноз по їх можливої некоректної роботи і дають рекомендації по їх техобслуговування;
- Датчики, виконують все більший обсяг завдань із розрахунку необхідних показників контрольованого процесу, по виявленню в ньому заданих подій, з виконання різних законів регулювання і логічного керування.

При виборі конкретного ПТК замовнику важливо знати загальні тенденції їх розвитку, щоб не придбати морально застарілий комплекс. Дійсно, якщо навіть обраний ПТК задовольняє всім сьогоdnішнім вимогам по автоматизації

конкретного об'єкта, але він недостатньо сучасний, то це може в подальшому при його експлуатації (а термін служби придбаного комплексу не менше 10 років) привести до небажаних наслідків:

- утруднене при його модернізаціях, розширенні, зв'язках з іншими приладами і системами, які можуть бути придбані в майбутньому;

- вади можливостей при необхідності впровадження в подальшому більш досконалих алгоритмів;

- підвищення витратами на обслуговування при майбутньої експлуатації комплексу.

Зважаючи на це необхідно при оцінці різних комплексів на етапі їх вибору для замовлення мати чіткі уявлення про сучасність пропонованих варіантів, а значить враховувати світові тенденції їх розвитку, що існують.

Сьогодні ринок засобів автоматизації виробництва характеризується такими рисами:

- надзвичайно висока конкуренція сотень фірм, що випускають різні засоби автоматизації і поширюють їх в різних країнах. Повна відсутність будь-яких «національних» особливостей у коштів, що випускаються фірмами різних країн;

- наявність на ринку як дуже великих міжнародних концернів, так і досить дрібних системних інтеграторів, що випускають продукцію одного класу і близького якості;

- надзвичайно швидкий прогрес розвитку мікропроцесорних засобів, що дозволяє виробникам ПТК проводити модернізацію випускаються технічних засобів кожні кілька років;

- існування багатьох впливових міжнародних організацій та об'єднань найбільших фірм, що працюють в області уніфікації засобів автоматизації.

Всі ці риси визначають основні властивості кращих випускаються різних програмних і технічних засобів: вони не вимагають обов'язкової повної заміни старих систем, порівняно легко взаємодіють з різними засобами інших фірм, все

більш прості в розробці, впровадженні та експлуатації. Подальше вдосконалення цих властивостей буде спостерігатися і в найближчі роки.

На нижньому рівні управління - рівні, що об'єднує окремі контролери з виносними блоками вводу / виводу і з інтелектуальними приладами (датчиками і виконавчими механізмами) - в останні роки почали відбуватися великі зміни. Ці зміни з одного боку обумовлені загальними тенденціями стандартизації різних класів засобів автоматизації, а з іншого боку - зі збільшенням потужності і паралельним здешевленням мікропроцесорів, вбудованих в окремі прилади (після чого вони і набувають прикметник "інтелектуальні").

Дуже перспективним технічно і вигідним економічно є зв'язок інтелектуальних датчиків і виконавчих механізмів з контролерами через цифрову польову шину. Це виключає спотворення низьковольтних аналогових сигналів в ланцюгах зв'язку контролерів з приладами, що виникають від різних промислових електромагнітних завад; суттєво економить кошти на кабельну продукцію, дозволяючи до однієї шини підключати ряд приладів; має ще ряд переваг, які перераховуються нижче при розгляді конкретних типових польових шин.

Природно, що для можливості з'єднання контролерів ВТК з приладами різних фірм потрібна стандартизація польовий шини. Такий типовий протокол - HART-протокол - був створений більше 10-ти років тому і значне число фірм, що випускають ПТК і прилади, його підтримують.

Основні параметри HART-протоколу:

-довжина польової шини до 1.5 км;

-швидкість передачі даних -1.2 Кбіт / сек;

число приладів, які можна під'єднати до однієї шині - 5-15 (зазвичай до 8-ми приладів).

HART-протокол дозволяє:

-Проводити настроїти датчиків на потрібний діапазон виміру через польову шину;



-не підводити до датчиків окремі лінії електроживлення і не мати в них блоків живлення, а електроживлення датчиків реалізовувати через польову шину від блоків живлення в контролері;

-збільшити інформаційний потік між контролером і приладами, зокрема, при наявності самодіагностики в приладах передавати повідомлення про виникнення їх несправностей і вигляді цих несправностей по польовій мережі, а далі від контролера оператору [1].

Останнім часом спостерігається також тенденція більш повно і раціонально використовувати зростаючу потужність мікропроцесорів, вбудованих в інтелектуальні прилади та в інтелектуальні блоки введення / виводу. Ця тенденція привела до появи ідеології Fieldbus Foundation, яка ставить собі за мету перенос типових алгоритмів переробки вимірювальної інформації (фільтрації, масштабування, лінеаризації і т. інш.), Регулювання (стабілізації, стеження, каскадного управління і т. інш.), Логічного управління (пуску, зупинки, блокування групи механізмів і т. інш.), на найнижчий рівень управління: рівень інтелектуальних блоків введення / виводу, інтелектуальних приладів (датчиків і виконавчих механізмів). Для реалізації цієї ідеології розроблена нова за можливостями і параметрами стандартна польова мережа Foundation Fieldbus. Яка поступово завойовує все більше місце в продукції різних фірм. Дана мережа дозволяє реалізовувати всі функції, властиві HART-протоколу, і, крім того, по спеціальним технологічним мов спілкування з приладами дозволяє через цю мережу програмувати конкретні алгоритми контролю і управління, які закладаються в прилади.

Подальше поглиблення і розширення описаних тенденцій розвитку ПТК має привести:

- до зростання числа спеціалізованих фірм, що випускають не власними ПТК, а їх стандартизовані програмні і технічні модулі і окремі елементи:

- до збільшення числа і посилення ролі системних інтеграторів на ринку засобів і систем автоматизації;

- до підвищення якості, здешевлення і спрощення обслуговування окремих програмних і технічних засобів ПТК;
- до спрощення всіх робіт з модернізації та розширенню систем, що існують, контролю і управління на виробництві;
- до полегшення стикування будь-яких знову закупаваних програмних і технічних засобів автоматизації з наявними системами автоматизації на підприємстві.

## 2 ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ

В інформаційно-керуючих системах складних рухомих об'єктів, таких як літаки, вертольоти, складна наземна важка техніка, автокрани, трубоукладчики і т. інш., зараз використовуються конструктивно і функціонально закінчені датчики вимірювання всіляких фізичних величин з різними цифровими інтерфейсами.

До них відносяться датчики лінійних і кутових переміщень, в тому числі і БКВ (безконтактні кінцеві вимикачі) на індуктивному, місткості, магнітному та ультразвуковому принципах вимірювання, датчики зусиль, тиску і механічної напруги, теж засновані на різних фізичних принципах, витратоміри рідин і газів, рівнеміри і датчики вимірювання обсягів, кутових і лінійних прискорень, датчики хімічних речовин, зокрема селективні.

У міру розвитку мікроелектроніки, наприклад елементної бази для обробки сигналів датчиків, і ускладнення систем управління об'єктами все більшого розвитку отримують віддалені інтелектуальні прилади та виконавчі механізми. З метою уніфікації різноманіття датчиків і зниження вартості комплектації і регулювання систем управління об'єктами підвищеної складності до датчиків висуваються вимоги щодо нормалізації і лінеаризації вихідного сигналу, а також по уніфікації інтерфейсу в частині методу кодування і протоколу передачі даних [3].

На сьогодні виникла потреба у формуванні елементної бази, яка могла б дозволити створювати «розумні» периферійні пристрої - всілякі датчики фізичних величин з вбудованою цифровою корекцією і нормалізацією вихідного сигналу під стандартні інтерфейси, інтелектуальні силові ключі з елементами захисту та самотестування, інтелектуальні приводи на основі електронно - механічних приводів і інші периферійні інтелектуальні виконавчі пристрої. Таким чином, відбувається децентралізація систем управління, що призводить до підвищення надійності та зменшення масогабаритних показників систем

управління об'єктами.

Загальні вимоги до елементної бази рухливих об'єктів

Головна відмінність елементної бази рухливих об'єктів - якість. Нижче наведена таблиця 2.1 основних показників (вимог) до електроніки для різних областей застосування [2].

Таблиця 2.1 - Стандартні умови роботи для різних електронних систем

показник	споживча електроніка	промислова електроніка	Автомобільна електроніка
Температура, °C	0...+40	-10...+70	-40...+160
Строк служби, лет	2-5	5-10	До 15
вологість	Низка	Довкілля	От 0 до 100%
Термін постачання (запчастинами), років	В середнем 1	2-5	До 30
Допустима інтенсивність відмов, %	<10	<<1	Цель: 0

З таблиці 2.1 видно, що найвищі вимоги пред'являються до автомобільної електроніки. Аналогічні вимоги поширюються і на інші рухомі об'єкти, що в першу чергу пов'язано з безпекою руху, оскільки на відміну від об'єктів промисловості вони пов'язані з присутністю людей, іноді у великій кількості, як, наприклад, в громадському транспорті. Однак габарити і умови експлуатації часто не дозволяють створювати резервовані системи в повному обсязі, а також системи усунення наслідків аварій, скажімо системи пожежогасіння і подібні автономні системи.

Тому за своєю архітектурою системи управління рухомими об'єктами в першу чергу спрямовані на запобігання аваріям і в другу - на зменшення їх наслідків. Створення таких систем вимагає постійно зростаючої кількості всіляких датчиків, наприклад автономних датчиків тиску в шинах автомобіля, з розвиненою системою самодіагностики і діагностики при технічному обслуговуванні фахівцями невисокої кваліфікації, з можливістю обслуговування в польових умовах.

## 2.1 Розвиток мікросхем для датчиків

У сучасних системах збору та обробки інформації число різних автономних датчиків, що поставляють телеметричну інформацію про поточний стан об'єктів управління, неухильно підвищується. Безперервно збільшується їх точність і швидкодію. Інтенсивнішими стають потоки інформації, що надходять від датчиків до вищих системи управління. У міру зростання продуктивності мікроконтролерів і зниження їх вартості з'являються замкнуті локальні системи управління окремими модулями технологічних систем. Виникають роботизовані пристрої, які можуть діяти автономно або під управлінням глобальних команд з зовнішньої системи управління.

Розвиток подібних систем неможливо без вдосконалення інтелектуальних датчиків, здатних легко включатися в системи збирання даних. Іншими словами, сучасні датчики повинні володіти розвинутими інтерфейсами і нормованими (стандартизованими) форматами передачі даних.

Крім того, з проникненням мікропроцесорних систем управління в усі менш габаритні об'єкти управління вимоги по масогабаритні характеристики і надійності до цих приладам постійно зростають.

Стрімко стали розвиватися датчики на основі мікромеханічних систем (МЕМС). Як приклад таких датчиків можна назвати 6 і навіть 9-осьові МЕМС-датчики положення, що вимірюють кутові і лінійні прискорення і магнітне поле за трьома координатами. Є й аналогічні за габаритами і точності МЕМС-датчики інших фізичних величин.

У той же час існує і безперервно зростає потреба в датчиках фізичних величин, що володіють підвищеною точністю вимірювання в порівнянні з МЕМС, або що відрізняються підвищеною стійкістю до ВВФ, або вимірюють фізичні величини, поки недоступні для МЕМС.

Розвиток мікросхем для датчикової тематики пройшло три стадії:

1. Прості аналогові мікросхеми з одноразовою калібруванням параметрів. Більшість мікросхем масового виробництва випускаються по такій архітектурі. До них можна віднести всілякі вимірювачі на основі елементів Холла (датчики

струму і положень).

2. Мікросхеми з вбудованими кінцевими автоматами, які реалізують коригувальні поліноми. До них відносяться мікросхеми, призначені для обробки сигналів датчиків на основі мостових резистивних чутливих елементів. Як правило, такі мікросхеми використовуються для корекції мікросхем з відхиленням від лінійності не більше  $\pm 5\%$ , або вони мають великий масив ПЗП для організації кусочно-лінійної апроксимації з кількістю ділянок апроксимації 100 і більше.

3. Мікросхеми з вбудованими мікроконтролерами. Найчастіше на основі цих мікросхем можна побудувати конструктивно і функціонально закінчений датчик з вбудованими інтерфейсами [6].

## 2.2 Приклади структур мікросхем для обробки сигналів датчиків

Прості аналогові мікросхеми з одноразовою калібруванням ACS713. Мікросхема є датчик струму з вбудованим вимірювальним провідником. Величина вимірюваного струму - до 30 А. Структурна схема мікросхеми показана на рис. 2.1 [1].

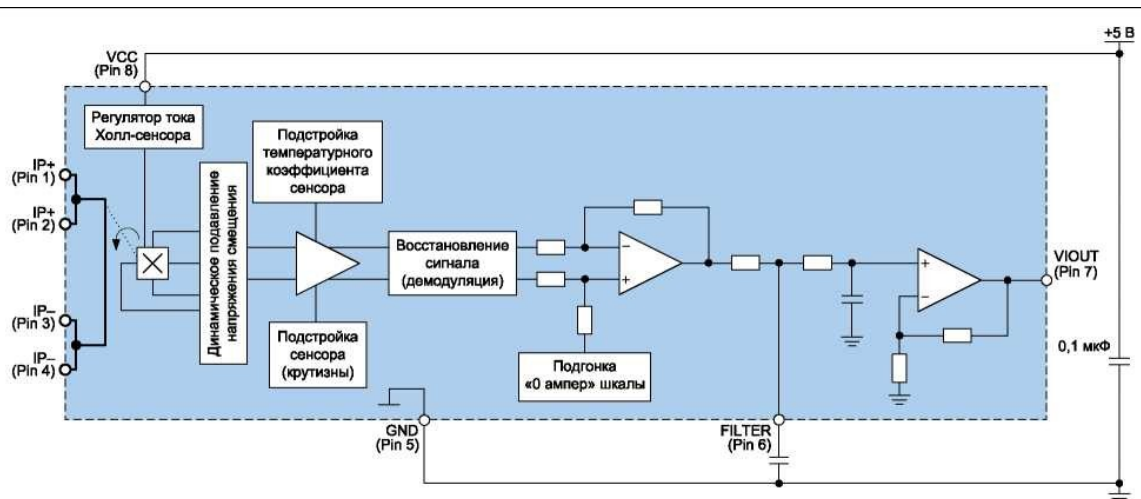


Рисунок 2.1 - Структурна схема мікросхеми ACS713

Так як не вказана методика калібрування, а на схемі зображені вузли температурної компенсації, регулювання крутизни і зміщення «0», то можна припустити, що калібрування виконується одноразово за допомогою лазерної

підгонки.

Особливістю мікросхеми є вузол Chopper Stabilization, що дозволяє компенсувати технологічні і температурні похибки елемента Холла (рис. 2.2).

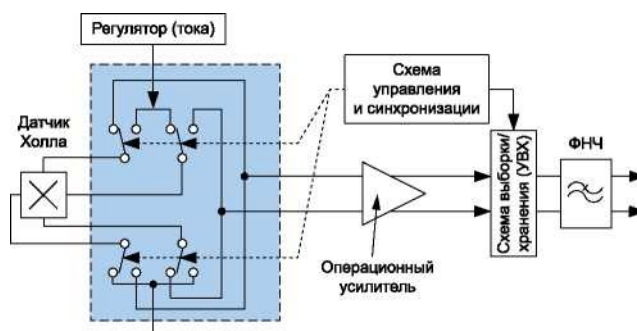


Рисунок 2.2 - Принцип обробки сигналу магнітного датчика в мікросхемі ACS713

### 2.3 Мікросхеми з вбудованими цифровими автоматами

Мікросхема MAX1455 (рис. 2.3) призначена для обробки сигналів резистивних датчиків і забезпечує посилення сигналу датчика, його нормалізацію і температурну компенсацію.

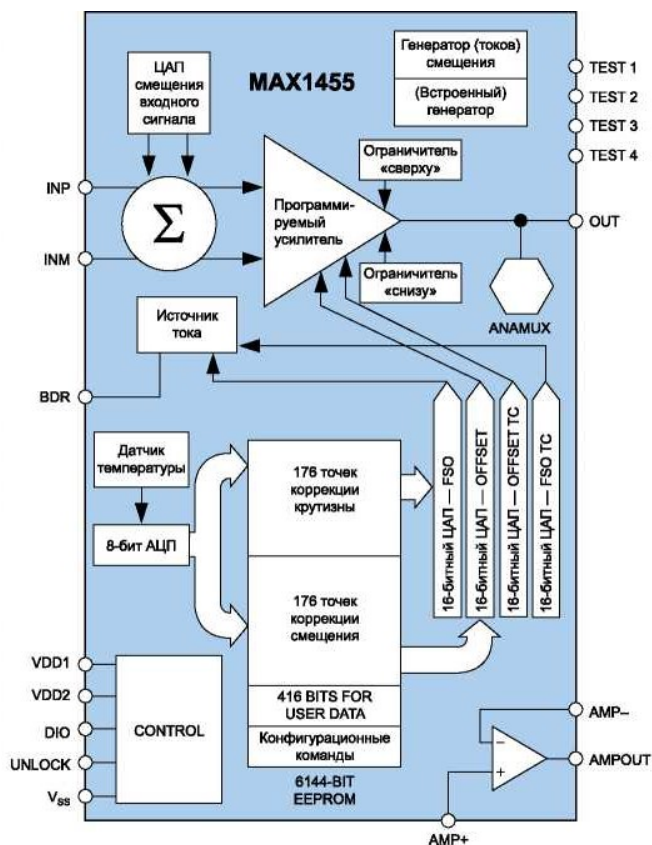


Рисунок 2.3 — Структурна схема MAX1455

Містить прямий аналоговий канал від входу до виходу з цифровою корекцією коефіцієнта посилення і напруги зсуву, а також зміщення сигналу датчика в середину лінійної зони передавальної характеристики мікросхеми. Також мікросхема має програмований генератор струму живлення датчика, датчик температури з 8-розрядним АЦП і 16-розрядний цифровий автомат корекції сигналу мікросхеми з 6144-біт EPROM. Температурна корекція здійснюється в діапазоні  $-40 \dots + 125$  °C.

Програмування виконується за оригінальним Однопровідна інтерфейсу, що поставляється разом з мікросхемою. Бібліотека програмного забезпечення, крім підтримки обчислення поправочних коефіцієнтів, включає типові характеристики більш ніж на 2000 первинних датчиків від різних виробників. Така підтримка сприяє розширенню сфери застосування мікросхеми [1].

Недоліком мікросхеми є необхідність зняття не менше 176 точок по температурі і відсутність корекції нелінійності характеристики первинного датчика, таким чином, мікросхема ефективно може використовуватися тільки з високолінійний датчиками, наприклад тензорезистивного кремнієвими датчиками тиску.

Оригінальна мікросхем MLX90308a, що дозволяє на її основі виконати датчик з струмовим виходом 4-20 mA. Структурна схема показана на рис. 2.4. Архітектура мікросхеми нагадує структуру MAX1455 з тією відмінністю, що замість цифрового автомата використовується 8-розрядний мікроконтролер сімейства LX11.

Дана архітектура здатна більш гнучко використовувати наявні в мікросхемі аналогові вузли. Крім організації наскрізного аналогового каналу з цифровою корекцією, мікросхема має широкі можливості по організації видачі сигналу датчика. У тому числі і отримати струмовий вихід, як це показано на рис. 2.5. Мікросхеми на основі час-цифрових перетворювачів (TDC) знайшли своє місце в системах точного обліку будь-яких фізичних параметрів, повільно змінюються в часі. До таких параметрів можна віднести витрата (швидкість потоку), температуру та інші аналогічні характеристики.



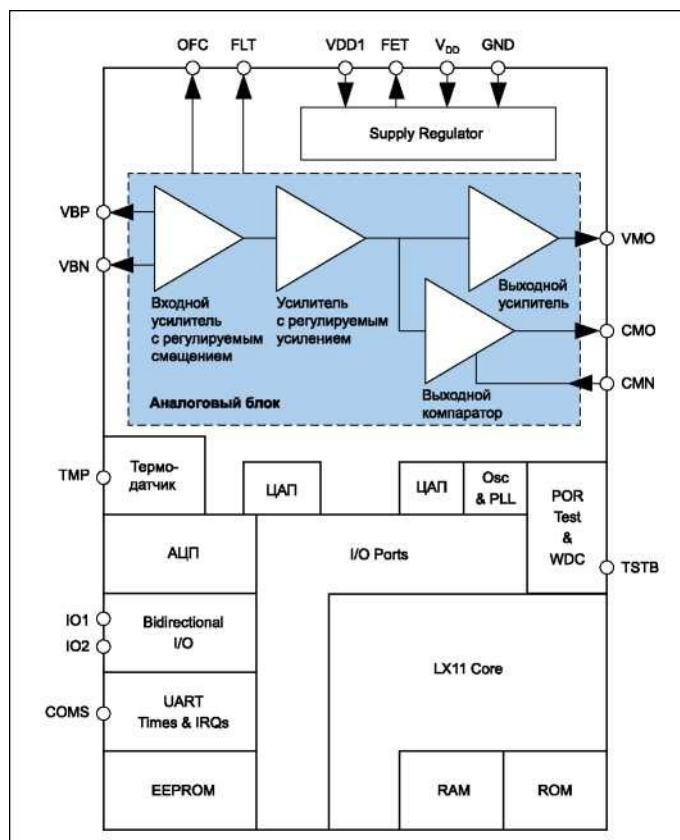


Рисунок 2.4 - Структурна схема мікросхеми MLX9030

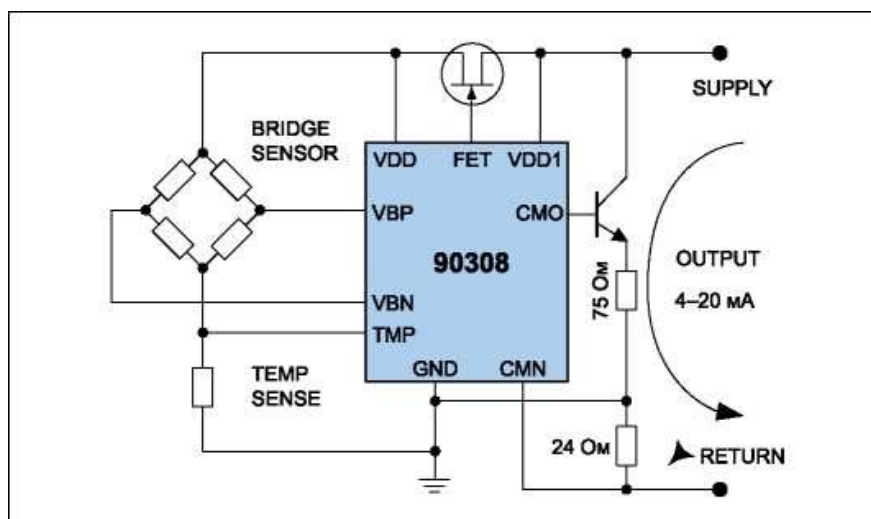


Рисунок 2.5 — Токівий вихід на мікросхемі 90308

В основному подібні мікросхеми використовуються в різних областях метрології та дуже рідко в якості вимірювання динамічних параметрів рухомих об'єктів. Найбільш широко такі мікросхеми представлені фірмою ACAM. Коротко принципи роботи TDC описані в роботі [6].

Мікросхема TDC-GP22 - яскравий приклад мікросхем на основі час-цифрових перетворювачів. Вона містить 4 канали TDC, розвинену систему таймерів і обробки переривань, мікропроцесор, здатний обробляти дані розміром до 32 розрядів, а також ряд допоміжних аналогових вузлів. Схема включення мікросхеми показана на рис. 2.6.

Подібна архітектура робить мікросхему при її високій точності вимірювання неперевершеним лідером по споживаній потужності. Наприклад, в режимі лічильника теплової енергії середній струм споживання мікросхеми не перевищує 80 мкА, при цьому часовий генератор витрачає лише 500 нА.

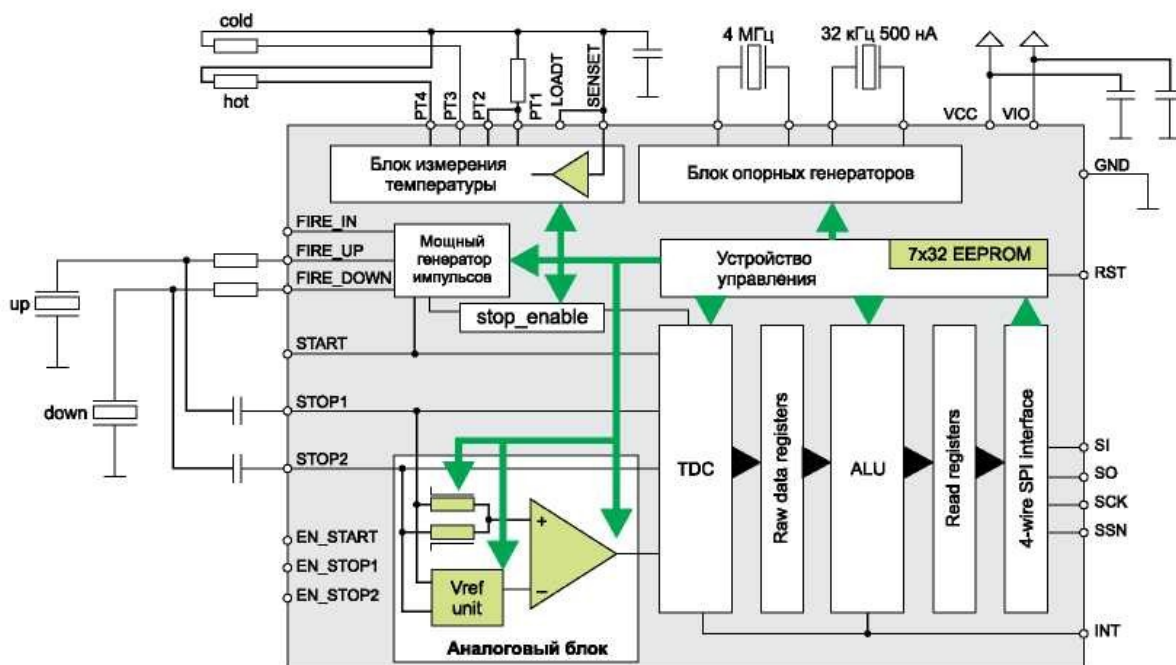


Рисунок 2.6 — Структура мікросхеми TDC-GP22

TDC-GP22 має дозвіл по температурі на рівні  $0,004^{\circ}\text{C}$  (з платиновим датчиком) і не менше 20 розрядів по ультразвуковим датчикам витрати. Детальний опис мікросхеми знаходиться в документі [7].

Всього фірма ACAM пропонує більше 20 типів мікросхем, заснованих на сучасних методах вимірювання фізичних величин. Проте ACAM не єдина фірма, що випускає мікросхеми TDC. Компанія MAXIM виготовляє мікросхему

MAX35101, схожу за характеристиками з TDC-GP22, але без вбудованого мікропроцесора і з дещо більшим споживанням струму (рис. 2.7).

На її основі спільно з мікросхемою мікропроцесора з вмонтованим радіоканалом можна виконати автономний датчик з тривалим терміном роботи.

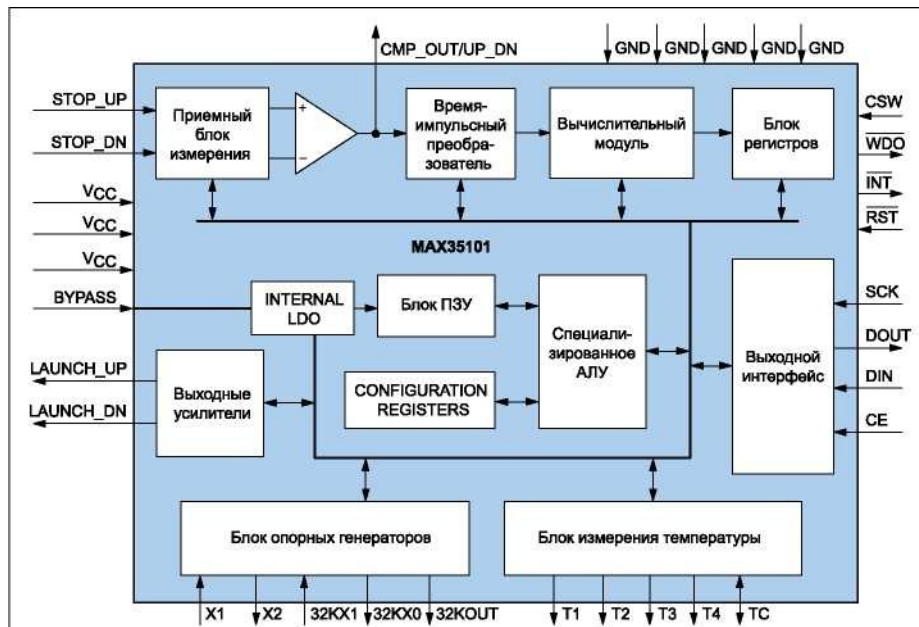


Рисунок 2.7 — Структура мікросхеми MAX35101

Зазвичай первинні перетворювачі генерують дуже слабкі сигнали, які повинні оброблятися оптимізованими інтерфейсними схемами, щоб забезпечити адекватне посилення без внесення шумів, що погіршують точність вимірювань. Датчики часто розміщуються далеко від схем цифрової обробки, при цьому розробник стикається з вимогами забезпечення захисту від електромагнітних завад, гальванічної ізоляції і малого споживання енергії. Крім вимог до тракту проходження сигналу, іноді пред'являють жорсткі вимоги до живлення, комунікаційним інтерфейсам (між приладами / системами) і до захищеності передачі даних.

Компанія Maxim пропонує інтегральні схеми, в яких враховані всі аспекти, що мають відношення до роботи з сигналами первинних перетворювачів: від попередньої обробки до фіксації, від передачі до часових параметрів, від живлення до характеристик точності. Досить імовірно, що саме

рішення від Maxim буде тим рішенням, яке потрібно для вашого пристрою, що працює з датчиками [7].

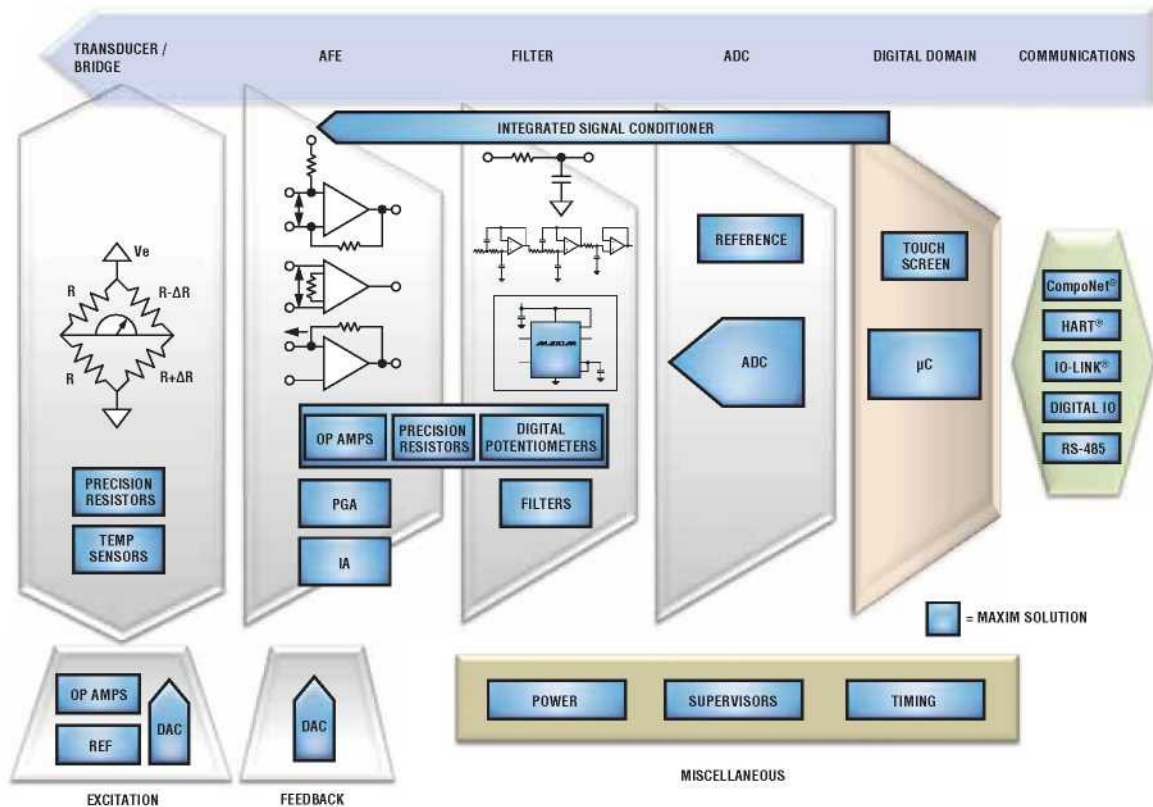


Рисунок 2.8 - Блок-схема базової вимірювальної системи для промислових процесів.

2.4 Список рекомендованих компанією Maxim рішень для систем вимірювань

#### 2.4.1 Датчики тиску і ваги (динамометричні вимірювання)

Необхідність вимірювання тиску і ваги - дуже поширене вимога до сучасних технологічних систем управління і моніторингу. Вимірювання тиску особливо важливо, оскільки у спосіб воно також використовується для вимірювання витрати, висоти та інших параметрів. Прилади вимірювання тиску та ваги можна вважати датчиками діючої сили, оскільки саме діюча сила є тією величиною, яка визначає вихідний сигнал первинного перетворювача. Область застосувань датчиків діючої сили величезна і простягається від вакуумметрів до вагового обладнання, промислового гідравлічного обладнання і датчиків абсолютного тиску у впускному колекторі двигунів внутрішнього згорання.

Залежно від додатків, до датчиків тиску і ваги пред'являють найрізноманітніші вимоги

по точності вимірювань і вартості. Хоча існує кілька методів і технологій вимірювання тиску і ваги (вимірювання сили), найбільш використовуваним для цих цілей вимірювальним елементом є тензометричний датчик. Найбільш поширені два типи тензометричних датчиків.

До першого типу відносяться різноманітні датчики тиску / ваги з первинними перетворювачами з металевої фольги. Другий тип - широко застосовуються для вимірювання тиску датчики з п'єзорезистивного напівпровідниковими первинними перетворювачами. У порівнянні з первинними перетворювачами з металевої фольги п'єзорезистивного перетворювачі характеризуються більшою чутливістю і кращою лінійністю, але при цьому вони сильніше схильні до впливу температури і мають великі початкові зміщення.

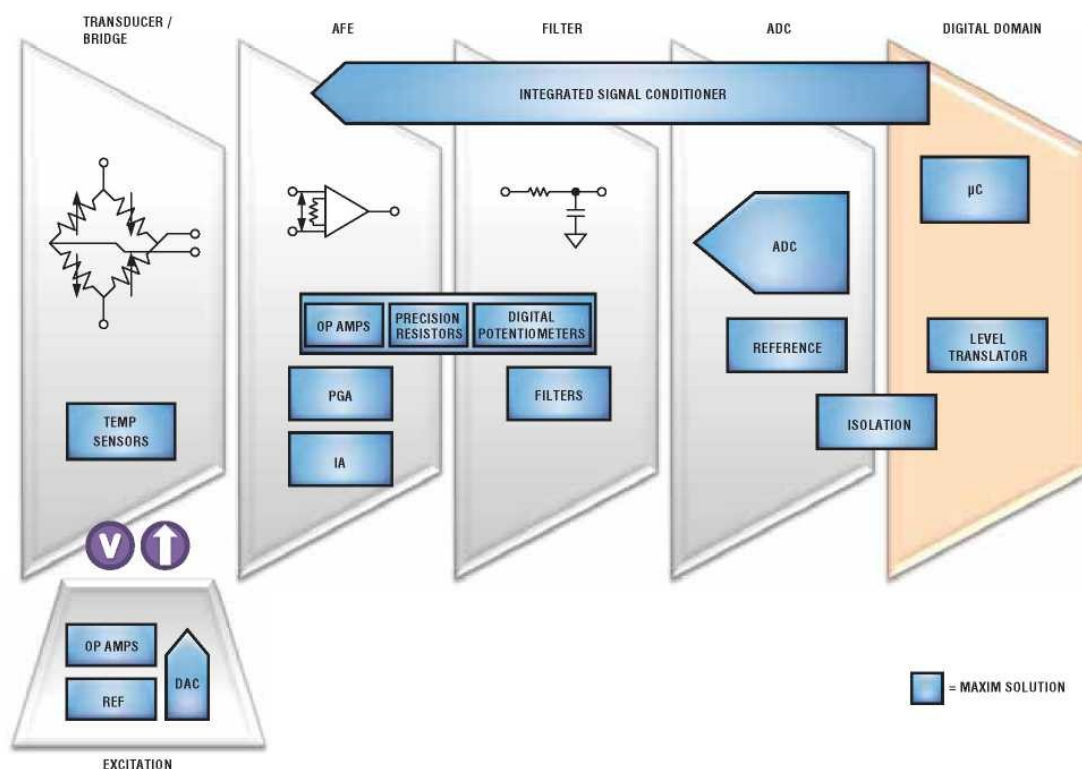


Рисунок 2.9 - Блок-схема ланцюга обробки сигналу в динамометричних додатках

В принципі, все тензометричні елементи реагують на додаток сили однаково: зміною опору. Тому при наявності електричного збудження вони ефективно перетворюють тиск або вага в електричний сигнал. Зазвичай один, два або чотири таких активних резистивних елемента (тензометра) включають за схемою моста Уїтстона (іноді званої динамометричної осередком). На виході моста у відповідь на зміну тиску або ваги виробляється диференціальне напруга.

Інженерам доводиться розробляти сенсорні модулі відповідно до унікальними вимогами різних додатків, в яких необхідно проводити динамометричні виміри. Успішна конструкція складатиметься з відповідного чутливого елемента, що реагує на вимірювану фізичну величину, і з належним чином спроектованої ланцюга обробки сигналу чутливого елемента (сигнальної ланцюга).

Ланцюги обробки сигналів первинних перетворювачів повинні вміти працювати з надзвичайно малими сигналами в присутності шумів. Для точного вимірювання змін напруги на виході резистивного первинного перетворювача потрібно така схема, яка забезпечує високоточне виконання таких функцій: збудження, посилення, фільтрацію і збір даних. У деяких випадках можуть також знадобитися цифрова обробка сигналів (ЦОС), компенсація похибок, цифрове посилення і можливість програмування користувачем.

Для збудження первинних перетворювачів зазвичай використовуються точні і стабільні джерела струму або напруги з малим температурним дрейфом. По відношенню до збудливій джерела вихідний сигнал датчика є логометричним (зазвичай виражається в мВ / В). Отже, в конструкції зазвичай є загальне опорна напруга для аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і схеми збудження, або напруга збудження використовується в ній в якості опорного напруги для АЦП. Для точного вимірювання напруги збудження можуть використовуватися додаткові канали АЦП.

Первинний перетворювач / міст - як коротко говорилося раніше, ця частина сигнальної ланцюга складається з тензометричних первинних

перетворювачів, що утворюють спільно динамометричних осередок (у вигляді моста Уїтстона).

У деяких випадках діапазон вихідної напруги первинного перетворювача вкрай малий, що вимагає дозволу на рівні нановольт. У таких випадках вихідний сигнал первинного перетворювача повинен бути посилений перед його подачею на входи АЦП. Щоб не вносити похибок на етапі посилення, слід вибирати мало-шумливі підсилювачі (LNA - Low- Noise Amplifiers) з надзвичайно низькою напругою зміщення (VQS) і низьким температурним дрейфом напруги зсуву. Недолік моста Уїтстона полягає в тому, що синфазна напруга на його виході набагато більше, ніж напруга корисного сигналу.

Це означає, що малешумні підсилювачі повинні також володіти чудовим коефіцієнтом ослаблення синфазних сигналів (Common-Mode Rejection Ratio), зазвичай більше 100 дБ. При використанні АЦП з несиметричними (single-ended) входами потрібне введення додаткової схеми, яка повинна видалити з оброблюваного сигналу великі синфазних складові перед його дискретизацією. До того ж, оскільки смуга пропускання сигналу мала, похибки може вносити Vf-складова шуму підсилювачів. У зв'язку з цим часто використовують підсилювачі постійного струму зі стабілізацією нуля перериванням (chopper-stabilized amplifiers). Деяких з цих суворих вимог до параметрів підсилювача можна уникнути, якщо використовувати малу частину від повного діапазону АЦП з дуже високою роздільною здатністю.

При виборі АЦП звертайте увагу на такий параметр, як вільний від шуму діапазон або ефективне дозвіл, який показує, наскільки добре АЦП може розрізняти фіксовані рівні напруги на вході. Альтернативними параметрами можуть бути вільні від шуму відліки або коди всередині діапазону. У технічних описах більшості високоточних АЦП ці параметри наводяться у вигляді таблиці значень розмаху (peak-to-peak) або середньоквадратичної напруги шумів в залежності від швидкості виконання перетворень; іноді наводяться шумові гістограми.

При виборі АЦП треба також дивитися, щоб він мав низьку похибкою зміщення, низьким температурним дрейфом і хорошою лінійністю. У деяких додатках, де потрібно мале енергоспоживання, важливим критерієм вибору може стати параметр, що характеризує залежність енергоспоживання АЦП від швидкості перетворень.

Первинні перетворювачі зазвичай мають досить вузьку смугу пропускання сигналу і високу чутливість до шумів. У зв'язку з цим для зниження сумарного шуму корисно обмежувати смугу пропускання сигналу за допомогою фільтрації. Використання сигма-дельта АЦП може спростити завдання фільтрації шумів, оскільки сама архітектура таких АЦП передбачає надмірну дискретизацію.

Після попередньої аналогової обробки «захоплені» сигнали далі піддаються обробці цифровими методами з метою виділення корисної складової сигналу і зниження шуму. Зазвичай для цього створюються спеціалізовані алгоритми, які пристосовані під конкретні програми і пов'язані з ними нюанси. Є також загальні методи, такі як корекція зміщення і коефіцієнта посилення, лінеаризація, цифрова фільтрація і компенсація температурного дрейфу (і інших чинників). Такого роду обробка зазвичай ведеться цифровим чином.

#### 2.4.2 Обробка сигналу: інтегральні рішення

Сучасна тенденція - інтегрувати всі необхідні функціональні блоки в одну інтегральну схему, зазвичай звану схемою попередньої обробки сигналу первинного перетворювача / датчика (формувавачем). Пристрій для формування сигналу - це спеціалізована мікросхема (ASIC), яка здійснює компенсацію, посилення і калібрування вхідного сигналу, як правило, в заданому діапазоні температур. Залежно від складності формувавача сигналу в ньому є все або деякі з наступних блоків: схема збудження первинного перетворювача, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), підсилювач з програмованим коефіцієнтом посилення, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), пам'ять, мультиплексор, ЦПУ, датчик температури і цифровий інтерфейс [7].



Поширені два типи формувачів сигналу: аналогові (з аналоговим трактом проходження сигналу) і цифрові (з цифровим трактом проходження сигналу). Аналогові схеми забезпечують більш швидкий відгук і генерують безперервний вихідний сигнал, що відображає всі зміни сигналу на вході. У них зазвичай застосовуються жорстко задані (негнучкі) схеми компенсації. Цифрові формувачі, які зазвичай будуються на базі мікроконтролерів, характеризуються більш повільним відгуком, що викликано тимчасовими затримками, пов'язаними з перекладом сигналу в цифрову форму за допомогою АЦП і кінцевим часом виконання програм, що реалізують різні алгоритми цифрової обробки сигналів (ЦОС). Для мінімізації похибок квантування слід брати до уваги роздільну здатність АЦП. Найбільшим перевагою цифрових методів попередньої обробки сигналу є гнучкість алгоритмів компенсації, які можуть бути адаптовані під конкретний додаток користувача.

#### 2.4.3 Гнучкі АЦП для зв'язку з датчиками різних типів

Для датчиків тиску зазвичай характерна сильна залежність показань від температури. Тому при вимірюванні тиску слід одночасно контролювати і температуру. Відмінною особливістю АЦП MAX1415 є наявність диференціальних опорних входів, що дозволяє проводити логометричне вимірювання при напрузі збудження 3 В. Два диференціальних входи дають можливість контролювати одним АЦП тиск і температуру (при використанні резистивного датчика температури).

Характеристики MAX1415 / MAX1416:

- Узгодження вхідного діапазону АЦП з вихідним діапазоном датчика покращує розрізнення сигналу;
- Вбудований підсилювач з програмованим коефіцієнтом посилення допускає роботу з діапазоном повної шкали (FSR) від 20 мВ, що дозволяє забезпечити хороше узгодження з вихідним діапазоном первинних перетворювачів;
- Високий ступінь інтеграції знижує складність конструкції;

- Вбудовані режими само- і системної калібрування покращують точність і знижують час на розробку готового пристрою;
- Вбудований цифровий загороджуючий фільтр на 50/60 Гц видаляє небажані мережеві наведення;
- Спрощення конструкції завдяки функціональним можливостям, оптимізованим під багатоканальні логометричні / мостові вимірювання;
- Диференціальний опорний вхід для логометричних вимірювань, часто використовуваний в схемах мостового типу;
- Два диференціальних каналу дозволяють одночасно вимірювати тиск і температуру (поширена вимога).

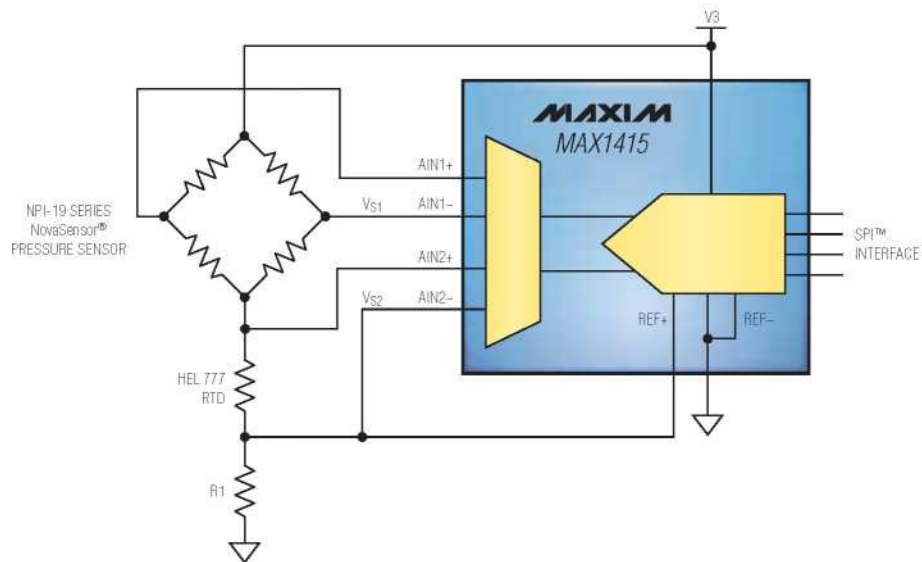


Рисунок 2.10 - Підключення датчиків тиску і температури до АЦП MAX1415.

Одна з найбільших проблем створення схем сполучення з датчиками пов'язана з низькими рівнями сигналів. Оскільки смуга пропускання сигналів багатьох датчиків лежить в низькочастотному діапазоні і складає одиниці герц, то обернено пропорційний частоті  $V_f$ -шум стає важливим критерієм вибору операційних підсилювачів. Пропоновані компанією Maxim операційні підсилювачі з низьким енергоспоживанням ( $<100$  мкА) і автоматичною установкою нуля MAX9617 / MAX9618 мають найнижчим серед промислово

випускаються приладів рівнем шумів (40 нВ / VTM). У цих ОП найкращий в своєму класі розмах (peak-to-peak) напруги шумів (<420 нВ (p-p)) в смузі частот від 0,1 до 10 Гц. Спільно з MAX11200 - одним з кращих в промисловості 24-бітовим (21 біт, вільний від шумів) сигма-дельта АЦП з низьким енергоспоживанням - ці ОП формують ідеальну схему для точного зчитування низькочастотних сигналів малої амплітуди.

Переваги MAX9617 / MAX9618, MAX11200:

- Мінімум системних калібровок (MAX9617 / MAX9618);
- Технологія автоматичної установки нуля ОП знижує температурний коефіцієнт напруги зсуву до 120 нВ / °С;
- Забезпечує найточніші вимірювання при найнижчому енергоспоживанні (MAX11200);
- АЦП з найвищою роздільною здатністю на одиницю енергоспоживання для датчиків з струмового петлею 4-20 мА: до 200 мкА при 21-біт вільному від шумів діапазоні і швидкості 10 виб. / С;
- Найнижча (<780 мкВт) щільність шуму для низькочастотних схем;
- Реєстрація надзвичайно малих змін мінливих в широкому діапазоні тисків і ваг (MAX11200);
- Вільний від шумів 21-бітний діапазон дозволяє ідентифікувати зміни вхідного сигналу з кроком до 500 нВ в широкодіапазонних високоточних додатках;
- Самі малошумливі з промислово випускаються ОП з автоматичною установкою нуля і рівнем шуму в смузі частот від 0,1 до 10 Гц не більше 420 нВ (p-p);
- Відсутність шумовий складової  $1 / f$  гарантує низькі спотворення в блоці попередньої обробки сигналу на частотах нижче 0,1 Гц.

Недорога прецизійна схема попередньої обробки сигналу робить конструкцію датчика простіше.

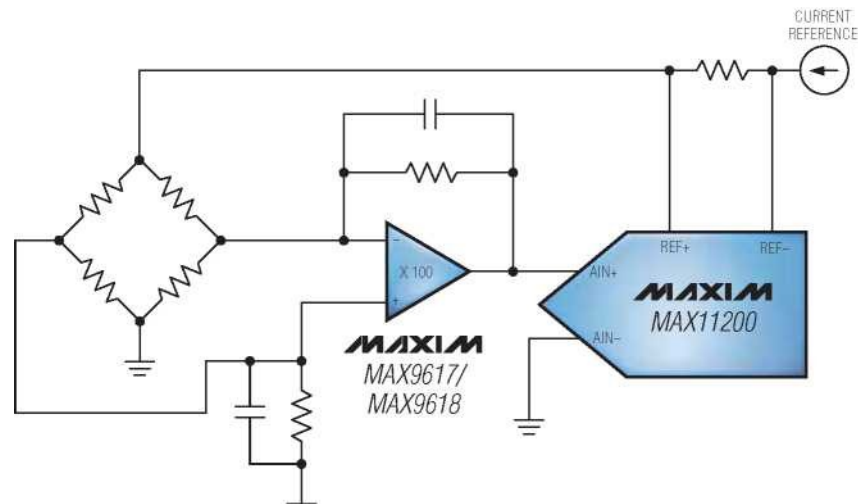


Рисунок 2.11 - Схема з використанням ОП MAX9617 / 9618 і АЦП MAX11200 забезпечує високу точність і високу тимчасову і температурну стабільність

MAX1452 - мікросхема аналогової обробки, на яку можна подавати сигнали з виходів резистивних вимірювальних елементів всіх типів. Її повністю аналогова схема обробки характеризується швидким відгуком на зміни вхідного сигналу, а можливість генерації збудливого впливу у вигляді струму або напруги забезпечує оптимальну гнучкість при розробці нових пристроїв. Чотири вбудованих 16-бітових ЦАП і підсилювач з програмованим коефіцієнтом посилення забезпечують калібрування, посилення і вхідні компенсацію з високою роздільною здатністю. У MAX1452 є вбудована флеш-пам'ять і датчик температури, що дозволяє організувати багатоточкову компенсацію похибок, що викликаються зміною температури, що, в свою чергу, підвищує точність вимірювань.

#### Переваги MAX1452

- Зниження вартості комплектуючих;
- Високий ступінь інтеграції мінімізує кількість необхідних зовнішніх компонентів; для отримання точного каліброваного вихідного сигналу не потрібні елементи зовнішньої настройки;
- Висока точність вихідного сигналу завдяки виключенню всіх систематичних похибок;

- Повністю аналогова схема забезпечує безперервність вихідного сигналу, відсутні помилки дискретизації;
- Чотири 16-бітних ЦАП (дозвіл 76 мкВ) забезпечують компенсацію зсуву і точність у всьому вихідному діапазоні;
- Многоточечна компенсація похибок, пов'язаних з впливом температури, дозволяє проводити калібрування і домагатися повторюваності відгуку на повторюваний вхідний сигнал у всьому діапазоні температур;
- Зменшення термінів розробки нових пристроїв і зменшення складської номенклатури;
- Мікросхема може використовуватися з багатьма типами первинних перетворювачів і в багатьох додатках;
- Застосування однієї і тієї ж мікросхеми в різних додатках відкриває можливість повторного використання раніше знайденого схемотехнічного рішення;
- Може використовуватися у виробках з вихідним сигналом у вигляді напруги або з виходом у вигляді струмової петлі 4-20 мА.

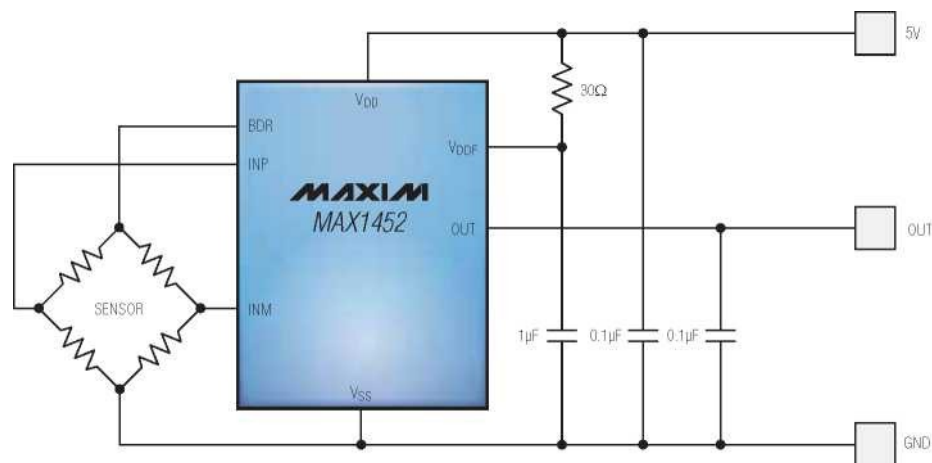


Рисунок 2.12 - Недорога прецизійна аналогова мікросхема обробки сигналів датчиків (MAX1452) в конфігурації вимірювання співвідношень

Багатоканальна малошумлива схема обробки сигналів датчиків з низьким енергоспоживанням знижує витрати і економить місце на платі [7].

Мікросхема високого ступеня інтеграції MAX1464 - це цифрова багатоканальна схема обробки сигналів датчиків, оптимізована для

використання в промислових системах управління технологічними процесами і в автомобільних додатках. Застосовується для вимірювання тиску, лінеаризації характеристик резистивних датчиків температури і термопар, зважування та віддаленого моніторингу з індикацією обмежень і т. інш. Мікросхема MAX1464 спрощує схемотехнічні рішення і робить їх вигідними для виробництва, оскільки може працювати як з несиметричними (single-ended), так і з диференціальними сигналами датчиків. Вона забезпечує всебічну температурну компенсацію без необхідності використовувати для цих цілей будь-які зовнішні настроювальні компоненти. Вихідний сигнал може бути отриманий через SPI-сумісний інтерфейс за допомогою цифро-аналогових перетворювачів з виходом по напрузі або використовуючи виходи ШІМ. У MAX1464 є 16-бітове ЦПУ; 4 Кбайт флеш-пам'яті для програмованих користувачем алгоритмів компенсації, 128 байт для зберігання інформації користувача і дві лінії введення / виводу загального призначення. До складу мікросхеми входить вихідний блок з двох операційних підсилювачів для підтримки додатків з струмового петлею 4-20 мА.

#### Переваги MAX1464:

- Завдяки прямому зв'язку з мікропроцесором або блоком управління досягається зниження витрат і економиться місце на платі;
- SPI-сумісний інтерфейс виключає необхідність в інтерфейсній схемі;
- Лінії введення / виводу загального призначення полегшують інструментальний контроль, видачу системних попереджень і двосторонній обмін сигнальними повідомленнями;
- Багатоканальність знижує вартість комплектування, покращує параметри схеми і зменшує займану площу на платі;
- Використання одного багатоканального пристрою замість безлічі одноканальних дозволяє отримувати результати вимірювань, більш придатні для порівняння при менших витратах;
- Високий ступінь інтеграції мінімізує кількість компонентів і дозволяє заощадити місце на платі

- Для отримання точного каліброваного вихідного сигналу не потрібні зовнішні настроювальні компоненти;
- Адаптованість алгоритм компенсації дозволяє оптимізувати параметри датчика;
- Користувач може модифікувати алгоритм компенсації під потреби свого застосування;
- Алгоритм компенсації зберігається у вбудованій енергонезалежній флеш-пам'яті;
- Скорочення термінів розробки;
- Гнучкість проектування для конструкцій, в яких потрібна наявність цифрового виходу, виходу за напругою, ШІМ-виходу, або струмового виходу для підтримки струмової петлі 4-20 мА;
- У вбудованого мікропроцесора всього 16 команд, що полегшує його програмування;
- Підходить для використання з багатьма типами первинних перетворювачів.

Багатоканальна малошумлива схема обробки сигналів датчиків з низьким енергоспоживанням знижує витрати і економить місце на платі, показана на рис. 2.14.

Багатоканальна цифрова схема обробки сигналів MAX1464 дозволяє проводити вимірювання за допомогою одного диференціального і двох несиметричних входів.

Вимірювання температури критично важливо для реалізації в промислових системах трьох ключових функцій:

1. Контроль температури, наприклад, в печах, холодильних установках і системах клімат-контролю. На основі вимірів температури приймаються рішення про включення і відключення нагріву або охолодження.

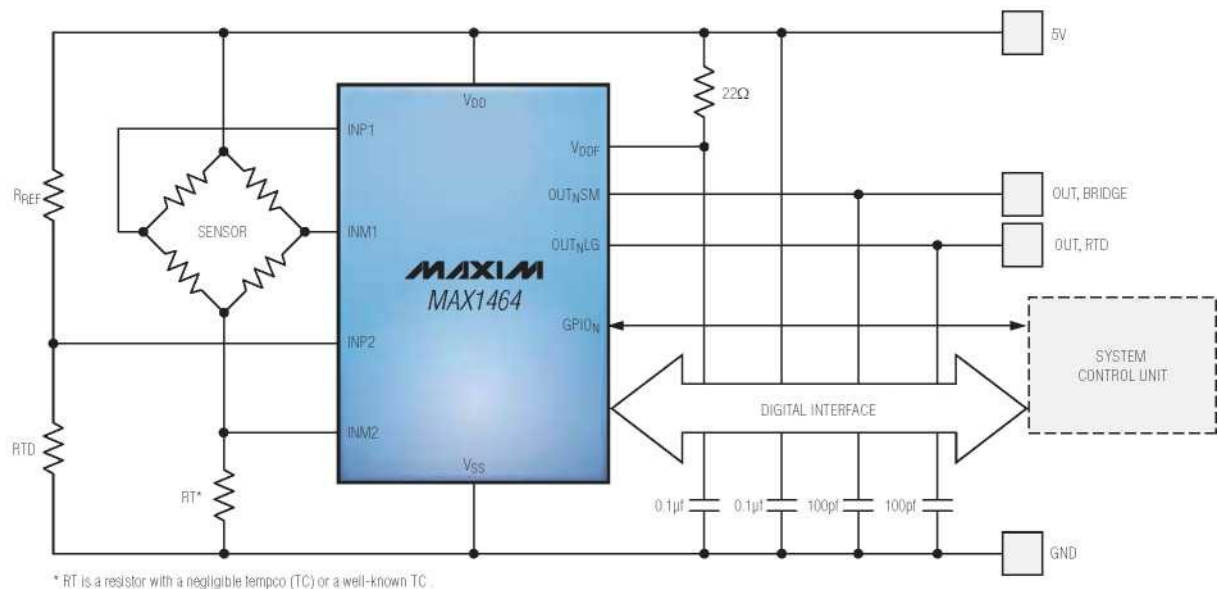


Рисунок 2.14 — Багатоканальна цифрова схема обробки сигналів

2. Калібрування різних первинних перетворювачів, генераторів і інших компонентів часто виявляється температурно-залежною. Тому для забезпечення точності чутливих системних компонентів слід проводити вимірювання температури.

3. Захист компонентів і систем від пошкоджень, викликаних виходом температури за кордону безпечного діапазону. Вимірювання температури дозволяє визначити, яких заходів слід вжити.

Термістори, резистивні датчики температури (RTD), термопари і інтегральні датчики - ось деякі з найбільш широко використовуваних на сьогоднішній день способів вимірювання температури. У кожного є свої сильні сторони (наприклад, ціна, точність, діапазон вимірюваних температур), які роблять його придатним для використання в певних додатках. Всі вищевказані способи будуть розглянуті нижче.

Крім найбільшою в галузі лінійки спеціальних інтегральних датчиків температури, компанія Maxim випускає весь спектр компонентів, необхідних для сполучення системи з термісторами, резистивним датчиками температури і термопарами.



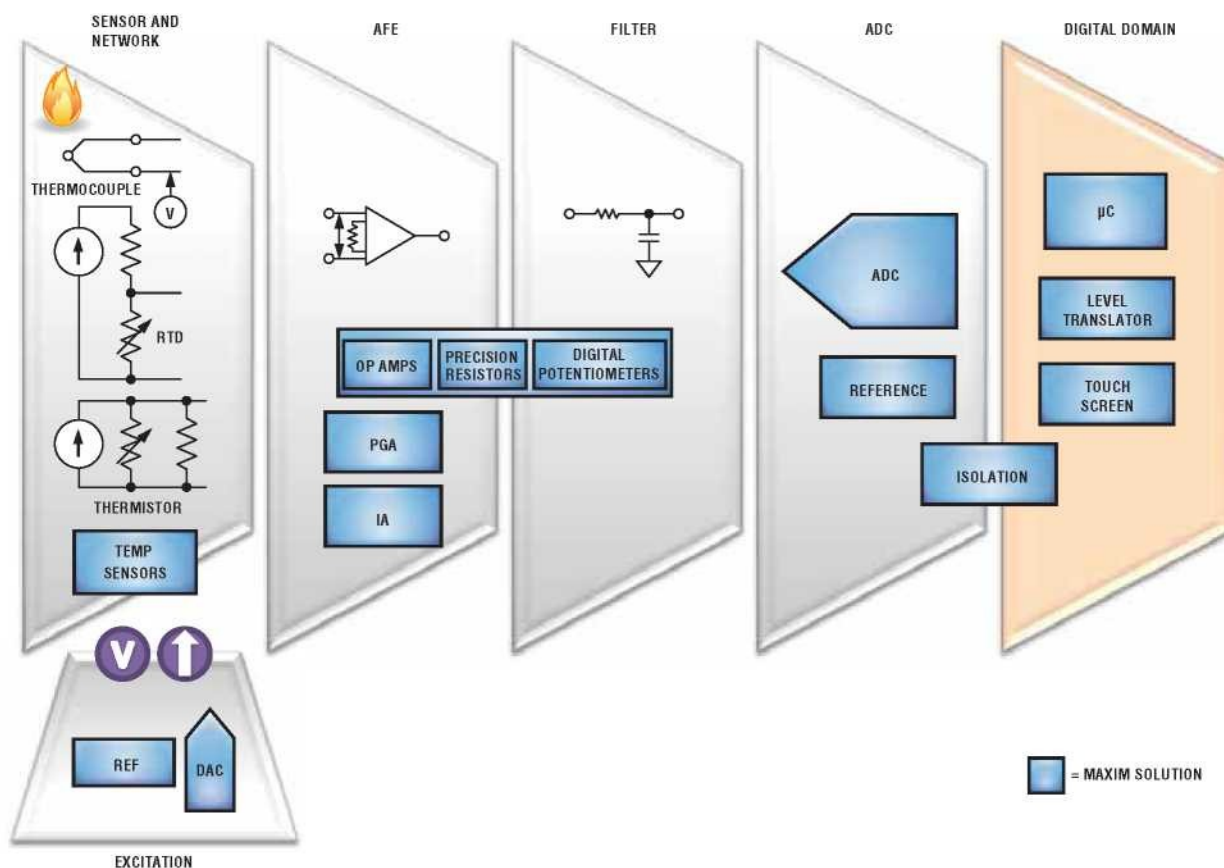


Рисунок 2.15 - Блок-схема ланцюга обробки сигналу в пристроях вимірювання температури

2.5 Список рекомендованих компанією Maxim рішень для задач, пов'язаних з вимірюванням температури

Термістори - це резистори, опір яких залежить від температури. Зазвичай їх виготовляють з напівпровідникових матеріалів, таких як металооксидних кераміка або полімери. Найбільш широко використовуються термістори з негативним температурним коефіцієнтом опору (ТКС), які з цієї причини називають NTC-термісторами (NTC - Negative Temperature Coefficient). Існують також термістори з позитивним ТКС - PTC-термістори (PTC - Positive Temperature Coefficient), або позистору.

Термістори характеризуються помірним діапазоном вимірюваних температур, зазвичай до + 150 °С, хоча деякі здатні працювати і з набагато більш високими температурами. Ціни - від низьких до помірних, в залежності від точності. Лінійність характеристики термісторів не дуже гарна, але сама

характеристика передбачувана. Термістори випускаються у вигляді зондів, в корпусах для поверхневого монтажу, з стрічковими висновками і в різних спеціалізованих корпусах. Компанія Maxim виробляє також мікросхеми, що перетворюють опір термістора в температуру в цифровому форматі, наприклад MAX6682 і MAX6698.

Термістори часто з'єднують з одним або декількома постійними резисторами для формування дільників напруги. Вихідний сигнал з дільника зазвичай оцифровує за допомогою АЦП. Нелінійність характеристики термістора може бути скоригована або за допомогою таблиці перетворень (lookup table), або розрахунковим шляхом.

Резистивні датчики температури (RTD) - це резистори, опір яких змінюється з температурою. Найбільш поширеним матеріалом дротяних RTD-датчиків, який до того ж забезпечує найкращу точність вимірювань, є платина. Платинові датчики позначають Pt-RTD. Резистивні датчики температури можуть також виготовлятися з нікелю, міді та інших металів.

Для резистивних датчиків характерний широкий температурний діапазон - аж до + 750 °С; їм притаманні чудові точність і повторюваність, а також розумна лінійність. Найбільшого поширення набули платинові датчики з номінальним опором 100 Ом і 1 кОм при 0 °С, хоча доступні датчики і з іншими номіналами.

У разі резистивних датчиків ланцюг формування корисного сигналу може являти собою просте з'єднання датчика з прецизійним постійним резистором, в результаті чого утворюється дільник напруги. Сигнальна ланцюг може бути більш складною, особливо в разі виміру температури в широкому діапазоні. Поширений підхід, показаний на рис. 2.16, полягає в використанні джерела струму, джерела опорного напруги і АЦП з високою роздільною здатністю. Лінеаризація може виконуватися за допомогою коригувальних таблиць або за допомогою зовнішніх схем.

Термопари виготовляють з'єднанням двох провідників з різнорідних металів. У точці контакту провідників генерується напруга, майже пропорційне

температурі. Існує декілька типів термопар, що можна побачити по розбіжностям в літерних позначеннях. Найбільшою популярністю користуються термопари К-типу.

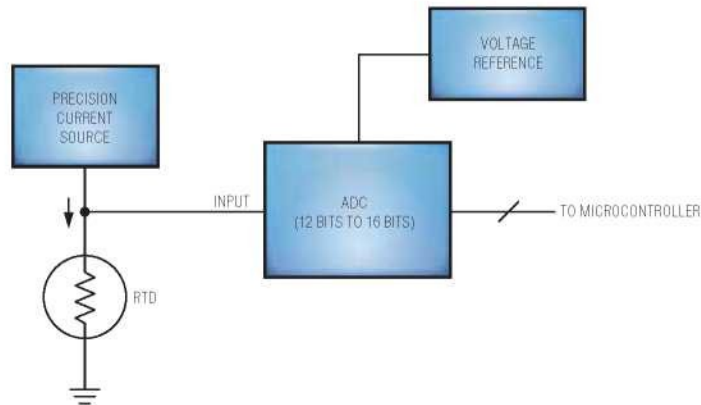


Рисунок 2.16 - Спрощена схема обробки сигналу резистивного датчика температури

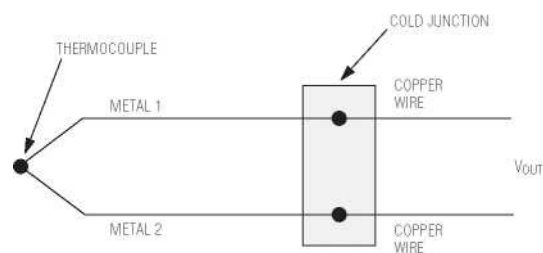


Рисунок 2.17 - Проста схема з термопарою

Точка з'єднання провідника з металу 1 і провідника з металу 2 - основна термопара або точка гарячого спаю. Інші термопари з'являються там, де дроти з металу 1 і металу 2 з'єднуються з мідними проводами вимірювального пристрою або друкованими доріжками плати (холодний спай).

Термопари характеризуються широким діапазоном вимірюваних температур (аж до 1800 °C); низькою вартістю, яка залежить від типу корпусу; дуже маленьким вихідним напругою (близько 40 мкВ / T для приладів К-типу); розумної лінійністю; помірно складною схемою формування сигналу (потрібно компенсація температури холодного спаю і посилення).

Вимірювання температури за допомогою термопар є досить складне завдання, що пов'язано з маленьким вихідним напругою. Процес ще більш

ускладнюється через те, що в точці контакту провідників термопари з мідними проводами (або доріжками), які забезпечують підключення термопари до схеми подальшої обробки сигналу, утворюються додаткові термопари. Цю точку контакту провідників термопари з мідними доріжками називають холодним спаєм (див. рис. 2.17). Щоб акуратно виміряти температуру термопарою, в схему слід додати датчик температури холодного спаю, як показано на рис. 2.18. Потім температуру, виміряну на холодному спає, додають до температури, розрахованої за напругою на термопарі.

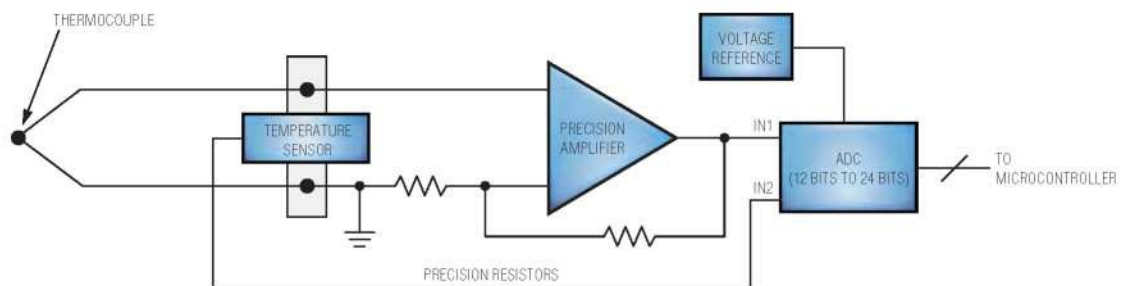


Рисунок 2.18 — Приклад обробки сигналу термопари

У схемі, показаної в якості прикладу на рис. 2.18, представлений один з можливих варіантів реалізації вимірювача температури за допомогою термопари. Видно, що в схему входить велика кількість прецизійних компонентів. Крім компонентів, показаних на рис. 2.18, компанія Maxim також випускає інтегральні схеми MAX6674 і MAX6675, які виконують функції обробки сигналів термопар К-типу. Ці мікросхеми спрощують задачу вимірювання температури за допомогою термопар і значно зменшують число компонентів, необхідних для посилення, компенсації температури холодного спаю і перекладу вихідного сигналу термопари в цифровий формат [7].

### 2.5.1 Інтегральні датчики температури

В основі інтегральних датчиків температури лежить той факт, що теплова характеристика рп-переходу в кремнії лінійна і передбачувана. Через те, що це активні схеми, створювані за допомогою традиційних для промисловості напівпровідників технологічних процесів, на даний момент є безліч

різноманітних видів і варіантів таких мікросхем. Вони включають безліч функціональних блоків, наприклад, таких як цифрові інтерфейси, вхідні АЦП і модулі управління вентиляторами, що недоступно при використанні інших технологій. Робочий температурний діапазон інтегральних датчиків від  $-55$  до  $+125$  °C, є невелика кількість виробів, максимальна робоча температура яких становить близько  $+150$  °C. Нижче наведені описи поширених типів інтегральних датчиків температури.

### 2.5.2 Аналогові датчики температури

Аналогові інтегральні датчики перетворюють температуру в напругу або, в деяких випадках, в ток. У найпростіших аналогових датчиків температури з вихідним сигналом у вигляді напруги є всього три висновки: загальний (земля), вхід подачі напруги живлення і вихід. У аналогових датчиків з розширеними функціональними можливостями присутні додаткові входи і виходи, скажімо виходи компаратора або джерела опорного напруги. Для отримання вихідної напруги, пропорційної температурі, в аналогових датчиках використовують температурні характеристики біполярних транзисторів. Для отримання зручного співвідношення між напругою на виході датчика і температурою кристала напруга посилюють і додають до нього зміщення. Точність вимірювання температури може бути просто чудовою. Наприклад, похибка DS600 - найточнішого в галузі аналогового датчика температури - гарантовано не перевищує  $\pm 0,5$  °C в діапазоні вимірюваних температур (від  $-20$  до  $+100$  °C).

### 2.5.3 Цифрові датчики для локального вимірювання температури

Інтеграція аналогового датчика температури з АЦП - очевидний спосіб створення датчика температури з цифровим інтерфейсом. Такий пристрій зазвичай називають цифровим датчиком температури або локальним цифровим датчиком температури. Слово «локальний» вказує на те, що датчик вимірює свою власну температуру. Таке функціонування протилежно роботі віддаленого

датчика температури, який вимірює температуру зовнішньої мікросхеми або дискретного транзистора.

Базові моделі цифрових датчиків просто вимірюють температуру і дозволяють зчитувати отримані результати за допомогою різних інтерфейсів, наприклад, 1-Wire®, I2C, PWM (ШИМ) і 3-wire. Більш складні цифрові датчики пропонують інші функціональні можливості, наприклад, генерацію сигналу, що свідчить про те, що температура вийшла за задані межі; в них є регістри для установки порогових значень і електрично стирається програмований ПЗУ (EEPROM). Компанія Maxim випускає кілька моделей локальних цифрових датчиків температури, включаючи DS7505 і DS18B20, які гарантують точність вимірювань  $\pm 0,5$  °C в широкому діапазоні температур.

#### 2.5.4 Цифрові датчики для віддаленого вимірювання температури

Цифрові датчики для віддаленого вимірювання температури також називають дистанційними датчиками температури. Дистанційний датчик температури вимірює температуру зовнішнього транзистора: дискретного або інтегрованого в кристал іншої мікросхеми, як показано на рис. 4. У мікропроцесори, ПЛІС і спеціалізовані (ASIC) мікросхеми часто додають один або кілька вимірювальних транзисторів, які зазвичай називають термодіод, подібних тому, що показаний на рис. 2.19.

У дистанційних датчиків температури є важлива перевага: вони дозволяють за допомогою однієї інтегральної схеми вимірювати кілька температур в різних точках. Базовий одиночний дистанційний датчик температури, такий як MAX6642, показаний на рис. 2.19, може відстежувати дві температури: свою власну і у віддаленій точці. Зовнішня віддалена точка може знаходитися на кристалі цільової ІС, як на рис. 2.19, або в місці інтенсивного тепловиділення на друкованій платі, де за нею стежать за допомогою дискретного транзистора. Деякі датчики дозволяють відстежувати температуру в семи зовнішніх точках. Таким чином, за допомогою однієї мікросхеми здійснюється моніторинг температури в восьми місцях, якщо враховувати

температуру самої мікросхеми. Розглянемо як приклад MAX6602. У цього датчика є чотири входи для підключення віддалених первинних діодних перетворювачів. Тому він може вимірювати температуру пари ПЛІС з вбудованими термодіод, плюс, використовуючи в якості первинних перетворювачів дискретні транзистори, температури в двох найбільш теплонавантаженому місцях на платі, і, нарешті, температуру на платі в місці розміщення самої мікросхеми MAX6602. І MAX6602, і згадувана тут мікросхема MAX6642 забезпечують точність вимірювань  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  при роботі з зовнішніми термодіод.

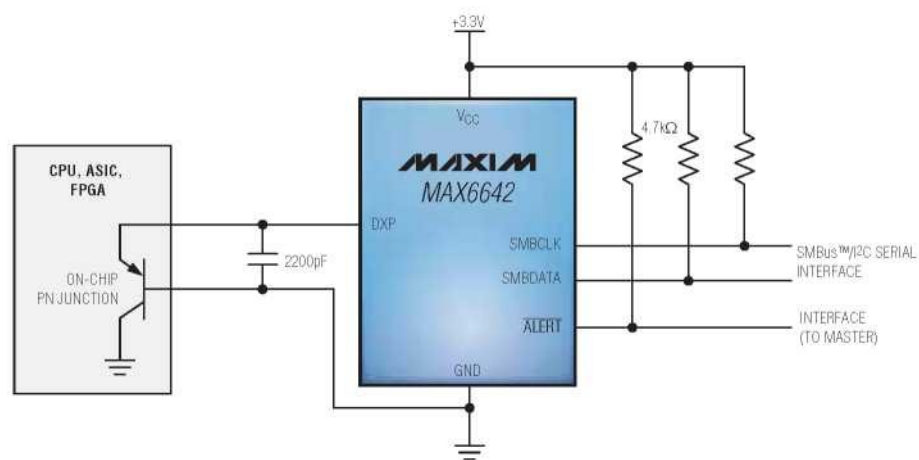


Рисунок 2.19 - Дистанційний датчик температури MAX6642 дозволяє стежити за температурою вимірювального транзистора (або термодіода), розташованого на кристалі зовнішньої ІС.

Простий інтегральний перетворювач сигналу резистивного датчика температури в цифрову форму: MAX1402, MAX4236 / MAX4237.

Будь-яке помітне опір на висновках резистивного датчика температури (RTD) буде вносити похибку у результати вимірювань. Тому в разі довгих проводів для виключення таких похибок використовують 3- або 4-провідний спосіб підключення. На схемі, наведеній на рис. 2.20, показаний 4-провідний інтерфейс RTD-датчика з використанням АЦП з надлишковою дискретизацією MAX1402. У MAX1402 є два узгоджених джерела струму, що значно знижує кількість мікросхем в перетворювачі сигналу резистивного датчика. Одне з

джерел видає струм збудження для RTD-датчика, в даному випадку для Pt100. Так як цей струм збудження не протікає по сигнальним (вимірювальним) проводам, то їх опір не робить ніякого впливу на точність вимірювань. До другого джерела струму підключений прецизійний резистор. Протікає через цей резистор струм створює опорну напругу для АЦП, тим самим виключається необхідність в зовнішньому джерелі опорного напруги.

Для забезпечення максимальної точності вимірювань застосовують корекцію зібраних даних з метою компенсації нелінійності RTD-датчика Pt100. Також для компенсації відхилення опору опорного резистора від номіналу і компенсації неузгодженості джерел струму коригують коефіцієнт посилення. Цифровий корекції нелінійності можна уникнути, якщо ввести в схему підсилювача контур слабкою позитивного зворотного зв'язку, як показано на рис. . Отримується в результаті відхилення від лінійності не перевищує  $\pm 0,05$  °C в діапазоні температур від -100 до +200 °C. Дана схема не усуває похибок, що вносяться опором довгих проводів, тому її слід використовувати тільки в тих випадках, коли резистивний датчик температури встановлюється поблизу від вимірювальної схеми.

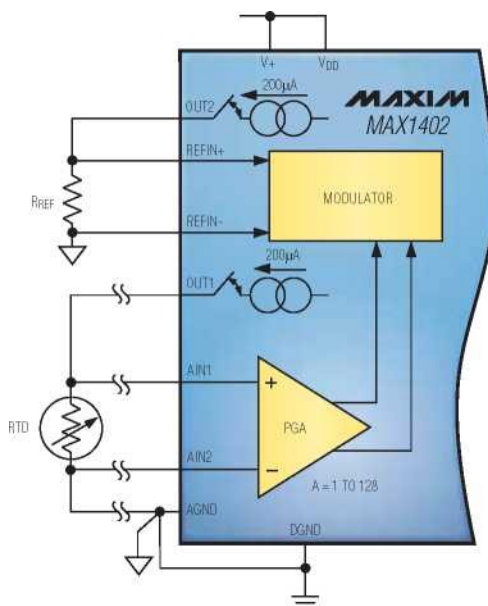


Рисунок 2.20 - На схемі показано 4-дротове підключення датчика Pt100 до АЦП MAX1402



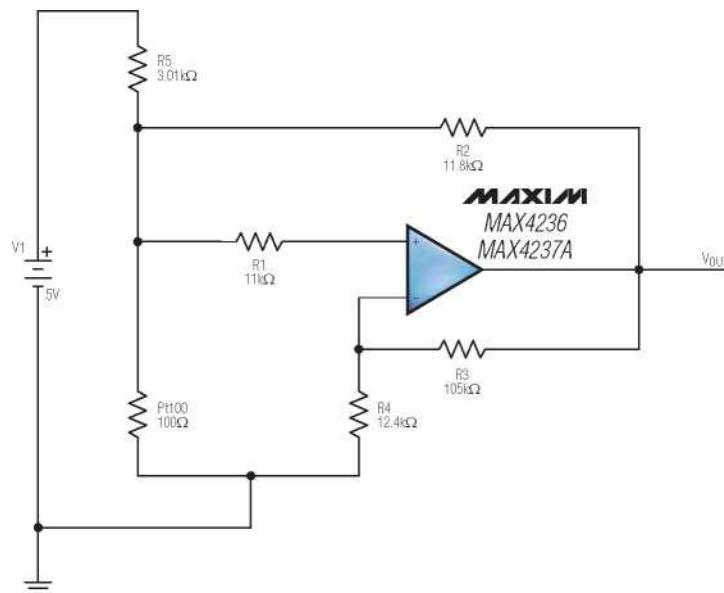


Рисунок 2.21 - Схема лінеаризації характеристики датчика Pt100. Корекція досягається одним додатковим резистором. Резистор R2 формує контур слабкою позитивного зворотного зв'язку

## 2.6 Мікросхеми для організації інтерфейсів термопар

Готові схеми інтерфейсу термопар виключають зовнішні компоненти, займають менше місця на платі - DS600, MAX1416, MAX6133, MAX6675 [7].

У схемі вимірювань за допомогою термопар, показаної на рис. , Використовується АЦП MAX1416, який може безпосередньо підключатися до термопар, обходячись без зовнішніх компонентів, що знижує необхідну для розміщення площа друкованої плати. Внутрішній підсилювач з програмованим коефіцієнтом посилення виключає необхідність у зовнішньому прецизійному підсилювачі; самокалібрування дозволяє уникнути дорогих калібрувальних процедур при виробництві. АЦП MAX1416 може приймати сигнали від термопар, що працюють при негативних температурах, оскільки його діапазон вхідних синфазних сигналів починається від 30 мВ нижче рівня землі.

Температура холодного спаю вимірюється аналоговим датчиком DS600, який розміщують на роз'ємі термопар. Володіючи точністю  $\pm 0,5$  °C, DS600 забезпечує найбільш точну компенсацію температури холодного спаю в порівнянні з будь-якою іншою аналоговою схемою на ринку, призначеної для

вимірювання температури. Додавання температури холодного спаю до температури, яка вимірюється АЦП, усуває вплив паразитних термопар, що виникають при підключенні роз'єму вимірювальної термопари до системи.

На рис. 2.22 показана повністю інтегральна схема вимірювань за допомогою термопари, в якій використовується перетворювач сигналу термопари в цифровий формат MAX6675 - інтегральна схема готового інтерфейсу термопари. З інтегрованими АЦП, джерелом опорного напруги, підсилювачем і схемою компенсації температури холодного спаю перетворювач MAX6675 дозволяє вимірювати позитивні температури за допомогою термопар К-типу без будь-яких зовнішніх компонентів. Використання MAX6675, таким чином, знижує число корпусів в схемі, скорочує час розробки та зменшує складність системи. Максимальна вимірювана температура -  $+ 1024,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Молодший значущий біт при 12-бітному дозволі дорівнює  $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

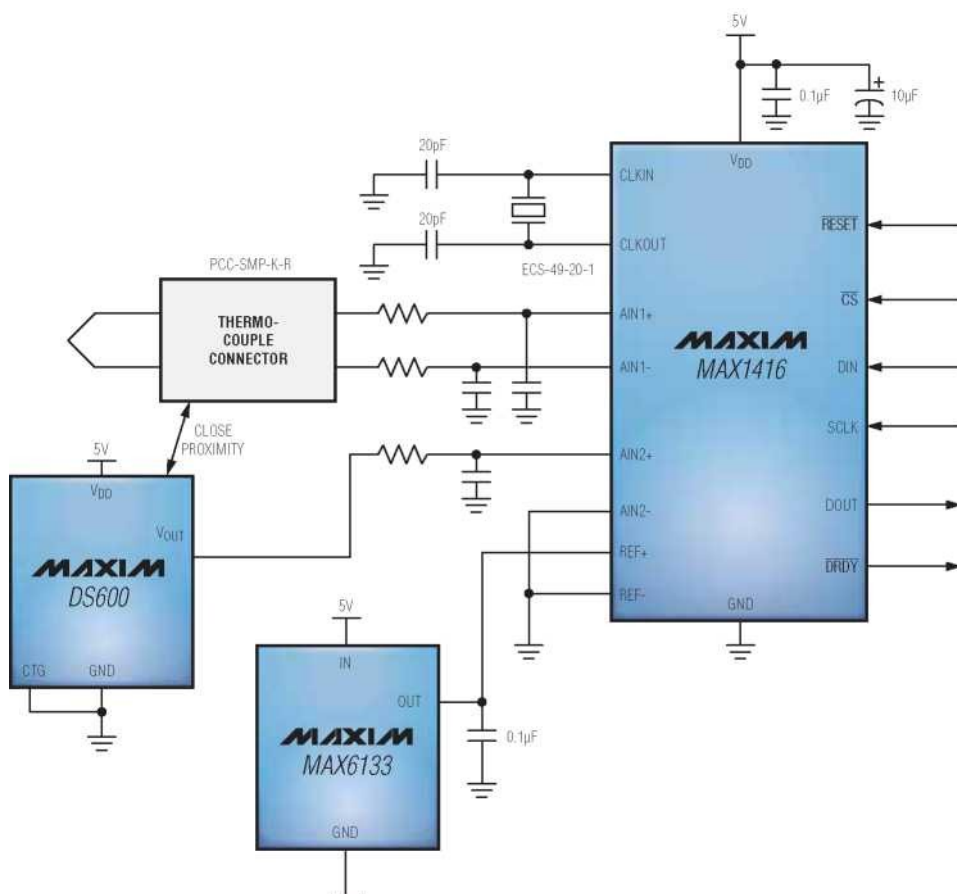


Рисунок 2.22 - Схема вимірювань за допомогою термопари, в якій MAX1416 використовується для вимірювання вихідного сигналу термопари, а DS600-для вимірювання температури холодного спаю

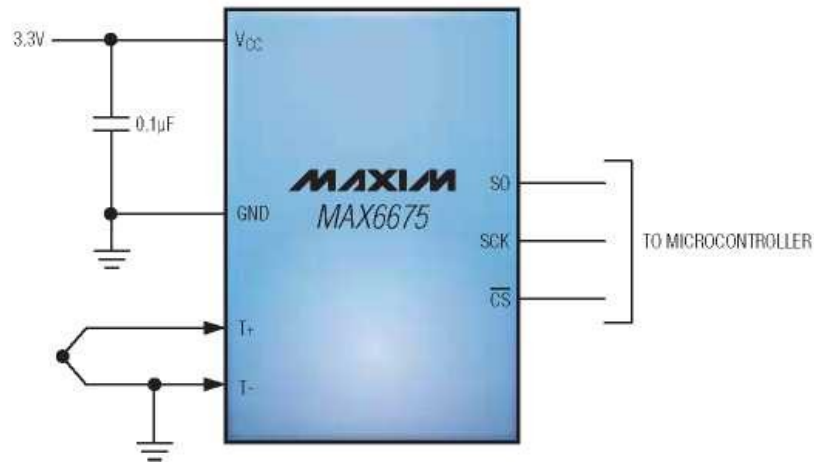


Рисунок 2.23 — MAX6675— Готовий перетворювач сигналу термопары К-типу в цифровий формат

## 2.7 Вимірювання струму, освітленості і відстані до об'єкта

Вимірювати струм потрібно в багатьох додатках, при цьому вимірювання струму можна розділити на дві категорії:

- До першої категорії відносяться вимірювання великих струмів, часто для моніторингу стану джерел живлення. До типових застосувань можна віднести виявлення коротких замикань, перехідних процесів і включення батареї у зворотній полярності.

- Вимірювати струм потрібно також в додатках, які мають справу з набагато меншими струмами (аж до мікроампер). Це, наприклад, схеми з фотодіодами, які генерують невеликий струм при попаданні на них світлового потоку. Поширені застосування - вимір навколишнього освітленості, виявлення наближення об'єкта і моніторинг хімічних процесів на основі оцінки ступеня відображення або поглинання світлового потоку [7].

В обох категоріях для вимірювання струму використовують різні види струмовимірювальних підсилювачів або керовані струмом підсилювачі напруги (трансімпедансним підсилювачі; Transimpedance amplifier - TIA). Всі типи струмовимірювальних підсилювачів обговорюються далі.

### 2.7.1 Вимірювання струму

Вимірювання струму виробляються найрізноманітнішими способами, але до сих пір найбільш популярним способом залишається вимір струму за допомогою резистора. Базовий принцип цього методу - посилити падіння напруга на струмовимірювальні резистори, використовуючи диференційний підсилювальний каскад на ОП, а потім виміряти отримане напруга. Хоча для побудови підсилювача можна використовувати дискретні компоненти, інтегральні струмові підсилювачі мають значні переваги перед своїми дискретними опонентами. У них менше температурний дрейф, для їх розміщення потрібно менше місця на друкованій платі, вони здатні працювати в широкому діапазоні синфазних сигналів.

У більшості додатків вимір струму виробляється або з боку позитивної шини живлення (у верхньому плечі), або з боку земляний шини (в нижньому плечі). У разі вимірювань в нижньому плечі вимірювальний резистор включається послідовно з шиною землі. При такому включенні синфазна складова вхідного напруги буде невисокою, а вихідна напруга буде прив'язане до землі. Однак вимірювальний резистор при цьому вносить небажану додатковий опір на шляху протікання струму на землю. При вимірах в верхньому плечі вимірювальний резистор включають послідовно з шиною позитивного живлення. В цьому випадку навантаження виявляється заземленою, але резистор повинен справлятися з відносно великим синфазним напругою.

У струмовимірювальних підсилювачах верхнього плеча компанії Maxim використовується струмовимірювальні резистори, розташований між позитивним висновком джерела живлення і входом, на який подається напруга живлення для тієї схеми, моніторинг якої проводиться. Таке розміщення виключає внесення додаткового опору на шляху протікання струму навантаження на землю, що істотно спрощує розведення плати і покращує технічні характеристики схеми в цілому. Серед великої різноманітності односпрямованих і двонапрямлених струмовимірювальних інтегральних схем

компанії Maxim є прилади як з вбудованими струмовимірювальні резистори, так і без них.

### 2.7.2 Вимірювання освітленості за допомогою трансїмпедансних підсилювачів

У другому за популярністю спосіб вимірювання струму використовується ОП з дуже низькими вхідними струмами, такий як трансїмпедансний підсилювач (підсилювач напруги, керований струмом), який перетворює вхідний струм в вихідна напруга. Цей спосіб працює при набагато менших токах, які до того ж можуть змінюватися в широких межах, наприклад, як у випадку струмів, що генеруються фотодіодами в схемах вимірювання освітленості.

Простий фотодіод - дуже точний первинний перетворювач рівня освітленості. Освітленість вимірюється в найрізноманітніших додатках: від управління подачею електроенергії в залежності від рівня природного освітлення до складних систем управління технологічними процесами. Оскільки освітленість при цьому може варіюватися в великих межах (наприклад, від 20 до 100 клк), широкий динамічний діапазон може виявитися ключовою вимогою, якій повинен відповідати датчик рівня освітленості. Інтегральне рішення, таке як MAX9635 - мікросхема, в яку інтегровані фотодіод, підсилювач та аналого-цифровий перетворювач (АЦП), забезпечує динамічний діапазон від 0,03 до 130000 лк.

### 2.7.3 Вимірювання відстані до об'єкта за допомогою фотодіодів

Хоча визначити відстань до об'єкта можна по-різному, використання фотодіодів забезпечує більш високу точність і виявляється менш енерговитратним в порівнянні з іншими способами. Коли світло потрапляє на фотодіод, генерується струм, пропорційний інтенсивності світлового потоку. Буферний каскад з малшумливим входом і широкою смугою пропускання забезпечує передачу значення цього струму в іншу систему. Точні виміри

забезпечуються підсилювачем з низьким вхідним шумовим струмом, таким як MAX9945.

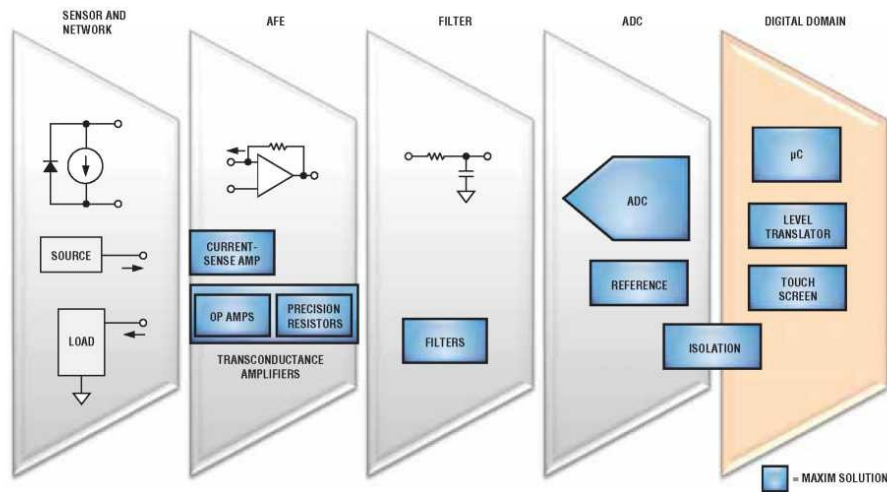


Рисунок 2.24 - Блок-схема ланцюга обробки сигналу в пристроях вимірювання струму.

## 2.8 Комунікаційні інтерфейси датчиків

Інтерфейси реалізуються за допомогою MAX13448E, MAX3440E ... MAX3444E.

В пристроях, в яких шини живлення і лінії передачі даних прокладені в одному кабелі, завжди існує небезпека виникнення аварійних ситуацій через помилки розводки, коротких замикань між проводами всередині кабелю або появи викликаних наведеннями кидків напруги в комунікаційних лініях. Приймачи RS-485 від компанії Maxim мають вбудований аварійний захист до  $\pm 80$  В [7].

Зменшення габаритів плати на 25% завдяки вбудованій схемі захисту

- Найвища ступінь захисту серед інтегральних приймач;
- Захист від перенапруги до  $\pm 80$  В;

Гнучкі конфігурації забезпечують сполучення з багатьма системами;

- Широкий діапазон напруг живлення: від 3,3 до 5 В;
- Сполучення з дуплексними і напівдуплексними системами. Високий ступінь інтеграції знижує складність комплектації і вартість;

- Вбудований обмеження швидкості наростання фронтів для безпомилкової передачі даних;

- Дійсно безаварійна робота;
- Можливість «гарячої» заміни;

Надійне функціонування в несприятливих робочих умовах

- Нормативні акти ESD  $\pm 15$  кВ.

MAX14820 - приймач з 24-вольта двійковим інтерфейсом для зв'язку з датчиками і виконавчими пристроями (актуаторами). Розроблений для обладнання з інтерфейсом IO-Link, він підтримує всі визначені для IO-Link швидкості передачі даних. У MAX14820 є додаткові входи і входи, розраховані на роботу з напругою 24 В. Два стабілізатора видають поширені в схемах обробки сигналів датчиків напруги живлення +5 і +3,3 В. Виходи драйверів можуть бути налаштовані як рnp- або pnp-транзистор, або як двотактний каскад. Обмін інформацією (конфігурація, моніторинг, аварійна сигналізація) здійснюється через інтерфейс SPI. У пристрої передбачена тепловий захист, все висновки 24-вольта інтерфейсу захищені від напруги зворотної полярності, коротких замикань і електростатичних розрядів.

## 2.9 Мікроконтролери для датчиків

Багато провідних фірм, що випускають мікроконтролери, позиціують лінійки своєї продукції як мікроконтролери для датчикової тематики.

В якості керуючого ядра найбільш часто використовуються наступні типи ядер: 8051, 8052, AVR, MSP430, ARM-CortexM0, ARM-CortexM3 і інші.

З перерахованого списку видно, що в ходу 8-, 16- і 32-розрядні ядра. Але в міру зменшення проектних норм і, як наслідок, скорочення площі цифрових вузлів намітилася стійка тенденція в бік 32-розрядних ядер, в першу чергу ARM-Cortex Mxx. Завдяки ефективній системі команд Thumb2 дане сімейство дозволяє використовувати невеликий обсяг пам'яті команд, тому воно набуло широкого поширення і використовується в якості вбудованого обчислювального

ядра більш ніж сотнею фірм, зайнятих розробкою універсальної та спеціалізованої елементної бази. Також ефективність мікросхем підвищується завдяки застосуванню функціонально закінчених реконфігурованих цифрових кінцевих автоматів, зокрема контролерів послідовних інтерфейсів [3].

Наведемо як приклад архітектури мікросхеми сімейств ADuC і MSP430.

Мікросхема ADuC7060 (рис. 2.25) з двома вбудованими каналами DS-ADC і одним каналом DAC виконана на основі ядра ARM7TDMI (займає площу менше 0,5 мм<sup>2</sup>) і оснащена декількома послідовними портами. В активному режимі на частоті 10 МГц споживає не більше 10 мА.

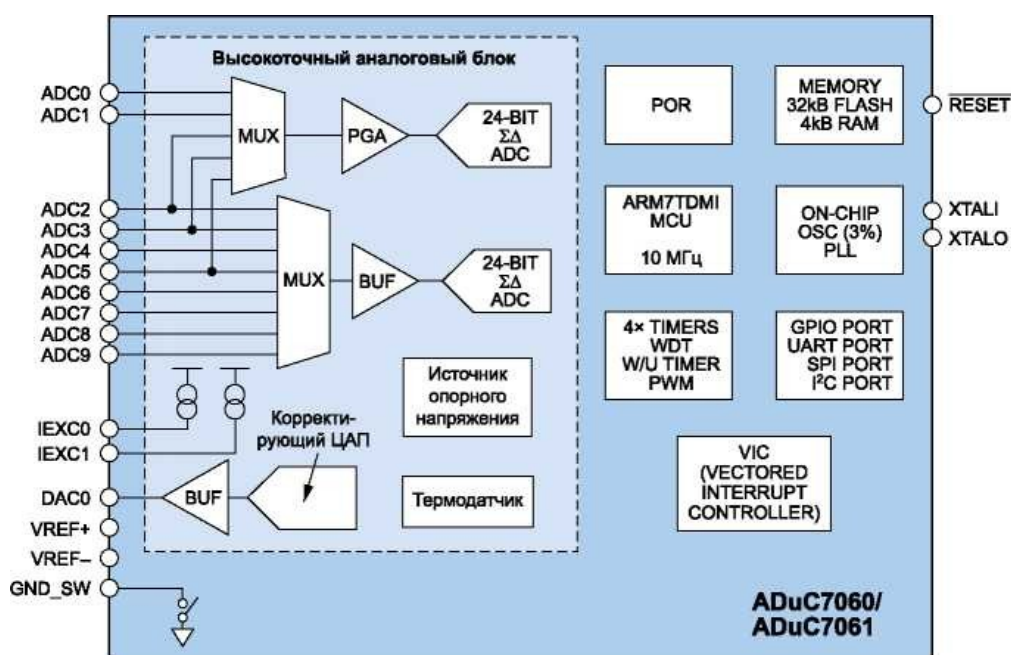


Рисунок 2.25 - Структурная схема микроконтроллера ADuC7060

Крім DS-ADC, архітектура будь-яких особливостей не має. Розмір корпусу у виконанні LFCSP не більше 5x5 мм, що дозволяє легко інтегрувати дану мікросхему в конструкцію різних датчиків.

Сімейство мікросхем MSP430 настільки велике і різноманітне за складом периферійного обладнання, що для їх подання необхідна окрема стаття, а краще брошура.

Мікросхеми даного сімейства містять в своєму складі навіть USB2-контролери і радіоканали. Тому наводимо одну з найбільш малогабаритних мікросхем даного сімейства - MSP430F1222. Розмір корпусу не перевищує 5x5



мм.

З урахуванням великого обсягу номенклатури мікросхем і теми роботи, аналіз мікросхем для датчиків проведено в частині мікроконтролерів, оптимізованих для пристроїв первинної обробки інформації.

На ринку периферійних мікроконтролерів провідними фірмами більш ніж з 80% часткою присутні компанії Microchip, Analog Devices, Texas Instruments, Acom, Silicon Labs.

Для розробки датчикової апаратури Microchip випускає сімейство dsPIC30F (4 типомінала) в розвиток серій dsPIC33 (54 типомінала), PIC24H, PIC24F (66 типоміналов). Всі вони побудовані на 16-розрядному ядрі, з них більше половини випускається в корпусах на 44 виведення і розміром менше 10x10 мм.

Для розробки датчикової апаратури Atmel пропонує широку номенклатуру 8- і 32-розрядних мікроконтролерів сімейств tinyAVR, megaAVR, XMEGA AVR, AVR-UC3 (32 біт), а також на основі ARM- ядер. Мікросхеми виробляються в корпусах на 8-100 висновків. Номенклатура перевищує 100 типоміналов.

Інтерес представляє серія ATsAD на основі ядра CortexM0+, націлена саме на датчикову тематику і випускається в корпусах невеликого розміру. До недоліків можна віднести АЦП малої розрядності.

На відміну від Microchip і Atmel компанія Analog Devices зробила ставку на мікроконтролери з вбудованими АЦП високої розрядності. Серії мікроконтролерів ADUC8 і ADUC7 містять АЦП з роздільною здатністю до 24 розрядів, а також ЦАП до 14 розрядів. Причому АЦП і ЦАП високої розрядності є в мікросхемах з кількістю висновків не більше 56 і корпусах розміром не більше 10x10 мм.

На особливу увагу заслуговують мікроконтролери останніх років на основі ядра ARM Cortex M3. Наприклад, ADUCM320 в BGA- корпусі розміром 6x6 мм. Мікросхема містить в своєму складі 4 ЦАП з струмовим виходом до 150 мА і здатна обробляти сигнали термохімічних селективних датчиків газу.

Загальна номенклатура мікроконтролерів від Analog Devices для обробки

сигналів датчиків перевищує 40 типоміналів.

Texas Instruments представляє найбільш широку лінійку мікроконтролерів для обробки сигналів різних датчиків, а також на додаток до мікроконтролерів випускає спеціалізовані мікросхеми для попередньої обробки цих сигналів.

Загальна номенклатура мікроконтролерів, які можна застосувати для обробки сигналів датчиків, становить 510 типоміналів, в тому числі 309 типів серії MSP430 і 16 типів з вбудованим радіоканалом.

Фірма Asam різко відрізняється від всіх виробників мікросхем для датчиків.

Вона випускає серії TDC, UFC, PicoCAP, PicoStrain, PicoTurn. Ці мікросхеми націлені на створення Мікропотужні перетворювачів сигналів датчиків в різних областях вимірювання потоків і температур (витратоміри). Середня потужність споживання може становити менше 3 мкВт.

Фірма Silicon Labs йде в основному в фарватері Analog Devices з деякими особливостями архітектури вбудованих мікропроцесорів, що дозволяє їм стійко тримати свій сектор ринку.

Загальна номенклатура мікроконтролерів від Silicon Labs для обробки сигналів датчиків складає більше 30 типоміналів.

Таким чином, на зарубіжному ринку присутні понад 800 типів різних мікроконтролерів (з урахуванням виконання корпусу і діапазону температур більше 2-3 тис. типоміналів), за своєю архітектурою призначених для обробки сигналів різних датчиків.

Таким чином, мікроконтролери для датчикової тематики повинні містити в своєму складі кілька електронних вузлів, - наприклад, від двох-трьох до десяти, - оптимізованих для обробки сигналів первинних перетворювачів фізичних величин без додаткових зовнішніх активних навісних елементів [9].

## 2.10 Мікросхеми живлення

Одне з найпростіших рішень щодо захисту входів від імпульсних перешкод ІІ пропонує фірма Maxim [7]. Це ряд спеціалізованих мікросхем -

обмежувачів напруги (MAX6495-MAX6499). Мікросхеми з зовнішнім потужним NMOS- транзистором дозволяють захистити навантаження як від вхідного перенапруги, так і від переполюсовки. Резистори R1 і R2 задають поріг спрацьовування захисту від перенапруги (рис. 2.26).

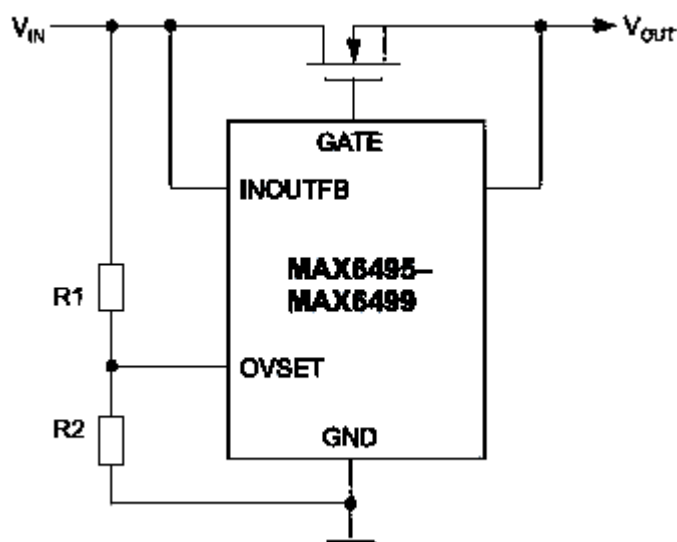


Рисунок 2.26 — Обмежувач напруги

Таке рішення доцільно застосовувати для захисту пристроїв з малим і надмалим споживанням 0,25-10 .. .20 Вт.

Вхідні фільтри-атенюатори сімейства FIAM (Filter Input Attenuator Module) застосовуються для придушення кондуктивних електромагнітних завад, а також для захисту DC / DC-конвертерів від вхідних імпульсних перенапруг і обмеження пускових струмів. Модулі FIAM допомагають з мінімальними витратами створити джерело живлення, відповідний високим вимогам щодо електромагнітної сумісності та стійкості до вхідних імпульсним збуренням мілісекунди тривалості.

Проте сучасні вимоги до малогабаритним інтелектуальним датчикам змушують розробників зменшувати розміри вузлів живлення. Це можливо через малу споживаної потужності датчиком в цілому. У сучасних датчиків дана величина становить менше 200-300 мВт, навіть з урахуванням інтерфейсу.

Подібні рішення вимагають появи на ринку елементної бази сверхмалогабаритних джерел живлення з вихідною потужністю нижче 1 Вт і

об'ємом менше  $2 \text{ см}^3$ .

Частково перерахованим умовам (немає захисту від імпульсів і переполюсовки) задовольняє модуль LTM8020, при габаритах  $6,25 \times 6,25 \times 2,32 \text{ мм}$  (менше  $0,1 \text{ см}^3$ ) характеризується вихідною потужністю до 1 Вт і потребує всього в трьох елементах зовнішньої об'язки розміром не більше 0603. тобто на основі цього модуля можна побудувати джерело живлення об'ємом менше  $1 \text{ см}^3$ , повністю відповідний регламентам для електроустаткування В і ОТ.

Технічне рішення імпульсного стабілізатора без гальванічної розв'язки з підвищеним вхідним напругою можна розглянути на прикладі мікросхем LinkSwitch-TN Family від Power Integrations (LNK302-LNK306). На основі наведених мікросхем реалізуються імпульсні джерела живлення з вихідною потужністю від 0,25 Вт до декількох ват. Детальний опис застосування цих мікросхем наведено в Application Note AN-37, April 2009. Відзначимо, що дані мікросхеми виконані по високовольтній технології з вбудованими транзисторами на робочу напругу до 700 В.

Для організації живлення від мережі +27 В з допустимими перенапруженнями до 90 В оптимальна мікросхема LM5019 від TI, що виготовляється по високовольтній DMOS- технології. Без будь-яких додаткових захисних пристроїв, крім діода захисту від переполюсовки, мікросхема дозволяє виконати на її основі блок живлення потужністю до 1 Вт на площі менше  $1 \text{ см}^2$ . ККД при номінальній напрузі 24 В і струмі навантаження 60-80 мА становить не менше 80%, тобто в номінальному режимі мікросхема розсіює не більше 200 мВт і не вимагає спеціальних заходів щодо відведення тепла.

Внутрішня структура мікросхеми LM5019 показана на рис. 2.27. Типова схема включення мікросхеми наведена на рис. 2.28. Схема містить: вхідний конденсатор фільтра CIN, вихідний фільтр L1 COUT, резистори зворотного зв'язку RFB1 і RFB2 і пасивні навісні елементи, які, згідно з описом для мікросхеми, необхідні для її коректної роботи.

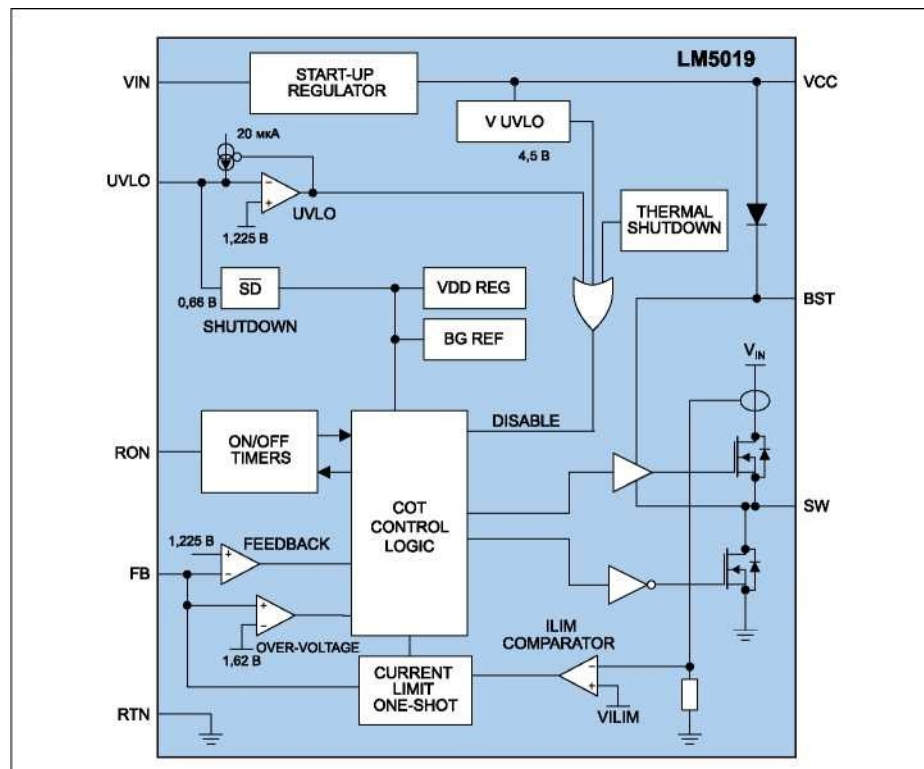


Рисунок 2.27 — Структура мікросхеми LM5019

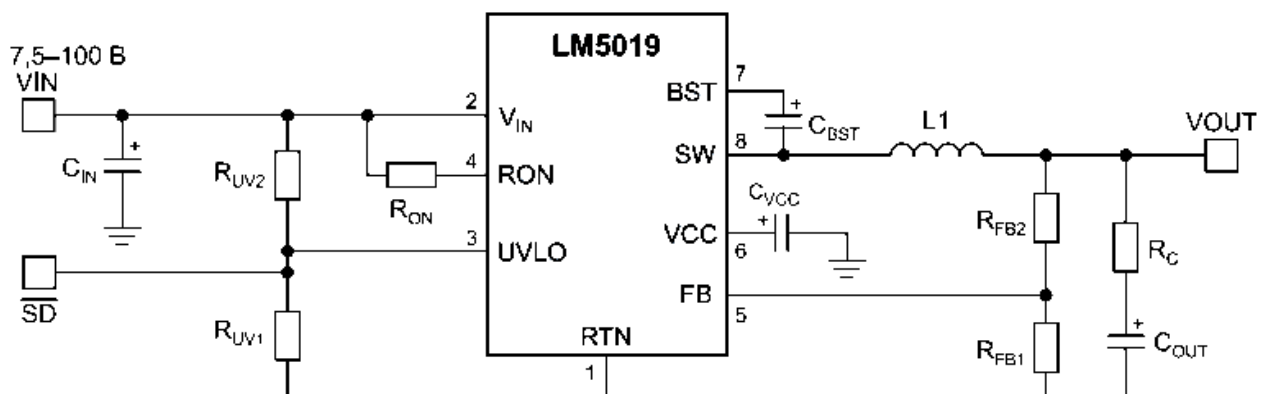


Рисунок 2.28 - Типова схема включення мікросхеми

Texas Instruments пропонує в мікросхемі TPS55010 дуже оригінальне технічне рішення для мікросхем джерел живлення з широким діапазоном вхідних напруг і струмів навантаження без організації безпосередньої ланцюга зворотного зв'язку. У даній мікросхемі введена зворотний зв'язок по напрузі зворотного ходу силового трансформатора при його «закоротки» по змінному струмі. Таке рішення дозволяє точно відстежити вихідна напруга і заощадити на елементах ланцюга зворотного зв'язку з необхідною розв'язкою на оптопарі чи

іншому приладі передачі аналогового сигналу через ізолюючий бар'єр. Розмір корпусу мікросхеми 3x3 мм, відповідно, весь модуль живлення можна виконати в дуже малому обсязі.

Типова схема включення імпульсного стабілізатора TPS55010 приведена на рис. 2.29.

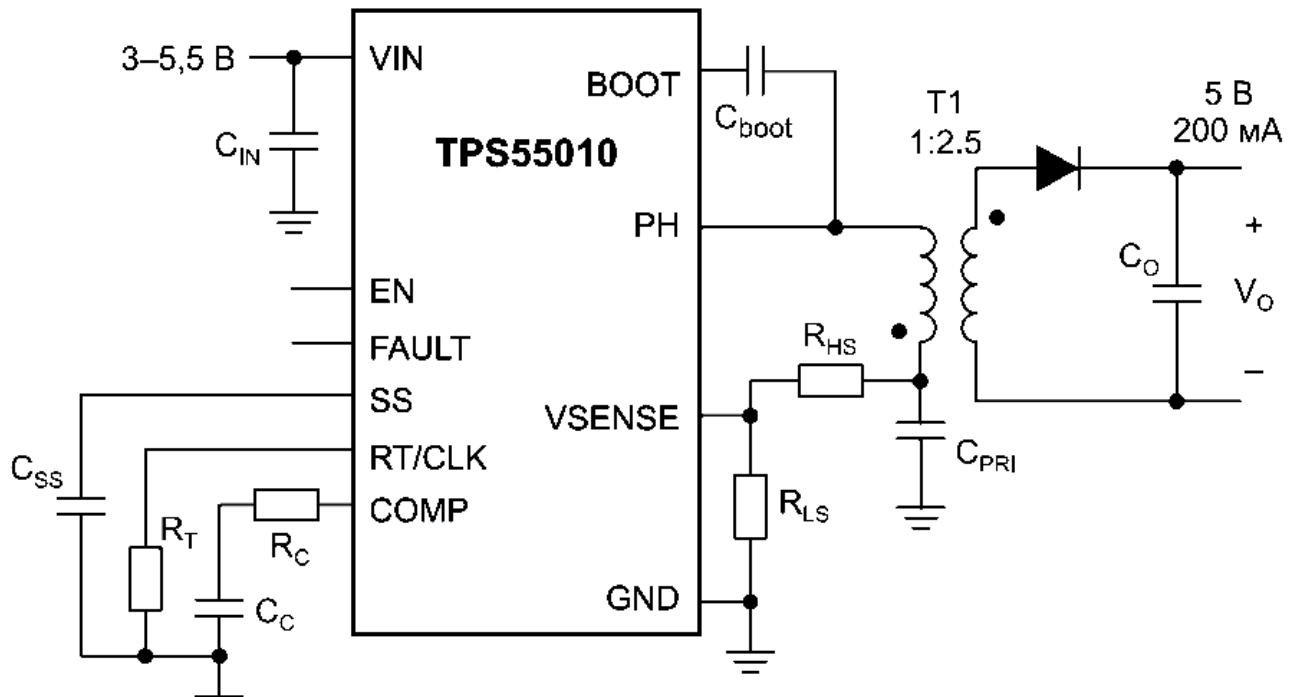


Рисунок 2.29 - Структурна схема мікросхеми TPS55010

Далі розглянемо елементну базу для передачі даних. Найбільш просте рішення по організації інтерфейсу з віддаленим інтелектуальним датчиком - застосування мікросхем з вбудованою гальванічною розв'язкою. Наприклад, з використанням мікросхеми ADuM1201. При споживаній потужності не більше 20 мВт вона допомагає організувати повнодуплексний канал передачі даних зі швидкістю до 10 Мбіт/с. При цьому габаритний об'єм мікросхеми менш 0,06 см<sup>3</sup>.

## 2.11 Управління виконавчими пристроями

Іноді в датчиках виникає необхідність управляти допоміжними механізмами і пристроями. Наприклад, захисної заслінкою, підігрівачем або подібним пристроєм. Для скорочення кількості проводів, приєднаних до

датчика, в інтелектуальних датчиках встановлюють силові пристрої, керовані від мікроконтролера датчика. Для сполучення вихідних керуючих сигналів мікроконтролерів з виконавчими механізмами і пристроями з'являється потреба в силових ключах з вихідними струмами, як правило, не більше 2-3 А. Доцільно розробити як мінімум два типи силових ключів:

- ключі з впливають струмом, для управління заземленими навантаженнями;

- ключі з втікає струмом для управління навантаженнями, приєднаними до шини живлення.

У світі сьогодні існує більше десяти фірм, які спеціалізуються на напівпровідникової продукції і випускають більш 400-500 найменувань інтелектуальних силових ключів (Smart Power Switch). До цих фірм можна віднести такі відомі компанії, як Siemens, Fairchild, International Rectifier. Крім скорочення кількості проводів, застосування Smart Power Switch в інтелектуальних датчиках підвищує їх надійність за рахунок того, що дані прилади, маючи вбудований захист, «рятують» не тільки себе, але і підключену до них навантаження і дозволяють проводити ранню діагностику силових вузлів датчиків. При цьому також знижуються габарити і вага пристроїв.

На жаль, в Україні не випускаються повноцінні інтелектуальні датчики, і в разі підвищених вимог до апаратури розробники змушені виконувати подібні силові вузли за допомогою великої кількості навісних елементів і таких ресурсів мікроконтролера, як АЦП.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

У системах управління як приклад Реальні показники можуть відрізнятися можна назвати температуру в печі, тиск в камері, вологість, витрата протікають по трубопроводах рідин і газів, вага інгредієнтів, струми в обмотках електродвигуна.

Конструктивно закінчений датчик складається з первинного перетворювача, схеми попередньої обробки сигналу і передачі даних, корпусу і роз'єму.

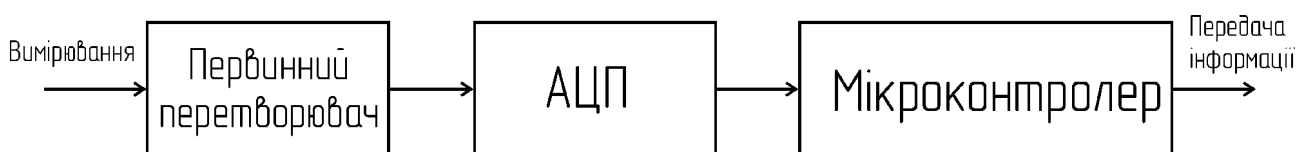


Рисунок 3.1 - Конструктивно закінчений датчик

Первинний перетворювач конвертує значення фізичних параметрів, таких як вага, тиск, температура, вологість або освітленість, в електричний сигнал.

В даний час найбільш поширені тензометричні сенсори з металевою мембраною. Все більш широке застосування знаходять ємнісні сенсори з мембраною з надчистої кераміки (99,9% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), наприклад, фірми Endress + Hauser і п'єзорезистивні сенсори, наприклад, фірми Honeywell. Принцип дії тензосенсорів з металевою мембраною заснований на вимірюванні деформації тензорезисторів, сформованих в тонкій плівці кремнію на сапфіровою підкладці (КНС), припаяної твердим припоєм до титанової мембрані. Іноді замість кремнієвих тензорезисторів використовують металеві: мідні, нікелеві і ін. Принцип дії тензорезисторів заснований на явищі тензоефекту в матеріалах, який виражається в тому, що при лінійному подовженні провідника його електричний опір збільшується. Тензорезистори з'єднані в міст Уїтсона. Під дією тиску вимірюваного середовища мембрана прогинається, тензорезистори деформуються. Їх опір змінюється, що призводить до розбалансу моста. Розбаланс має лінійну залежність від ступеня деформації резисторів і, отже, від



прикладеного до мембрани тиску. Розбаланс моста перетвориться електронікою датчика в вихідний аналоговий сигнал і в цифровий код для виведення даних на дисплей. Мембрана і корпус сенсора утворюють герметичну конструкцію, заповнену всередині кремнійорганічною рідиною. Незважаючи на безліч переваг, таких як: висока ступінь захисту від впливу агресивних середовищ, висока гранична температури вимірюваного середовища, низька вартість, налагоджене серійне виробництво датчики тиску з тензосенсорами і металевою мембраною мають ряд недоліків. Зокрема, фатальна тимчасову нестабільність передавальної характеристики (тиск-струм) і істотні гістерезисні ефекти від впливу тиску і температури. Це обумовлено неоднорідністю конструкції і жорстким зв'язком мембрани з корпусом сенсора. При експлуатації датчиків з сенсорами даного типу практично завжди спостерігається ефект прямого і зворотного ходу. Наприклад, якщо на датчик зі шкалою 0-10 Bar і вихідним сигналом 4-20 mA подати тиск 5 Bar, плавно збільшуючи його з 0 значення то встановиться, припустимо, вихідний струм 11,5 mA. Якщо ж, на той же датчик подати тиск 5 Bar, але тепер плавно зменшуючи з 10 Bar, то вихідний сигнал буде вже 12,5 mA. Цей ефект пов'язаний з пружними властивостями металевої мембрани. Робота ємнісних сенсорів датчиків тиску заснована на залежності ємності конденсатора від відстані між його обкладинками. Чим менше відстань, тим більше ємність. Роль однієї обкладки (рухомого) виконує металізація внутрішньої сторони мембрани, роль другої обкладання (нерухомої) - металізація підстави сенсора. Рухома мембрана виготовляється з надчистої кераміки, кремнію або пружного металу. При зміні тиску процесу (робочого середовища) мембрана з обкладанням деформується, відстань між нею і підставою сенсора змінюється і відбувається зміна ємності. Перевагою ємнісного сенсора з надчистої кераміки є простота конструкції, висока точність і тимчасова стабільність показань, можливість вимірювати низький тиск і слабкий вакуум завдяки відсутності заповнюючого масла. Керамічна мембрана має корозійну стійкість до хімічно-агресивних середовищ і стійкість до стирання. Крім того у ємнісних керамічних сенсорів відсутній ефект прямого і

зворотного ходу. Вони в меншій мірі схильні до впливу гідравлічних ударів, так як мембрана в цьому випадку просто притискається до основи сенсора.

До недоліків ємнісних сенсорів можна віднести нелінійну залежність ємності від прикладеного тиску, але ця нелінійність компенсується електронікою датчика. Так, наприклад, до керамічних ємнісних сенсорів датчиків тиску Cerabar фірми Endress + Hauser додається спеціальний паспорт, в якому виробник вказує настроювальні коефіцієнти. При заміні сенсора ці коефіцієнти повинні бути занесені до внутрішньої незалежної пам'яті датчика за допомогою HART-комунікатора. В іншому випадку похибка вимірювання тиску істотно зростає, зростає і нелінійність вимірювання.

Досить широко в даний час поширені датчики з чутливими елементами на основі монокристалічного кремнію. Незважаючи на схожу конструкцію з приладами на основі КНС структур вони мають на порядок більшу тимчасову і температурну стабільність, більш стійкі до впливу ударних і знакозмінних навантажень. Ефект прямого - зворотного ходу також відсутній, що пояснюється використанням ідеально-пружного матеріалу. Даний тип сенсора (інтегральний перетворювач тиску), являє собою мембрану з монокристалічного кремнію з розміщеними на ній методом дифузії п'єзорезисторами. П'єзорезистори з'єднані в міст Уїнстона. Кристал ВПС прикріплюється до діелектричних основи легкоплавким склом або методом анодного зрощування. Для вимірювання тиску чистих неагресивних середовищ застосовуються, так звані, Low cost - рішення. Чутливі елементи в датчиках даного типу або не мають захисту зовсім, або захищені лише шаром силіконового гелю. При вимірюванні агресивних середовищ чутливий елемент розміщується в герметичному металевому корпусі, з розділовою діафрагмою з нержавіючої сталі, що передає тиск вимірюваного середовища на ВПС за допомогою кремнійорганічної рідини [9].

Недоліком датчиків з п'єзорезистивними сенсорами є їх порівняно невисока гранична робоча температура вимірюваного середовища - не більше 150 °С.

### 3.1 Дослідження точності датчиків

Для проведення експериментальних досліджень використовуватимемо 2 типу поширених датчиків DS18B20, MS5611.

MS5611-01BA - це нове покоління датчиків тиску з високою роздільною здатністю від MEAS Швейцарія з шиною SPI і інтерфейсом I2C. Цей датчик барометричного тиску оптимізований для вимірювання висоти з дозволом по висоті 10 см. Модуль датчика включає в себе датчик тиску з високою лінійністю і 24-розрядний  $\Delta\Sigma$  АЦП з наднизьким енергоспоживанням і внутрішньої заводської калібруванням з використанням коефіцієнтів. Він забезпечує точне цифрове 24-бітове тиск і значення температури і різні режими роботи, які дозволяють оптимізувати швидкість перетворення і споживання струму.

Вимірювання температури з високою роздільною здатністю дозволяє реалізувати функцію висотоміра / термометра без будь-якого додаткового датчика.

MS5611-01BA може бути підключений практично до будь-якого мікроконтролеру. Протокол зв'язку простий, без необхідності програмування внутрішніх регістрів в пристрої. Невеликі розміри всього 5,0 мм x 3,0 мм і висота всього 1,0 мм дозволяють використовувати його для інтеграції в мобільних пристроях. Цей нове покоління сенсорних модулів засноване на провідних технологіях MEAS Швейцарія, які широко використовуються в протягом більше десяти років.

Коротка характеристика датчика MS5611:

- Живлення: 1.8 - 3.6 В;
- Діапазон вимірювання тиску: від 10 до 1200 гПа (від -1500 від +36500 метрів над рівнем моря);
- Точність вимірювання висоти: до 10 см;
- Струм: 1 мкА при частоті опитування 1 Гц;
- Робоча температура: -40 ... +85 °С
- Вихідний сигнал: цифровий [10].

Функціональна схема датчика показана на рис. 3.2.

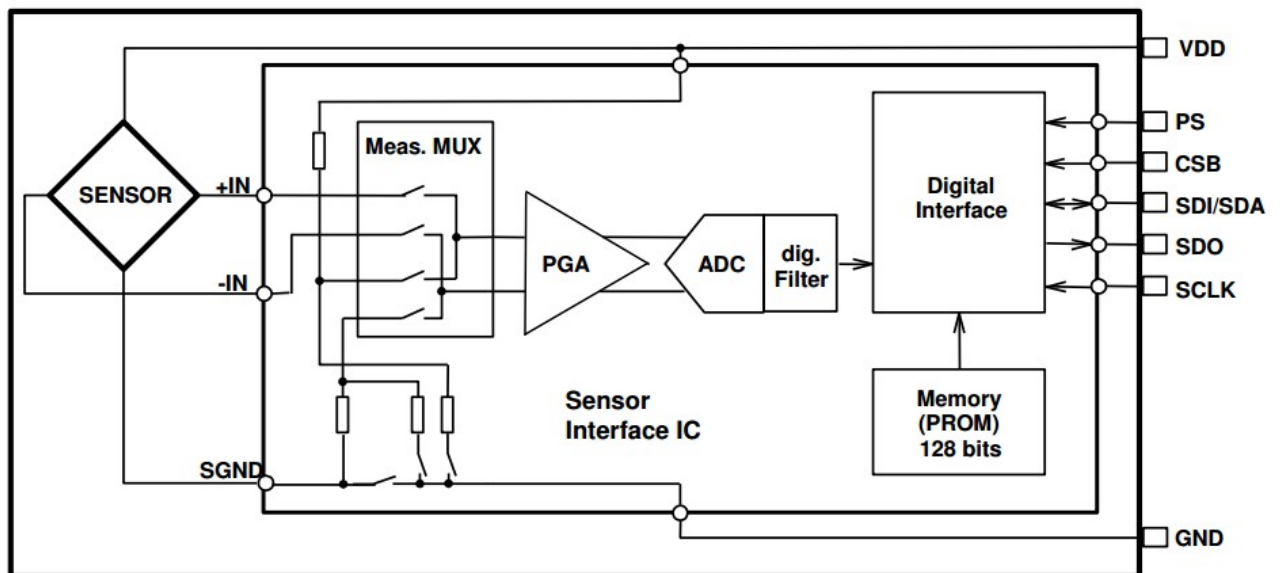


Рисунок 3.2 - Функціональна схема датчика

Датчик DS18B20 - це цифровий термометр з програмованим дозволом, від 9 до 12-bit, яке може зберігатися в EEPROM пам'яті приладу. DS18B20 обмінюється даними по 1-Wire шині і при цьому може бути як єдиним пристроєм на лінії так і працювати в групі. Всі процеси на шині управляються центральним мікропроцесором. Кожен DS18B20 має унікальний 64-бітний послідовний код, який дозволяє, спілкуватися з безліччю датчиків DS18B20 встановлених на одній шині. Такий принцип дозволяє використовувати один мікропроцесор, щоб контролювати безліч датчиків DS18B20, розподілених за великим ділянці. Додатки, які можуть отримати вигоду з цієї особливості, включають системи контролю температури в будівлях, і устаткуванні чи машинах, а так само контроль і управління температурними процесами. Можливо також виконання без герметичного корпусу.

Коротка характеристика:

- Живлення: 3 ... 5,5 В постійного струму;
- Діапазон вимірюваних температур: -55 ... +125 °C від -10 до + 85 °C з точністю  $\pm 0,5$  °C;
- Період вимірювань: 1 сек. між вимірами;
- Вихідний сигнал: Цифровий [11].

Структурна схема показана на рис. 3.3.

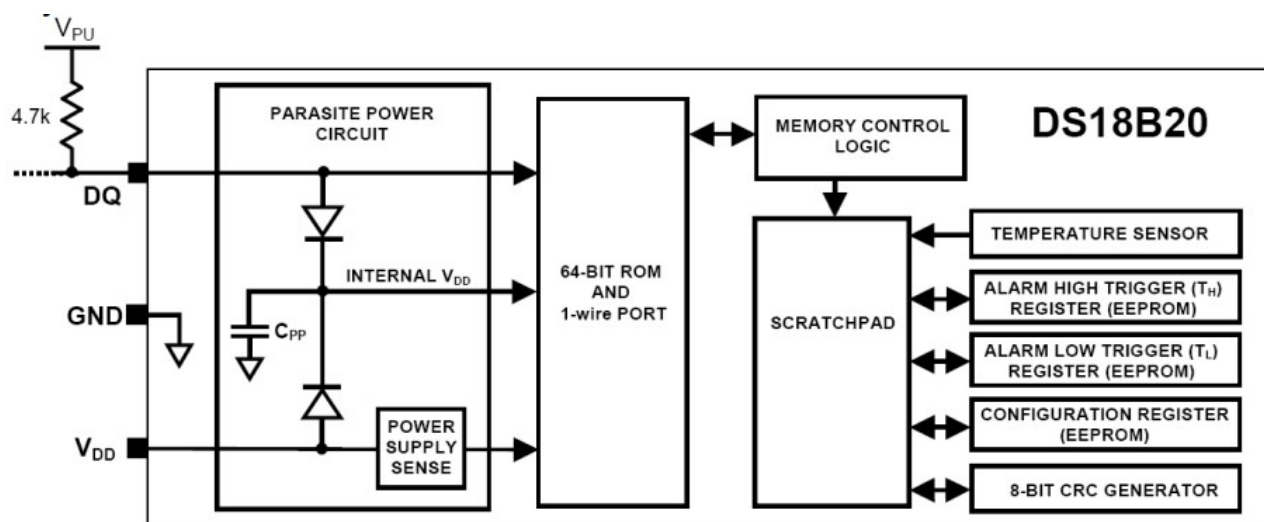


Рисунок 3.3 — Структурна схема датчика

Результати проведених замірів температури і тиску з використанням обраних датчиків представлені на рис. 3.4 - 3.6. На рис. 3.3 представлений графік вимірювання тиску в лабораторних умовах коли тиск плавно зменшувалася. Таким чином, значні коливання тиску (понад 15 Па) на графіку (рис. 3.4) вимагають додаткових розрахунків з боку системи управління, зокрема, усереднення показань як мінімум по 10 точкам з подальшим розрахунком лінії тренду, яка показана на малюнку у вигляді лінії.

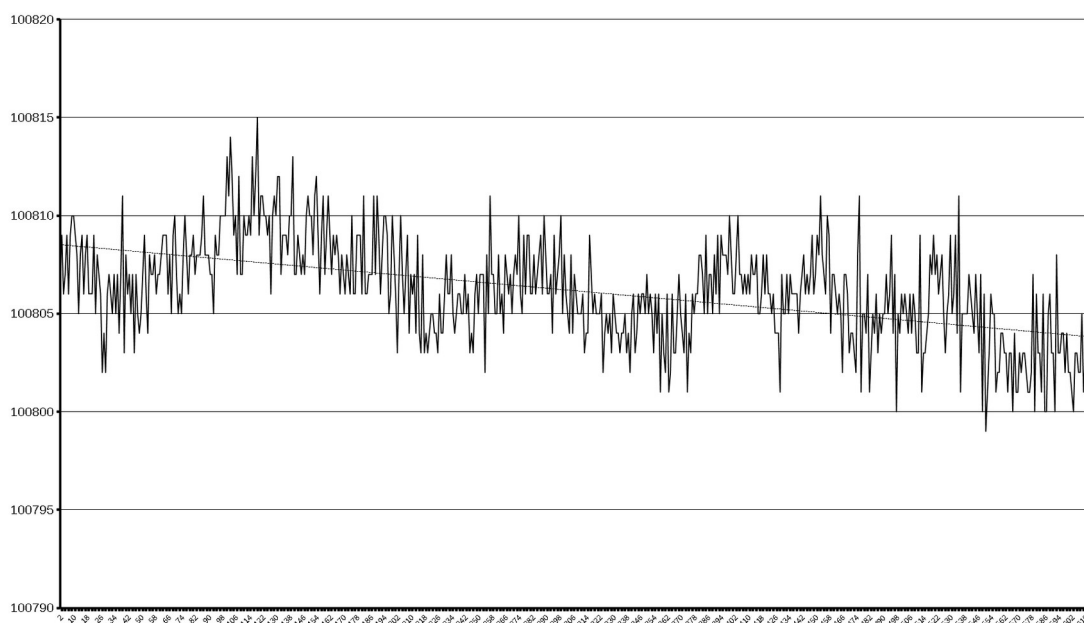


Рисунок 3.4 — Графік зміни тиску

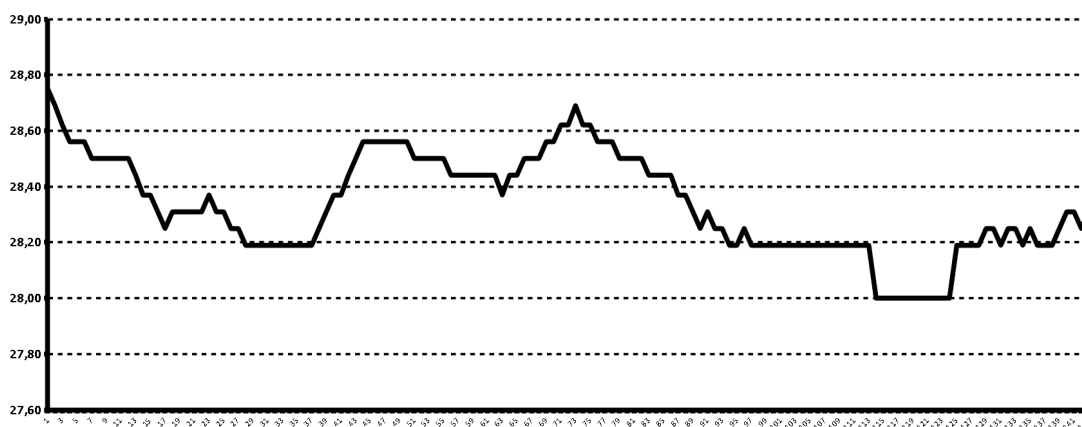


Рисунок 3.5 — Графік вимірювання температури датчиком DS18B20

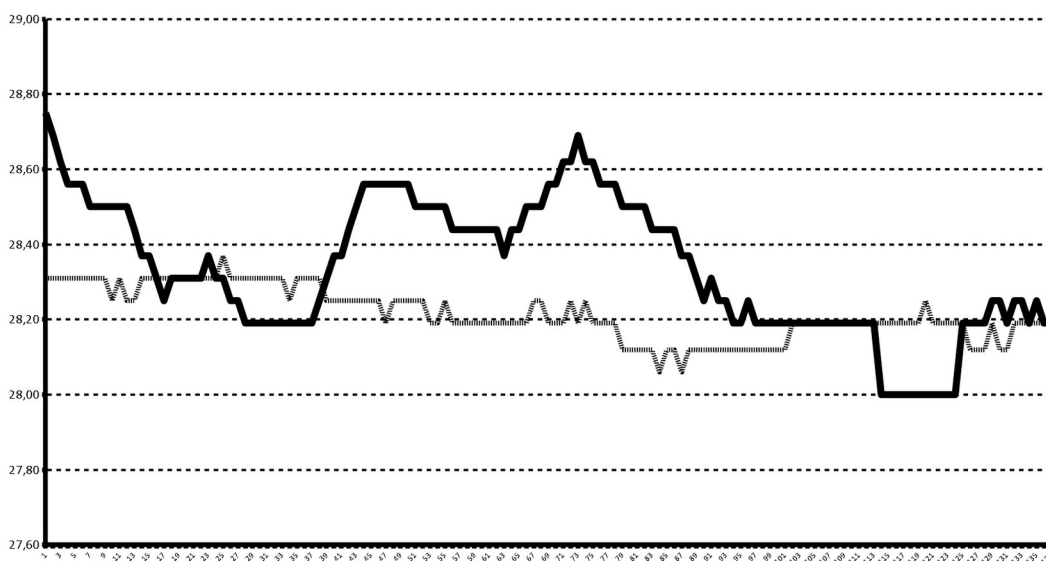


Рисунок 3.6 — Графік вимірювання температури 2-х датчиків DS18B20

Результати вимірювання температури також показують нестабільність показань незважаючи на високу роздільну здатність внутрішнього АЦП датчика. Більш того датчики з однієї партії мають значний розкид по вимірюваній температурі, який можна спостерігати на рис. 3.6. З огляду на той факт, що доступ до внутрішніх параметрів датчика закритий розробником ми не має можливості внутрішньої компенсації, що знову ж таки призводить до додаткових розрахунків на стороні системи управління.

На рис. 3.7 показано фрагментом відмінність алгоритмів при прямому зчитуванні інформації з датчиків (а) і з використанням інтелектуального модуля (б) в завдання якого входить калібрування і усереднення показань.

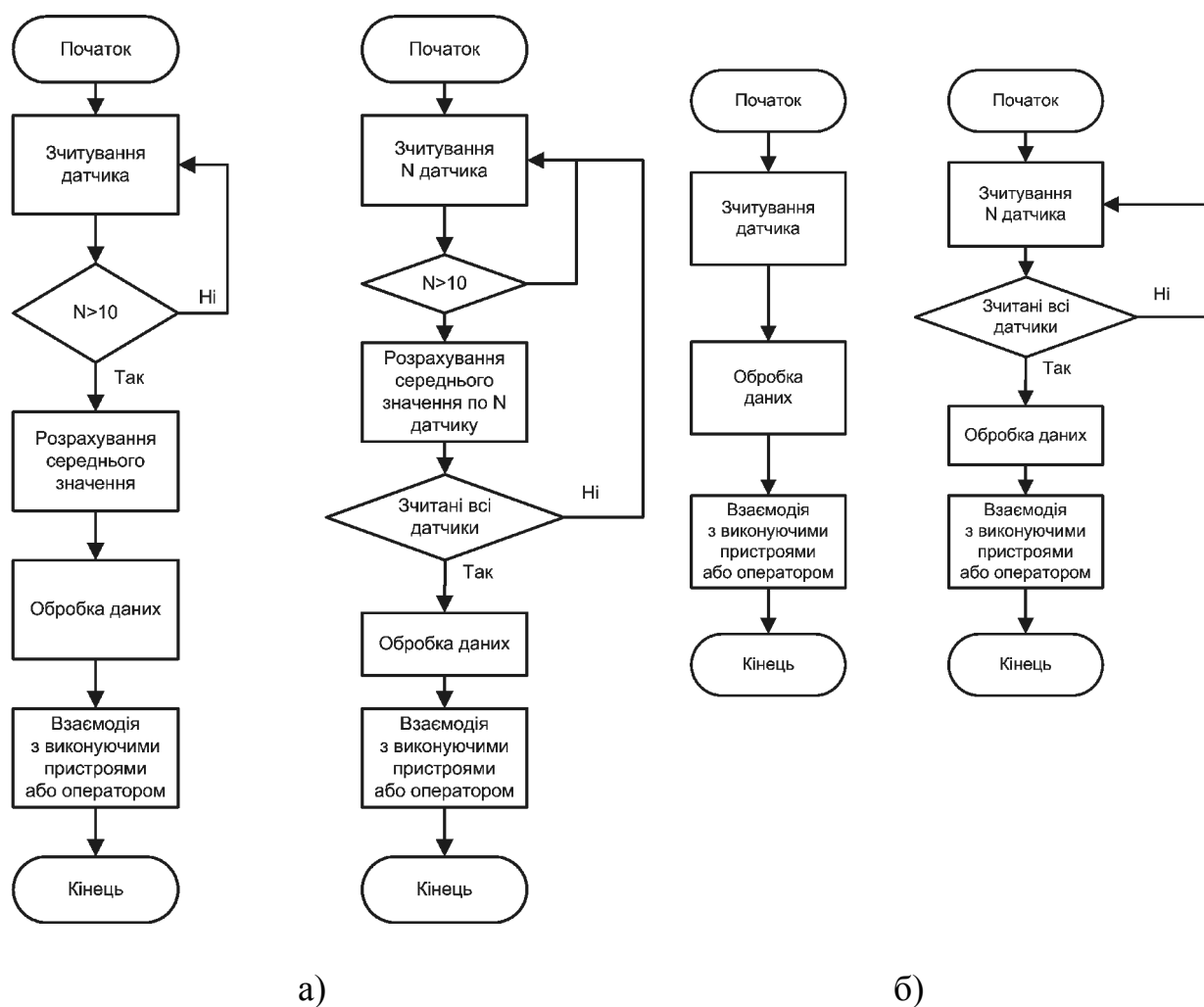


Рисунок 3.7 — Фрагменти алгоритмів опитування датчиків:  
 а) без інтелектуального модуля, б) з інтелектуальним модулем

Таким чином, розвантаживши систему управління від непотрібних обчислень можна або покращувати алгоритм взаємодії з об'єктами, або раціонально використовувати обчислювальні ресурси, використовуючи менш потужні мікроконтролери, що в обох випадках позитивно позначається на роботі системи управління в реальному часі. Запропонований підхід ще більше матиме виражений ефект при побудові розподілених систем з великою кількістю датчиків, фрагменти алгоритмів в першому випадку збільшуються пропорційно кількості датчиків, а обчислювальні ресурси вимагають як мінімум 32-х розрядний мікроконтролер, так як більшість розглянутих датчиків мають 24-х розрядний код.

Для розробки універсального інтелектуального модуля потрібно вибрати

АЦП, так як вбудований в мікроконтролер має низькі показники. Для цього розрахуємо розрядність і чутливість.

Розрядність АЦП визначає максимальні і мінімальні значення в вихідному регістрі при мінімальному і максимальному вхідному впливі електричного сигналу.

Слід зазначити, що максимальна розрядність АЦП може не відповідати його ефективної розрядності.

Частина молодших розрядів може бути віддана на шум. Звернемося до технічних характеристик на мікроконтролер ADuCM360 (рис. 3.8), що має 24-розрядний АЦП з ефективною розрядністю 14 біт:

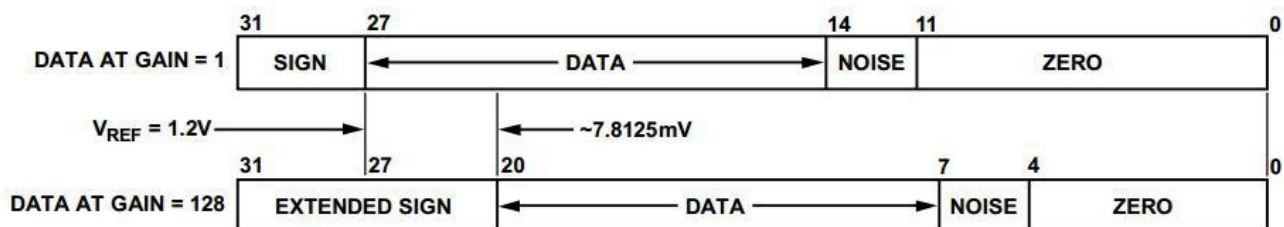


Рисунок 3.8 - Призначення бітів регістра даних АЦП

Як видно з рис. 3.8, в 32-розрядному регістрі, частина виділяється на знак, частина на нулі і частина на шум. І лише 14 розрядів містять дані, що мають зазначену точність. У будь-якому випадку, ці дані завжди вказуються в документації.

Від ефективної розрядності АЦП залежить його чутливість. Чим більше проміжних ступенів вихідної напруги, тим вище буде чутливість.

Припустимо, опорна напруга АЦП  $U_{оп}$ . Тоді, N-розрядний АЦП, маючи  $2^N$  можливих значень, має чутливість

$$a = \frac{U_{оп}}{2^N}, B$$



Таким чином, для 12-розрядного АЦП і опорного напруги в 3,3 його чутливість складе  $3,3 / 4096 = 0,8\text{мВ}$ .

Так як наш датчик також володіє певною чутливістю і точністю, буде непогано, якщо АЦП буде мати кращі показники. Тому вибираємо перетворювач на 24 біта MAX11200 з ефективною розрядністю яка не містить шуму 21 біт. Ефективна чутливість АЦП складе:

$$A = 3,3/2097152 = 1,57 \text{ мкВ.}$$

Підсумкова структура інтелектуального датчика представлена на рис. 3.9.

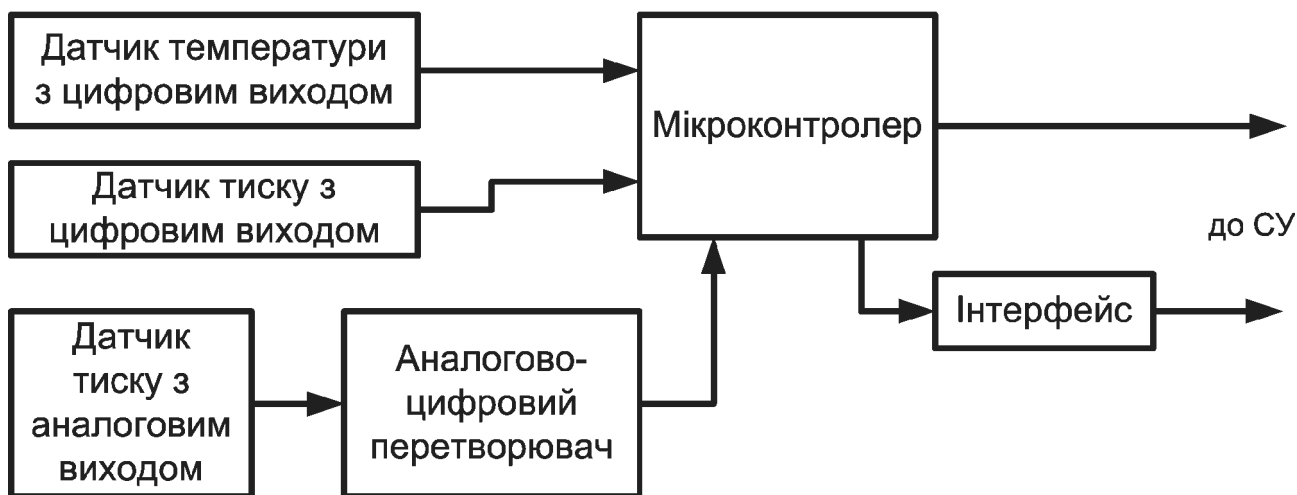


Рисунок 3.9 — Структура інтелектуального датчика

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Конструкція датчика

Конструкція інтелектуального датчика виконана таким чином. Основні елементи приладу знаходяться платі довжина якої 77мм, ширина 56мм та висота 10мм. Плата друкована приладу кріпиться до шасі двома гвинтами М3. На передній панелі встановлені індикатор від блоку живлення для візуального контролю роботи.

За допомоги DipTrace проводилось проектування принципів схем і друкованих плат (EDA — система). DipTrace включає в себе чотири основні програми:

Schematic - розробка принципів схем;

PCB Layout - розводка плат, ручна і автоматичне трасування;

ComEdit - редактор корпусів;

SchemEdit - редактор компонентів.

Основні функції:

- Редактор плат - проектування плат за допомогою потужного автотрасувальника, зручною ручного трасування і системи позиціонування компонентів.

- Редактор схем - проектування схем з підтримкою ієрархії і необмеженої кількості аркушів. Експорт в редактор плат, список мереж (netlist) або симулятор.

- Редактори компонентів і корпусів - дозволяють створювати свої бібліотеки.

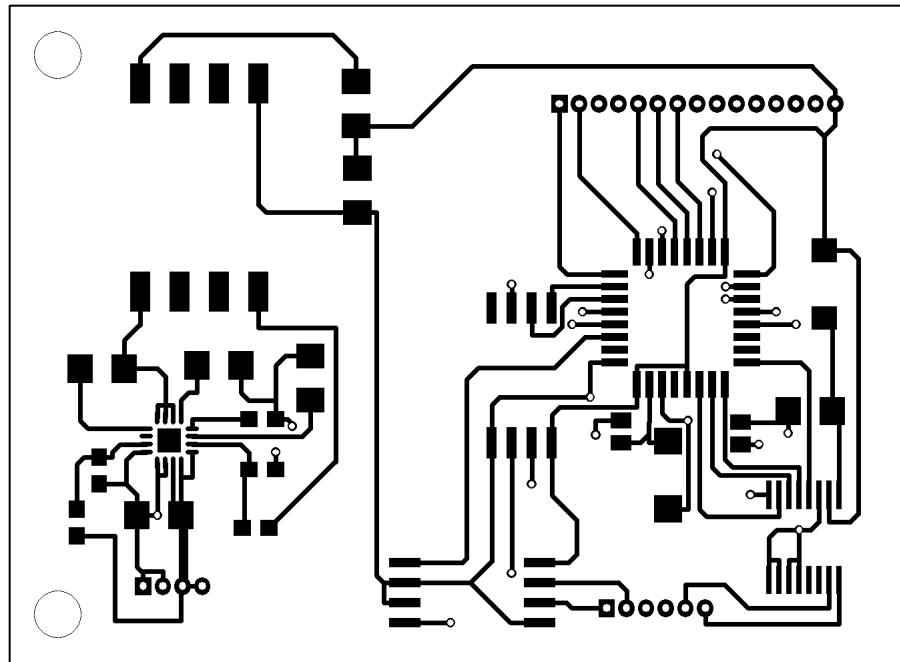
- Стандартні бібліотеки - містять більше 100 000 компонентів.

- 3D попередній - дозволяє переглядати тривимірну модель плати. З програмою поставляються більш 2.5 тис. 3D-моделей корпусів.

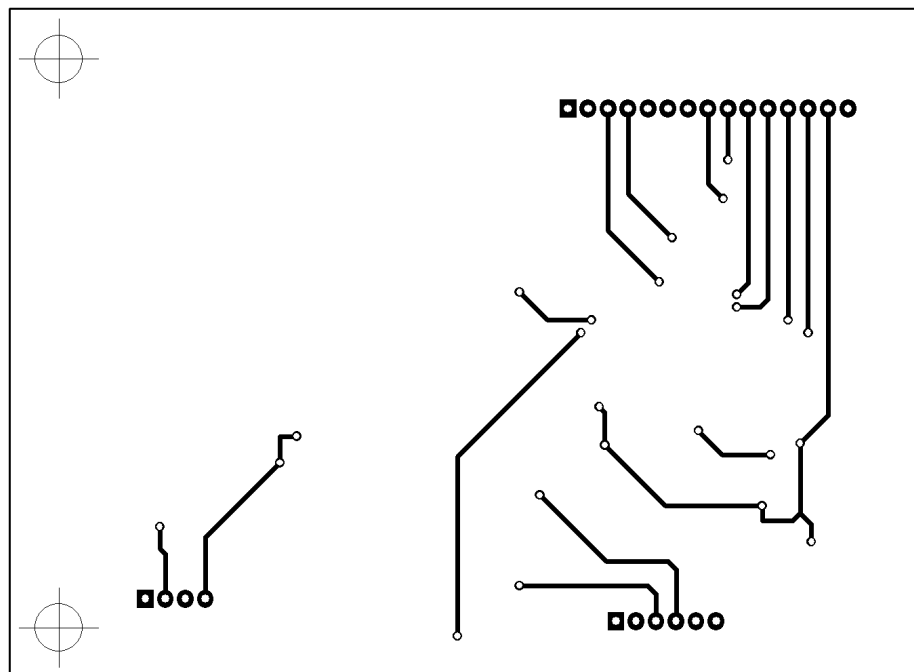
- Імпорт / Експорт - система може імпортувати схеми, плати і бібліотеки з P-CAD, PADS і інших популярних програм. Експорт в P-CAD, Gerber і інші формати дозволить підготувати плати для будь-якого виробництва.

- Доступний інтерфейс, довідка, підручник і приклади - дозволять швидко вивчити й ефективно користуватися програмою [12].

На рис. 4.2, а,б показано верхній та нижній шари плати друкованої інтелектуального датчику.



а)



б)

Рисунок 4.2 — Плата друкована

## 4.2 Технологія виготовлення та збірки друкарської плати

Друкована плата являє собою плоску ізоляційну підставу, на одній або обох сторонах якої розташовані струмопровідні смужки металу (провідники) відповідно до електричної схеми.

Застосування друкованих плат дозволяє полегшити настройку апаратури і виключити можливість помилок при її монтажі, так як розташування провідників і монтажних отворів однаково на всіх платах даної схеми. Використання друкованих плат, обумовлює також можливість зменшення габаритних розмірів апаратури, поліпшення умов відведення тепла, зниження металоємності апаратури і забезпечує інші конструктивно-технологічні переваги в порівнянні з об'ємним монтажем.

Виготовлення друкарських плат відбувається на виробничій ділянці, де встановлено необхідне устаткування. Для виготовлення друкарських плат (ДП) використовують:

- шаруваті матеріали: фольговані і нефольговані листові діелектрики (папір, склотканина і ін.);
- нешаруваті матеріали (листові матеріали на основі фотопласта, сополімера, арилокса і ін.).

Залежно від кількості шарів з електропровідним рисунком, друковані плати поділяють на:

- односторонні (ОДП; є тільки один шар фольги);
- двосторонні (ДДП; два шари фольги);
- багат шарові (БДП; фольга не тільки на двох сторонах плати але і у внутрішніх шарах діелектрика), які застосовуються у випадках, коли розводка сполук на двосторонній платі стає занадто складною.

Залежно від умов експлуатації вибирається марка матеріалу ДП. Зазвичай ДП розробляються простій прямокутної форми; конфігурацію, що відрізняється від прямокутної, застосовують в технічно-обґрунтованих випадках.

Процес виготовлення друкованої плати можна умовно розділити на п'ять основних етапів:

- попередня підготовка заготовки (очищення поверхні, знежирення);
- нанесення тим чи іншим способом захисного покриття;
- видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення);
- очищення заготовки від захисного покриття;
- сверловка отворів, покриття плати флюсом, лудіння.

1. Попередня підготовка заготовки є початковим етапом і полягає в підготовці поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення на неї захисного покриття. У цілому за тривалий проміжок часу технологія очищення поверхні не зазнала скільки-небудь значних змін. Весь процес зводиться до видалення окислів і забруднень з поверхні плати з використанням різних абразивних засобів і подальшого знежирення шкіри.

2. Нанесення захисного покриття є найважливішим етапом у процесі виготовлення друкованих плат, і саме їм на 90% визначається якість виготовленої плати. Найбільш популярними є три способи нанесення захисного покриття.

Застосування фоторезистів. Фоторезистом називається чутлива до світла речовина, яка під впливом освітлення змінює свої властивості. Сутність застосування фоторезиста полягає в наступному: на плату з нанесеним на неї шаром фоторезисту накладається фотошаблон і виробляється її засвітка, після чого засвічені (або незасвічені) ділянки фоторезисту змиваються спеціальним розчинником, в якості якого зазвичай виступає їдкий натр (NaOH). Всі фоторезисти діляться на дві категорії: позитивні та негативні. Для позитивних фоторезистів доріжці на платі відповідає чорна ділянка на фотошаблоні, а для негативних, відповідно, прозора. Найбільшого поширення набули позитивні фоторезисти як найбільш зручні в застосуванні.

Після нанесення шару фоторезисту необхідно висушити отриману плівку. Робити це рекомендується при температурі 70-80 градусів, причому спочатку потрібно підсушити поверхню при невеликій температурі і лише потім

поступово довести температуру до потрібного значення. Час сушіння при вказаній температурі становить порядку 20-30 хвилин. В крайньому випадку допускається сушіння плати при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом повинні зберігатися в темному прохолодному місці.

Наступним дією після нанесення фоторезисту є експонування. При цьому на плату накладається фотошаблон (бажано стороною друку до плати: це сприяє збільшенню чіткості при експонуванні), який притискається тонким склом або шматком плексигласу. При досить невеликих розмірах плат для притиску можна використовувати кришку від коробки компакт-диска або відміту від емульсії фотопластинку. Оскільки область максимуму спектральної чутливості більшості сучасних фоторезистів припадає на ультрафіолетовий діапазон, для засвічення бажано використовувати лампу з великою часткою УФ-випромінювання в спектрі (ДРШ, ДРТ та ін.). У крайньому випадку, можна використовувати потужну ксенонову лампу. Час експонування залежить від багатьох причин (тип і потужність лампи, відстань від лампи до плати, товщина шару фоторезиста, матеріал притискного покриття тощо) і підбирається експериментально. Проте в цілому час експонування становить зазвичай не більше 10 хвилин навіть при експонуванні під прямими сонячними променями.

Прояв більшості фоторезистів здійснюється розчином їдкого натру (NaOH) - 7 грамів на літр води. Краще всього використовувати свіжоприготований розчин, що має температуру 20-25 градусів. Час прояву залежить від товщини плівки фоторезисту і знаходиться в межах від 30 секунд до 2 хвилин. Після прояви плати можна піддавати травленню в звичайних розчинах, оскільки фоторезист стійкий до впливу кислот. При використанні якісних фотошаблонів застосування фоторезисту дозволяє отримати доріжки шириною аж до 0,15-0,2 мм.

3. При видалення зайвої міді з поверхні плати відомо багато складів для хімічного травлювання. Всі вони відрізняються швидкістю протікання реакції,

складом речовин, що виділяються в результаті реакції, а також доступністю необхідних для приготування розчину хімічних реактивів.

Найбільш популярні розчини для травлення:

- Хлорне залізо ( $\text{FeCl}_3$ ) - мабуть, найвідоміший і найпопулярніший реактив. Сухе хлорне залізо розчиняється у воді до тих пір, поки не буде отриманий насичений розчин золотисто-жовтого кольору (для цього потрібно близько двох столових ложок на склянку води). До недоліків даного розчину слід віднести освіту в процесі реакції відходів, які осідають на платі і перешкоджають нормальному протіканню процесу травлення, а також порівняно низьку швидкість реакції.

- Персульфат амонію - світла кристалічна речовина, розчиняється у воді виходячи зі співвідношення 35 г речовини на 65 г води. До недоліків цього розчину відноситься необхідність підтримання необхідного температурного режиму і перемішування.

- Розчин соляної кислоти ( $\text{HCl}$ ) і перекису водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Для приготування цього розчину необхідно до 770 мл води додати 200 мл 35% соляної кислоти і 30 мл 30% перекису водню. Готовий розчин повинен зберігатися в темній пляшці, не закритим герметично, тому що при розкладанні перекису водню виділяється газ. Увага: при використанні даного розчину необхідно дотримуватися всіх запобіжних заходів при роботі з їдкими хімічними речовинами. Всі роботи необхідно проводити тільки на свіжому повітрі або під витяжкою. При попаданні розчину на шкіру її необхідно негайно промити великою кількістю води. Недоліком даного розчину є необхідність суворого дотримання при роботі з ним усіх заходів обережності.

#### 4. Очищення заготовки, сверловка, нанесення флюсу, лудіння.

Після завершення травлення і промивання плати необхідно очистити її поверхню від захисного покриття. Зробити це можна яким-небудь органічним розчинником, наприклад, ацетоном.

Далі необхідно просвердлити всі отвори. Найзручніше для свердління плат використовувати електродвигуни типу ДПМ-35Н і їм подібні з насадженим

на їх вал невеликим цанговим патроном. Після свердловки потрібно обробити отвори: видалити всі щербини і задирки. Зробити це можна наждачним папером.

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Можна використовувати спеціальні флюси промислового виготовлення (найкраще змивані водою або взагалі не потребують змивання) або просто покрити плату слабким розчином канифолі в спирті. Лудіння можна проводити двома способами: зануренням в розплав припою або за допомогою паяльника і металевого обплетення, просоченої припоєм. У першому випадку необхідно виготовити залізну ванночку і заповнити її невеликою кількістю сплаву Розі або Вуда. Розплав повинен бути повністю покритий зверху шаром гліцерину щоб уникнути окислення припою. Для нагрівання ванночки можна використовувати перевернутий праску або електроплитку. Плата занурюється в розплав, а потім виймається з одночасним видаленням надлишків припою ракелем з твердої гуми.

На цьому процес виготовлення друкованої плати вважається закінченим і можна приступати до монтажу елементів на ній.

Вихідним параметром при конструюванні друкованих плат є крок координатної сітки. За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованих плат. Як правило, центри всіх видів отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної сітки. Її основний крок 2.5 мм, додатковий - 0.635 мм. При компонованні друкованої плати прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементами і розмістити їх так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, що виконуються друкованими провідниками. Розміри визначаються відомчими нормативами і ДСТУ. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати не повинен перевищувати 240x360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, так як великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні.



Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що пред'являються до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритів встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм. Перехідним елементом від отвору, в який вставляється вивід встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка.

Важкі елементи (наприклад, трансформатори) або елементи, схильні до механічних впливів (тумблери, потенціометри, підлаштування конденсатори), встановлюються насамперед за допомогою своїх утримувачів. Такі утримувачі забезпечують механічне кріплення відповідних елементів до плати і запобігають обрив і поломку виводів під впливом механічних навантажень.

У разі необхідності роблять додаткове кріплення корпусів елементів до плати за допомогою прив'язки, приклеювання, установки хомутів, скоб і інших утримувачів. Установку елементів на друковані плати рекомендується починати з менших за розмірами. Всі елементи встановлюють таким чином, щоб луджена частина виведення виходила з монтажного отвору [13].

## 5 ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень [14].

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

### 5.1 Суми витрат по статтям кошторису

5.1.1 Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добутків тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) [14].

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації системи управління для зарядного пристрою акумуляторних батарей на базі високочастотного перетворювача.

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	17,45	17,45	1	0,5	128,50	64,25
2	Схема електрична структурна	ф.А1	1	15,50	15,50	1	0,25	115,0	28,75
3	Складальне креслення	ф.А1	1	17,2	17,2	1	2,0	90,5	181
4	Креслення друкованої плати	ф.А1	1	16,90	16,90	1	1,0	108,3	108,3
5	Специфікація	ф.А4	4	0,80	3,20	1	1,0	80,5	80,5
6	Розрахунки	ф.А4	13	6,30	63	1	2,00	100,0	200
7	Записка пояснення	ф.А4	70	1,80	90,00	1	10	115,5	1155
8	Програмне забезпечення	ф.А4	4	9,50	57,00	1	6	120,5	723
	Разом:								2540,8

5.1.2 Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового

підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку заробітної плати на розробку технічної документації див. табл. 5.1.

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	5	12	18,0	216,0
2	Монтажні	6	10	21,6	216,0
3	Регулювальні	6	15	15,7	235,5
Разом:					667,5

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15% цій трудомісткості.

5.1.3 Накладні витрати беруться у розмірі 40...120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5.1.4 Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктовану апаратуру. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Склотекстоліт FR4	м <sup>2</sup>	0,03	1080,0	32,4
2	Лак	л	0,015	500,60	7,51
3	ПОС-61 з флюсом	кг	0,02	440	8,8
Разом:					48,71

Таблиця 5.4 - Витрати на куповані комплектуючих вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Джерело живлення	1	120	120
2	Конденсатор	3	10	30
3	Конденсатор керамічний	3	2,5	7,5
4	Мікроконтролер	1	31,2	31,2
5	Резистор	5	0,1	0,5
6	Мікросхема АЦП	1	68	68
7	Мікросхема	1	26	26
8	Світлодіод	1	5	5
9	Стабілізатор	1	4	4
10	Дроссель	1	8	8
11	Контакти	3	10	30
	Разом			330,2

5.1.5 Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали	48,71
2	Куповані комплектуючі вироби	330,2
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	18,95
4	Заробітна платня виробничих робочих	667,5
5	Додаткова заробітна плата (10%п.4)	66,75
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	271,6
7	ФЗП	
8	Накладні витрати (120% п.4)	801
Всього собівартість:		2204,71

5.1.6 В таблиці 5.6 приведено розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва.

Таблиця 5.6 Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	2540,8
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	381,12
3	Разом:	2921,92
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	1081,11
5	Накладні витрати (120% п.3)	3506,3
6	Собівартість дослідного зразка	2204,71
7	Інші витрати	510
Всього вартість розробки:		10224,04

5.1.7 В таблиці 5.7 приведено розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	7	12,20	85,4
2	Монтажні	5	3	12,78	38,34
3	Регулювальні	5	6	12,50	75
	Разом:				198,74

5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3 та 5.4, зведених в таблицю 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн
1	Матеріали	49,05
2	Куповані комплектуючі вироби	1602,20
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	82,56

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн
4	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.7)	198,74
5	Додаткова заробітна плата (10% п.4)	19,87
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	80,88
7	Загальновиробничі витрати (100% п.4)	198,74
8	Разом собівартість	2232,05
9	Прибуток (30% п.8)	669,62
Ціна виробника:		2901,67

## 5.2 Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі [14]:

$$\mathcal{E}_r = (P - E_H \cdot K_v) \cdot A_r, \quad (5.1)$$

де  $P$  - прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.8  $P = 2901,67$ );

$E_H$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_H = 0,15$ );

$K_v$  - питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

$A_r$  - річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_v = \frac{K}{A_r}, \quad (5.2)$$

де  $K$  - капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.6  $K = 10224,04$ ).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 50 шт/рік:

$$K_v = \frac{10224,04}{50} = 204,48.$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_r = (2901,67 - 0,15 \cdot 204,48) \cdot 50 = 143550 \text{ з}$$

Ефективність розробки визначається згідно:

$$E = \frac{\Delta r}{K}, \quad (5.3)$$

$$E = \frac{143550}{10224,04} = 14.$$

Термін окупності продукції рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E}, \quad (5.4)$$

$$T = \frac{1}{14} = 0,071 \text{ року}$$

В таблиці 5.9 приводяться загальні економічні показники розробленого інтелектуального датчика.

Таблиця 5.9 – Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проєктованому виробу
1	Витрати на КПП	грн.	10224,04
2	Собівартість розробки	грн.	2204,71
3	Ціна підприємства	грн.	2901,67
4	Річний обсяг випуску	шт.	50
5	Річний економічний ефект	грн.	143550
6	Ефективність розробки		14
7	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	0,071

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки інтелектуального датчика.



## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Лабораторія по збірці і настройці системи управління освітленням на базі світлодіодів є прямокутним приміщенням довжиною 5,7 м і шириною 4,3 м, висота стелі 3м. До заготівельних операцій відносять виготовлення друкованої плати, розрізку матеріалу, виконання базових отворів і виготовлення шарів на платах.

Робота в лабораторії пов'язана з шкідливою дією цілою рядом чинників. До таких чинників можна віднести:

- не комфортні метеорологічні умови (підвищена температура при роботі з паяльником);
- погана освітленість робочої зони;
- небезпека ураження електричним струмом; причиною якого може бути незнання правил поводження з електронебезпечними об'єктами та умов їх експлуатації.
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин, які утворюються під час пайки;
- пари етилового спирту, які виникає в повітрі під час промивання друкованої плати;
- пил, та мікрочастки скло текстоліту, які з'являються під час механічної обробки друкованої плати;
- вплив шкідливих факторів впливу моніторів ПК.

Висока температура впливає на людину і сприяє розширенню кровоносних судин. Відповідно має місце підвищений приплив крові до поверхні тіла і тепловіддача в навколишнє середовище значно підвищується. Однак, коли температура навколишнього середовища і поверхні досягає 30—35 °С, віддача тепла конвекцією і випромінюванням в основному припиняється.

Більш висока температура повітря сприяє тому, що більша частина тепла віддається за рахунок випаровування його з поверхні шкіри. В таких умовах організм губить відповідну кількість вологи, а разом з нею і солі, які відіграють важливу роль в життєдіяльності організму [16].

Відповідно до складального креслення в якості припою використовується олов'яно-свинцевий припій, а як флюс використовується безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1). ГДК у повітрі робочої зони 0,01 мг/м<sup>3</sup>. Олово є речовиною помірковано небезпечним (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м<sup>3</sup>. Спирт етиловий є мало-небезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/ м<sup>3</sup> [17].

При перевищенні допустимої концентрації парів свинцю під час проведення паяльних робіт на організм людини приводить до зміни репродуктивної, нервової, серцево-судинної, імунної та ендокринної систем. Сполуки свинцю можуть викликати легке отруєння, отруєння середньої важкості та важке отруєння. При тривалому впливі виникає отруєння свинцем (сатурнізму). Для легкого отруєння характерними є розвиток анемії, для середньої важкості – токсичний гепатит, свинцева коліка, астеновегетативний синдром, для важкого – енцефалопатія, порушення координації рухів, розлади мови, периферичні нейропатії. Характерними симптомами свинцевої інтоксикації є свинцева кайма по краю ясен, а також «свинцевий колорит» - землисто-сіре забарвлення шкіри. Виникає енцефалопатія, яка характеризується головними болями, розладами сну, епілептичними паралічами, коматозними станами, депресією. Рухові розлади характеризуються поліневритом з переважним ураженням розгиначів кисті та стопи. Розвивається тремор витягнутих рук, посмикування очних яблук, болі в руках і ногах, болючість при пальпації по ходу нервів, погіршення зору. Для жінок свинець представляє особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту і накопичуватися в грудному молоці.

В лабораторії підвищений шум на робочому місці створюється при роботі ПК, вентиляторної установки, стендів для випробувань друкованої плати, електродвигуни для свердління плат. Шум може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси в організмі людини. Він не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 1—15%, але нерідко призводить до професійних захворювань. Інтенсивний щоденний, він повільно й незворотно впливає на незахищений орган слуху і призводить до розвитку нейросенсорної приглухуватості.

Таблиця 6.1 – Оцінка умов праці робочого місця інженера-електроніка

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1	2	3	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : – пари спирту – свинець та його неорганічні з'єднання	0,1...10 0,01	0,2 0,0105	X 1,05p			10 17
2	Неіонізуюче випромінювання: – радіочастотний діапазон, В/м – діапазон промислової частоти, кВ/м	25 2,5	20 1,0–1,5				100
3	Мікроклімату приміщени (теплий період року): – швидкість руху повітря, м/с – температура повітря, °С – відносна вологість, % – інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	0,1 20–24 40–60 140	0,1–0,3 21–25 45–60 120	<4°С			100 100
4	Атмосферний тиск, мм.рт. ст.	760	750				100
5	Дрібні стереотипні рухи кистями та пальцями рук, кіл. за зміну	5000	5000-6000				50
6	Напруженість праці увага (тривалість концентрації, %)		80	>75			80-100
7	Напруженість аналізаторних функцій			точна			80

Робота за комп'ютером, супроводжується підвищеним напруженням зору, інтенсивністю і монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням та ін. Внаслідок цього трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та ін. Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати граничнодопустимих значень, встановлених у санітарних нормах, правилах і нормативно-технічній документації.

Найбільш близькими до природного освітлення є люмінесцентні джерела або лампи денного світла, але для них характерна пульсація світла з частотою електричного струму - 50 Гц. Це викликає перенапруження м'язової системи ока, кришталика, нервової системи, що сприяє швидкій стомлюваності, захворюваності [18].

Згідно таблиці 6.1 робота розробника виконується згідно з нормами умов праці робочого місця інженера-електроніка.

6.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В лабораторії зниження шуму є застосування звукоізоляції: кожухи, екрани, стіни, перетинки виготовляють із щільних твердих матеріалів, здатних запобігати розповсюдженню звукових хвиль (метал, пластмаса, бетон, цегла). Постійне перебування у місцях біля електродвигуна можливе тільки із застосуванням засобів індивідуального захисту, використовуються навушників, що забезпечують зниження рівнів звукового тиску в зоні високих частот 30-35 дБ. Шум ПК визначається, у першу чергу, їхніми силовими установками, тому для його зниження необхідне створення нових малошумних двигунів або модифікація існуючих.

Збільшення освітленості з 10 до 100 лк при напруженій зоровій роботі підвищує продуктивність праці на 10-20%, зменшує кількість браку на 20% та

знижує число нещасних випадків на 30%. Тому штучне освітлення у приміщеннях з ЕОМ здійснюється у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовують у рівномірному порядку над робочими місцями. Відношення яскравості екрана ЕОМ до яскравості оточуючих його поверхонь не повинно перевищувати у робочій зоні 3:1 [18].

Заходи захисту від ураження електричним струмом: забезпечення наявності надійної ізоляції на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою, усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах електроустановки з допомогою заземлення, занулення, захисного відключення. Важливим є застосування малих напруг та захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухів, огорожень.

Медичні профілактичні заходи: медичні огляди (попередні та періодичні); раціональне і профілактичне харчування; застосування змінного ритму і темпу роботи; виконання профілактичних та психологічних вправ [18].

### 6.3 Виробнича санітарія

Роботи, що проводяться в лабораторній, відносяться до розряду робіт дуже високої точності, 1 розряду, з найменшими розмірами об'єкту розрізнення 0.15 - 0,3 мм. Підрозряд зорових робіт при середньому контрасті об'єкту розрізнення з фоном і при середньому фоні - «В».

Освітленість від світильників загального штучного освітлення в системі комбінованого при газорозрядних лампах 400лк. В таблиці 6.2 показано розподіл природного та штучного освітлення [18].

В лабораторіях із зоровими роботами I-III розрядів слід застосовувати поєднане освітлення. При цьому нормовані значення КПО застосовуються 10, 7,5%.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10%

нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення [18].

Таблиця 6.2 - Розподіл природного та штучного освітлення

Характеристика зорової роботи		Дуже високою точності
Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм		Менш 0,15
Підрозряд зорової роботи		в
Характеристика фону		Середній
Контраст об'єкта розрізнення з фоном		Середній
Штучне освітлення, лк	При комбінованому освітленні	2500
	При загальному освітленні	750
Природне освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	10
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	2,8
Суміщене освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	6
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	1,7

Мікроклімат в лабораторії відноситься до категорії робіт: легка Іб. Оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологи та швидкості руху повітря повинні відповідати значенням, зазначених у таблиці 6.3. Коливань температури повітря по горизонталі в робочій зоні, а також протягом зміни допускаються до 4 °С - при легких роботах [19].

Таблиця 6.3

Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні

Період року	Температура, °С		Відносна вологість		Швидкість руху, м / с	
	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодний	21-23	24-17	40-60	75	0,1	<0,2
Теплий	22-24	28-19	40-60	55	0,2	0,1-0,3

В лабораторії виділяються пари етилового спирту з густиною, що перевищує густину повітря, то загальнообмінна вентиляція повинна забезпечити видалення 60% повітря з нижньої зони приміщення та 40 % - з

верхньої. Забезпечення вловлювання шкідливих виділень (газів, парів, пилу) безпосередньо в місцях їх виділення, застосовують місцеві відсмоктувачі, так як джерело шкідливостей не можна ізолювати, витяжний зонт або всмоктувальну панель.

В лабораторії повне кондиціонування повітря, передбачає регулювання температури, вологості, швидкості руху повітря, а також можливість його додаткового оброблення (очищення від пилу, дезінфекції) [19].

#### 6.4 Електробезпека

Живлення електроприладів усередині лабораторії здійснюється від трьохфазної мережі напругою 220 В і частотою 50Гц із використанням автоматів токового захисту .

В приміщенні сухо, без підвищеної температури і відповідно до [20] вона відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більш 35 °С, відсутні хімічно агресивні середовища. У лабораторії електропроводка схована, проведена в прорізах під штукатуркою на висоті 2м. Силові провідники, які з'єднують між собою ПК із системним блоком і принтером мають подвійну ізоляцію. Штепсельні розетки встановлені на висоті одного метра від підлоги. Вимикачі на стінах розташовані на висоті 1,75м від підлоги з боку ручки для відкривання дверей. Корпус дисплея, клавіатури, принтера і калькулятора виготовлені зі спеціального матеріалу удароміцного пластику, що робить поразку електричним струмом людини, при дотику до них практично неможливим.

При виконанні розробки інтелектуального датчика в лабораторії проводять операції, які повинні строго дотримуватися правила техніки безпеки, зокрема правила електробезпеки:

- всі доступні для дотику струмоведучі частини електроустаткування повинні бути захищені;
- рубильники і коробчаті вимикачі повинні бути миттєвої дії;

- щитки і рубильники повинні бути встановлені в глухих металевих кожухах, що закриваються на замок, і мати написи про вживану напругу;
- ручки і рукоятки, маховики повинні бути зроблені з ізолюючих матеріалів;
- все електроустаткування, а також устаткування і механізми, які можуть опинитися під напругою повинні бути заземлені;
- металеві частини електрифікованих інструментів при напрузі зверху 36В повинні бути заземлені, електропроводка і арматура освітлювальної мережі повинні бути надійно ізольовані і захищені від впливу високої температури, механічних пошкоджень і хімічних дій;
- роботи по ремонту устаткування і механізмів повинні проводитися тільки після повного відключення від мережі електроживлення; на місці робіт обов'язково вивішуються попереджувальні плакати;
- контактні дроти, що підлягають ремонту, повинні бути заздалегідь відключені і заземлені;
- у місцях роботи поблизу відкритих струмоведучих частин повинні бути встановлені дерев'яні щити і ґрати, покриті гумовими килимками

#### 6.5 Пожежна та техногенна безпека

Згідно з [23] будинок, де знаходиться лабораторія відноситься до категорії Д за пожежною небезпекою. Приміщення, в яких у системах машин охолодження та гідроприводу наявні ГР в кількостях не більше 60 кг в одиниці устаткування при тиску не вище 0,2 мПа, а також у яких є кабелі електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів. Можливий на клас пожежі за стандартом [23] – Е.

Споруда, де знаходиться лабораторія відноситься до 3-го ступеню - будови, які мають основні несучі конструкції негорючі, а не несучі (міжповерхові й перекриття на горищі) - важкогорючі (0,25-2 год ) [23].

Ймовірні причини пожеж в лабораторії:



1. Коротке замикання проводки;
2. Користування побутовими, електро-, радіо- приладами;
3. Недотримання умов протипожежної безпеки.

У зв'язку з цим необхідно передбачити наступні заходи щодо пожежної безпеки:

- улаштуванням протипожежних перепон у будівлях, системах вентиляції, опалювальних та кабельних комунікаціях;
  - спорудженням протидимного захисту;
  - ретельна ізоляція всіх струмоведучих провідників до робочих місць;
- періодичний огляд і перевірка ізоляції;
- суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочому місці;
  - встановлення автоматичної сигналізація (датчик, монтується в стіну лабораторії і служить для подачі сигналу при появі диму).

Приміщення обладнане двома пожежними датчиками типу ДТЛ, (площа, що захищається,  $24,5\text{ м}^2$ ). Така кількість датчиків відповідає нормам розміщення згідно ДБН, тому що площа, що захищається датчиком ДТЛ складає  $15\text{ м}^2$ , два датчика захищають площу приміщення  $30\text{ м}^2$ , а площа приміщення лабораторії складає  $24,5\text{ м}^2$ .

Рекомендується улаштування в відділі збірки порошкового вогнегасника ОП-3(з), який призначений для гасіння загорання твердих, рідких речовин, а також для гасіння електрообладнання, яке знаходиться під напругою до 1000 В.

Відстань від найвіддаленішого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу з приміщення безпосередньо назовні або на сходову клітку не має перевищувати значень, регламентованих [22]. Кількість евакуаційних виходів з будівель, з кожного поверху та приміщень має бути відповідною до СНиП [22], але не менше двох.

В лабораторії евакуація відбувається по плану на випадок виникнення пожежі. Інструкція про заходи пожежної безпеки (план евакуації людей), включає в себе загальну інструкцію для будинку та інструкція для окремої лабораторії, згідно з [22].

6.6 . Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини, для різних режимів роботи електричної мережі

Лабораторія має напругу 220В, мережа змінна. При виконанні розробки системи управління освітленням цеху в лабораторії проводять операції, які можуть бути небезпечно дослідникам у випадку несправності електроустановок. Тому необхідно забезпечити безпечну мережу.

За напругою [20] ПУЕ розрізняють електроустановки (мережі) напругою до 1 кВ та електроустановки напругою вище 1 кВ. За режимом нейтралі бувають електроустановки (мережі) з ізолюваною нейтраллю джерела живлення (генератора або трансформатора) і глухозаземленою нейтраллю джерела живлення.

Лабораторія має напругу до 1 кВ.

1. Розглянемо дотик до однієї фази в мережі з ізолюваною нейтраллю (рис. 6.1). Для спрощення розрахунків вважаємо, що мережа симетрична, а саме: симетричні й однаково активні опори ізоляції фаз, а також ємності та ємнісні опори, тобто для такої мережі є справедливими наступні рівняння:

$$R_1=R_2=R_3=R, C_1=C_2=C_3=C, Z_1=Z_2=Z_3=Z, \quad (6.1)$$

де  $C$  - ємність дротів відносно землі;  $Z$  - комплекс повного опору відносно землі, Ом;  $R$  - активний опір ізоляції фаз відносно землі, Ом.

Струм, що проходить крізь тіло людини при дотику до однієї з фаз у нормальному режимі, так як мережа з напругою до 1 кВ малої довжини ємність дротів відносно землі мала,  $C = 0$ , тоді  $Z = R$ , опір фази відносно землі дорівнює активному опору ізоляції і рівняння набуває вигляду:

$$I = \frac{U}{R_h + \frac{Z}{3}}, \quad (6.2)$$

$$I = \frac{220}{1000 + \frac{500000}{3}} = 0,001 \text{ A.}$$

де  $U=220$  - фазна напруга мережі, В;  $R_h = 1000$  [20] - опір тіла людини, Ом; де  $Z=0,5$  [21] - активний опір ізоляції фаз відносно землі, МОм.

Аналіз рівняння 6.2 показує, що при симетричних опорах між фазними дротами і землею струм крізь людину тим менший, чим більші ці опори.

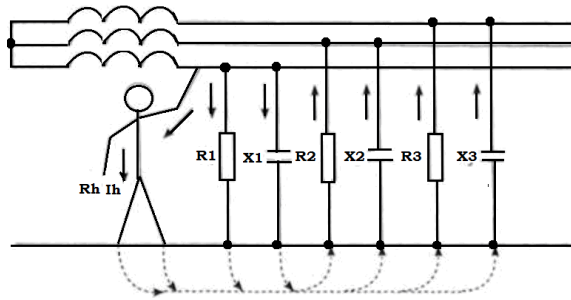


Рисунок 6.1- Дотик людини до фази в мережі з ізолюваною нейтраллю.

Також показує значення ізоляції як фактора безпеки: що вище опір ізоляції  $R$ , то меншим буде струм крізь людину. Тому короткі повітряні мережі з ізолюваною нейтраллю, малою ємністю, високим опором ізоляції не становлять значної небезпеки при дотику до фази.

2. Мережі з глухозаземленою нейтраллю (рис. 6.2). мають малий опір між нейтраллю і землею  $R_0$ , тому при дотику людини до фази струм через неї практично не залежить від опору ізоляції та ємності мережі відносно землі. Відповідно до правил улаштування електроустановок (ПЕУ) на електричних установках напругою до 1000В допустимий опір заземлюючого пристрою не більше 4 Ом [20].

У цьому випадку струм крізь людину:

$$I = \frac{U}{R_h + R_0}, \quad (6.3)$$

$$I = \frac{220}{1000 + 4} = 0,2 \text{ A},$$

де  $R_0 = 4$  - робоче заземлення нейтралі, Ом.

Пороговий не відпускаючий струм 10-15мА [21]. Враховуючи все сказане, можна дійти висновку, що в нормальному режимі значно безпечнішою є мережа з ізолюваною нейтраллю, так як струм, що проходить крізь тіло людини при дотику до однієї з фаз рівний пороговому струму, що є надійною ізоляцією порівняно з мережею з глухозаземленою нейтраллю.

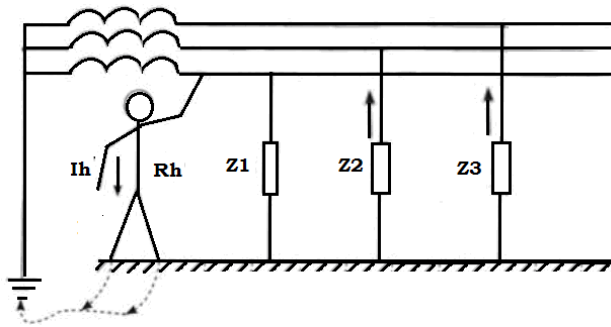


Рисунок 6.2 - Дотик людини в мережі із глухозаземленою нейтраллю.

Незалежно від якості ізоляційних робіт у процесі їх експлуатації з'являються помітні зміни в діелектричних характеристиках. Це виникає з часом зносу ізоляції, на яку впливають підвищені температури повітря, а також провідників. На ступінь зносу також впливають перенапруги комунікацій, а також підвищена вологість. Через це в ізоляції з часом починають виникати неполадки з електрикою.

Відповідно узгодженим нормативним і технічним документам, у кожного кабелю існують свої норми опору ізоляції. Низьковольтні силові кабелі менше 1000 (В) повинні володіти опором ізоляції не менше 0,5 (МОм), як уже було пораховано.

Для лабораторії безпечнішою є мережа з ізольованою нейтраллю, де  $Z=1$  - активний опір ізоляції фаз лабораторії відносно землі, МОм.

Розрахуємо струм, що проходить крізь тіло людини в лабораторії .

$$I = \frac{220}{1000 + \frac{1000000}{3}} = 0,00066 \text{ А.}$$

Порівнюючи з пороговим не відпускаючим струмом, в лабораторії струм який проходить в мережі є безпечним для людини.

## ВИСНОВКИ

В ході дослідження було розглянуто принцип датчиків без корегувальних параметрів. В першому розділі наведена інформація про переваги побудови інтелектуальних датчиків та принципів дії первинних перетворювачів.

В другому розділі проведено дослідження елементної бази для побудови інтелектуальних датчиків. Розглянуто мікросхеми для джерел живлення, аналогово-цифрових перетворювачів та мікроконтролерів. Показано, що перевагу слід віддавати 32-х бітним мікроконтролерам. Такий підхід обумовлено економічними показниками та швидкодією таких рішень.

В третьому розділі проведено дослідження датчиків тиску та температури. Показано, що такі датчики не можуть передавати коректні дані без попередньої обробки. Таким чином, завданням проектування інтелектуального датчику стало перенесення задач обробки даних зі сторони системи управління на сторону датчику. Розроблено схему електричну принципову інтелектуального датчику вільного від вказаних вище недоліків.

В четвертому розділі розроблено плату друковану для спроектованого датчику та розглянуті методи виготовлення таких плат.

В 5-му та 6-му розділі проведено економічні розрахунки, які показали доцільність розробки та розглянуті заходи з охорони праці при проектуванні виробу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Интеллектуальные датчики в информационно-управляющих системах. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.milandr.ru/upload/smi/intellektualnye\\_datchiki\\_v\\_informatsionno\\_upravlyayushchikh\\_sistemakh.pdf](https://www.milandr.ru/upload/smi/intellektualnye_datchiki_v_informatsionno_upravlyayushchikh_sistemakh.pdf)
2. Ицкович Э.Л. Современные интеллектуальные датчики общепромышленного назначения на рынке СНГ. - М., 2005.
3. Минигалиев, Г.Б. Выбор контроллера управления и интеллектуальные датчики: учебное пособие/ сост.: Г.Б. Минигалиев, А.В. Долганов-Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2015. -136с.
4. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Совлуков. - Москва: Техносфера, 2012. - 624 с.
5. Г. Виглеб. Датчики. Устройство и применение. Москва. Издательство «Мир», 1989.
6. Датчики. Перспективные направления развития. Алейников А. Ф., Гридчин В. А., Цапенко М. П. Изд-во НГТУ — 2001.
7. Maxim ADC for sensor [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/data-converters/analog-to-digital-converters/precision-adcs/integrated-adc-ics.html>
8. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов — Изд. 4-е, перераб. И доп. — Спб., Профессия, 2007. — 752с.
9. Современные датчики. Справочник. Дж. Фрайден Перевод с английского Ю. А. Заболотной под редакцией Е. Л. Свинцова ТЕХНОСФЕРА Москва Техносфера-2005.
10. ms5611 datasheet. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?>

Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FMS5611-01BA03%7FB3%7Fpdf  
%7FEnglish%7FENG\_DS\_MS5611-01BA03\_B3.pdf%7FCAT-BLPS0036

11. DS18B20. Электронный ресурс. Режим доступа:  
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

12. САПР DipTrace [Электронный ресурс]. - Режим доступа:  
<https://diptrace.com/ua/>

13. Друковані плати [Электронный ресурс]. - Режим доступа:  
<http://www.pselectro.ru/article/7/78>

14. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

15. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с., ил.

16. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

17. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

18. СНИП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.

19. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

20. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.

21. Конов А. А. Электрооборудование жилых зданий. – М.: Додека 21, 2003. –256 с.

22. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.

Поз. озна-чення	Наименование	Кол.	Примечание				
<u>Конденсатори</u>							
C1,C2	K73-17 20 нФ-10В ОЖО.461.104ТУ	2					
C3	K73-17 3,9 нФ-50В ОЖО.461.104ТУ	1					
C4	K73-17 0,1 мкФ-10В ОЖО.461.104ТУ	1					
C5-C8	K50-80-16В-100 мкФ АЖЯР.67354.1.009ТУ	1					
C9	K50-80-16В-47 мкФ АЖЯР.67354.1.009ТУ	1					
<u>Мікросхеми</u>							
DA1	TPS 55010	1	TI				
DD1	STM32F030	1	STM				
DD2	MAX6675	1	Maxim				
DD3	ST3485EB	1	ST				
DD4	MAX 11200	1	Maxim				
L1	Дросель 15mH	1	Delta Electronics				
<u>Резистори</u>							
R1	1206 13 кОм +/-10%	1					
R2	1206 430 кОм +/- 10%	1					
R3	1206 10 кОм +/-10%	1					
R4	1206 8,2 кОм +/- 10%	1					
TV	Трансформатор 750311780	1					
VD1	Діод B1100	1	Diodes				
XP1	Роз'єм PDB-4	1	Connfly				
XP2	Роз'єм PDB-6	1	Connfly				
XP3	Роз'єм PDB-16	1	Connfly				
<b>ЕС.М.180599.00.00.00.00 ПЕЗ</b>							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Саливанова	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	22.12			1
Проб.	Шмалію	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	27.12			
Н.контр.	Туришев	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	23.12.19			
Утв.	Крицька	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>				
Використання інтелектуальних датчиків для побудови систем управління Перелік елементів					II ЗНУ ЕЛ-18-1мз Формат А4		
Копировав							

Лист 1 з 1

Лист 2 з 2

Лист 3 з 3

Лист 4 з 4

Лист 5 з 5

Лист 6 з 6

Лист 7 з 7



ІНСТРУМЕНТИ

ІНСТРУМЕНТИ

ІНСТРУМЕНТИ

ІНСТРУМЕНТИ

ІНСТРУМЕНТИ

ІНСТРУМЕНТИ

ІНСТРУМЕНТИ

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A1			ЕС.М.180599.00.00.00.00 Д1	Дослідження інтелектуальних датчиків для побудови систем управління Розподіл датчиків за типом та структурою		
A1			ЕС.М.180599.00.00.00.00 Д2	Дослідження інтелектуальних датчиків для побудови систем управління Експериментальні дані датчику тиску		
A1			ЕС.М.180599.00.00.00.00 Д3	Дослідження інтелектуальних датчиків для побудови систем управління Експериментальні дані датчику температури		
A1			ЕС.М.180599.00.00.00.00 Д4	Дослідження інтелектуальних датчиків для побудови систем управління Алгоритми роботи систем		
A1			ЕС.М.180599.00.00.00.00 Е3	Дослідження інтелектуальних датчиків для побудови систем управління Схема електрична принципова		
A1			ЕС.М.180599.00.00.00.00	Дослідження інтелектуальних датчиків для побудови систем управління		

ЕС.М.180599.00.00.00.00

Ізм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата
Разраб.		Саливонова		27.12
Пров.		Шмаліу		27.12
Н.контр.		Туришев		27.12.19
Утв.		Критська		

Використання інтелектуальних датчиків для побудови систем управління

Лист	Лист	Листов
	1	2

ІІ ЗНУ  
ЕЛ-18-1мз

Копировал

Формат А4