

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ІНЖЕНЕРІЇ**

До захисту допускається

Завідувач кафедри

_____ І.С. Скарга-Бандурова

« ____ » _____ 2020 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТА) БАКАЛАВРА
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

НА ТЕМУ:

«Апаратні засоби виміру температури на базі мікроконтролера»

Освітній ступінь «бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Керівник проекту:

(підпис)

Міщенко Ю. Г.

(ініціали, прізвище)

Консультант з охорони праці:

(підпис)

Критська Я. О.

(ініціали, прізвище)

Здобувач вищої освіти:

(підпис)

Олійник В. А.

(ініціали, прізвище)

Група:

КІ-16 бд

Сєверодонецьк 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
Кафедра Комп'ютерних наук та інженерії
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Т.в.о. завідувача кафедри КНІ
С.О. Сафонова
«_____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Олійнику Вячеславу Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проекту (роботи): «Апаратні засоби виміру температури на базі мікроконтролера» затверджена наказом по університету № 73/15.15 від «30» квітня 2020 р.

2. Строк здачі студентом закінченого проекту (роботи): 10.06.2020 р.

3. Вихідні дані проекту (роботи): матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити): огляд існуючих апаратних засобів виміру температури на базі мікроконтролерів, типи датчиків виміру температури, постановка задачі на розроблення, визначення апаратних засобів, структури системи, інструментальних засобів проектування, розгляд питань та розроблення рекомендацій з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точною назвою обов'язкових креслень):

Електронні плакати

6. Консультанти роботи, з вказівкою розділів, що до них відносяться

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Міщенко Ю.Г., ст. викл.		
Охорона праці	Критська Я.О., ст.викл.		

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Міщенко Ю.Г.
(підпис)

Завдання до виконання прийняв _____ Олійник В. А.
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1.	Отримання завдання, збір матеріалів	18.05.20 – 24.05.20	
2.	Огляд існуючих апаратних засобів виміру температури	25.05.20 – 28.05.20	
3.	Постановка завдання на розробку	29.05.20 – 30.05.20	
4.	Вибір апаратних засобів, розроблення структури системи	31.05.20 – 01.06.20	
5.	Розробка апаратної частини	02.06.20 – 08.06.20	
6.	Оформлення пояснювальної записки	08.06.20 – 09.06.20	
7.	Підготовка та подання роботи до захисту	09.06.20 – 10.06.20	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Керівник _____
(підпис)

Олійник В. А.
(ініціали, прізвище)

Міщенко Ю. Г.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту (роботи): 86 сторінок, 14 рисунків, 7 таблиць, 30 джерел посилань, 7 додатків на 16 сторінках.

Мета роботи: розроблення перетворювача сигналів резистивних датчиків температури на базі мікроконтролера STM32.

Проведено аналіз методів та засобів вимірювання температури, розглянута структура апаратних засобів, особливості реалізації у складі мікроконтролерних систем. На основі проведеного аналізу зроблені висновки про необхідність даної розробки та розроблені вимоги до програмного забезпечення.

Проведено розроблення структурної схеми перетворювача температура, проаналізована та обрана елементна база реалізації.

Описано програмне забезпечення перетворювача, розглянута структура програми, проведено аналіз функціонального призначення програмного забезпечення перетворювача, з'ясовані всі стадії процесу розробки програми.

Розглянуті питання та сформульовані рекомендації щодо охорони праці в умовах виробництва.

МІКРОКОНТРОЛЕР, РЕЗИСТИВНИЙ ДАТЧИК, АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, КАНАЛ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ПОСЛІДОВНИЙ КОД, ПОРТ ВВЕДЕННЯ-ВИВЕДЕННЯ.

Умови отримання дипломного проекту:

СНУ ім. Володимира Даля, пр. Центральний 59а, м. Северодонецьк, 93406.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

A1-A8	– канали перетворення
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
ДТ	– первинний вимірювальний датчик температури
ІРПС	– інтерфейс радіальний послідовний
МК	– мікроконтролер
ЕРС	– електрорушійна сила
МЗО	– модуль зв'язку о об'єктом
ПН	– перетворювач напруги
ПО	– програмне забезпечення
ПП	– приймач-передавач
ТС	– термоперетворювачі опору
CAL	– сигнал дозволу калібрування
ТЕРС	– термоелектрична рушійна сила
CLK	– тактовий сигнал
DIN	– вхідні дані
DOUT	– вихідні дані
RXD	– вхідний сигнал асинхронного приймача
SCK	– тактовий сигнал зчитування
TXD	– вихідний сигнал асинхронного передавача
TXEN	– сигнал дозволу передачі

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУРИ	8
1.2 Термопари	11
1.3 Термістори	13
1.4 Функції та використання датчиків в системах виміру технологічних параметрів	14
1.5 Вимірювальний перетворювач	15
1.6 Огляд мікроконтролера STM32F103 фірми ST Microelectronics	17
1.7 Постановка завдання розроблення пристрою виміру температури .	19
1.8 Висновки до розділу 1	20
1.9 Перелік джерел посилань до розділу 1	21
2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ	22
2.1 Етапи виміру температури	22
2.2 Склад перетворювача	24
2.3 Застосування ІРПС	24
2.4 Принцип дії струмової петлі	26
2.5 Швидкість передачі даних	29
2.6 Висновки до розділу 2	31
2.7 Перелік джерел посилань до розділу 2	31
3 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЛОКУ	32
3.1 Реалізація ІРПС	32
3.2 Схема збільшення порогу спрацьовування оптрона	37
3.3 Застосування МК STM32	37
3.4 Архітектурний опис перетворювача	39
3.5 Робота основних вузлів перетворювача	47
3.6 Висновки до розділу 3	49

	6
3.7 Перелік джерел посилань до розділу 3	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
4.1 Загальні питання з охорони праці	52
4.2 Правові та організаційні основи охорони праці	52
3.3 Організаційно-технічні заходи з безпеки праці	53
4.4 Аналіз стану умов праці та вимоги до приміщення	53
4.5 Вимоги до організації робочого місця	54
4.6 Навантаження та напруженість процесу праці	55
4.7 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі на персональному комп'ютері	56
4.8 Пожежна безпека	57
4.9 Електробезпека	58
4.10 Мікроклімат	59
4.11 Освітлення робочого місця	60
4.12 Шум, вібрація та електромагнітне випромінювання	62
4.13 Розрахунок захисного заземлення	63
4.14 Висновки до розділу 3	67
4.15 Перелік джерел посилань до розділу 4	67
ВИСНОВКИ	70
ДОДАТОК А. Структура МК STM32F103x8	71
ДОДАТОК Б. Структурна схема перетворювача	72
ДОДАТОК В. Електрична схема перетворювача опір-код	73
ДОДАТОК Д. Схема каналів перетворювача А1-А8	74
ДОДАТОК Е. Призначення портів вводу/виводу МК	75
ДОДАТОК Ж. Перелік елементів перетворювача	77
ДОДАТОК К. Презентація	80

ВСТУП

В сучасному житті вимірювання температури займає важливу роль. В наукових досліджах та на виробництві, при дослідженні матеріалів і зразків вимірювання температури є найпоширенішим. Широкий діапазон вимірювальних температур і вимог до точності їх виміру спонукають до розробки нових пристроїв вимірювання.

Швидкий розвиток компонентів елементної бази для побудови мікроконтролерних (МК) та мікропроцесорних (МП) систем керування різноманітними пристроями та технологічними процесами сприяє науково-технічному розвитку країни, є основою удосконалення архітектури таких систем, якісного підвищення їх продуктивності і надійності.

Номенклатура та область застосування таких систем постійно розширюється. На сучасному етапі науково-технічного розвитку їх впровадження охоплює практично всі види виробничої та наукової діяльності.

Застосування МП та МК у науково-технічних рішеннях вимагає від спеціалістів досконалого володіння сучасними методами проектування МП та МК систем, вміння використовувати їх при практичному вирішенні інженерних задач.

МК в повсякденному житті застосовуються як в складній побутовій техніці, так і у супутникових навігаційних системах. До сфери застосування МК входить управління пристроями різного призначення за допомогою дискретних сигналів і багато іншого. Можна сказати, що без МК в даний час не обходиться практично жодний сучасний електронний пристрій.

Впровадження МК в усі сфери життєдіяльності ставить перед розробниками електронної техніки завдання із забезпечення надійності роботи пристроїв на базі МК.

Мета дипломної роботи – апаратна реалізація виміру температури на базі мікроконтролера STM32 фірми ST Microelectronics.

1 ОГЛЯД АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУРИ

1.1 Методи та засоби виміру температури

В сучасному світі не можливо обійтися без системи контролю і управління температурою об'єктів. Як показує практика, з розвитком різноманітних галузей та автоматизованих систем все більше постала проблема контролю стану параметрів технічного устаткування, тобто постійний контроль режимів його роботи. Найбільш важливим параметром, що впливає на технологічний процес, є температура. Своєчасна інформація про температурний стан є запорукою конкурентоспроможності та собівартості. Тому точність, з якою буде виміряна температура об'єктів, має важливе значення. Це говорить про необхідність постійного пошуку шляхів покращення відомих та створення нових методів та засобів вимірювання температури з високими метрологічними та експлуатаційними характеристиками. Специфічні умови вимірювання температури об'єктів та складність їх реалізації привели до появи цілої низки методів вимірювання. Тому по сьогоднішній день існує ряд суттєвих невирішених проблем, вирішення яких дало б можливість підвищити точність та метрологічну надійність засобів вимірювання температури.

Актуальним є дослідження вимірювання температури за відстанню, а також розробка основних правил вимірювання температури та уникнення помилок під час проведення вимірювань. Метою роботи є визначити найбільш ефективніші і оптимальні підходи та засоби вимірювання температури об'єктів, а саме розглянути і дослідити метод вимірювання температури за відстанню та використати певні дії для точності проведення вимірювання, що дозволить своєчасно запобігати виходу з ладу технічного устаткування та контролювати його.

Вибір методу виміру температури залежить від діапазону вимірюваних температур, необхідної точності, швидкодії і допустимої величини вхідного теплового опору вимірювального пристрою, тобто його

вхідній теплоємності. Для виміру температури використовуються найрізноманітніші методи, які засновані на [1]:

- тепловому розширенні рідких, газоподібних і твердих тіл (термомеханічний ефект);
- зміні тиску усередині замкнутого об'єму при зміні температури (манометричні);
- зміні електричного опору тіл при зміні температури (термоопір);
- термоелектричному ефекті;
- використанні електромагнітного випромінювання нагрітих тел.

Усі прилади для виміру температури умовно можна розділити на дві великі групи:

- контактні, тобто датчик температури безпосередньо контактує з вимірюваним середовищем - найбільш широко вживані в промисловості;
- безконтактні - які застосовуються для виміру температури, там де прямий контакт з вимірюваним середовищем неможливий з тих або інших причин.

Вимірювання температури контактними методами засновано на використанні термометрів розширення і вимірювальних установок, які складаються з первинних вимірювальних перетворювачів та вторинних електровимірювальних приладів. Залежно від конструкції і системи відчиту термометри розширення поділяються на: термометри скляні, рідинні і манометричні термометри. Принцип дії термометрів розширення ґрунтується на залежності об'єму заповнювача чутливого елемента термометра від температури. Покази скляних рідинних термометрів відчитуються по шкалі за величиною стовпчика робочої рідини в капілярній трубці термометра.

Волюметричний метод вимірювання температури полягає у перетворенні, зміні об'єму заповнювача як функції температури у зміну паралельного тиску, що врівноважується силою пружної деформації, пружного елемента показчика вимірюваної температури. Дилатометричний

метод полягає у вимірювання температури за допомогою стрижневого і пластинчатого термометрів, дія яких заснована на відносному подовженні під впливом температури двох твердих тіл, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення. Дилатометричні термометри не дістали поширення як самостійні прилади, а використовуються головним чином як чутливі елементи в сигналізаторах температури. Крім того, пластинчасті термометри іноді застосовуються для компенсації впливу змінної температури навколишнього повітря на показання інших приладів, у які вони вбудовуються.

Термоелектричний метод вимірювання заснований на властивості металів і сплавів створювати термоелектрорушійну силу (термо-ЕРС), що залежить від температури місця з'єднання (спаю) кінців двох різнорідних провідників (термоелектродів), що утворюють чутливий елемент термометра — термопару. Маючи у своєму розпорядженні закон зміни термо-ЕРС термометра від температури і визначаючи значення термо-ЕРС електровимірювальним приладом, можна знайти реальне значення температури в місці вимірювання. Прилади які працюють за таким принципом називаються термоелектричними термометрами. Термоелектричні термометри широко застосовуються в енергетичних установках для вимірювання температури перегрітої пари, димових газів, металу труб котлоагрегатів тощо.

Позитивними властивостями їх є:

- великий діапазон вимірювання,
- висока чутливість,
- незначна інерційність,
- відсутність стороннього джерела електричного струму і легкість здійснення дистанційної передачі показань.

Метод вимірювання опору – як первинні вимірювальні перетворювачі температури використовуються термоелектричні перетворювачі (ТП) –

термопари і термоперетворювачі електричного опору (ТО) – дротяні термоопори та напівпровідникові термоперетворювачі опору (термістори).

Принцип дії термопари ґрунтується на використанні термоелектричного ефекту, сутність якого міститься у виникненні термоелектрорушійної сили (термо ЕРС) в колі, що складається з двох різнорідних провідників або напівпровідників – термоелектродів, якщо температура місця з'єднання електродів (так званого гарячого або робочого спаю) і температура вільних (холодних) кінців неоднакова.

1.2 Термопари

Термопара (термоелектричний перетворювач температури) – термоелемент, вживаний у вимірювальних і перетворюючих пристроях, а також в системах автоматизації. Міжнародний стандарт на термопари дає наступне визначення: Термопара – пара провідників з різних матеріалів, сполучених на одному кінці і формуючих частину пристрою, що використовує термоелектричний ефект для виміру температури.

Для виміру різниці температур зон, ні в одній з яких не знаходиться вторинний перетворювач (вимірник термо-ЕРС), зручно використовувати диференціальну термопару: дві однакові термопари, сполучених один назустріч одному (рис. 1.1) [1].

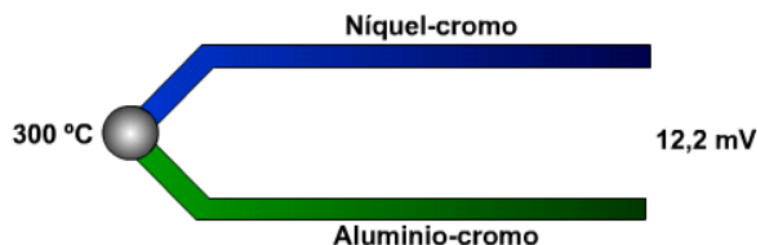


Рисунок 1.1 – Вимір температури за допомогою термопари

Кожна з них вимірює перепад температур між своїм робочим спаєм і умовним спаєм, утвореним кінцями термопар, підключеними до клем вторинного перетворювача, але вторинний перетворювач вимірює різницю їх сигналів, таким чином, дві термопари разом вимірюють перепад температур між своїми робочими спаями.

Переваги термопар:

- висока точність вимірювання значень температури (аж до $\pm 0,01^\circ\text{C}$).
- великий температурний діапазон виміру: від -250°C до $+2500^\circ\text{C}$.
- простота.
- дешевизна.
- надійність.

Недоліки термопар:

- для отримання високої точності вимірювання температури (до $\pm 0,01^\circ\text{C}$) потрібна індивідуальна градуювання термопари;
- на показання впливає температура вільних кінців, на яку необхідно вносити поправку. У сучасних конструкціях вимірників на основі термопар використовується вимір температури блоку холодних спаїв за допомогою вбудованого термістора або напівпровідникового датчика і автоматичне введення поправки до вимірюваної ТЕДС;
- Ефект Пельтьє (в момент зняття показань необхідно виключити протікання струму через термопару, так як струм, що протікає через неї, охолоджує гарячий спай і розігріває холодний);
- залежність ТЕРС від температури істотно нелінійна. Це створює труднощі при розробці вторинних перетворювачів сигналу;
- виникнення термоелектричної неоднорідності в результаті різких перепадів температур, механічних напружень, корозії і хімічних процесів в провідниках призводить до зміни градуювальної характеристики і похибок до 5 К;
- на великій довжині термопарних і подовжувальних проводів може виникати ефект «антени» для існуючих електромагнітних полів.

1.3 Термістори

Термістор – напівпровідниковий резистор, електричний опір якого залежить від температури. Для термістора характерні великий температурний коефіцієнт опору, простота пристрою, здатність працювати в різних кліматичних умовах при значних механічних навантаженнях, стабільність характеристик в часі.

Переваги термометрів опору [2]:

- висока точність вимірів (зазвичай краще ± 1 °С), може доходити до 0,01 °С;
- можливість виключення впливу зміни опору ліній зв'язку на результат виміру при використанні 3-х або 4-х дротяної схеми вимірів;
- практично лінійна характеристика.

Недоліки термометрів опору:

- малий діапазон вимірів (в порівнянні з термопарами);
- більш коштовний (в порівнянні з термопарами)), якщо це платиновий термометр опору типу ТСП;
- потрібно додаткове джерело живлення для визначення температури.

Принцип дії термометрів опору базується на властивості провідників і напівпровідників змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Залежність опору провідника від його температури у найпростішому випадку виражається лінійною залежністю [5]:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (1.1)$$

де R_T — електричний опір при температурі T [Ом];

R_0 — електричний опір при початковій температурі T_0 [Ом];

α — температурний коефіцієнт електричного опору [К⁻¹];

ΔT — зміна температури, що становить $T - T_0$ [К].

Підключення термісторів до об'єкту виміру температури здійснюється згідно рисунку 1.2 [2].

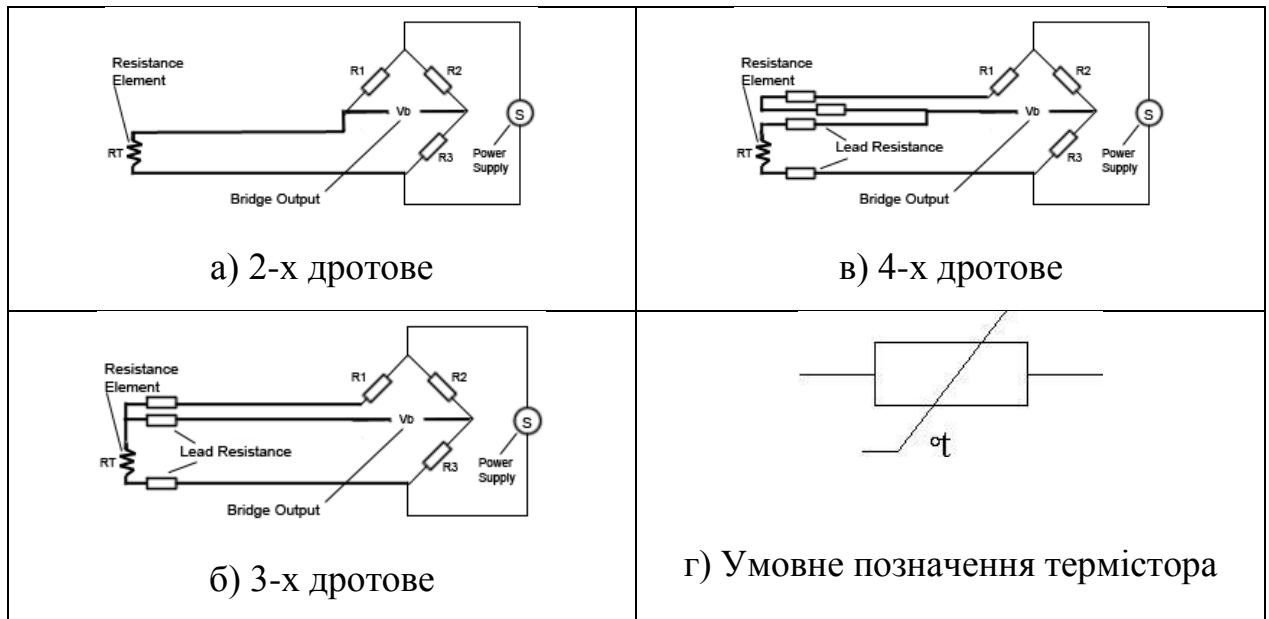


Рисунок 1.2 – Варіанти підключення термістора

1.4 Функції та використання давачів в системах виміру технологічних параметрів

Датчик – це самостійне конструктивно автономне засіб вимірювань, що розміщується в місці відбору інформації, яка виконує функцію первинного перетворювача вимірюваної величини в електричну або електромагнітну величину, що складається з мінімально необхідного числа ланок перетворення вимірюваної величини, що володіє однозначною функцією перетворення і необхідними для даних цілей вимірювань взаємоузгодженими (повинні суперечити одна одній) метрологічними і характеристиками надійності.

Датчиком так само вважаю елемент вимірювального, сигнального, регулюючого або керуючого пристрою, що перетворює контрольовану величину (температуру, тиск, частоту, силу світла, електрична напруга,

струм і т.д.) в сигнал, зручний для вимірювання, передачі, зберігання, обробки, реєстрації, а іноді і для впливу їм на керовані процеси.

Датчик - це пристрій, що перетворює вхідний вплив будь-якої фізичної величини в електричний сигнал (величину), зручний для подальшого використання.

Останнім часом стосовно давачів застосовуються терміни: «багатофункціональний давач» чи «інтелектуальний давач», що відображає напрямки розвитку сучасних давачів. Під цими термінами, крім функцій первинного вимірювального перетворення, мають на увазі додаткові можливості вимірювання декількох фізичних величин та використання вбудованих аналого-цифрових перетворювачів з МК, що суттєво розширює функціональний діапазон давачів, а саме:

- попередня обробка сигналів (лінеаризація, фільтрування, корекція похибок);
- само-діагностування;
- дистанційне конфігурування (діапазону вимірювань, одиниць вимірювань, узгодження частотних характеристик);
- окремі елементи керування;
- передавання інформації з використанням протоколів промислових мереж Profibus чи Foundation Fieldbus.

За вхідними фізичними величинами, що підлягають перетворенню давачі бувають: електричні, магнітні; теплових величин; механічних величин; оптичних параметрів та інші.

За використаними фізико-хімічними ефектами[ред. | ред. код]

За фізико-хімічними ефектами, що лежать в основі роботи вимірювальних перетворювачів, розрізняють давачі: резистивні; ємнісні (електростатичні); індуктивні та електромагнітні; електричного заряду, напруги або струму; зміни геометричних розмірів, маси або положення; оптичних ефектів; біохімічні.

За характером вихідного сигналу давачі розрізняють: дискретні; аналогові; цифрові; імпульсні.

За фізичною природою вихідного сигналу найпоширеніші давачі з електричним вихідним сигналом (найпоширеніші). Перспективними є також давачі з оптичним вихідним сигналом.

1.5 Вимірювальний перетворювач

Вимірювальний перетворювач — елемент системи автоматичного контролю (рис. 1.3) [3].

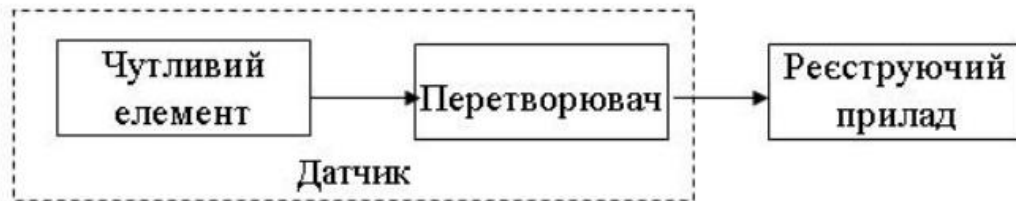


Рисунок 1.3 – Схема вимірювального перетворювача

На відміну від вимірювального приладу, сигнал на виході вимірювального перетворювача (вихідна величина) безпосередньо не сприймається спостерігачем. Обов'язкова умова вимірювального перетворення — збереження у вихідному сигналі інформації про кількісне значення вимірюваної величини через забезпечення функціональної залежності (переважно, лінійної) між вимірюваною величиною та сигналом на виході.

У структурі давача зазвичай виділяють вимірювальний перетворювач, що безпосередньо пов'язаний з вимірюваною величиною.

Первинним вимірювальним перетворювачем, або чутливим елементом, є перетворювач, який першим взаємодіє з об'єктом вимірювання [1] і видає сигнал вимірювальної інформації. Первинний вимірювальний

перетворювач у значній мірі визначає основні технічні характеристики давача.

Основні характеристики вимірювальних перетворювачів:

- номінальна статична характеристика перетворення (градувальна характеристика) — залежність між інформативними параметрами вхідного і вихідного сигналів;

- коефіцієнт перетворення – коефіцієнт пропорційності лінійної залежності вхідного і вихідного сигналів;

- чутливість — відношення приросту вихідного сигналу до відповідного йому приросту вхідного сигналу (для випадку лінійної залежності чутливість збігається з коефіцієнтом перетворення);

- похибка вимірювального перетворення — відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини;

- діапазон вимірювань — різниця граничних величин, що обмежують діапазон вимірюваної величини у якому робота вимірювального перетворювача задовольняє поставленим вимогам. В акустиці, оптиці та деяких інших областях використовується термін динамічний діапазон, що визначається виразом [6]:

$$D = 20 * \lg (X_{max}/X_{min}) \quad (1.2)$$

де: X_{max} — кінцеве значення діапазону, що визначається допустимим значенням нелінійних спотворень;

X_{min} — початкове значення діапазону, що удвічі перевищує рівень власних шумів.

1.6 Огляд мікроконтролера STM32F103 фірми ST Microelectronics

Застосування 32-бітних МК на даному етапі активно розвивається кипить. З одного боку, виробники постійно анонсують і пропагують нові

рішення. З іншого, багато розробників «дозріли» до переходу з 8-бітних (або 16-бітних) мікроконтролерів на 32-бітові: їх завдання ускладнюються, а потужність 8-бітників обмежена, при цьому їх вартість порівнянна з новими 32-бітними МК.

Розробники вже працюють з 32-бітними МК, але їм потрібно оптимізувати свої рішення з точки зору вартості або додати новий функціонал.

STM32 – це мікроконтролер, побудований на ядрі ARM Cortex-M3(Додаток А) [1].

Дане ядро має багато переваг, але його основна перевага на сьогоднішній день – універсальність (рис.1.4) [4].

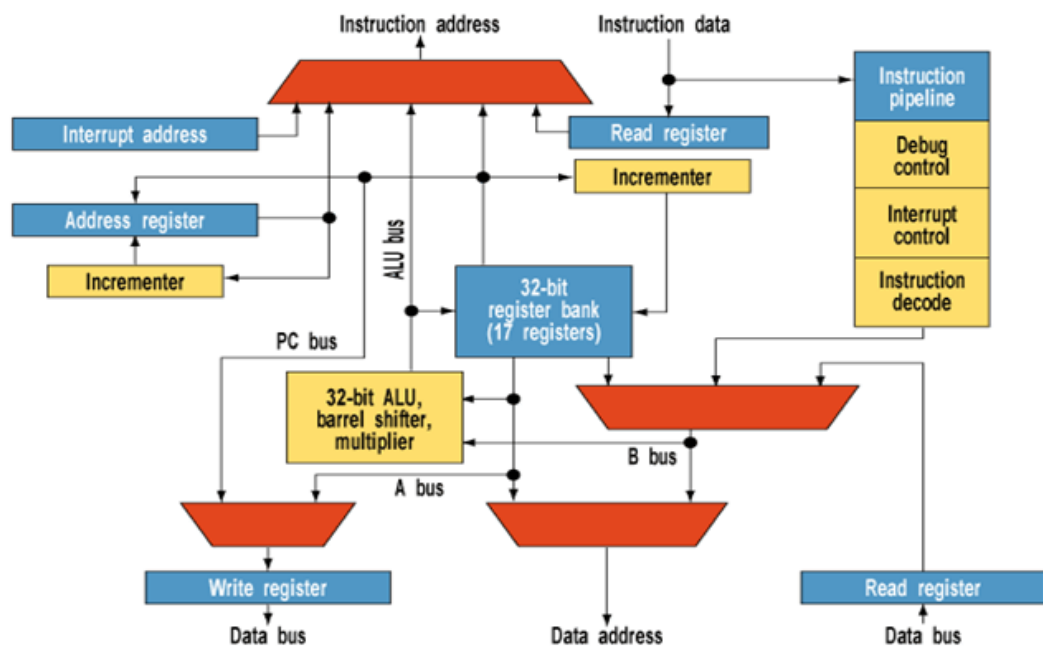


Рисунок 1.4 – Структура STM32

За декілька років Cortex-M3 став індустріальним стандартом. Про це свідчить те, скільки виробників, що приєдналися до даної архітектури. Всі основні виробники мікроконтролерів, які присутні на ринку, крім Microchip (архітектура PIC МК), мають або розвивають рішення на основі цієї

архітектури: ST Microelectronics, Texas Instrument, ATMEL, Analog Devices тощо.

Компанія ST Microelectronics одна з перших випустила свої мікроконтролери Cortex-M3 (2007 г.) і швидко стала домінуючим гравцем на цьому ринку. Це говорить про високу якість і привабливості рішень STMicroelectronics. Помітне і значне зростання продажів самих ядер Cortex-M3. Починаючи з моменту свого виходу з 2007 року, їх було продано близько 10 мільйонів, а останні три роки поспіль йде щорічне зростання їх застосування [5].

1.7 Постановка завдання розроблення пристрою виміру температури

Перетворювач повинен бути розроблений на основі МК STM32F103 фірми ST Microelectronics з робочою частотою 29,4912 MHz і забезпечувати виконання таких функцій:

- прийом кадру запиту по трьох каналах зв'язку ІРПС від модулів зв'язку на введення значень вимірних аналогових сигналів опору;
- прийом команди і даних для виконання юстирування;
- контроль типу модуля в запиті з встановленням в 1/0 біта помилки ER1; контроль довжини кадру запиту з встановленням в 1/0 біта помилки ER2; контроль контрольної суми кадру запиту з встановленням в 1/0 біта помилки ER3;
- формування і видача по інтерфейсу ІРП (4) кадру відповіді, що складається з 32 байт;
- прийом даних від аналогово-цифрових перетворювачів АЦП (далі - АЦП) по восьми вимірювальним каналам;
- корекція даних в залежності від типу перетворювача;
- масштабування і температурна корекція вимірних значень аналогових сигналів опору восьми каналів;

- контроль і введення стану вимірювальних каналів з встановленням в 1/0 біта інтегральної помилки RAB;
- введення температури перетворювача;
- виконання нормальних і температурного юстирування нуля і діапазону вимірювальних каналів при наявності роздільної перемички;
- управління індикатором працездатності «РАБ / ВІДМОВА», що відображає працездатний / неробочий стан перетворювача;
- контроль сигналів НКМР, які задають режим роботи перетворювача в залежності від кількості керуючих контролерів мікропроцесорних КМП (далі - КМП);
- контроль пам'яті програм МК шляхом підрахунку контрольної суми і тестування пам'яті оперативного пам'яті ОЗУ (далі - ОЗУ) з встановленням в 1/0 біта помилки ERR0M і біта інтегральної помилки RAB;
- порівняння копій коефіцієнтів юстирування на збіг під час масштабування;
- контроль команди запуску на перетворення; контроль команди управління з восьми каналів перетворення, яка задає по кожному каналу налаштування роботи перетворювача.

1.8 Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломного проекту проведений огляд методів та апаратних засобів виміру температури.

Проведений аналіз типів давачів аналогових сигналів для застосування в системах виміру температури

За результатами дослідження сформульовані мета та завдання дипломного проекту.

Здійснена постановка задачі на розроблення системи виміру температури на базі МК STM32F103 фірми ST Microelectronics.

1.9 Перелік джерел посилань до розділу 1

1. Термопары. Типы, характеристики, конструкции, производство. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.metotech.ru/art_termopary_4.htm (дата звернення: 9. 05. 2020).
2. Терморезистори, термопары. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://radio-detaly.com/uk/termorezistori-termopari> (дата звернення: 09. 05. 2020).
3. Датчики температуры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.svaltera.ua/press-center/articles/9229.php> (дата звернення: 12.05. 2020).
4. Микроконтроллеры STM32 «с нуля». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/53954> (дата звернення: 21. 05. 2020).
5. ARM-микроконтроллеры STM32F. Быстрый старт с STM32-Discovery. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/128734/> (дата звернення: 14. 05. 2020).
6. Термометри опоры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://uk.wikipedia.org/wiki/Термометри_опору (дата звернення: 13.05. 2020).

2 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕННОЇ БАЗИ

2.1 Етапи виміру температури

Вимірювання і введення температури можна розділити на три етапи:

- перетворення фізичної величини в електричну (датчик);
- вимір, переведення у цифровий формат і введення в мікроконтролер величини електричного сигналу, отриманого від датчика (модуля ПЗО);
- управління вимірюванням модулів ПЗО, оброблення інформації отриманої від модулів ПЗО і видача її на органи регулювання/управління [1].

Технічні характеристики модуля перетворення такі:

- характеристики вхідних каналів - 8.
- нормовані межі зміни вхідних сигналів - (0-100 Ом), (0-200 Ом), (0-400 Ом) - для відповідних виконань перетворювача.
- максимальні межі зміни вхідних сигналів - (0-102,4 Ом), (0-204,8 Ом), (0-409,6 Ом) - для відповідних виконань перетворювача.
- спосіб підключення первинних перетворювачів: 40х провідний або 3-х провідний.
- кількість каналів зв'язку з контролером - 1.
- тип інтерфейсу - ІРПС.
- вихідний код перетворювача - 16-розрядний двійковий додатковий.
- нормовані межі зміни вихідного коду – 0 ... 32000.
- максимальні межі зміни вихідного коду – - 32768 ... + 32767.

Номінальна статична характеристика перетворювача обчислюється за формулою 2.1 [2]:

$$N = \text{Ent} \left(\frac{R_{BX}}{h} + 0,5 \right), \quad (2.1)$$

- де N – число на виході перетворювача;
 Ent – позначення цілої частини;
 $R_{вх.}$ – поточне значення вхідного сигналу, Ом;
 H – ціна одиниці молодшого розряду згідно формули:

$$h = Rd / 32000, \quad (2.2)$$

де Rd – верхня межа зміни вхідних сигналів.

Межі основної зведеної похибки перетворення в діапазоні температур $(+ 25 \pm 10) ^\circ \text{C}$ і не перевищує $\pm 0,025\%$.

Межі допустимої похибки перетворення в діапазоні температур від $+5$ до $+60 ^\circ \text{C}$ – не більше $0,05\%$.

Метрологічні характеристики відповідають технічним завданням роботи перетворювача.

Період перетворення сигналів по кожному каналу не більше 150 мс.

Коефіцієнт придушення перешкод нормального вигляду з частотою (50 ± 1) Гц і амплітудою не більше $0,5$ V - не менше 100 dB.

Коефіцієнт придушення перешкоди загального вигляду з частотою (50 ± 1) Гц не менше 140 dB.

Постійна часу вхідних ланцюгів перетворювача не перевищує 100 мс.

Вхідні ланцюги перетворювача гальванічно розв'язані один від одного і шин передачі даних.

Електрична міцність ізоляції - не менш як 1500 V.

Вхідні ланцюги перетворювача витримують без пошкоджень короткочасне підвищення напруги вхідних сигналів до 220 V.

Електроживлення перетворювача здійснюється від системних джерел напруги постійного струму $+ (5 \pm 0,25)$ V; $+ (24 \pm 0,24)$ V і $- (24 \pm 0,24)$ V. Струм, споживаний перетворювачем не перевищує $0,1$ А від кожного джерела.

2.2 Склад перетворювача

Перетворювач містить (додаток А):

– МК, який реалізує функції зв'язку з контролером або ПК через інтерфейс ІРП, що виконує прийом і перетворення вихідних послідовних кодів вимірювальних каналів в паралельний код, масштабування і температурну корекцію цифрових значень вхідних сигналів, контроль працездатності вимірювальних каналів;

– ПП1-ПП3, що реалізують три однопровідні канали ІРПС;

– розділові трансформатори електроживлення вимірювальних каналів Т2-Т5;

– ДТ – датчик температури;

– ПН – перетворювач напруги, що формує змінну напругу на первинних обмотках розділових трансформаторів електроживлення вимірювальних каналів;

– А1-А8 – канали, які здійснюють перетворення вхідних сигналів в цифровий код і гальванічне розділення вхідних ланцюгів перетворювача.

2.3 Застосування ІРПС

Струмова петля (current loop) - спосіб передачі інформації за допомогою вимірюваних значень сили електричного струму. В даний час такий спосіб більш поширений в інженерній практиці, ніж використання для цієї мети напруги. Для завдання вимірюваних значень струму використовується, як правило, кероване джерело струму. По виду переданої інформації розрізняються аналогова струмова петля і цифрова струмова петля [3].

Стандарт цифрової струмової петлі використовує відсутність струму як значення SPACE (низький рівень, логічний нуль) і наявність сигналу - як значення MARK (високий рівень, логічна одиниця). Відсутність сигналу

протягом тривалого часу інтерпретується як стан BREAK (обрив лінії). Дані передаються старт-стопним методом, формат послідовності збігається з RS-232, наприклад 8-N-1: 8 біт, без паритету, 1 стоп-біт.

Струмова петля може використовуватися на значних відстанях (до кількох кілометрів). Для захисту устаткування застосовується гальванічна розв'язка на оптоелектронних приладах, наприклад оптронах. Через неідеальної джерела струму, максимально допустима довжина лінії (і максимальний опір лінії) залежить від напруги, від якого живиться джерело струму. Наприклад, при типовому напрузі живлення 12 вольт опір не повинно перевищувати 600 Ом.

Джерело струму може розташовуватися в приймальному або передавальному кінці струмової петлі. Вузол з джерелом струму називають активним. Залежно від конструкції як передавач, так і приймач, можуть бути або активними (живити струмову петлю), так і пасивними (харчуватися від струмової петлі).

Для контролерів або ПК за замовчуванням приймається, що передавач - активний, приймач - пасивний.

Стандарт ІРПС/ІФСС використовує струмову петлю 20 мА для передачі даних.

За кордоном струмова петля (Current Loop) специфікована в стандартах ІЕС 62056-21 / DIN 66258.

Для комп'ютерів ІВМ РС і ІВМ РС ХТ використовується плата ІВМ Asynchronous Communications Adapter, що підтримує послідовну передачу по RS-232 або струмовій петлі. Для передачі сигналів струмової петлі використовуються незадіяні контакти на роз'ємі DB25. У більш пізніх розробках залишився тільки RS-232.

Аналогова струмова петля використовується для передачі аналогового сигналу по парі проводів.

Застосовується зміщений діапазон 4-20 мА, тобто найменше значення сигналу (наприклад, 0) відповідає току 4 мА, а найбільше - 20 мА. Таким чином, весь діапазон допустимих значень займає 16 мА. Нульове значення струму в ланцюзі означає обрив лінії і дозволяє легко діагностувати таку ситуацію.

Інтерфейс аналогової струмової петлі дозволяє використовувати різноманітні датчики з єдиним електричним інтерфейсом. Також даний інтерфейс може використовуватися для управління реєструючими і виконавчими пристроями: самописами, заслінками тощо.

Основною перевагою струмової петлі (в порівнянні з більш дешевою параметричною передачею напругою є те, що точність не залежить від довжини і опору лінії передачі, оскільки кероване джерело струму буде автоматично підтримувати необхідний струм в лінії).

Така схема дозволяє жити датчик безпосередньо від лінії передачі. Кілька приймачів можна з'єднувати послідовно, джерело струму буде підтримувати необхідний струм у всіх одночасно (відповідно до закону Кірхгофа). Але якщо в ланцюзі з'являться витік, робота струмової петлі порушиться, і засобами реалізації самої струмової петлі це не виявляється, що необхідно враховувати при проектуванні відповідальних виробничих ділянок.

Поверх аналогової струмової петлі можна передавати цифрову інформацію. Такий спосіб передачі даних описаний в HART-протоколі. Конкуруючими протоколами, здатними в майбутньому витіснити HART, є різні цифрові польові шини, такі як Foundation fieldbus або PROFIBUS.

2.4 Принцип дії струмової петлі

Основний принцип дії міститься в назві - "струмова петля".

Передавач і приймач пов'язані 2-х дротовою лінією зв'язку. Утворюється контур передачі – петля (рис. 2.1) [3].

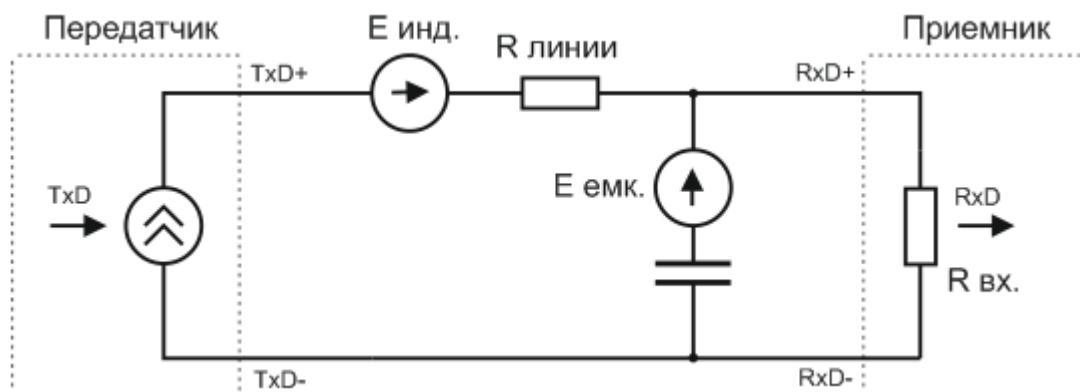


Рисунок 2.1 – Структура струмової петлі

Передавач це не джерело напруги, а джерело струму. Інформація передається значенням струму в контурі.

Для джерела струму, струм в послідовному контурі не залежить від опору ланцюга. Тому струм на вході приймача буде мати те ж значення, як і на виході передавача незалежно від:

- опору лінії зв'язку (R лінії);
- опору приймача (R вх.);
- ЕРС індуктивної перешкоди (E інд.);
- напруги живлення;
- будь-якого падіння напруги в контурі.

Це справедливо для чисто послідовного контуру, без витоків струму. Це означає, що передавач і приймач повинні бути гальванічно розв'язаними або приймач повинен бути диференціальним.

Ємнісні наведення викликають ЕРС, прикладені паралельно до передавача – джерела струму (E емк.). Струмова петля їх не пригнічує. Тому в якості лінії зв'язку в ІРПС зазвичай використовують кручену пару (рис. 2.2) [3].



Рисунок 2.2 – Схема знищення перешкод за допомогою крученої пари

ЕРС ємнісних перешкод сусідніх скручених ділянок кабелю віднімаються одна з одної, компенсуючи цю перешкоду. Додатковою захисною мірою може бути екранування крученої пари.

Ще однією властивістю, що підвищує перешкодозахищеність ІРПС, є низький вхідний опір приймача.

Також стійкість ІРПС в значній мірі залежить від струму передавача. Чим більше струм, тим важче перешкоді або наведенню вплинути на нього. На початку використання ІРПС використовували струм 60 мА. Потім цей параметр був знижений, і в даний час стандартними вважаються значення 20 і 40 мА. Але нічого не заважає використовувати для "струмової петлі" інші значення струмів в залежності від конкретних вимог.

Ще однією властивістю, що підвищує перешкодозахищеність ІРПС, є низький вхідний опір приймача.

За допомогою струмової петлі можуть передаватися як аналогові, так і цифрові сигнали.

У даній реалізації перетворювача використано цифрову передачу. Приймач цифрової струмової петлі спрацьовує на певні порогові значення струму. У цьому випадку вимоги до точності і вихідного опору передавачів значно нижче, ніж при передачі аналогових сигналів. Як наслідок, простіше апаратна реалізація. Струмову петлю можна застосовувати для передачі даних одночасно кільком приймачів (рис. 2.3) [3].

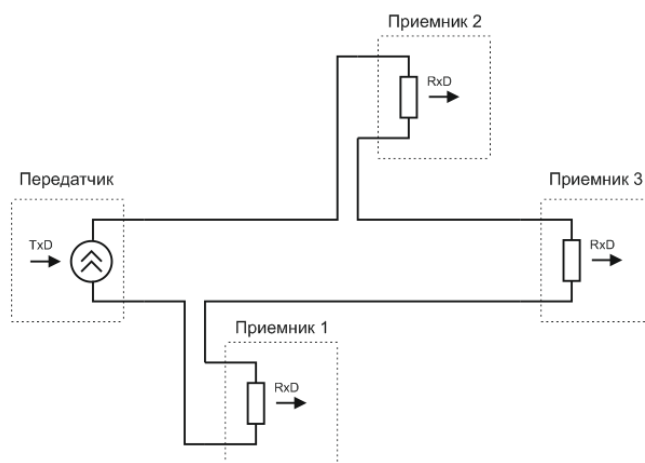


Рисунок 2.3 – Передача даних одночасно кільком приймачам

2.5 Швидкість передачі даних

Використання в якості передавача джерела струму призводить до основного недоліку ІРПС – невисокій швидкості передачі даних. Це пов'язано з зарядом ємності кабелю від джерела струму при перемиканні сигналу.

При стабільному струмі I через ємність C час заряду її до напруги U визначається формулою [4]:

$$T = U \cdot C / I \quad (2.3)$$

Припустимо, якщо кабель довжиною 1000 м і ємністю 75 нФ (75 пкФ/м). При струмі 20 мА час заряду ємності кабелю до напруги 5 В складе 18,75 мкс. Якщо прийняти час "тремтіння" асинхронного цифрового сигналу 25%, то тривалість передачі біта буде 75 мкс, що відповідає швидкості приблизно 13 кбод [4].

Швидкість передачі ІРПС визначається довжиною лінії зв'язку. Стандарт заявляє швидкість 9600 бод для лінії довжиною до 500 м. При збільшенні довжини кабелю швидкість передачі пропорційно падає (табл. 2.1) [3]/

Таблиця 2.1 – Основні параметри ІРПС

Параметр	Значення
Топологія інтерфейс	радіальний Лінія зв'язку 4 дроти (2 кручені пари)
Режим обміну даними	Асинхронний, двобічний
Гальванічна розв'язка	З боку приймача, напруга 500 В
Спосіб передачі сигналу	Струмова петля
Рівень логічної 1	Струм 15 ... 25 мА (для ІРПС 20 мА) Струм 30 ... 50 мА (для ІРПС 40 мА)
Рівень логічного 0	Струм 0 ... 3 мА (для ІРПС 20 мА) Струм 5 ... 10 мА (для ІРПС 40 мА)
Тривалість фронту сигналу на виході передавача	Не більше 1 мкс
Тривалість фронту сигналу на вході приймача	Не більше 50 мкс
Швидкість передачі інформації	9600 бод, на відстань до 500 м. При більшій відстані швидкість знижується пропорційно
Режими обриву і замикання лінії зв'язку	Довготривалі
Падіння напруги на вході приймача	Не більше 2,5 В
Вхідна ємність приймача	Не більше 10 нФ

Всі ці вимоги можуть мати відхилення у конкретних розробках, як, наприклад, струми, параметри передавачів і приймачів.

2.6 Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломного проекту розглянуті етапи вимірювання і введення температури, що можна розділити на три етапи. Визначені технічні характеристики та склад модуля перетворення, формула за якою обчислюється номінальна статична характеристика перетворювача. Для передачі інформації до центрального контролера обрано струмову петлю (current loop) - спосіб передачі інформації за допомогою вимірюваних значень сили електричного струму, що є поширеним в інженерній практиці, ніж використання для цієї мети напруги. Визначена швидкість передачі даних до центрального контролера.

2.7 Перелік джерел посилань до розділу 2

1. Призначення та класифікація вимірювальних перетворювачів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opticstoday.com/katalog-statej/stati-na-ukrainskom/elementi-ta-pristroi-sistem-upravlinnya-avtomatiki/vimiryuvalni-peretvoryuvachi/priznachennya-ta-klasifikaciya-vimiryuvalnix-peretvoryuvachiv-vp.html> (дата звернення: 17. 05. 2020).

2. Вимірювальні перетворювачі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/bitstream/123456789/2594/1/Koval_vymir_r_peretv_2018.pdf (дата звернення: 22. 05. 2020).

3. Засоби автоматизації технологічних процесів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/avp/metod/T3A%20Курсова%20робота.pdf> (дата звернення: 17. 05. 2020).

4. Вимірювальний перетворювач сигналів змінної напруги або струму. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uapatents.com/7-118997-vimiryuvalnijj-peretvoryuvach-signaliv-zminno-naprugi-abo-strumu.html> (дата звернення: 15. 05. 2020).

3 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЛОКУ

3.1 Реалізація ІРПС

Передавач це джерело струму. Джерело струму - це джерело напруги з високим вихідним опором, в ідеалі з нескінченним опором.

Найпростіший передавач ІРПС – транзисторний ключ з послідовно включеним резистором (рис.3.1) [1].

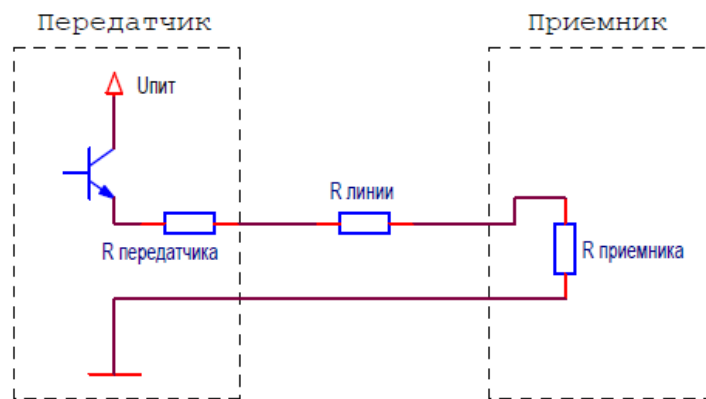


Рисунок 3.1– Передавач ІРПС

Струм в ланцюзі визначається за формулою [1]:

$$I = U / (R_{\text{перед.}} + R_{\text{лінії}} + R_{\text{пр}}) \quad (3.1)$$

Якщо опір лінії набагато менше, ніж опору передавача, то струм в контурі в малій мірі залежить від параметрів лінії.

Припустимо опір приймача дорівнює 0.

Для забезпечення необхідного струму 20 мА в ланцюзі з нульовим опором лінії опір передавача має бути $R = 12 \text{ В} / 0,02 \text{ А} = 600 \text{ Ом}$.

Опір подвійного кабелю довжиною 1000 м і перетином $0,35 \text{ мм}^2$ складає 100 Ом.

Якщо його підключити до ланцюга, то струм буде $I = 12 \text{ В} / (600 + 100) = 0,017 \text{ мА}$.

В підсумку. При зміні опору лінії від 0 до 100 Ом струм в контурі буде змінюватися від 20 до 17 мА. Цілком допустимі значення для цифрової струмової петлі.

Опір резистора передавача залежить від напруги живлення ключа. Для забезпечення того ж струму в лінії при збільшенні напруги живлення опір резистора необхідно збільшувати. Тому, чим більше напруга живлення, тим більшим може бути опір лінії зв'язку.

Як приймач зазвичай використовується оптрон. Він сам по собі є струмовим приймачем і забезпечує гальванічну розв'язку.

Джерело струму може бути розташоване як на приймальній, так і на передавальній стороні. Вузол з джерелом струму є активним.

Наведемо найбільш поширені варіанти реалізації.

Найпростіша схема з'єднання двох абонентів за допомогою струмової петлі – Передавачем-джерелом струму є дискретний вихід мікроконтролера з послідовно включеним резистором (рис. 3.2) [1].

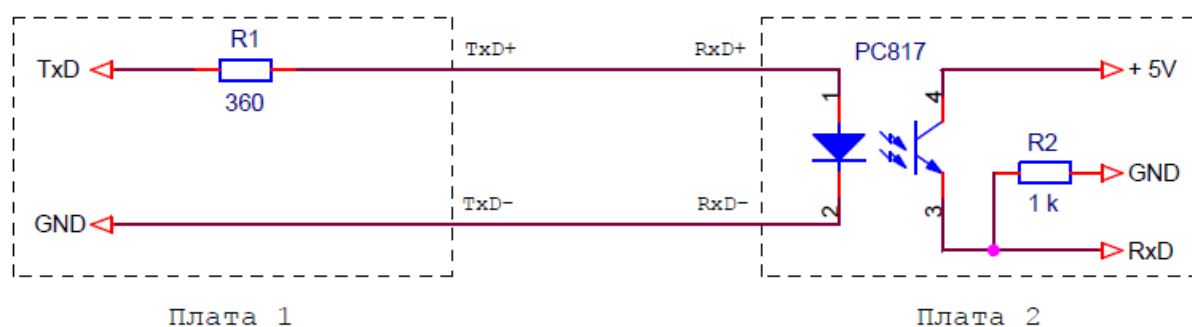


Рисунок 3.2 – Схема зв'язку по інтерфейсу ІРПС

У якості приймача даних від термоопору використовується оптрон.

Розрахунок струму в ланцюзі визначається як [1]

$$I = (U_{\text{перед.}} - U_{\text{вх.}} \text{ приймача}) / (R1 + R_{\text{лінії}}) \quad (3.2)$$

Проведемо розрахунок струму:

$$I = (5 \text{ В} - 1,3 \text{ В}) / 360 \text{ Ом} = 10,2 \text{ мА.}$$

Основні недоліки схеми є низька напруга на виході мікроконтролера, а значить невеликий опір послідовного резистора.

Як наслідок, опір лінії повинно бути досить низьким, лінія не може бути занадто довгою.

Схема не може забезпечити струм більше 10-15 мА через невисоку здатності навантаження висновків мікроконтролера.

Проте, схема цілком робоча для зв'язку пристроїв на відстані до декількох десятків і навіть сотень метрів.

Розглянемо ще один варіант з'єднання абонентів по інтерфейсу ІРПС.

У попередніх схемах активними є передавачі. Гальванічна розв'язка відбувається в приймачах. Пристрої гальванічно розв'язані як би паралельно лінії зв'язку, що не дуже добре з точки зору безпеки.

Будь-яке пошкодження кабелю зв'язку може призвести до порушення гальванічної розв'язки.

Головна вимога безпеки - це гальванічна розв'язка пристрою від потенційно небезпечного кабелю зв'язку між пристроями. Кабель, як правило, фізично розташований в місцях де можна очікувати чого завгодно, в тому числі і замикання на небезпечне для життя напругу.

У ній забезпечуються набагато кращі параметри передавача, приймача і повна гальванічна розв'язка від лінії зв'язку одного пристрою. На малюнку лівого пристрою. Наступна схема набагато досконаліше в усіх відношеннях (рис. 3.3) [3].

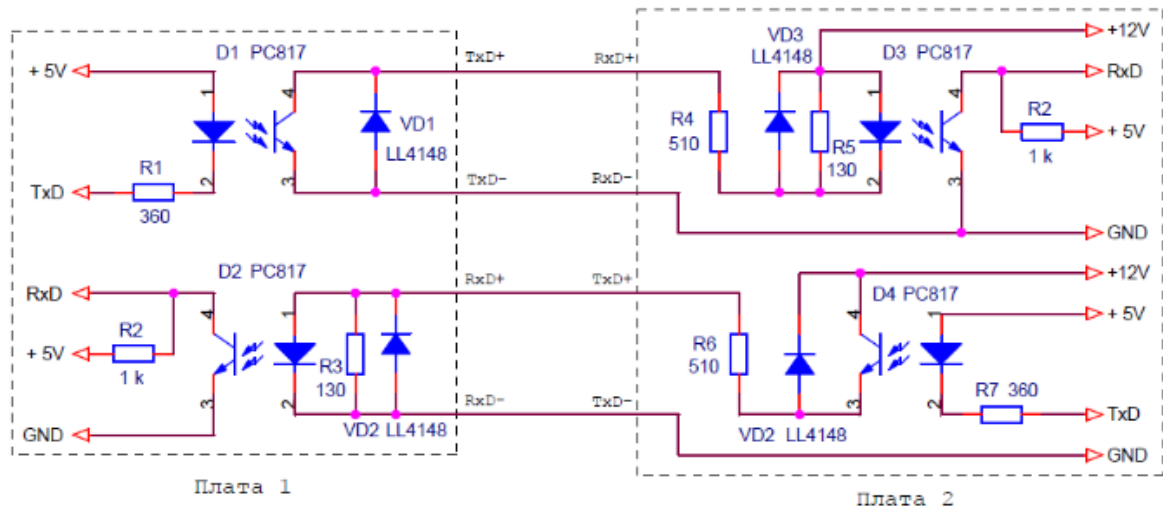


Рисунок 3.3– Модифікація з'єднання по ІРРС

У передавачі використовується вихідний ключ оптрона. У правому на схемі пристрої і приймач і передавач є активними, а в лівому - пасивними. Виходить, що ліве пристрій гальванічно розв'язаний від лінії зв'язку без застосування додаткового джерела живлення.

Струм в ланцюзі спрощено можна розрахувати за формулою [1]:

$$I = (U - U_{вх. \text{ прийм.}}) / (R_6 + R_{\text{лінії}}) \quad (3.3)$$

Для схеми що наведена рис. вище:

$$I = (12 - 1,5) / 510 = 20,6 \text{ мА.}$$

Діоди VD1-VD4 захищають приймачі і передавачі від викидів і наведень в лінії негативної полярності. Краще ще додати пробивні стабілітрони для обмеження сигналів по амплітуді, але це інша тема. Але як мінімум, діоди на довгих лініях повинні бути.

Якщо для правого пристрою використовувати гальванічно розв'язане від мікроконтролера джерело живлення, то розв'язані від лінії зв'язку будуть обидва пристрої.

Як передавачів і приймачів в схемі використовуються оптрони. Це призводить до двох проблем.

Вихідний струм оптрона пов'язаний з вхідним коефіцієнтом передачі. Для різних типів оптронів він має різні значення. Але часто розробники оптронів нормують його в широких межах. Наприклад, для CNY74-3H коефіцієнт передачі становить від 50 до 600%.

При мінімальному коефіцієнті передачі 50%, для того щоб забезпечити вихідний струм 20 мА, вхідний струм повинен бути 40 мА. Це неприпустиме значення, як для виходу мікроконтролера, так і для світлодіода оптрона.

Вихідний струм оптрона можна збільшити за схемою, наведеною на рис. 3.4 [5].

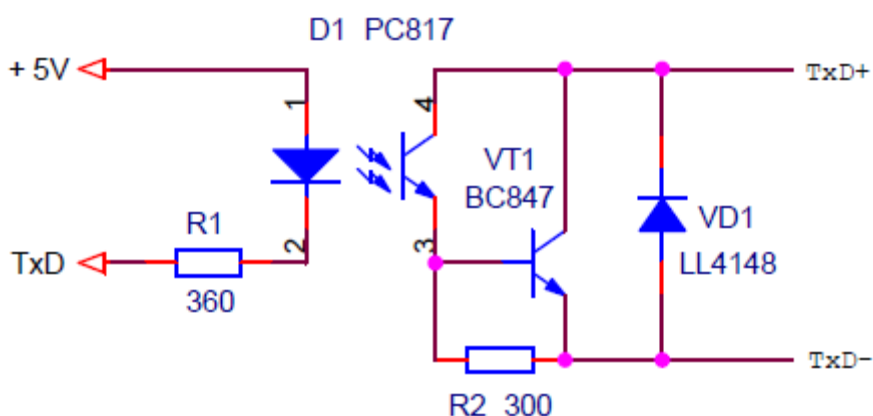


Рисунок 3.4 – Схема збільшення вихідного струму оптрона

Додатковий транзистор разом з вихідним транзистором оптрона утворюють складовою транзистор.

Друга проблема з боку приймача. Це струм спрацьовування оптрона, а значить і приймача. Цей параметр знову ж таки залежить від коефіцієнта передачі оптрона і може змінюватися в значних межах.

Необхідно задати поріг струму, нижче якого приймач спрацьовувати не буде. Це можна зробити, включивши додатковий резистор паралельно світлодіоду оптрона.

3.2 Схема збільшення порогу спрацьовування оптрона

Частина струму буде текти через резистор R1(див. рис.3.4) . Струм через світлодіод оптрона визначається формулою [2]:

$$I = I_{лінії} - (U_{пр. світлодіода} / R1) \quad (3.4)$$

Резистор "забере" струм $U_{пр. світлодіода}/R1$.

Це і буде поріг, до якого треба ще додати струм спрацьовування оптрона. У даній схемі поріг дорівнює $1,3 \text{ В} / 130 \text{ Ом} = 10 \text{ мА}$.

3.3 Застосування МК STM32

Мікроконтролер (MicroControllerUnit, MCU) - мікросхема, призначена для управління електронними пристроями. Типовий МК поєднує на одному кристалі функції процесора і периферійних пристроїв, містить ОЗУ і (або) ПЗУ. По суті, це однокристальний комп'ютер, здатний виконувати досить прості завдання.

МК реалізує функції зв'язку з контролерами через інтерфейс ІРПС і виконує прийом і перетворення вихідних послідовних кодів вимірювальних каналів в паралельний код, масштабування і температурну корекцію цифрових значень вхідних сигналів, контроль працездатності вимірювальних каналів.

МК здійснює:

- ініціалізацію АЦП вимірювальних каналів;
- читання цифрових даних по вимірювальним каналам;
- масштабування і температурну корекцію цифрових даних по вимірювальним каналам;
- контроль стану вимірювальних каналів і пам'яті мікропрограм;
- управління індикатором перетворювача;

- виведення цифрових даних на ІРПС;
- юстирування вимірювальних каналів (операції, що вимагають точності).

У режимі юстирування МК здійснює:

- занесення в FLASH значень напруг зсуву нуля каналів і початкової температури перетворювача;
- розрахунок і занесення в FLASH коефіцієнтів передавальної характеристики каналів;
- розрахунок і занесення в FLASH-температурних коефіцієнтів зміни напруги зміщення нуля і передавальної характеристики каналів.

Під час занесення дати юстирування в байтах 3, 4, 5 передаються в двійковому коді число, місяць і рік.

Процес виконання юстирування супроводжується лог. "1" в шостому биті другого байта кадру відповіді. По закінченню юстирування ознака знімається.

При помилці в запиті юстирування у кадрі відповіді перетворювача встановлюється прапор помилки ER2 (помилка довжини кадру в запиті).

При юстируванні в нормальних умовах температура перетворювача повинна бути не більше +40°C. При температурному юстируванні - не менше +50 ° C.

ПП1-ПП3 реалізовані на елементах 8-10, 12-14, 16-18 і R30-R38. Включення передавачів 12-14 проводиться МК тільки після прийому запиту на час передачі пакета відповіді.

При юстируванні необхідно виконати перетворювача запитів відповідно до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Формат кадру запиту юстирування

Номер байту	Призначення бітів							
	7 (старший)	6	5	4	3	2	1	0 (молодший)
1	ТМО(0x04 для ПСК-41/1, 0x20 для ПСК-41/2)							
2	URAB	1	0	0	Код типу юстирування			
3	Діапазон вхідних сигналів				Номер каналу			
4	Дані юстирування (молодший байт)							
5	Дані юстирування (старший байт)							
6	Контрольна сума CRC16 кадру запиту (старша частина)							
7	Контрольна сума CRC16 кадру відповіді (молодша частина)							

Тип юстирування кодується відповідно до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Кодування типу юстирування

Код типу юстирування	Вид юстирування
0	Занесення типу модуля
4	Юстирування нуля заданого каналу
5	Юстирування діапазону заданого каналу
6	Температурне юстирування нуля заданого каналу
7	Температурне юстирування діапазону заданого каналу
8	Занесення дати юстирування

3.4 Архітектурний опис перетворювача

Перетворювач містить вісім вимірювальних каналів сигналів провідникових термоопорів і один канал вимірювання температури навколишнього повітря.

Дані по температурному каналу використовуються для температурної корекції результатів перетворення за вхідними вимірювальним каналам. Ціна молодшого розряду вихідного двійкового додаткового коду - 1°C .

Вимірювання вхідних сигналів і температури проводиться з часом перетворення 130...150 мс по командам контролера.

Виміряні значення зберігаються в пам'яті МК, що здійснює їх масштабування і температурну корекцію.

До одного термоопору підключаються три перетворювача, що працюють в старт-стоповому режимі. Запуск перетворювачів на вимірювання проводиться по черзі по командам контролерів.

МК перетворювача здійснює прийом і контроль за трьома каналами ІРПС кадри запиту, що містить команду управління по восьми каналах перетворення, і формує кадр відповіді, що містить інформацію про значення вхідних аналогових сигналів і діагностичну інформацію.

Перетворювач розроблений на базі МК STM32F103 фірми ST Microelectronics, який працює на тактовій частоті 29,4912 МГц.

Даний МК STM32F103 виконує наступні функції:

- прийом кадру запиту по трьох каналах зв'язку ІРП-4 від модулів зв'язку МСВ (далі - МСВ) на введення значень виміряних аналогових сигналів опору;
- прийом команди і даних для виконання юстирування;
- контроль типу модуля в запиті з встановленням в 1/0 біта помилки ER1;
- контроль довжини кадру запиту з встановленням в 1/0 біта помилки ER2;
- контроль контрольної суми кадру запиту з встановленням в 1/0 біта помилки ER3;
- формування і видача по інтерфейсу ІРПС-4 в контролер кадру відповіді, що складається з 32 байт;

- прийом даних від аналогово-цифрових перетворювачів АЦП (далі - АЦП) по восьми вимірювальним каналам;
- корекція даних в залежності від типу перетворювача;
- масштабування і температурна корекція вимірних значень аналогових сигналів опору восьми каналів;
- контроль і введення стану вимірювальних каналів з встановленням в 1/0 біта інтегральної помилки RAB;
- введення температури перетворювача;
- виконання нормальних і температурних юстировок нуля і діапазону вимірювальних каналів при наявності роздільної перемички;
- управління індикатором працездатності «РАБ / ВІДМОВА», що відображає працездатний / неробочий стан перетворювача;
- контроль сигналів НКМР, які задають режим роботи перетворювача в залежності від кількості керуючих контролерів мікропроцесорних КМП (далі - КМП);
- контроль пам'яті програм МК шляхом підрахунку контрольної суми і тестування пам'яті оперативного пам'яті ОЗУ (далі - ОЗУ) з встановленням в 1/0 біта помилки ERR0M і біта інтегральної помилки RAB;
- порівняння копій коефіцієнтів юстирування на збіг під час масштабування;
- контроль команди запуску на перетворення;
- контроль команди управління з восьми каналах перетворення, яка задає по кожному каналу налаштування роботи перетворювача.

Прийом кадру запиту здійснюється встановленням сигналу рівня логічної одиниці для перекладу буфера лінії зв'язку перетворювача на прийом за допомогою виводів мікросхеми RA11, RA7 і RB12 напрямки 1, 2 і 3 відповідно (TXENn) (додаток Б).

Передача кадру відповіді здійснюється встановленням сигналу рівня логічного нуля для перекладу буфера лінії зв'язку перетворювача на

передачу за допомогою висновків PA11, PA7 і PB12 напрямки 1, 2 і 3 відповідно (TXENn)

Прийом кадру запиту від MCB і передача кадру відповіді здійснюється за трьома послідовним каналам зв'язку. Послідовний прийом реалізується через висновки PA10, PA3 і PB11 напрямки 1, 2 і 3 відповідно (RXDn), послідовна передача - через висновки PA9, PA2 і PB10 напрямки 1, 2 і 3 відповідно (TXDn).

Послідовний введення / виведення даних МК по кожній лінії зв'язку здійснюється за допомогою універсального синхронно / асинхронного приймача USART. Конфігурація USART визначається наявністю одного стоп-біта, без контролю парності, довжина слова даних 8 біт, швидкість прийому / передачі даних 921600 baud.

Прийом МК даних від зовнішніх аналогово-цифрових перетворювачів (далі - АЦП) здійснюється за допомогою висновків PC0-PC7 (DIN1-DIN8).

Введення даних в АЦП здійснюється за допомогою висновків PE0-PE7 (DOUT1-DOUT8). Тактовий сигнал введення даних АЦП формується на виводі PA0 (SCLK).

Зовнішні АЦП тактуються від процесора частотою 64 kHz в автоматичному циклічному режимі. Вимірювання проводяться по двох каналах АЦП для трьохпроводний підключення перетворювача. Період перетворення значень по одному каналу АЦП - 125 ms.

Отримання значень температури перетворювача від датчика температури здійснюється через інтерфейс SPI МК, де дані надходять на висновок PA6 (MISO). Сигнал вибору датчика температури формується на виводі PA4 (CS). Тактування датчика температури здійснюється через висновок PA5 (SCK).

Контроль сигналів НКМР задають ознака кількості керуючих контролерів мікропроцесорних КМП (далі - КМП) здійснюється за допомогою висновків PB13 (1НКМР) і PB14 (2НКМР).

Контроль сигналу дозволу юстирування здійснюється за допомогою виведення PB15 (CAL).

Управління кольором світіння індикатора працездатності перетворювача «РАБ / ВІДМОВА» здійснюється схемно-програмним шляхом через висновок PA8 (IND).

Напруга рівня логічного нуля на виведення PA8 (IND) (наявність помилки пам'яті програм, наявність помилки тесту пам'яті ОЗУ, непрацездатний стан будь-якого вимірювального каналу, розбіжність коефіцієнтів юстирування у Flash-пам'яті, наявність в розряді команди управління індикатором URAB хоча б по одному напрямку ІПІ-4 логічної "1") призводить до світіння індикатора червоним кольором, що свідчить про непрацездатному стані.

Напруга рівня логічної одиниці на виводі PA8 (IND) (відсутність помилки пам'яті програми, відсутність помилки тесту пам'яті ОЗУ, працездатний стан всіх вимірювальних каналів, збіг коефіцієнтів юстирування у Flash-пам'яті, відсутність в розряді команди управління індикатором URAB в усіх напрямках ІПІС логічної "1") призводить до світіння індикатора зеленим кольором, що свідчить про працездатному стані.

Занесення інформації в пам'ять програм МК здійснюється за допомогою висновків PA13 (SWDIO) і PA14 (SWCLK), що реалізують апаратний інтерфейс налагодження та програмування SWD (Serial Wire Debug).

Склад, програмних модулів, необхідних для виміру та перетворення температури у цифровий код представлений в таблиці 3.3.

Програмний елемент обробки аналогового сигналу забезпечує перетворення коду, що приймає АЦП, в фізичну величину.

Таблиця 3.3 – Склад програмних модулів

Позначення	Характеристика
ASPID	Модуль АЦП з діагностикою
ASPIIN	Модуль ініціалізації АЦП
ASPIL	Модуль перетворення аналогового коду в фізичну величину
RAS16	Модуль розпаковки 16-розрядний
S_FILTER	Модуль фільтрації аналогового сигналу
MVDCK-D	Модуль МВДС-КО з діагностикою
MFDSZD	Модуль формування стану дискретних каналів та діагностики його працездатності

Пропонується наступна робота програмного елемента обробки аналогового сигналу:

Крок 1. Перевірка чи включений датчик. Якщо датчик виключений $Y=N$, $D=1$, $W=S=0$, виконується крок 7.

Крок 2. Прийнятий з АЦП код перевіряється на допустимість: якщо $x \leq 0$, то $x=0$; якщо $x \geq 4096$, то $x=4096$ та розраховується по формулі [3]:

$$Z = F \cdot X + (1 - F) \cdot G, \quad (3.5)$$

де x – значення коду після фільтру в діапазоні 0-4096, що вводиться з АЦП (12 розрядів);

F – початковий параметр фільтру (0,3 ... 1);

G – значення параметру фільтру попереднього кроку (початкове значення $G=1000$).

Крок 3. Виконується розрахунок значення в одиницях параметру виміру [3]:

$$Y = A + (R - A) z / 4096, \quad (3.6)$$

де R – максимум діапазону виміру (в одиницях виміру фізичної величини)
10 В;

A – мінімум діапазону виміру (в одиницях виміру фізичної величини)
0 В;

Крок 4. Виконується контроль достовірності – нижня границя. Якщо $Y \leq H$ - границя порушена, $Y=H$, $D=1$, $W=S=0$; виконується крок 7.

Крок 5. Виконується контроль достовірності – верхня границя. Якщо $Y \geq B$ - границя порушена, $Y=B$, $D=1$, $W=S=0$; виконується крок 7.

Крок 6. Виконується контроль уставки сигналізації – мінімум. Якщо $Y \leq L$ - границя порушена, $D=0$, $W=0$, $S=1$; виконується крок 7.

Крок 7. Виконується контроль уставки сигналізації – максимум. Якщо $Y \geq L$ - границя порушена, $D=0$, $W=1$, $S=0$; виконується крок 7.

Крок 8. Формування значення параметру Q . Якщо $|Y-Q| > 0,01 \cdot K \cdot |R-A|$, то $Q=Y$.

Виходи датчиків подаються в блок МНТП/ТС, де проводиться нормалізація сигналів, а потім в блок АЦПІ для перетворення аналогового значення сигналів в цифровий код. При розходженні сигналу від датчика та завдання ПД-регулятора виробляється відповідний вплив на керуючий орган (рис. 3.5).

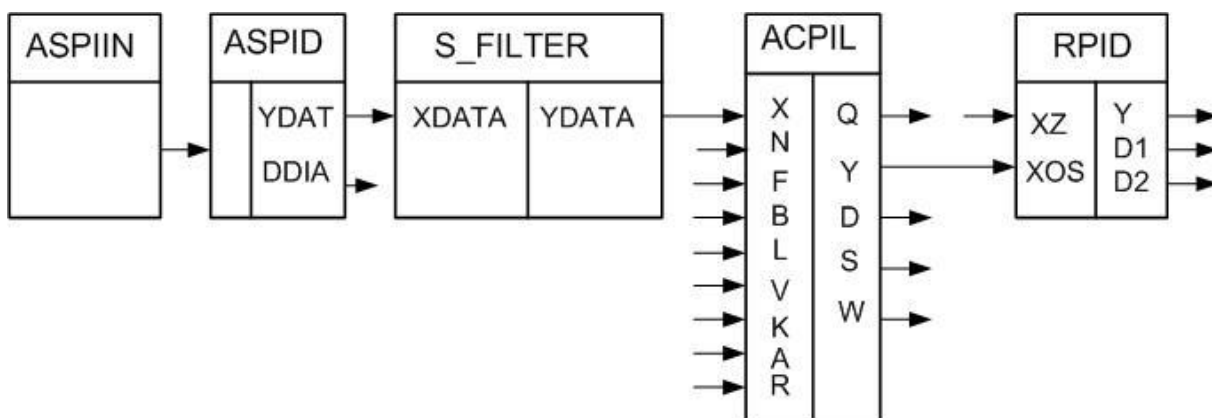


Рисунок 3.5 – Прийом аналогового сигналу та видача керуючого впливу

При прийомі дискретних сигналів вихідний сигнал представляється виразом:

$$X = X_{n-1} * 2^{n-1} + X_{n-2} * 2^{n-2} + \dots + X_0 * 2^0, \quad (3.7)$$

де n - - кількість розрядів; $X_i \in \{0,1\}$.

Значення сигналу на виході D_i відповідає $D_i = X_i$, $i \in 0, n - 1$ (рис. 3.6).

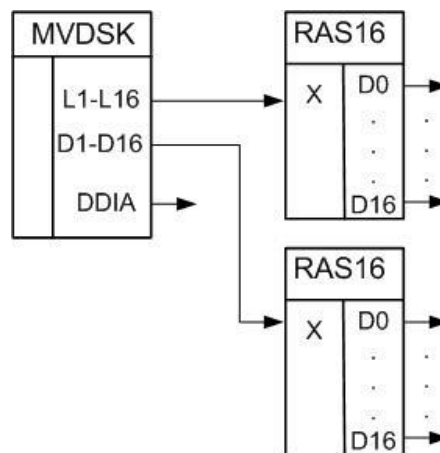


Рисунок 3.6 – Прийом дискретного сигналу

Програмний модуль, що реалізує видачу дискретного сигналу представлений на рис. 3.7.

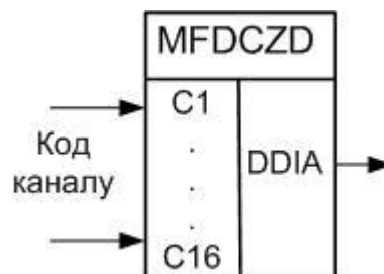


Рисунок 3.7 – Видача дискретного сигналу

Специфіка визначення середніх і сумарних значень сигналів обумовлена дискретним характером вхідної інформації. З цією метою в ланцюжку прийому аналогового сигналу запропоновано використати програмний модуль *S_Filter* та алгоритм фільтрації аналогового сигналу, який забезпечує обчислення середнього значення останніх *n*-значень.

Перед початком роботи значення кількості вимірів *n* заноситься в мікроконтролер як параметр налаштування, тобто за 5 вимірів, що становить в часовому інтервалі 1 секунду (по 200 мс на вимір), інформація в системі при зміні параметру змінюється.

3.5 Робота основних вузлів перетворювача

Кожен з 8-ми каналів А1-А8 реалізований на основі інтегрального 24-розрядного аналого-цифрового перетворювача (D11), що здійснює перетворення напруги, яка знімається з вимірюваного опору, у двійковий код (Додаток Д).

Мікросхема АЦП тактується сигналом 64 кГц, що надходять з МК через мікросхему D13.

Читання даних з мікросхеми D11 виробляється через мікросхему D13, що забезпечує гальванічну розв'язку цифрових ланцюгів каналу.

Ознакою наявності даних на виході послідовного порту аналого-цифрового перетворювача є зміна сигналу на виході DO (контакт 15) з низького рівня на високий. Виведення даних здійснюється тактовою частотою, що формується МК і надходить на вхід SCK (контакт 1) мікросхеми D11.

АЦП працює у старт-стоповому режимі. Ініціалізація процесу перетворення здійснюється шляхом запису в АЦП параметрів налаштування. В цьому випадку АЦП має час перетворення близько 130 ... 150 мс .

Ознакою несправності каналу є відсутність з нього цифрових даних протягом очікуваного часу.

Ініціалізація АЦП і читання результату перетворення проводиться МК з періодом сигналу START в пакеті запиту.

По першому каналу АЦП виробляється перетворення напруги, який формується на термоопорі джерелом струму АЦП, що включається при його ініціалізації.

По другим каналу АЦП здійснюється перетворення напруги на дроті живлення термоопору, що віднімається МК з результату перетворення на першому каналі.

З метою забезпечення стабільності характеристики перетворення в якості опорної напруги АЦП використовується напруга, що формується струмом живлення термоопору на вимірювальному резисторі R47.

Елементи R42-R46, C34-C36, V16, V17 служать для захисту каналу і придушення високочастотних перешкод.

Електроживлення каналів здійснюється через розділові трансформатори T2-T5, вторинна напруга яких випрямляються мостом, виконаним на діодах V18-V21, напругою близько 5 V, який формується мікросхемою 23.

ПН здійснює перетворення напруги електроживлення перетворювача +24 V в постійну напругу +3,3 V для електроживлення МК, ДТ та змінну напругу 23 V для електроживлення вимірювальних каналів.

ПН складається з двох послідовно включених перетворювачів.

Перший перетворювач реалізований на контролері 4, підсилювачі 1, джерелі опорного напруги 2 і дроселі L1 за схемою зворотно ходового перетворювача і здійснює перетворення вхідного напруги + (24 ± 4) V в напругу 60 V, стабілізація якого забезпечується підсилювачем неузгодженості 1.

Другий перетворювач реалізований на підсилювачі 5, трансформаторі Т1 і елементах R17-R23, C21-C27, V8-V15 за схемою модулятора постійної напруги.

З контактів 5 і 9 трансформатора знімається змінна напруга з амплітудою близько 23V.

На виході випрямляча, реалізованого на низькоомних ключах V10 і V11, формується напруга +3,6 V для другого ступеня стабілізації.

Випрямляч V12-V15 забезпечує електроживлення мікросхем 1, 2, 4, 5 стабілізованою напругою +14 V.

Стабілізатор 3 формує напругу +3,3 V для електроживлення МК (6), ДТ (7), елементів інтерфейсної зв'язку і мікросхеми D13 каналів перетворення А1-А8 перетворювача.

У колах електроживлення +24 V встановлені самовідновлюваний запобіжник R2, R3.

ДТ проводить вимірювання температури перетворювача. Введення температури ДТ МК виробляє по порту SPI.

У додатках наведені:

- електрична схема перетворювача опір-код (додаток В);
- схема каналів перетворювача А1-А8 (додаток Д);
- – перелік елементів перетворювача (додаток Ж);
- .

3.6 Висновки до розділу 3

У третьому розділі дипломного проекту:

1. Проведено аналіз методи та засобів вимірювання температури, розглянута структура апаратних засобів, особливості реалізації, у складі мікроконтролерних систем. На основі проведеного аналізу зроблені висновки про необхідність даної розробки та розроблені вимоги до програмного забезпечення.

2. Проведено розроблення структурної схеми перетворювача температура, проаналізована та обрана елементна база реалізації.

3. Визначені етапи виміру температури та технічні характеристики модуля, що здійснює вимір температури по 8-ми каналам за допомогою термоопорів з діапазоном виміру у цифровому значенні $-327568\dots+32767$.

4. Передача інформації в контролер верхнього рівня здійснюється з використанням гальванічно розв'язаного інтерфейсу ІРПС (струмова петля).

5. Перетворювач розроблений на базі МК STM32F103 фірми ST Microelectronics, який працює на тактовій частоті 29,4912 МГц. МК реалізує функції зв'язку з контролерами через інтерфейс ІРПС і виконує прийом і перетворення вихідних послідовних кодів вимірювальних каналів в паралельний код, масштабування і температурну корекцію цифрових значень вхідних сигналів, контроль працездатності вимірювальних каналів.

6. Визначений склад, програмних модулів, необхідних для виміру та перетворення температури у цифровий код.

3.7 Перелік джерел посилання до розділу 3

1. Універсальні інтерфейси ІВС провідного зв'язку загального призначення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://itcj.sethost.net/pdf/svp_3_1_12.pdf (дата звернення: 19. 05. 2020).

2. Інтерфейс "токовая петля". [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.bookasutp.ru/Chapter2_4.aspx (дата звернення: 19. 05. 2020).

3. Аналоговые полевые интерфейсы: токовая петля 4-20 мА – от простого к сложному. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.compel.ru/lib/97023> (дата звернення: 18. 05. 2020).

4. Давачі навчальний посібник. 2-ге видання доповнене. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://www.svaltera.ua/upload/catalogs/davachi_2013.pdf (дата звернення: 19. 05. 2020).

5. Гальванічна розв'язка ліній передач інтерфейсу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.nauchebe.net/2014/09/galvanichna-rozvyazka-linij-peredach-interfejsu/> (дата звернення: 24. 05. 2020).

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні питання з охорони праці

В Законі України «Про охорону праці» [1] визначається, що охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

При роботі з обчислювальною технікою змінюються фізичні і хімічні фактори навколишнього середовища: виникає статична електрика, електромагнітне випромінювання, змінюється температура і вологість, рівень вміст кисню і озону в повітрі.

4.2 Правові та організаційні основи охорони праці

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Відповідно Закону України «Про охорону праці» [1] до статті 3 законодавство про охорону праці складається з Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та інших правових актів.

Обов'язки працівників щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці, відповідальність робітників всіх категорій за порушення вимог Закону України «Про охорону праці» щодо охорони праці [1] (ст. 44) та структура організації/виробництв системи управління охорони праці визначені безпосередньо «Інструкцією на робоче місце № 1», та

іншими затвердженими власними нормативними актами з питань охорони праці (правилами, нормами, регламентами, положеннями, стандартами, інструкціями та іншими документами, обов'язковими до виконання), тобто тих, що діють на підприємстві/організації, і визначені в НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві» [2].

4.3 Організаційно-технічні заходи з безпеки праці

В організації/підприємстві проводиться навчання і перевірка знань з питань охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [3].

Також впроваджені організаційні заходи з пожежної безпеки - навчання і перевірку знань відповідно до НПАОП 0.00-8.24-05 «Перелік робіт з підвищеною небезпекою» [4].

4.4 Аналіз стану умов праці та вимоги до приміщення

Робота над створенням дипломного проекту проходитиме в приміщенні відповідної установи (компанії, підприємстві тощо). Для даної роботи достатньо однієї людини, для якої надано робоче місце зі стаціонарним комп'ютером. Геометричні розміри приміщення зазначені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розміри приміщення

Найменування	Значення
Довжина, м	5
Ширина, м	5
Висота, м	3
Площа, м ²	25
Об'єм, м ³	75

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [5] розмір площі для одного робочого місця оператора персонального комп'ютера має бути не менше 6 кв. м, а об'єм — не менше 20 куб. м. Отже, дане приміщення цілком відповідає зазначеним нормам. Для забезпечення потрібного рівного освітленості кімната має вікно та систему загального рівномірного освітлення, що встановлена на стелі. Для дотримання вимог пожежної безпеки встановлено порошковий вогнегасник та систему автоматичної пожежної сигналізації відповідно НАПБ.А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [15].

4.5 Вимоги до організації робочого місця

При порівнянні відповідності характеристик робочого місця нормативним основні вимоги до організації робочого місця згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [6] і відповідними фактичними значеннями для робочого місця, констатуємо повну відповідність в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Характеристики робочого місця

Найменування параметра	Фактичне значення	Нормативне значення
Висота робочої поверхні, мм	750	680 ÷ 800
Висота простору для ніг, мм	730	не менше 600
Ширина простору для ніг, мм	660	не менше 500
Глибина простору для ніг, мм	700	не менше 650
Висота поверхні сидіння, мм	470	400 ÷ 500
Ширина сидіння, мм	400	не менше 400
Глибина сидіння, мм	400	не менше 400
Висота поверхні спинки, мм	600	не менше 300
Ширина опорної поверхні спинки, мм	500	не менше 380
Радіус кривини спинки в горизонтальній площині, мм	400	400
Відстань від очей до екрану дисплея, мм	800	700 ÷ □ 800

Екран монітору знаходиться на відстані 0.8 м, клавіатура має можливість регулювання кута нахилу 5-15°. Отже, за всіма параметрами робоче місце відповідає ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [6].

Приміщення кабінету знаходиться на другому поверсі трьох поверхової будівлі і має об'єм 78 м³, площу — 18 м². У цьому кабінеті обладнано три місця праці, з яких два укомплектовані ПК.

Температура в приміщенні протягом року коливається у межах 18–24°C, відносна вологість — близько 50%. Швидкість руху повітря не перевищує 0,2 м/с. Шум на робочому місці знаходиться на рівні 50 дБА. Система вентилявання приміщення — природна неорганізована, а опалення — централізоване.

Розміщення вікон забезпечує природне освітлення з коефіцієнтом природного освітлення не менше 1,5%, а загальне штучне освітлення, яке здійснюється за допомогою восьми люмінесцентних ламп, забезпечує рівень освітленості не менше 200 Лк.

У кабінеті є електрична мережа з напругою 220 В, яка створює небезпеку ураження електричним струмом. ПК та периферійні пристрої можуть бути джерелами електромагнітних випромінювань, аерозолів та шкідливих речовин (часток тонеру, оксидів нітрогену та озону).

За ступенем пожежної безпеки приміщення належить до категорії В. Кабінет має бути оснащений переносним вуглекислотним вогнегасником ВВК-5.

4.6 Навантаження та напруженість процесу праці

Під час виконання робіт використовують ПК та периферійні пристрої, що призводить до навантаження на окремі системи організму.

Найбільшому ризику виникнення різноманітних порушень піддаються: органи зору, м'язово скелетна система, нервово-психічна діяльність, репродуктивна функція у жінок.

При роботі наявні психофізіологічні небезпечні та шкідливі фактори: фізичне перевантаження, розумове перенапруження та ін.

Роботу за дипломним проектом визнано, таку, що займає 50% часу робочого дня та за восьмигодинної робочої зміни рекомендовано встановити додаткові регламентовані перерви для розробників програм тривалістю 15 хв через кожну годину роботи.

4.7 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі на персональному комп'ютері

Роботу, пов'язану з електронно-обчислювальними машинами (далі - ПК) з відео дисплейними терміналами (далі - ВДТ), у тому числі на тих, які мають робочі місця, обладнані ПК з ВДТ і периферійними пристроями (далі - ПП), виконують із забезпеченням виконання НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями [7], які встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць, до роботи із застосуванням ПК з ВДТ і ПП.

Переважно роботи за проектами виконують у кабінетах чи інших приміщеннях, де використовують різноманітне електрообладнання, зокрема ПК та периферійні пристрої.

Робочі місця мають відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», ПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення [6-8].

Це передбачає, що визначена виробнича діяльність пов'язана з наявністю певної кількості небезпечних та/або шкідливих виробничих

факторів згідно Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» та НПАОП 0.00-8.24-05 «Перелік робіт з підвищеною небезпекою» [9-10].

Робота ПК та периферійних пристроїв супроводжує виділення багатьох хімічних речовин, зокрема озону, оксидів нітрогену та аерозолів (високодисперсних частинок тонера).

4.8 Пожежна безпека

Пожежна безпека при застосуванні ПК забезпечується системою запобігання пожежі, протипожежного захисту та організаційно-технічними заходами

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [11], таке приміщення, площею 25 м², відноситься до категорії "В" (пожежонебезпечної) та для протипожежного захисту в ньому проектом передбачено устаткування автоматичною пожежною сигналізацією із застосуванням датчиків-сповіщувачів РІД-1 (сповіщувач димовий ізоляційний) в кількості 1 шт., і застосуванням первинних засобів пожежогасіння. Відповідно до норм первинних засобів пожежогасіння пропонується використовувати вогнегасник порошковий ВП-2 в кількості 1 шт.

Простори усередині приміщень в межах, яких можуть утворюватися або знаходиться пожежонебезпечні речовини і матеріали відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [11] відносяться до пожежонебезпечної зони класу П-Па.

Це обумовлено тим, що в приміщенні знаходяться тверді горючі та важкозаймісті речовини та матеріали. Приміщенню, у якому розташоване робоче місце, присвоюється II ступень вогнестійкості.

Продуктами згорання, що виділяються на пожежі, є: окис вуглецю; сірчистий газ; окис азоту; синильна кислота; акромін; фосген; хлор і ін. При горінні пластмас, окрім звичних продуктів згорання, виділяються різні продукти термічного розкладання: хлорангідридні кислоти, формальдегіди, хлористий водень, фосген, синильна кислота, аміак, фенол, ацетон, стирол згідно ДСТУ 4462.0.02.2005 «Охорона природи. Комплекс стандартів у сфері поводження з відходами. Загальні вимоги» [12].

Для захисту персоналу від дії небезпечних і шкідливих чинників пожежі проектом передбачається застосування промислового протигаза, що фільтрує, з коробкою марки «В» із сірою відміткою забарвлення – захист від неорганічних газів (хлор, фтор, бром, сірководень, сірковуглець, хлорціан, галогени), а цей фільтр не захистить від СО (тобто від чадного газу).

4.9 Електробезпека

На робочому місці периферійні пристрої та устаткування для обслуговування, електропроводи і кабелі за виконанням та ступенем захисту повинні відповідати НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [14].

Лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв і устаткування для обслуговування виконана як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Електромережа штепсельних розеток для живлення персональних ПК, укладено по підлозі поруч зі стінами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. Металеві труби та гнучкі металеві рукави заземлені. Захисне заземлення включає в себе заземлюючих пристроїв і провідник, який з'єднує заземлюючий пристрій з обладнанням, яке заземлюється - заземлюючий провідник.

4.10 Мікроклімат

Мікроклімат робочих приміщень – це клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючої на організм людини з'єднанням температури, вологості, швидкості переміщення повітря. В даному приміщенні проводяться роботи, що виконуються сидячи і не потребують динамічного фізичного напруження, то для нього відповідає категорія робіт Ia. Отже оптимальні значення для температури, відносної вологості й рухливості повітря для зазначеного робочого місця відповідають ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [5] і наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Норми мікроклімату робочої зони об'єкту

Період року	Категорія робіт	Температура С ⁰	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка-1 а	22 - 24	40 – 60	0,1
Тепла	легка-1 а	23 - 25	40 – 60	0,1

Дане приміщення обладнане системами опалення, кондиціонування повітря або припливно-витяжною вентиляцією. У приміщенні на робочому місці забезпечуються оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й рухливості повітря у відповідності до ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [5].

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі також мають їм відповідати.

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні проводяться перерви в роботі користувача, з метою його провітрювання. Контроль параметрів мікроклімату в холодний і теплий період року здійснюється не менше 3-х разів на зміну (на початку, середині, в кінці).

4.11 Освітлення робочого місця

У проекті, що розробляється, передбачається використовувати суміщене освітлення. У світлий час доби використовуватиметься природне освітлення приміщення через віконні отвори, в решту часу використовуватиметься штучне освітлення. Штучне освітлення створюється газорозрядними лампами.

Штучне освітлення в робочому приміщенні передбачається здійснювати з використанням люмінесцентних джерел світла в світильниках загального освітлення, оскільки люмінесцентні лампи мають високу потужність (80 Вт), тривалий термін служби (до 10000 годин), спектральний складом випромінюваного світла, близький до сонячного. При експлуатації ПК виконується зорова робота IV в розряді точності (середня точність). При цьому нормована освітленість на робочому місці (Ен) рівна 200 лк. Джерелом природного освітлення є сонячне світло.

У приміщенні, де розташовані ПК передбачається природне бічне освітлення, рівень якого відповідає ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [8]. Джерелом природного освітлення є сонячне світло. Регулярно повинен проводитися контроль освітленості, який підтверджує, що рівень освітленості задовольняє ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [8] і для даного приміщення в світлий час доби достатньо природного освітлення.

Розрахунок освітлення.

Для будівель виробництв світловий коефіцієнт приймається в межах 1/6 - 1/10:

$$\sqrt{a^2 + b^2} \cdot S_b = (1/8 \div 1/10) \cdot S_n, \quad (4.1)$$

де S_b – площа віконних прорізів, м²;

S_n – площа підлоги, м².

$$S_n = a \cdot b = 5 \cdot 5 = 25 \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{вик}} = 1/8 \cdot 25 = 3,125 \text{ м}^2.$$

Приймаємо 2 вікна площею $S=1,6 \text{ м}^2$ кожне.

Світильники загального освітлення розташовуються над робочими поверхнями в рівномірно-прямокутному порядку. Для організації освітлення в темний час доби передбачається обладнати приміщення, довжина якого складає 5 м, ширина 5 м, світильниками ЛПО2П, оснащеними лампами типа ЛБ (дві по 80 Вт) з світловим потоком 5400 лм кожна.

Розрахунок штучного освітлення виробляється по коефіцієнтах використання світлового потоку, яким визначається потік, необхідний для створення заданої освітленості при загальному рівномірному освітленні. Розрахунок кількості світильників N виробляється по формулі (4.2):

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot M} \quad (4.2)$$

де E – нормована освітленість робочої поверхні, визначається нормами – 300 лк;

S – освітлювана площа, м^2 ; $S = 25 \text{ м}^2$;

Z – поправочний коефіцієнт світильника (для стандартних світильників $Z = 1.1 - 1.3$) приймаємо рівним 1,1;

K – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації – 1,5;

U – коефіцієнт використання, залежний від типу світильника, показника індексу приміщення і т.п. – 0,575;

M – число люмінесцентних ламп в світильнику – 2;

F – світловий потік лампи – 5400лм.

Підставивши числові значення у формулу (4.2), отримуємо:

$$n = \frac{300 \cdot 25 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{5400 \cdot 0,575 \cdot 2} = 1,99$$

Приймаємо освітлювальну установку, яка складається з 2-х світильників, які складаються з двох люмінесцентних ламп загальною потужністю 160 Вт, напругою – 220 В.

Потужність електроосвітлювальної установки з урахуванням місцевого освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{n \cdot W + (0,1 \div 0,2) \cdot n \cdot W}{1000}, \text{кВт} \quad (4.3)$$

де n – розрахункова кількість ламп для освітлення даного приміщення;

W – потужність однієї лампи, Вт;

$(0,1 \div 0,2)$ – додаткова потужність для ламп місцевого освітлення, Вт

$$N = \frac{3 \cdot 160 + 0,2 \cdot 3 \cdot 160}{1000} = 0,576 \text{ кВт}$$

4.12 Шум, вібрація та електромагнітне випромінювання

Рівень шуму, що супроводжує роботу користувачів персональних комп'ютерів, а також зовнішніми чинниками, коливається у межах 50–65 дБА відповідно ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [13]. Шум такої інтенсивності на тлі високого ступеня напруженості праці негативно впливає на функціональний стан користувачів.

Для зниження шуму на шляху його поширення передбачається розміщення в приміщенні штучних поглиначів. Для зниження рівня шуму стелю або стіни вище 1.5 - 1.7 метра від підлоги повинні облицьовуватися

звукопоглинальним матеріалом з максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в області частот 63-8000 Гц. Додатковим звукопоглинанням в КВТ можуть бути фіранки, підвішені в складку на відстані 15-20 см. Від огорожі, виконані з щільної, важкої тканини. У приміщенні з ПК коректований рівень звукової потужності не перевищує 45 дБ.

Вібрація на робочому місці в приміщенні, що розглядається, відповідає нормам ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [13].

Допустимий рівень вібрацій на робочому місці: - для 1 ступеня шкідливості до 3 дБ; - для 2-3 - 1-6 дБ; - для 3 - більше 6 дБ.

4.13 Розрахунок захисного заземлення

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок [14], приміщення в якому проводяться всі роботи відносяться до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η – це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами. Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_v в залежності від розміщення заземлювачів та їх кількості знаходиться в межах 0,4...0,99. Взаємну екрануючу дію горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги) враховують за допомогою коефіцієнта використання горизонтального заземлювача η_c .

Визначимо необхідний опір штучних заземлювачів $R_{шт.з.}$:

$$R_{\text{шт.з.}} = \frac{R_{\text{д}} \cdot R_{\text{пр.з.}}}{R_{\text{пр.з.}} - R_{\text{д}}}, \quad (4.4)$$

де $R_{\text{пр.з.}}$ – опір природних заземлювачів; $R_{\text{д}}$ – допустимий опір заземлення. Якщо природні заземлювачі відсутні, то $R_{\text{шт.з.}} = R_{\text{д}}$.

Підставивши числові значення у формулу (4.4), отримуємо:

$$R_{\text{шт.з.}} = \frac{4 \cdot 40}{40 - 4} \approx 4 \text{ Ом}$$

Опір заземлення в значній мірі залежить від питомого опору ґрунту ρ , Ом·м. Приблизне значення питомого опору глини приймаємо $\rho = 40$ Ом·м (табличне значення).

Розрахунковий питомий опір ґрунту, $\rho_{\text{розр.}}$, Ом·м, визначається відповідно для вертикальних заземлювачів $\rho_{\text{розр.в}}$ і горизонтальних $\rho_{\text{розр.г}}$, Ом·м за формулою:

$$\rho_{\text{розр.}} = \psi \cdot \rho, \quad (4.5)$$

де ψ – коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів І кліматичної зони з нормальною вологістю землі, приймається для вертикальних заземлювачів $\rho_{\text{розр.в}} = 1,7$ і горизонтальних $\rho_{\text{розр.г}} = 5,5$ Ом·м.

$$\rho_{\text{розр.в}} = 1,7 \cdot 40 = 68 \text{ Ом·м};$$

$$\rho_{\text{розр.г}} = 5,5 \cdot 40 = 220 \text{ Ом·м}$$

Розрахуємо опір розтікання струму вертикального заземлювача $R_{\text{в}}$, Ом, за (4.6).

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр.в.}}}{2 \cdot \pi \cdot l_B} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_B}{d_{\text{ст}}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l_B}{4 \cdot t - l_B} \right), \quad (4.6)$$

де l_B – довжина вертикального заземлювача (для труб - 2–3 м; $l_B = 3$ м);

$d_{\text{ст}}$ – діаметр стержня (для труб - 0,03–0,05 м; $d_{\text{ст}} = 0,05$ м);

t – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, яка визначається за формулою (4.7):

$$t = h_B + \frac{l_B}{2}, \quad (4.7)$$

де h_B – глибина закладання вертикальних заземлювачів (0,8 м);

$$\text{тоді } t = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ м}$$

$$R_B = \frac{68}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 18,5 \text{ Ом}$$

Визначаємо теоретичну кількість вертикальних заземлювачів n штук, без урахування коефіцієнта використання η :

$$n = \frac{2 \cdot R_B}{R_d} = \frac{2 \cdot 18,5}{4} = 9,25 \quad (4.8)$$

Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача без врахування впливу з'єднувальної стрічки $\eta_B = 0,57$ (табличне значення).

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів n_B , шт. з урахуванням коефіцієнта використання n_B , шт:

$$n_b = \frac{2 \cdot R_b}{R_d \cdot \eta_b} = \frac{2 \cdot 18,5}{4 \cdot 0,57} = 16,2 \approx 16 \quad (4.9)$$

Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача l_c , м:

$$l_c = 1,05 \cdot L_b \cdot (n_b - 1) \quad (4.10)$$

де L_b – відстань між вертикальними заземлювачами, (прийняти за $L_b = 3$ м);

n_b – необхідна кількість вертикальних заземлювачів.

$$l_c = 1,05 \cdot 3 \cdot (16-1) \approx 48.$$

Визначаємо опір розтіканню струму горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки) R_Γ , Ом:

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{розр.г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_c} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_c^2}{d_{\text{см}} \cdot h_\Gamma}, \quad (4.11)$$

де $d_{\text{см}}$ – еквівалентний діаметр смуги шириною b , $d_{\text{см}} = 0,95b$, $b = 0,15$ м;

h_Γ – глибина закладання горизонтальних заземлювачів (0,5 м);

l_c – довжина з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача l_c , м

$$R_\Gamma = \frac{220}{2 \cdot \pi \cdot 48} \cdot \ln \frac{2 \cdot 48^2}{0,95 \cdot 0,15 \cdot 0,5} = 8,1 \text{ Ом}$$

Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача η_c , відповідно до необхідної кількості вертикальних заземлювачів n_b .

Коефіцієнт використання з'єднувальної смуги $\eta_c=0,3$ (табличне значення).

Розраховуємо результуючий опір заземлювального електроду з урахуванням з'єднувальної смуги:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B \cdot \eta_c + R_r \cdot \eta_B \cdot \eta_B} \leq R_d. \quad (4.12)$$

Висновок: дане захисне заземлення буде забезпечувати електробезпеку будівлі, так як виконується умова: $R_{\text{заг}} < 4$ Ом, а саме:

$$R_{\text{заг}} = \frac{18,5 \cdot 8,1}{18,5 \cdot 0,3 + 8,1 \cdot 16 \cdot 0,57} = 1,9 \leq R_d$$

4.14 Висновки до розділу 4

В даному розділі розроблені рекомендації з охорони праці, техніки безпеки при роботі на комп'ютері. Проведений аналіз умов праці, вплив шкідливих та небезпечних чинників на здоров'я людини. Визначено параметри і характеристики приміщення. Приведені рекомендації щодо організації робочого місця, електробезпеки та пожежної безпеки.

Наведені розміри приміщення та значення температури, вологості й рухливості повітря, необхідна кількість і потужність ламп та інші параметри, значення яких впливає на умови праці.

4.15 Перелік джерел посилань до розділу 4

1. Закон України «Про охорону праці». Вводиться в дію Постановою ВР № 2695-ХІІ від 14.10.92, ВВР, 1992, № 49, ст.669. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

2. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві». Режим доступу: https://dnaop.com/html/43271/doc-ДНАОП_0.00-6.03-93.

3. НПАОП 0.00-4.12-05. «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Режим доступу: <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>.

4. НПАОП 0.00-8.24-05 «Перелік робіт з підвищеною небезпекою». Режим доступу: - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0232-05>.

5. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

6. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98>.

7. НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>.

8. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/klassifikator-minregionstroya/09._dbn__\(derzhavnii_23018/V.2.5-28-2018+79885-detail.html](http://online.budstandart.com/ua/catalog/klassifikator-minregionstroya/09._dbn__(derzhavnii_23018/V.2.5-28-2018+79885-detail.html).

9. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>.

10. НПАОП 0.00-8.24-05 «Перелік робіт з підвищеною небезпекою». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0232-05>.

11. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». - Режим доступу: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/klassifikator->

minregionstroya/00._klasyfikatsiia_23686/v._tekhnichniy_norm_224/v.1_zahalnotekhnich_234/v.1.1_zakhyst_viid_n_235/V.1.1-36-2016+70714-detail.html.

12. ДСТУ 4462.0.02:2005 «Охорона природи. Комплекс стандартів у сфері поводження з відходами. Загальні вимоги». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0351609-07>.

13. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». - Режим доступу: <https://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>.

14. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98>.

15. НАПБ.А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>.

ВИСНОВКИ

Для реалізації поставленої задачі в дипломній роботі:

1. Проведено аналіз методів та засобів вимірювання температури, розглянута структура апаратних засобів, особливості реалізації у складі мікроконтролерних систем. На основі проведеного аналізу зроблені висновки про необхідність даної розробки та розроблені вимоги до програмного забезпечення.

2. Проведено розроблення структурної схеми перетворювача температури, проаналізована та обрана елементна база реалізації.

3. Визначені етапи виміру температури та технічні характеристики модуля, що здійснює вимір температури по 8-ми каналам за допомогою термоопорів з діапазоном виміру у цифровому значенні $-327568\dots+32767$.

4. Передача інформації в контролер верхнього рівня здійснюється з використанням гальванічно розв'язаного інтерфейсу ІРПС (струмова петля).

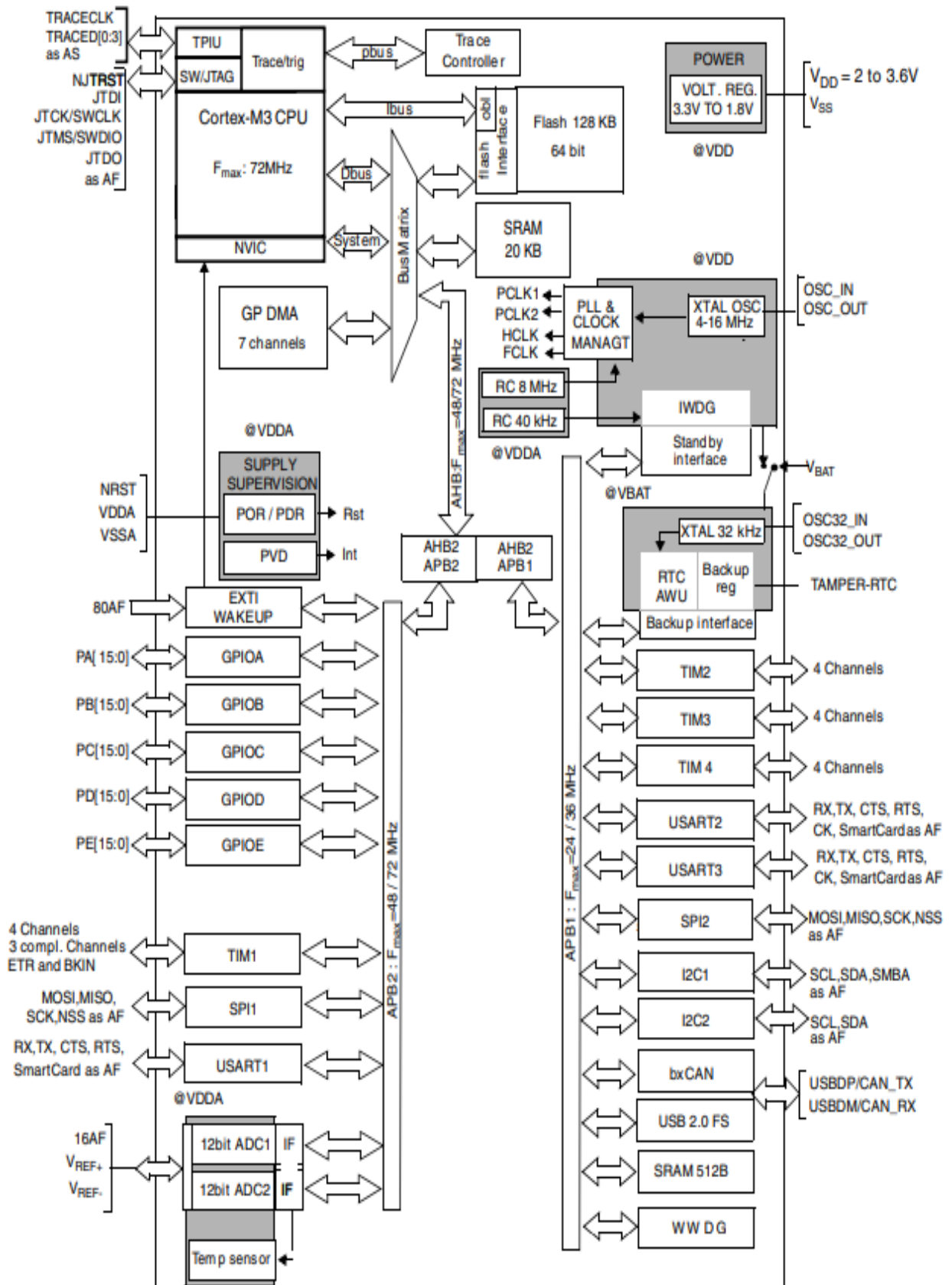
5. Перетворювач розроблений на базі МК STM32F103 фірми ST Microelectronics, який працює на тактовій частоті 29,4912 МГц. МК реалізує функції зв'язку з контролерами через інтерфейс ІРПС і виконує прийом і перетворення вихідних послідовних кодів вимірювальних каналів в паралельний код, масштабування і температурну корекцію цифрових значень вхідних сигналів, контроль працездатності вимірювальних каналів.

6. Визначений склад, програмних модулів, необхідних для виміру та перетворення температури у цифровий код.

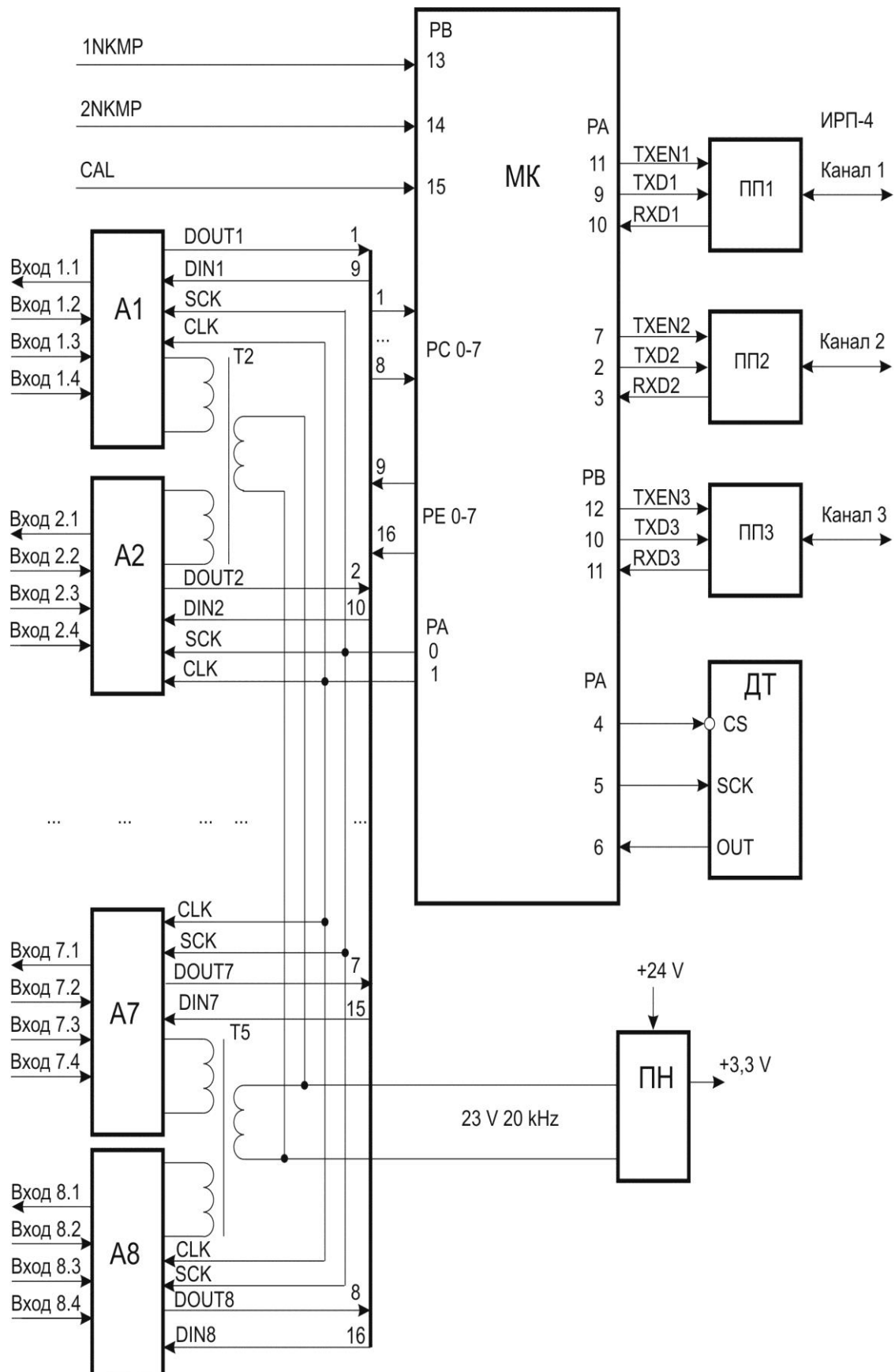
7. Розглянуті питання та сформульовані рекомендації щодо охорони праці в умовах виробництва.

8. Результати роботи та запропоновані рішення можуть бути використані у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук та інженерії при вивченні дисципліни «Цифрова схемотехніка».

Структура МК STM32F103x8



Структурна схема перетворювача



Електрична схема перетворювача опір-код

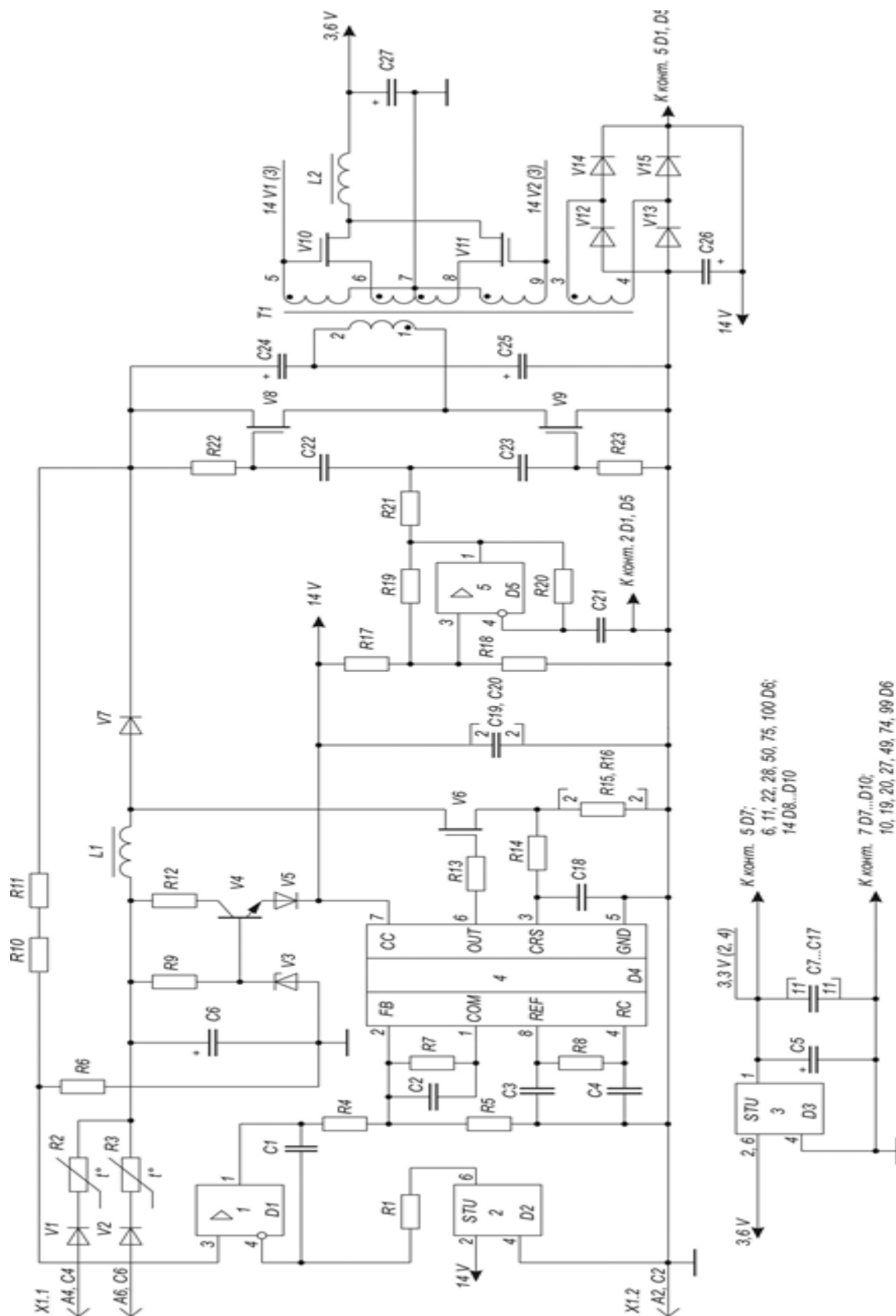
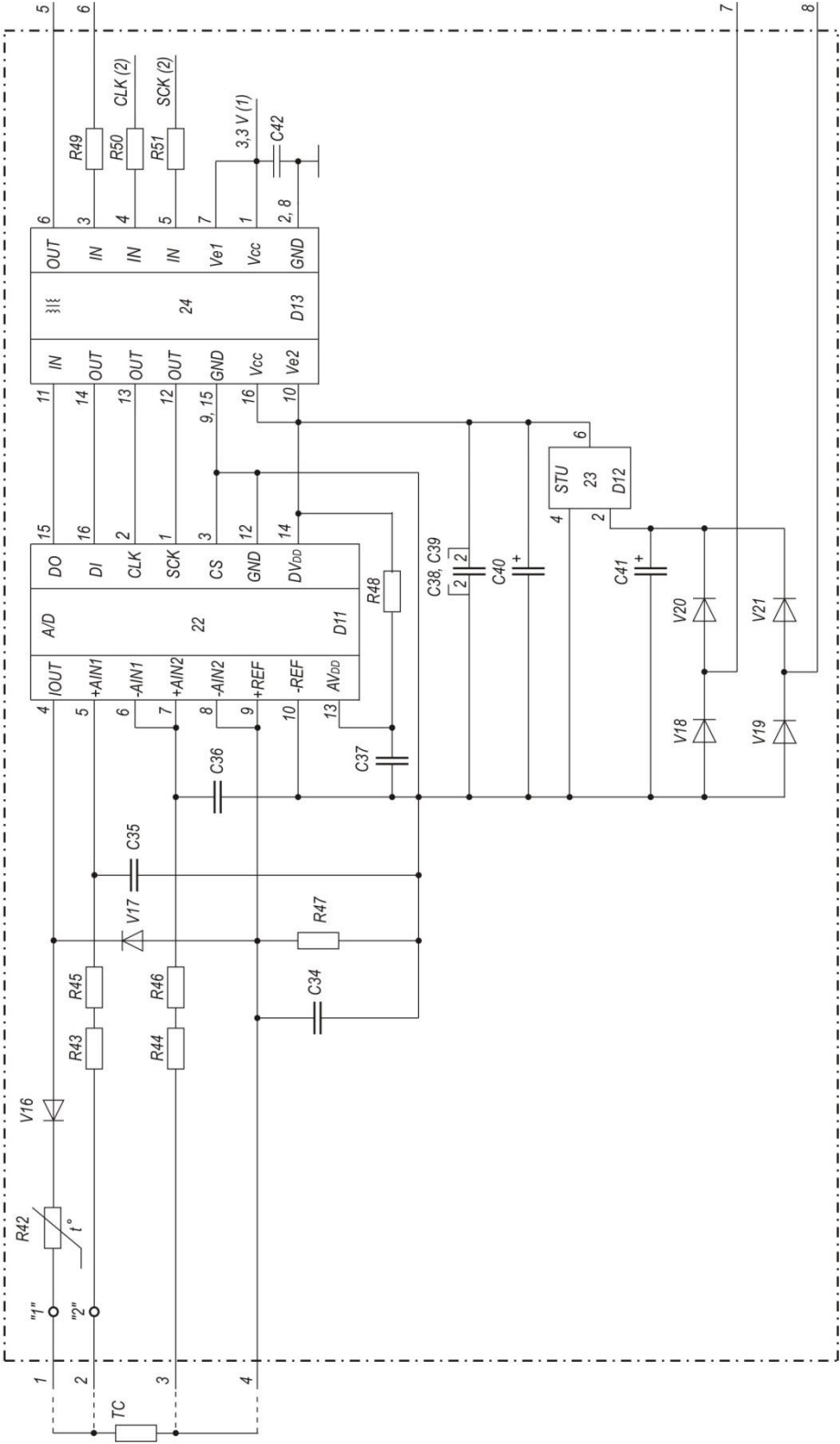


Схема каналів перетворювача А1-А8

Схема каналів перетворення А1-А8



Призначення портів вводу/виводу МК

Порти вводу/виводу МК		Призначення
Порт PE	PE.0	Вихід налаштування АЦП каналу 1 (DOUT1)
	PE.1	Вихід налаштування АЦП каналу 2 (DOUT2)
	PE.2	Вихід налаштування АЦП каналу 3 (DOUT3)
	PE.3	Вихід налаштування АЦП каналу 4 (DOUT4)
	PE.4	Вихід налаштування АЦП каналу 5 (DOUT5)
	PE.5	Вихід налаштування АЦП каналу 6 (DOUT6)
	PE.6	Вихід налаштування АЦП каналу 7 (DOUT7)
	PE.7	Вихід налаштування АЦП каналу 8 (DOUT8)
	PE.8...PE.15	Резерв
Порт PC	PC.0	Вхід шини даних каналу 1 (DIN1)
	PC.1	Вхід шини даних каналу 2 (DIN2)
	PC.2	Вхід шини даних каналу 3 (DIN3)
	PC.3	Вхід шини даних каналу 4 (DIN4)
	PC.4	Вхід шини даних каналу 5 (DIN5)
	PC.5	Вхід шини даних каналу (DIN6)
	PC.6	Вхід шини даних каналу (DIN7)
	PC.7	Вхід шини даних каналу 8 (DIN8)
	PC.8...PC.15	Резерв
Порт PA	PA.0	Вихід тактового сигналу вводу даних АЦП
	PA.1	Вихід тактового сигналу зовнішніх АЦП
	PA.2	Вихід послідовного порту передачі даних (TXD2) ІРПС
	PA.3	Вхід послідовного порту прийому даних (RXD2) ІРПС-4
	PA.4	Вихід сигналу вибору датчика температури (CS)
	PA.5	Вихід тактових сигналів датчика температури (SCK)
	PA.6	Вхід даних датчика температури (MISO)
	PA.7	Вихід сигналу керування буфером лінії зв'язку ІРПС напрямок 2 (TXEN2)

	PA.8	Вихід сигналу керування кольором горіння індикатора працездатності перетворювача «РОБ/ВІДМОВА»
	PA.9	Вихід послідовного порту передачі даних (TXD1) 1Tx ІРПС
Порт PA	PA.10	Вхід послідовного порту прийому даних (RXD1) 1Rx ІРПС
	PA.11	Вихід сигналу керування буфером лінії зв'язку ІРПС напряму 1 (TXEN1)
	PA.12	Резерв
	PA.13	Вхід /вихід даних інтерфейсу налаштування та програмування SWD (SWDIO)
	PA.14	Вхід тактових імпульсів інтерфейсу налаштування та програмування SWD (SWCLK)
	PA.15	Резерв
Порт PB	PB.0, PB.1	Резерв
	PB.2	Вхід сигналу керування конфігурацією завантаження МК (BOOT1)
	PB.3...PB.9	Резерв
	PB.10	Вихід послідовного порту передачі даних (TXD3) 3Tx ІРПС
	PB.11	Вхід послідовного порту прийому даних (RXD3) 3Rx ІРПС
	PB.12	Вихід сигналу керування буфером лінії зв'язку ІРПС напрямок 3 (TXEN3)
	PB.13	Вхід сигналів НКМР ознаки кількості керуючих контролерів мікропроцесорних КМп (1НКМР)
	PB.14	Вхід сигналів НКМР ознаки кількості керуючих контролерів мікропроцесорних КМп (2НКМР)
	PB.15	Вхід сигналу дозволу юстировки (CAL)
Порт PD	PD.0...PD.15	Резерв

Перелік елементів перетворювача

Поз. Познач.	Найменування	Кіл.	Прим.
B1	Резонатор Q-14.7456-SS4-30-30/30-T1	1	
	Конденсатори		
C1	VJ1206 X7R-50B-0,1 мкФ±5 %	1	
C2	VJ1206 C0G-50 В-1000 пФ±5 %	1	
C3	VJ1206 X7R-50B-0,1 мкФ±5 %	1	
C4	VJ1206 C0G-50 В-4700 пФ±10 %	1	
C5	B45196-16 В-10 мкФ±10 %	1	
C6	FCA-63 В-270 мкФ	1	
C7-C17	VJ1206 X7R-50B-0,1 мкФ±5 %	11	
C18	VJ1206 C0G-50 В-220 пФ±5 %	1	
C19, C20	VJ1206 X7R-50B-0,1 мкФ±5 %	2	
C21	VJ1206 C0G-50 В-560 пФ±5 %	1	
C22, C23	VJ1206 X7R-100B-0,1 мкФ±10 %	2	
C24, C25	FCA-63 В-270 мкФ	2	
C26	B45196-25 В-33 мкФ±20 %	1	
C27	FCA-63 В-270 мкФ	1	
C28	VJ1206 C0G-50 В-1000 пФ±5 %	1	
C29, C30	VJ1206 C0G-50 В-22 пФ±5 %	2	
C31-C33	VJ1206 X7R-50B-0,1 мкФ±5 %	3	
	Мікросхеми		
D1	AD8627AKS	1	
D2	ADR02AR	1	
D3	ADP3330ART-3,3	1	
D4	UCC28C43D	1	
D5	AD8033AKS	1	

D6	STM32F103VCT6	1	
D7	AD7814ARM	1	
D8	MC74HC14AD	1	
D9	MC74HC125AD	1	
D10	MC74HC132AD	1	
H1	Індикатор L-937EGW	1	
L1	Дросель B82476-A1474-M	1	
L2	Дросель B82464-A4104-K	1	
	Опори		
R1	RC1206 J R F 1K0	1	
R2, R3	Термістор PTC-30 B-2,5 Ом±20 %	2	
R4	RC1206 J R F 20K	1	
R5	RC1206 J R F 10K	1	
R6	UXB 0207-05 0,1 % CU 18 k	1	
R7	RC1206 J R F 100K	1	
R8	RC1206 F R F 7K5	1	
R9	RC1206 F R F 20K	1	
R10	UXB 0207-05 0,1 % CU 200 k	1	
R11	RC1206 F R F 10K	1	
R12	RC1206 J R F 1K0	1	
R13	RC1206 J R F 10R	1	
R14	RC1206 J R F 2K0	1	
R15,R16	RC1206 J R F 3R0	2	
R17, R18	RC1206 F R F 51K	2	
R19, R20	RC1206 F R F 200K	2	
R21	RC1206 J R F 100R	1	
R22-R28	RC1206 J R F 10K	7	
R29	RC1206 J R F 330R	1	
R30-R32	RC1206 J R F 200R	3	
R33-R38	RC1206 J R F 10K	6	

R39-R41	RC1206 J R F 1K0	3	
T1	Трансформатор 671159.030	1	
T2-T5	Трансформатор 671159.010	4	
V1, V2	Діод PMEG6020ER	2	
V3	Стабілітрон BZX84-B13	1	
V4	Транзистор BCX41	1	
V5	Діод BAS32L	1	
V6	Транзистор IRFR3410	1	
V7	Діод 10MQ100NPbF	1	
V8	Транзистор IRFR5410	1	
V9	Транзистор IRFR3410	1	
V10, V11	Транзистор IRLML2502	2	
V12-V15	Діод BAS32L	4	
X1,X2	Вилка Gds A-D32-угл-печ.	2	
X3	Вилка 90120-0765	1	

Презентація

Міністерство освіти і науки України
Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля

«Апаратні засоби виміру температури на базі мікроконтролера»

Студент гр. КІ – 16 бд
Керівник

Олійник В. А.
Кардашук В. С.

Актуальність теми

- В наукових досліджах та на виробництві, при дослідженні матеріалів і зразків вимірювання температури є найпоширенішим. Широкий діапазон вимірювальних температур і вимог до точності їх виміру спонукають до розробки нових пристроїв вимірювання.
- Застосування МП та МК у науково-технічних рішеннях вимагає від спеціалістів досконалого володіння сучасними методами проектування МП та МК систем, вміння використовувати їх при практичному вирішенні інженерних задач, в тому числі і пристроїв виміру температури.
- Мета дипломної роботи – апаратна реалізація виміру температури на базі мікроконтролера STM32 фірми ST Microelectronics.

Для виконання поставленої задачі в дипломній роботі необхідно:

- провести огляд апаратних засобів виміру температури;
- розглянути можливості мікроконтролера архітектури STM32 ;
- визначити методи та засоби виміру температури;
- визначити характеристики перетворювача температури.

Постановка завдання розроблення пристрою виміру температури

-
- Перетворювач повинен бути розроблений на основі МК STM32F103 фірми ST Microelectronics з робочою частотою 29,4912 MHz і забезпечувати виконання таких функцій:
- прийом кадру запиту по трьох каналах зв'язку ІРПС від модулів зв'язку на введення значень виміряних аналогових сигналів опору;
- прийом команди і даних для виконання юстирування;
- контроль типу модуля в запиті з встановленням в 1/0 біта помилки ER1; контроль довжини кадру запиту з встановленням в 1/0 біта помилки ER2; контроль контрольної суми кадру запиту з встановленням в 1/0 біта помилки ER3;
- контроль пам'яті програм МК шляхом підрахунку контрольної суми і тестування пам'яті оперативного пам'яті ОЗУ (далі - ОЗУ) з встановленням в 1/0 біта помилки ERR0M і біта інтегральної помилки RAB;
- порівняння копій коефіцієнтів юстирування на збіг під час масштабування;
- контроль команди запуску на перетворення; контроль команди управління з восьми каналах перетворення, яка задає по кожному каналу налаштування роботи перетворювача.
-

Варіанти підключення термістора

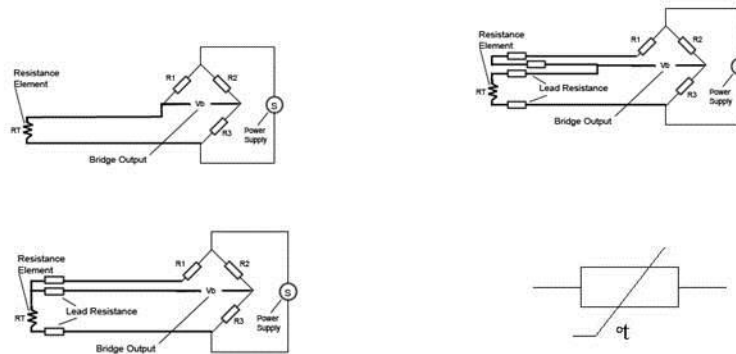
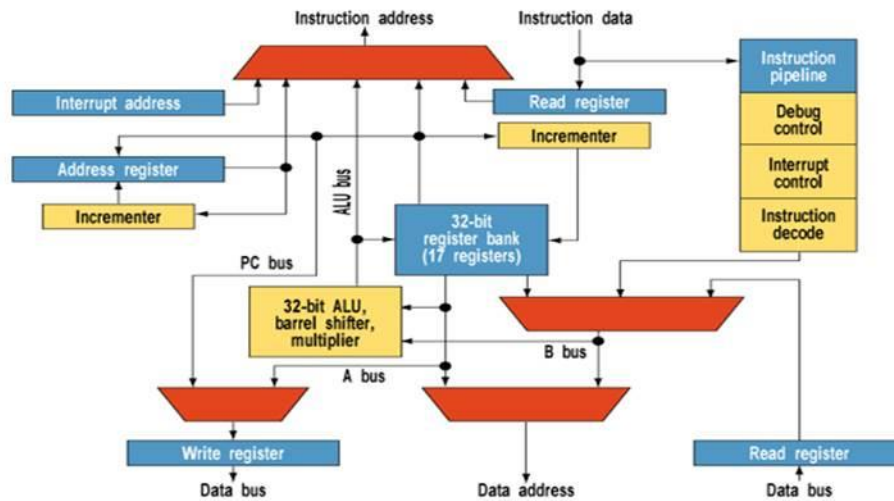


Схема вимірювального перетворювача



Структура мікроконтролера STM32F103 фірми ST Microelectronics



Склад перетворювача

МК, який реалізує функції зв'язку з контролером або ПК через інтерфейс ІРП, що виконує прийом і перетворення вихідних послідовних кодів вимірювальних каналів в паралельний код, масштабування і температурну корекцію цифрових значень вхідних сигналів, контроль працездатності вимірювальних каналів;

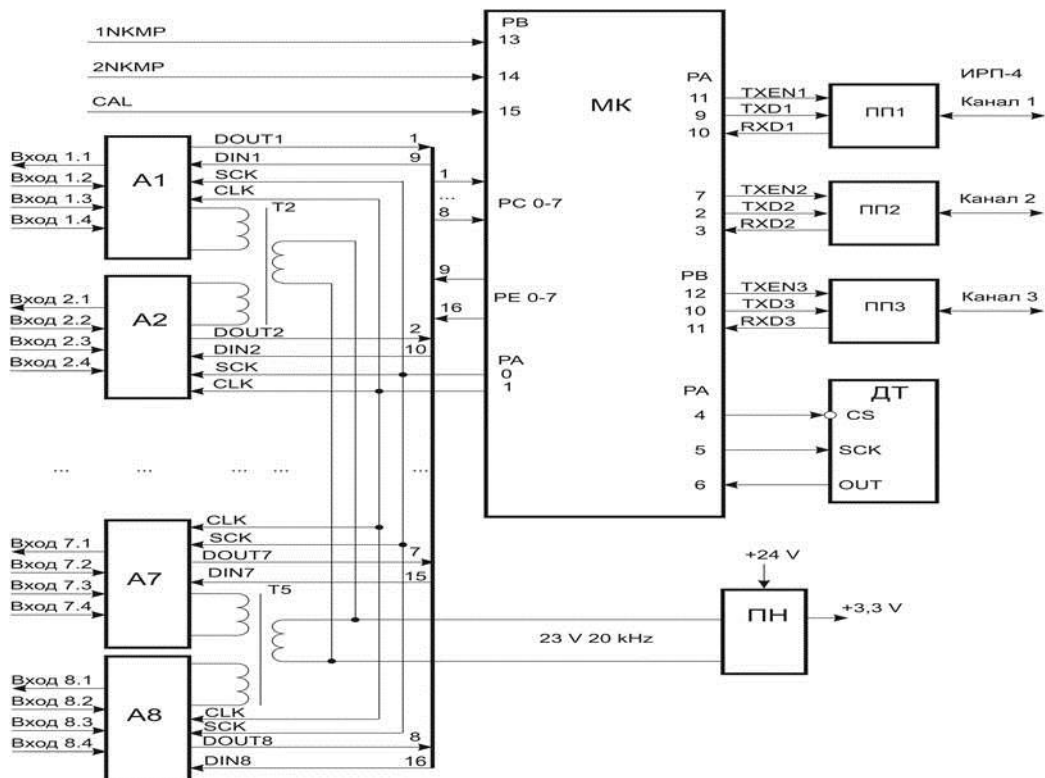
ПП1-ПП3, що реалізують три однопровідні канали ІРПС;
розділові трансформатори електроживлення вимірювальних каналів Т2-Т5;

ДТ – датчик температури;

ПН – перетворювач напруги, що формує змінну напругу на первинних обмотках розділових трансформаторів електроживлення вимірювальних каналів;

А1-А8 – канали, які здійснюють перетворення вхідних сигналів в цифровий код і гальванічне розділення вхідних ланцюгів перетворювача.

Структурна схема перетворювача



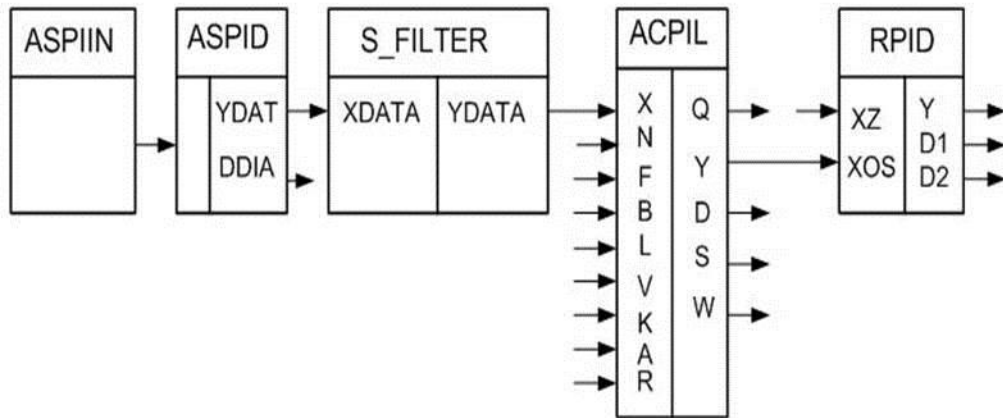
Основні параметри ІРПС

Параметр	Значення
Топологія радіальний інтерфейс	Лінія зв'язку 4 дроти (2 кручені пари)
Режим обміну даними	Асинхронний, двобічний
Гальванічна розв'язка	З боку приймача, напруга 500 В
Спосіб передачі сигналу	Струмова петля
Рівень логічної 1	Струм 15 ... 25 мА (для ІРПС 20 мА) Струм 30 ... 50 мА (для ІРПС 40 мА)
Рівень логічного 0	Струм 0 ... 3 мА (для ІРПС 20 мА) Струм 5 ... 10 мА (для ІРПС 40 мА)
Тривалість фронту сигналу на виході передавача	Не більше 1 мкс
Тривалість фронту сигналу на вході приймача	Не більше 50 мкс
Швидкість передачі інформації	9600 бод, на відстань до 500 м. При більшій відстані швидкість знижується пропорційно
Режими обриву і замикання лінії зв'язку	Довготривалі
Падіння напруги на вході приймача	Не більше 2,5 В
Вхідна ємність приймача	Не більше 10 нФ

Склад програмних модулів

Позначення	Характеристика
ASPID	Модуль АЦПІ з діагностикою
ASPIIN	Модуль ініціалізації АЦПІ
ASPIL	Модуль перетворення аналогового коду в фізичну величину
RAS16	Модуль розпаковки 16-розрядний
S_FILTER	Модуль фільтрації аналогового сигналу
MVDCK-D	Модуль МВДС-КО з діагностикою
MFDSZD	Модуль формування стану дискретних каналів та діагностики його працездатності

Приєм аналогового сигналу та видача керуючого впливу



Електрична схема перетворювача опір-код

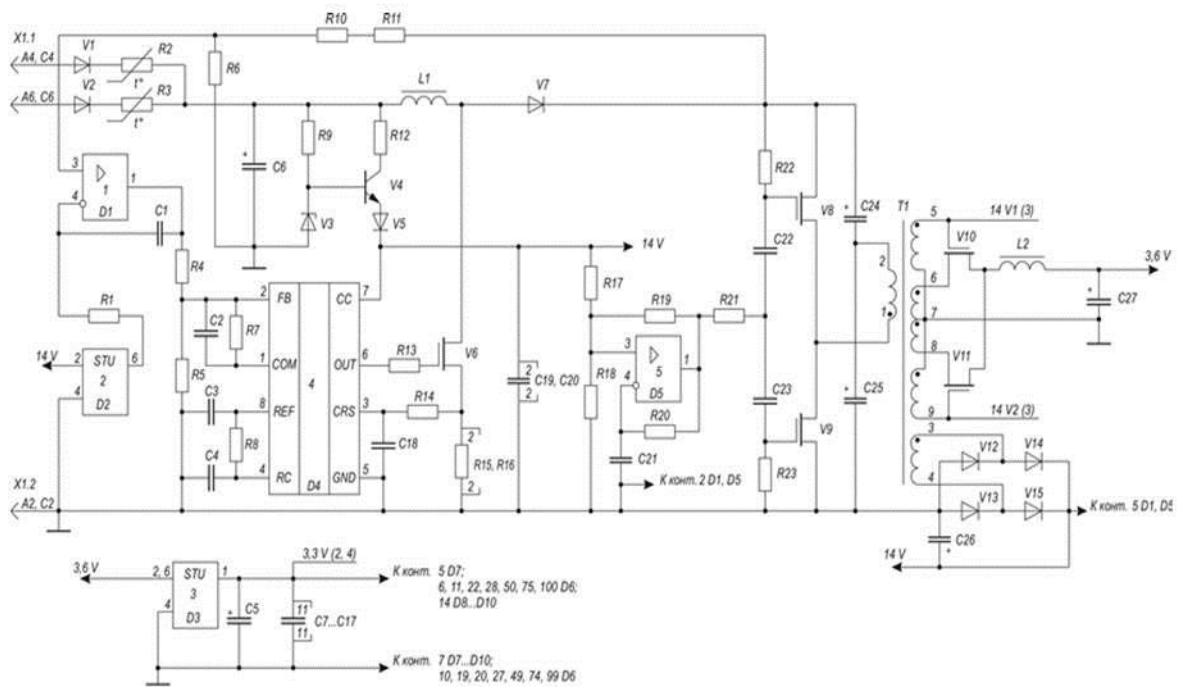
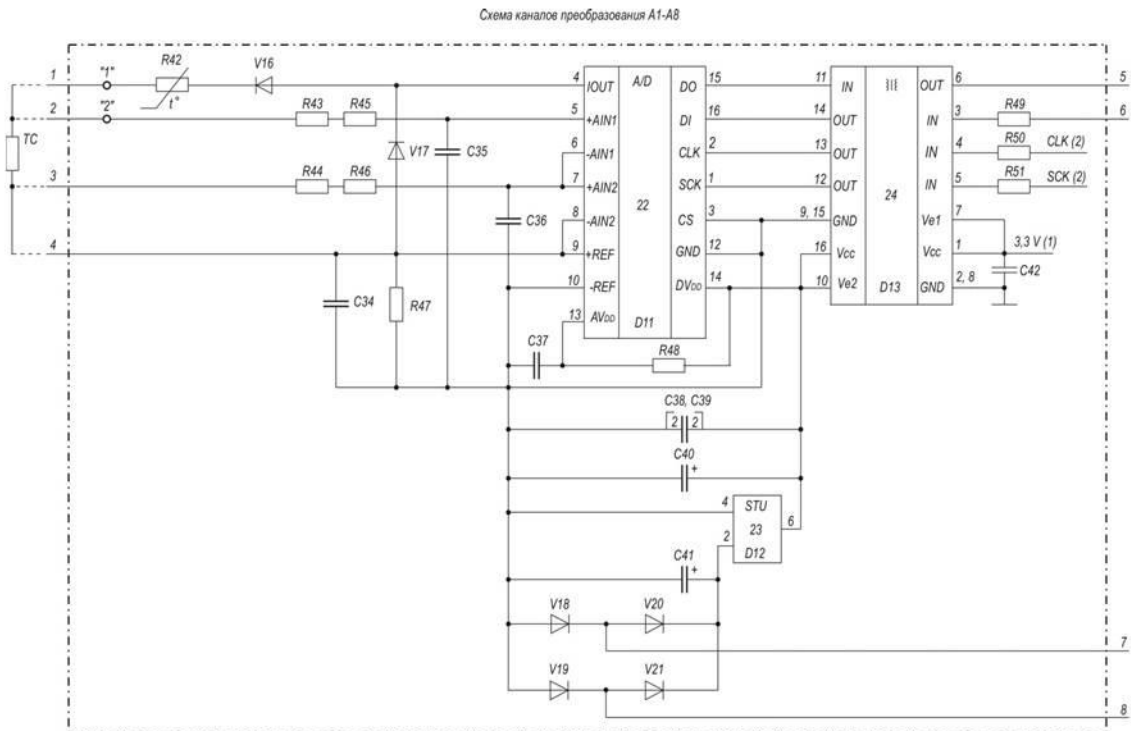


Схема каналів перетворювача А1-А8



Висновки

- 1. Проведено аналіз методів та засобів вимірювання температури, розглянута структура апаратних засобів, особливості реалізації у складі мікроконтролерних систем. На основі проведеного аналізу зроблені висновки про необхідність даної розробки та розроблені вимоги до програмного забезпечення.
- 2. Проведено розроблення структурної схеми перетворювача.
- 4. Передача інформації в контролер верхнього рівня здійснюється з використанням гальванічно розв'язаного інтерфейсу ІРПС (струмова петля).
- 5. Перетворювач розроблений на базі МК STM32F103 фірми ST Microelectronics, який працює на тактовій частоті 29,4912 МГц.
- 6. Визначений склад, програмних модулів, необхідних для виміру та перетворення температури у цифровий код.
- 7. Розглянуті питання та сформульовані рекомендації щодо охорони праці в умовах виробництва.
- 8. Результати роботи та запропоновані рішення можуть бути використані у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук та інженерії при вивченні дисципліни «Цифрова схемотехніка».
- 9. Результати роботи та запропоновані рішення можуть бути використані у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук та інженерії при вивченні дисципліни «Цифрова схемотехніка».